

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

**“ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA  
CALLE UCRANIA ADICIONANDO CENIZAS DE  
CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023”**

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autora:**

Maribel Villanueva Durand

**Asesor:**

Mg. Carlos Elder Calua Carrasco

<https://orcid.org/0000-0002-7791-0251>

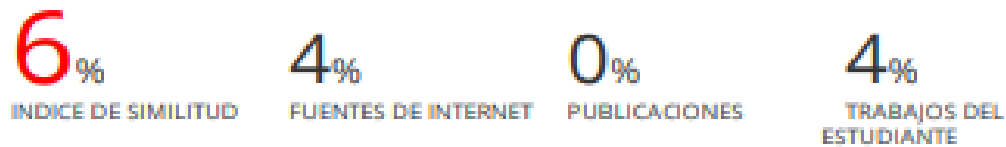
Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

|                           |                      |          |
|---------------------------|----------------------|----------|
| Jurado 1<br>Presidente(a) | Erlyn Salazar Huamán | 71106769 |
|                           | Nombre y Apellidos   | Nº DNI   |

|          |                     |          |
|----------|---------------------|----------|
| Jurado 2 | Jane Álvarez Llanos | 26704582 |
|          | Nombre y Apellidos  | Nº DNI   |

|          |                       |          |
|----------|-----------------------|----------|
| Jurado 3 | Katia Carrión Rabanal | 46269439 |
|          | Nombre y Apellidos    | Nº DNI   |

**REPORTE DE SIMILITUD****"ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE UCRANIA  
ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023"****INFORME DE ORIGINALIDAD****FUENTES PRIMARIAS**

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet                                 | <b>3%</b> |
| <b>2</b> | <b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b><br>Trabajo del estudiante | <b>2%</b> |
| <b>3</b> | <b>idoc.pub</b><br>Fuente de Internet                                       | <b>1%</b> |

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      < 1%

### **DEDICATORIA**

*A mi esposo, compañero de vida , quien ha sido mi mayor apoyo y motivación en este camino. Tu constante aliento y comprensión han sido mi fuerza para superar los desafíos y alcanzar este logro. A mis queridos hijos, su sonrisas y alegrías han iluminado cada día de esta travesía. Cada paso que doy en este camino es también un paso en la construcción de un futuro mejor para ustedes. Esta tesis está dedicada a ustedes, mi familia, por ser mi mayor inspiración.*

**Maribel Villanueva Durand**

### **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han sido parte fundamental en la realización de esta tesis. A mi asesor, por su guía experta, consejo y dedicación en cada etapa de este proceso. Su apoyo ha sido esencial para alcanzar este logro.*

*A mi alma mater, la Universidad, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios para este camino académico. A todos los profesores que compartieron sus enseñanzas y experiencias, les agradezco por contribuir a mi crecimiento.*

*No puedo dejar de agradecer a Dios por ser mi fuente de sabiduría y fortaleza en cada paso de esta travesía. Su guía divina ha sido mi luz en los momentos de desafío y mi alegría en los momentos de logro.*

**Maribel Villanueva Durand**

## **TABLA DE CONTENIDO**

|  |           |
|--|-----------|
| JURADO EVALUADOR   | 2         |
| REPORTE DE SIMILITUD   | 3         |
| DEDICATORIA  | 4         |
| AGRADECIMIENTO   | 5         |
| TABLA DE CONTENIDO   | 6         |
| ÍNDICE DE TABLAS   | 8         |
| ÍNDICE DE FIGURAS  | 12        |
| ÍNDICE DE ECUACIONES   | 12        |
| RESUMEN  | 17        |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN   | 18        |
| <b>1.1. Realidad Problemática</b>  | <b>18</b> |
| <b>1.2. Antecedentes</b>   | <b>20</b> |
| <b>1.3. Definiciones conceptuales.</b>   | <b>33</b> |
| <b>1.4. Formulación del problema</b>   | <b>61</b> |
| <b>1.5. Objetivos.</b>   | <b>62</b> |
| ✓ <i>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación de la Calle Ucrania mediante los ensayos de (Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor y CBR) y clasificarlo.</i> | <b>62</b> |
| ✓ <i>Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 25,27,30% de ceniza de carbón vegetal de algarrobo</i>  | <b>62</b> |
| ✓ <i>Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 3,5,7% de cal .</i>   | <b>62</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>1.6. Hipótesis.</b>   | <b>62</b>  |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA   | 63         |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS   | 103        |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES  | 169        |
| REFERENCIAS  | 184        |
| ANEXOS   | 189        |
| ✓ <b>Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación de la Calle Ucrania mediante los ensayos de (Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor y CBR) y clasificarlo.</b> | <b>189</b> |
| ✓ <b>Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 25,27,30% de ceniza de carbón vegetal de algarrobo</b>  | <b>189</b> |
| ✓ <b>Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 3,5,7% de cal .</b>   | <b>189</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <i>Tabla 1: Abertura de tamices según norma de la MTC.</i>                | 48  |
| <i>Tabla 2: Método de Holtz y Gibbs.</i>                                  | 54  |
| <i>Tabla 3: ENSAYO E CBR.</i>   | 57  |
| <i>Tabla 4: Clasificación de suelos por el sistema ASHTO:</i>             | 58  |
| <i>Tabla 5: Clasificación de suelos por el sistema SUCS:</i>              | 58  |
| <i>Tabla 6: Número de calicatas para exploración de suelos</i>            | 59  |
| <i>Tabla 7: Coordenadas de las Calicatas</i>                              | 64  |
| <i>Tabla 8: Ubicación de la calle Ucrania.</i>                            | 70  |
| <i>Tabla 9: Ubicación del laboratorio de suelos – UPN.</i>                | 72  |
| <i>Tabla 10: Tabla para la clasificación de Suelos, Método ASHTO</i>      | 83  |
| <i>Tabla 11: Determinación del contenido de Humedad C1</i>                | 104 |
| <i>Tabla 12: Determinación del contenido de Humedad C2-E1</i>             | 104 |
| <i>Tabla 13: Determinación del contenido de Humedad C2-E2</i>             | 105 |
| <i>Tabla 14: Determinación del contenido de Humedad C3</i>                | 105 |
| <i>Tabla 15: Límites de plasticidad C1</i>                                | 106 |
| <i>Tabla 16: Límites de plasticidad C2-E1</i>                             | 106 |
| <i>Tabla 17: Límites de plasticidad C2-E2</i>                             | 107 |
| <i>Tabla 18: Límites de plasticidad C3</i>                                | 108 |
| <i>Tabla 19: Análisis granulométrico en seco de la Calicata 2</i>         | 109 |
| <i>Tabla 20: Análisis granulométrico en seco de la Calicata 3</i>         | 110 |
| <i>Tabla 21: Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 1</i>      | 111 |
| <i>Tabla 22: Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 2 – E1</i> | 112 |
| <i>Tabla 23: Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 2 – E2</i> | 113 |



|   |            |
|---|------------|
| <i>Tabla 24: Analisis granulométrico por lavado de la Calicata 3.....</i> | <i>114</i> |
| <i>Tabla 25: Clasificacion de Suelos, Metodo SUCS de la C1.....</i>       | <i>116</i> |
| <i>Tabla 26: Clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO de la C1.....</i>      | <i>117</i> |
| <i>Tabla 27: Clasificacion de Suelos, Metodo SUCS de la C2-E1.....</i>    | <i>118</i> |
| <i>Tabla 28: Clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO de la C2-E1.....</i>   | <i>118</i> |
| <i>Tabla 29: Clasificacion de Suelos, Metodo SUCS de la C2-E2.....</i>    | <i>118</i> |
| <i>Tabla 30: Clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO de la C2-E2.....</i>   | <i>118</i> |
| <i>Tabla 31: Clasificacion de Suelos, Metodo SUCS de la C3.....</i>       | <i>119</i> |
| <i>Tabla 32: Clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO de la C3.....</i>      | <i>119</i> |
| <i>Tabla 33: Peso específico del material fino.....</i>                   | <i>120</i> |
| <i>Tabla 34: Ensayo de Proctor C1.....</i>                                | <i>120</i> |
| <i>Tabla 35: Ensayo de Proctor C1.....</i>                                | <i>120</i> |
| <i>Tabla 36: Ensayo de Proctor C2-E1.....</i>                             | <i>122</i> |
| <i>Tabla 37: Ensayo de Proctor C3.....</i>                                | <i>123</i> |
| <i>Tabla 38: Ensayo de CBR Hinchamiento C1.....</i>                       | <i>125</i> |
| <i>Tabla 39: Ensayo de Hinchamiento C1.....</i>                           | <i>126</i> |
| <i>Tabla 40: Ensayo de CBR Hinchamiento C2-E1.....</i>                    | <i>126</i> |
| <i>Tabla 41: Ensayo de Hinchamiento C2-E1.....</i>                        | <i>127</i> |
| <i>Tabla 42: Ensayo de CBR Hinchamiento C3.....</i>                       | <i>127</i> |
| <i>Tabla 43: Ensayo de Hinchamiento C3.....</i>                           | <i>128</i> |
| <i>Tabla 44: Ensayo de CBR penetracion C1.....</i>                        | <i>128</i> |
| <i>Tabla 45: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración.....</i>             | <i>130</i> |
| <i>Tabla 46: Carga - Penetracion C2-E1.....</i>                           | <i>131</i> |
| <i>Tabla 47: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración.....</i>             | <i>132</i> |
| <i>Tabla 48: Carga - Penetracion C3.....</i>                              | <i>134</i> |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Tabla 49: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración</i> .....                       | 135 |
| <i>Tabla 50: Ensayo de Proctor adicionando 3% de CAL</i> .....                       | 136 |
| <i>Tabla 51: Ensayo de Proctor adicionando 5% de CAL</i> .....                       | 137 |
| <i>Tabla 52: Ensayo de Proctor adicionando 7% de CAL</i> .....                       | 138 |
| <i>Tabla 53: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 3% de CAL</i> .....              | 140 |
| <i>Tabla 54: Ensayo de Hinchamiento adicionando 3% de CAL</i> .....                  | 140 |
| <i>Tabla 55: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 5% de CAL</i> .....              | 141 |
| <i>Tabla 56: Ensayo de Hinchamiento adicionando 5% de CAL</i> .....                  | 141 |
| <i>Tabla 57: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 7% de CAL</i> .....              | 142 |
| <i>Tabla 58: Ensayo de Hinchamiento adicionando 7% de CAL</i> .....                  | 142 |
| <i>Tabla 59: Carga - Penetracion adicionando 3% de CAL</i> .....                     | 143 |
| <i>Tabla 60: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 3% de CAL</i> ..... | 144 |
| <i>Tabla 61: Carga - Penetracion adicionando 5% de CAL</i> .....                     | 145 |
| <i>Tabla 62: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 5% de CAL</i> ..... | 146 |
| <i>Tabla 63: Carga - Penetracion adicionando 7% de CAL</i> .....                     | 147 |
| <i>Tabla 64: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 7% de CAL</i> ..... | 149 |
| <i>Tabla 65: Ensayo de Proctor adicionando 25% de Ceniza de Carbon</i> .....         | 150 |
| <i>Tabla 66: Ensayo de Proctor adicionando 27% de Ceniza de Carbon</i> .....         | 151 |
| <i>Tabla 67: Ensayo de Proctor adicionando 30% de Ceniza de Carbon</i> .....         | 152 |
| <i>Tabla 68: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 25% de Ceniza de Carbon</i> .... | 154 |
| <i>Tabla 69: Ensayo de Hinchamiento adicionando 25% de Ceniza de Carbon</i> .....    | 154 |
| <i>Tabla 70: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 27% de Ceniza de Carbon</i> .... | 155 |
| <i>Tabla 71: Ensayo de Hinchamiento adicionando 27% de Ceniza de Carbon</i> .....    | 155 |
| <i>Tabla 72: Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 30% de Ceniza de Carbon</i> .... | 156 |
| <i>Tabla 73: Ensayo de Hinchamiento adicionando 30% de Ceniza de Carbon</i> .....    | 157 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Tabla 74: Carga - Penetracion adicionando 25% de Ceniza de Carbon .....</i>                     | <i>157</i> |
| <i>Tabla 75: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 25% de Ceniza de Carbon .....</i> | <i>158</i> |
| <i>Tabla 76: Carga - Penetracion adicionando 27% de Ceniza de Carbon .....</i>                     | <i>159</i> |
| <i>Tabla 77: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 27% de Ceniza de Carbon .....</i> | <i>161</i> |
| <i>Tabla 78: Carga - Penetracion adicionando 30% de Ceniza de Carbon .....</i>                     | <i>162</i> |
| <i>Tabla 79: Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 30% de Ceniza de Carbon .....</i> | <i>163</i> |
| <i>Tabla 80: Resumen Proctor de calicatas.....</i>   | <i>165</i> |
| <i>Tabla 81: Resumen Proctor con adicion de cal .....</i>  | <i>165</i> |
| <i>Tabla 82: Resumen Proctor con adicion de Ceniza de Carbon. ....</i>                             | <i>165</i> |
| <i>Tabla 83: Resumen CBR con adicion de Cal .....</i>  | <i>165</i> |
| <i>Tabla 84: Resumen CBR con adicion de Ceniza de Carbon. ....</i>                                 | <i>166</i> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura. 1: Cal Usada en carreteras</i> .....  | 39 |
| <i>Figura. 2: Suelos Expansivos.</i> .....   | 41 |
| <i>Figura. 3: Unidad estructural tetraédrica (SiO<sub>4</sub>)</i> .....                 | 42 |
| <i>Figura. 4: Octaedro Unidad estructural</i> .....                                      | 42 |
| <i>Figura. 5: Serie de tamices según norma ASTM D422.</i> .....                          | 47 |
| <i>Figura. 6: Los cuatro estados de consistencia de los granos finos.</i> .....          | 48 |
| <i>Figura. 7: Cambio de volumen asociado con variación de humedad en arcillas.</i> ..... | 49 |
| <i>Figura. 8: Copa de Casagrande.</i> .....  | 50 |
| <i>Figura. 9: Sección de moldes para Proctor.</i> .....                                  | 51 |
| <i>Figura. 10: Curva de compactación.</i> .....  | 51 |
| <i>Figura. 11: Pruebas CBR</i> .....   | 55 |
| <i>Figura. 12: Sección de equipos para CBR.</i> .....                                    | 56 |
| <i>Figura. 14: Variables de estudio</i> .....  | 66 |
| <i>Figura. 15: Flujograma de procedimiento seguido en la investigación</i> .....         | 69 |
| <i>Figura. 16: Ubicación de la calle Ucrania</i> .....                                   | 70 |
| <i>Figura. 17: Elaboración de Calicatas y extracción de material.</i> .....              | 71 |
| <i>Figura. 18: Calicata 2</i> .....  | 72 |
| <i>Figura. 19: Calicata 3</i> .....  | 72 |
| <i>Figura. 20: Ubicación del Laboratorio de suelos - UPN</i> .....                       | 73 |
| <i>Figura. 21: Ensayos realizados de las muestras de suelo.</i> .....                    | 75 |
| <i>Figura. 22 : Análisis granulométrico por lavado C2-E1</i> .....                       | 77 |
| <i>Figura. 23: Análisis granulométrico por seco C3-E1</i> .....                          | 78 |
| <i>Figura. 24: imite Liquido de la C2-E1</i> .....                                       | 80 |
| <i>Figura. 25: Limite Platico de la C2-E1</i> .....                                      | 80 |

|   |            |
|---|------------|
| <i>Figura. 26: Limite Liquido de la C1 .....</i>  | <i>81</i>  |
| <i>Figura. 27: Limite Plástico .....</i>  | <i>81</i>  |
| <i>Figura. 28: Tamizado del material de la C1-1 por la malla n°4 .....</i>                    | <i>82</i>  |
| <i>Figura. 29: Preparación de la muestra para el ensayo CBR.....</i>                          | <i>88</i>  |
| <i>Figura. 30: Ensayo de Hinchamiento.....</i>  | <i>90</i>  |
| <i>Figura. 31: Ensayo de Penetración.....</i>   | <i>91</i>  |
| <i>Figura. 32: Obtención de la ceniza de Carbón.....</i>                                      | <i>92</i>  |
| <i>Figura. 33: Cal empleada en los ensayos. ....</i>  | <i>92</i>  |
| <i>Figura. 34 : Limites de consistencia adicionando cal con porcentajes de 3,5 y 7%.....</i>  | <i>93</i>  |
| <i>Figura. 35: Preparación del material con cal para Proctor .....</i>                        | <i>93</i>  |
| <i>Figura. 36: Ensayo de Proctor con Cal .....</i>  | <i>93</i>  |
| <i>Figura. 37: Ensayo de CBR con cal.....</i>   | <i>94</i>  |
| <i>Figura. 38: Ensayo de penetración.....</i>   | <i>94</i>  |
| <i>Figura. 39: Ensayo de hinchamiento con 3% cal .....</i>                                    | <i>95</i>  |
| <i>Figura. 40: Ensayo de penetración con cal .....</i>  | <i>95</i>  |
| <i>Figura. 41: Ensayo de limites de consistencia con la ceniza de carbon 25,27 y 30%.....</i> | <i>96</i>  |
| <i>Figura. 42: Ensayo del limite plasticidad .....</i>  | <i>96</i>  |
| <i>Figura. 43: Preparación de la ceniza para el ensayo de Proctor.....</i>                    | <i>97</i>  |
| <i>Figura. 44: Ensayo de Proctor con ceniza de Carbon.....</i>                                | <i>97</i>  |
| <i>Figura. 45: Ensayo de CBR con ceniza de Carbón.....</i>                                    | <i>98</i>  |
| <i>Figura. 46: Preparación del material para el CBR.....</i>                                  | <i>98</i>  |
| <i>Figura. 47: Compactación del material.....</i>   | <i>99</i>  |
| <i>Figura. 48: Ensayo de hinchamiento con cenizas de carbón.....</i>                          | <i>99</i>  |
| <i>Figura. 49: Ensayo de penetración con cenizas de carbón .....</i>                          | <i>100</i> |
| <i>Figura. 50: Limite Liquido del suelo, Calicata 1 .....</i>                                 | <i>106</i> |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura. 51: Limite Liquido del suelo, Calicata 2-E1</i> .....                  | 107 |
| <i>Figura. 52: Limite Liquido del suelo, Calicata 2-E2</i> .....                  | 107 |
| <i>Figura. 53: Limite Liquido del suelo, Calicata 3</i> .....                     | 108 |
| <i>Figura. 54: Analisis Granulometrico en seco Calicata 2</i> .....               | 109 |
| <i>Figura. 55: Analisis Granulometrico en seco Calicata 3</i> .....               | 110 |
| <i>Figura. 56: Analisis Granulometrico por lavado Calicata 1</i> .....            | 111 |
| <i>Figura. 57: Analisis Granulometrico por lavado Calicata 2 – E1</i> .....       | 113 |
| <i>Figura. 58: Analisis Granulometrico por lavado Calicata 2 – E2</i> .....       | 114 |
| <i>Figura. 59: Analisis Granulometrico por lavado Calicata 3</i> .....            | 115 |
| <i>Figura. 60: Perfil estratigráfico</i> .....                                    | 115 |
| <i>Figura. 61: Clasificacion método de SUCS</i> .....                             | 116 |
| <i>Figura. 62: Grafico de densidades vs Humedades C1-E1</i> .....                 | 121 |
| <i>Figura. 63: Grafico de densidades vs Humedades C2-E1</i> .....                 | 123 |
| <i>Figura. 64: Grafico de densidades vs Humedades C3</i> .....                    | 124 |
| <i>Figura. 65: Curva Esfuerzo-Penetracion C1</i> .....                            | 129 |
| <i>Figura. 66: Curva CBR-Densidad Seca C1</i> .....                               | 131 |
| <i>Figura. 67: Curva Esfuerzo-Penetracion C2-E1</i> .....                         | 132 |
| <i>Figura. 68: Curva CBR-Densidad Seca C2-E1</i> .....                            | 133 |
| <i>Figura. 69: Curva Esfuerzo-Penetracion C3</i> .....                            | 134 |
| <i>Figura. 70: Curva CBR-Densidad Seca C3</i> .....                               | 135 |
| <i>Figura. 71: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 3% de CAL</i> ..... | 137 |
| <i>Figura. 72: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 5% de CAL</i> ..... | 138 |
| <i>Figura. 73: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 7% de CAL</i> ..... | 139 |
| <i>Figura. 74: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 3% de CAL</i> .....         | 144 |
| <i>Figura. 75: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 3% de CAL</i> .....            | 144 |

*Figura. 76: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 5% de CAL. .... 146*

*Figura. 77: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 5% de CAL..... 147*

*Figura. 78: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 7% de CAL ..... 148*

*Figura. 79: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 7% de CAL..... 149*

*Figura.80: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 25% de Ceniza de Carbon. 151*

*Figura. 81: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 27% de Ceniza de Carbon. .... 152*

*Figura. 82: Grafico de densidades vs Humedades adicionando 30% de Ceniza de Carbon. .... 153*

*Figura. 83: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 25% de Ceniza de Carbon..... 158*

*Figura. 84: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 25% de Ceniza de Carbon..... 159*

*Figura. 85: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 27% de Ceniza de Carbon..... 160*

*Figura. 86: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 27% de Ceniza de Carbon..... 161*

*Figura. 87: Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 30% de Ceniza de Carbon..... 163*

*Figura. 88: Curva CBR-Densidad Seca adicionando 30% de Ceniza de Carbon..... 164*

*Figura. 89: Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR de todas las Calicatas. ....202*

*Figura. 90: Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR con la adiccion de Ceniza de Carbon.....202*

*Figura. 91: Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR con la adiccion de Cal. ....202*

*Figura. 92: Grafica comparativa de los ensayos de CBR con la adiccion de Ceniza de Carbon. ....203*

*Figura. 93: Grafica comparativa de los ensayos de CBR con la adiccion de Cal.....203*

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <i>Ecuación 1</i> .....   | 44 |
| <i>Ecuación 2</i> .....   | 44 |
| <i>Ecuación 3</i> .....   | 45 |
| <i>Ecuación 4</i> .....   | 46 |
| <i>Ecuación 5</i> .....   | 55 |
| <i>Ecuación 6.</i> .....  | 76 |
| <i>Ecuación 7.</i> .....  | 77 |
| <i>Ecuación 8.</i> .....  | 82 |
| <i>Ecuación 9.</i> .....  | 84 |
| <i>Ecuación 10.</i> ..... | 88 |
| <i>Ecuación 11.</i> ..... | 89 |



## RESUMEN

Esta investigación tiene como **objetivo principal** analizar la influencia de la adición de cenizas de carbón vegetal de algarrobo vs la adición de cal. La población considerada fue la Ucrania de la urbanización la Molina, tomando como **muestra** 3 calicatas ubicados en puntos estratégicos de la calle cerca del río Mashcón (C3), en el centro (C2) y al final de la calle (C1). Se utilizó la **metodología** aplicada para los ensayos realizados en laboratorio (contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, peso específico, Proctor modificado y CBR) y poder elegir la muestra patrón.

Según la clasificación SUCS Y AASHTO, C1 y C2 se categorizaron como suelos arcillosos de - alta plasticidad (CH)-A-7-6, mientras que C3 compuesta por arenas finas limosas o arcillosas (ML)-A-2-4.

Los valores de CBR para C1, C2 y C3 fueron 1.30%, 2.5%, y 9.2%, respectivamente, a un 95% de densidad máxima seca (Dms). Se eligió C1 como muestra patrón y poder ser analizada mediante diseño experimental con los ensayos de límites de consistencia, Proctor modificado y CBR por tener la menor resistencia en la subrasante.

Con adiciones de cal al 3%, 5% y 7%, aumento progresivamente el CBR, alcanzando valores de 1.95%, 4.2%, y 5.2% al 95% de Dms, con Dms variando entre 1.49 g/cm<sup>3</sup>, 1.50 g/cm<sup>3</sup> y 1.52 g/cm<sup>3</sup>, y humedades óptimas de 25.50%, 23.40%, y 21.60%.

Con adiciones de ceniza de carbón al (25%, 27%, 30%), se alcanzó valores de CBR de (1.5%, 2.6%, 3.7%), con densidades (Dms) al 95% de 1.50, 1.53, y 1.62 g/cm<sup>3</sup> y con humedades óptimas de 24.80%, 22%, y 15.80%.

Se **concluyó** que el CBR aumentó con la adición de cal, alcanzando el 5.2%, y con la ceniza de carbón, llegando al 3.7% al 95% de la dms no llegaron a estabilizar el suelo, pero si mejoraron su resistencia pasando de un suelo muy malo a regular.

Las **recomendaciones** finales son realizar más investigaciones con el fin de estabilizar la subrasante de la calle Ucrania

**PALABRAS CLAVES:** Subrasantes, cenizas de carbón, cal, resistencia de las subrasantes.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Las vías de comunicación son fundamentales para el desarrollo de las comunidades y reflejan la identidad de los pueblos a lo largo de la historia. La construcción de caminos ha influido en migraciones, poblamiento y colonización. (Molina et al, 2023).

En el ámbito de la infraestructura vial, la calidad de la subrasante, compuesta por diferentes tipos de suelos, es de gran importancia para el adecuado funcionamiento de las carreteras. Por ello, se han realizado investigaciones en todo el mundo para mejorar las características geomecánicas de los suelos de fundación. Un ejemplo de esto es un estudio realizado en la India por Zafar et al (2023), que se enfoca en las arcillas expansivas, que son suelos con cambios de volumen que pueden provocar daños en las estructuras debido a variaciones estacionales de humedad.

El sistema vial peruano se divide en tres niveles: la Red Vial Nacional a cargo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (27,109 km), la Red Vial Departamental bajo responsabilidad de los Gobiernos regionales (27,505 km) y la Red Vial Vecinal a cargo de los Gobiernos municipales (113,857 km). Hubo notables avances en la calidad de carreteras pavimentadas en la Red Vial Nacional, aumentando del 59.9% en 2012 al 79.1% en 2018. Sin embargo, la situación es más preocupante en la red departamental, que solo tenía un 13.2% de vías pavimentadas en 2018.

En cuanto al mantenimiento de vías, el gasto en vías nacionales aumentó en un 26.9% respecto al año anterior, alcanzando el 95.7% del presupuesto asignado. Sin embargo, el gasto en mantenimiento de vías departamentales disminuyó un 44.3% en comparación con 2018,

llegando al 72.4% del PIM. Esta situación evidencia un descuido en el mantenimiento de la infraestructura vial departamental por parte de los Gobiernos subnacionales.

Según el informe del Centro de Investigación Empresarial (CIE), el 86.6% de las carreteras regionales o departamentales en Perú están sin pavimentar y en mal estado. Estas vías a menudo se construyen sobre suelos de baja capacidad portante, lo que las hace inestables.

En la ciudad de Cajamarca y el distrito de los Baños del Inca, predominan suelos sedimentarios y depósitos aluviales compuestos por limos y arcillas, que tienen una baja capacidad de soporte. Esto genera problemas en las estructuras de los pavimentos construidos, lo que implica la necesidad de mejorar la calidad de estos suelos mediante técnicas de estabilización.

La presente investigación se realizara en la calle Ucrania de la urbanización la Molina, del distrito de Baños del Inca del Departamento de Cajamarca con coordenadas al inicio de la calle 774582.85E , 9210234.25N y al final de la calle 774571.81E , 9210332.67N, la cual presenta un suelo arcilloso con baja capacidad de soporte, que es un problema a nivel de subrasante, ya que en el proceso de expansión se debe a la absorción de agua produciendo un aumento de volumen y relajación de los esfuerzos, con un posible colapso. Para resolver esta problemática, la normativa peruana sugiere diversas técnicas para mejorar la calidad del suelo, como el uso de productos químicos no tóxicos o materiales como cal, cemento o escoria, que brindan una mejor capacidad de soporte a estos suelos. Estas técnicas incluyen la estabilización con cal, la estabilización con cemento, la estabilización con escoria, la mejora con agregados como arena o grava, la estabilización con polímeros, la compactación controlada, la mejora con geosintéticos como geotextiles y geomallas, la mejora con columnas de grava o geotubos, técnicas de drenaje para mejorar el drenaje del suelo, técnicas de compactación dinámica que

involucran la vibración o impacto para aumentar la densidad del suelo. Es fundamental seleccionar la técnica adecuada según las características específicas del suelo y las necesidades del proyecto, siempre bajo la orientación de profesionales en ingeniería geotécnica y de acuerdo con la normativa vigente. Por esta razón la presente investigación tiene como objetivo determinar la resistencia de la subrasante de la Calle Ucrania, al estabilizarlo con cenizas de carbón al 25, 27 y 30% y cal en porcentajes de y 3,5 y 7%, del cual mejorara la resistencia de la subrasante conformados por suelos arcillosos de alta plasticidad.

## 1.2. Antecedentes

En la actualidad, se ha llevado a cabo numerosos estudios e investigaciones con el propósito de mejorar la resistencia de las capas inferiores de una carretera o subrasantes mediante la adición de diferentes materiales. En este caso particular, se ha explorado el uso de cenizas de carbón y cal. Para recopilar información relevante y determinar la viabilidad de la investigación, se ha realizado una revisión exhaustiva de **antecedentes** como son artículos científicos, revistas, libros y tesis que abordan específicamente la influencia de estos materiales agregados ligeros en la calidad y mejoramiento de las subrasantes.

### **Antecedentes Internacionales:**

(Gonzales, 2014) en su trabajo de investigación “**Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal - ceniza volante**” realizó este estudio en Guatemala, donde tuvo como objetivo observar el empleo de la cogeneración con carbón mineral por algunas empresas, lo que produce residuos de ceniza. Estos residuos se dividen en dos categorías: ceniza de fondo y ceniza volante, las muestras que se utilizaron fueron: Limo de alta plasticidad, color café oscuro 100 %, Mezcla: limo 80 % - cal 3 % - ceniza volante 17 %, Mezcla: limo 80 % - cal 5 % - ceniza volante 15 %, Al reconocer que la ceniza volante puede

actuar como una puzolana artificial, surgió la idea de explorar la estabilización de suelos cohesivos utilizando ceniza volante y cal. Para abordar esta posibilidad, se recolectaron muestras de suelo cohesivo, ceniza volante y cal, que posteriormente fueron sometidas a una serie de ensayos en el laboratorio de Mecánica de Suelos. En este proceso experimental se llevaron a cabo varios tipos de ensayos, entre ellos los Límites de Atterberg, Próctor, Valor de Soporte California (CBR), Granulometría, Gravedad Específica, Corte Directo, Triaxial y Permeabilidad. Las muestras de suelo se dividieron en dos mezclas: una compuesta por limo en un 80%, cal en un 3% y ceniza volante en un 17%, y la otra mezcla con limo en un 80%, cal en un 5% y ceniza volante en un 15%. En cuanto a los resultados de estos ensayos tenemos que, La aplicación innovadora de cal y ceniza volante en la construcción de carreteras en Guatemala mejora el número estructural de diseño. Los ensayos demostraron que una mezcla con un 80% de suelo, 5% de cal y 15% de ceniza volante proporciona el mejor valor de soporte normal. Sin embargo, la estabilización con cal y ceniza volante disminuye la resistencia a corte en suelos plásticos debido a la pérdida de propiedades cohesivas. Aunque no afecta significativamente la permeabilidad, esta técnica puede mejorar el valor inicial de CBR hasta cuatro veces a un 95 por ciento, lo que demuestra su eficacia en la estabilización de suelos cohesivos, se llegó a las siguientes conclusiones: La combinación de cal y ceniza volante mostró ser factible para estabilizar suelos cohesivos. Esta aplicación innovadora en la construcción de carreteras en Guatemala puede tener un impacto positivo en el diseño estructural de pavimentos, mejorando su capacidad de carga. El valor de soporte normal del suelo se vio favorecido en la muestra que contenía un 80% de limo, un 5% de cal y un 15% de ceniza volante, obteniendo un mejor rendimiento. La estabilización con cal y ceniza volante resultó en una disminución de la resistencia a corte en suelos plásticos, debido a la pérdida de propiedades cohesivas. No se

observaron cambios significativos en la permeabilidad del suelo después de la estabilización con cal y ceniza volante.

(Pérez & Cañar), 2017) en su proyecto experimental **“Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”**. Tuvo como objetivo la estabilización de dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de un aditivo como es el caso de cenizas de carbón y la evaluación de la capacidad de soporte y la resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio, en donde identifica cuál de los dos suelos responde de mejor manera a este tipo de estabilización para su uso como sub rasante y evaluar los efectos de humedad sobre la resistencia de las mezclas para el uso de una sub-rasante, El tipo de investigación de acuerdo al propósito es aplicado y también es experimental. Se siguió una metodología paso a paso, donde primero realizó un reconocimiento visual para conocer la ubicación y la extracción de los suelos pertenecientes a los cantones de Ambato y Puyo, todas las muestras que se analizaron fueron obtenidas directamente del sitio, el suelo arenoso fino se obtuvo de la calle Venezuela pertenecientes al Barrio Venezuela de la Parroquia Santa Rosa de la Ciudad de Ambato, una vez identificada su ubicación procedió a la recolección de muestras para la realización de ensayos como: granulometría y límites de Atterberg para la identificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Para determinar la capacidad de soporte (CBR) de cada suelo, luego procedió mediante el ensayo de compactación o Próctor Modificado el cual dió como resultado la densidad máxima seca y la humedad óptima para luego realizar el ensayo CBR, el mismo procedimiento realizó para las combinaciones en tres porcentajes de 20, 23 y 25% de cenizas de carbón. Para determinar la resistencia al corte ejecutó el ensayo de compresión no confinada en los suelos conocidos como cangahua y arcilla de alta plasticidad. El análisis comparativo se refiere a una evaluación de propiedades como la

humedad, plasticidad, resistencia CBR y resistencia al corte de forma estadística entre los dos suelos y sus diferentes combinaciones respectivamente, analizando detalladamente las ventajas y desventajas de la utilización de cenizas de carbón para mejorar las propiedades naturales y su uso como una sub-rasante, los resultados obtenidos de los ensayos CBR muestran que la combinación de arcillas con un 25% de cenizas de carbón, mejora la resistencia del suelo arcilloso del 9,10% al 11.20%. Aunque esta mejora es notable, no es suficiente para considerar el suelo como apto para ser utilizado como material de sub-rasante, Por otro lado, los ensayos CBR en suelos arenosos finos muestran un incremento del 4.6% en la resistencia al combinarlos con un 25% de cenizas de carbón, elevando la resistencia desde el 15.0% al 19.60%. Esto sugiere que este tipo de suelo mejorado podría ser adecuado para su uso como sub-rasante, finalmente concluyo que La adición de las cenizas de carbón influye favorablemente en suelos expansivos como es el caso de la arcilla, formando una masa compacta y aumentando el grado de compactación y por lo tanto mejora su CBR y la resistencia al corte.

Tambien se tiene que (Ospina-García, 2020) en la publicacion titulada **“Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero”** publicado en la Revista Investig. Desarro. Innov. vol.11, de colombia, una investigacion de tipo experimental, donde para lograr su objetivo principal primero se evalúa el comportamiento de mezclas de suelo arcilloso mediante la adición de escoria de acero, comparando con los criterios de calidad para ser una subrasante vial. El comportamiento de la mezcla de escoria de acería con arcilla caolinita, se estableció con una matriz de dosificación de aumento gradual, en porcentajes de: 25, 50 y 75%, a través del tamiz N°4. Los resultados indican que la escoria de acería funciona en materiales cohesivos, reduciendo la plasticidad hasta un 0%, y aumentando el valor del California Bearing Ratio, CBR, en un 378.92%. Se concluye que la escoria de acero, es un excelente complemento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de

arcilla caolinita. En una primera aproximación, la dosificación más recomendada es de un 25%, debido a que la disminución en la resistencia a la compresión e índice de plasticidad no fue tan alta como en las otras dosificaciones, pero si aumenta el índice CBR y la densidad.

El artículo **“Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados”** (Serrano Rodríguez & Padilla González, 2019) es una investigación aplicada-experimental, donde se utiliza materiales poliméricos reciclados en diferentes porcentajes en relación con el peso del suelo”, la problemática aborda la identificación de las variaciones en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos, tuvo como objetivo: recopilar las principales investigaciones sobre las modificaciones de las propiedades de subrasante por medio de adición de fibras naturales y sintéticas, con el fin de tener una base teórica que justifique la aplicación de estas adiciones a nivel constructivo, obteniendo como resultado: el 65 % de las investigaciones encontradas corresponde a estudios sobre las modificaciones de la resistencia a la compresión; el 30 % de ellas están dirigidas a estudios enfocados a estudiar la respuesta de los esfuerzos de tracción cuando son fibras poliméricas; y el otro 5 % evalúa propiedades como la fatiga o resistencia a la tensión axial, llegando a las conclusiones: se apunta un aumento considerable en la resistencia de compresión, que varía según el tipo o material a mezclar con el suelo y cemento.

#### **Antecedentes Nacionales:**

En el ámbito Nacional tenemos que (Perez y Hayro, 2019) en su investigación titulada **“Uso de las cenizas volantes de carbón para mejorar la sub-rasante en la Avenida San Josemaría Escrivá de Balaguer [Progresiva: 2+880 – 3+880], Piura - Piura - Piura, 2018”** realizaron un diseño experimental, de tipo aplicado de laboratorio con un enfoque cuantitativo,



que tuvo como objetivo principal determinar la influencia de las propiedades físicas, mecánicas y químicas usando cenizas volantes de carbón y cemento portland, tuvo como objetivos usar las cenizas volantes de carbón para mejorar la sub-rasante. Para ello siguieron la metodología siguiente: calcularon la proporción de cenizas volantes de carbón para mejorar la sub-rasante, también determinaron la influencia del uso de las cenizas volantes de carbón en las propiedades físicas, mecánicas y químicas en la mejora de la sub-rasante y obtener la resistencia del California Bearing Ratio (CBR) con el uso de cenizas volantes de carbón en la mejora de la sub-rasante. La muestra consistió en la realización de cuatro calicatas de 1.50 mts con progresivas (2+880 – 3+22 – 3+540 – 3+88) en la zona de estudio. Para este proyecto se consideró la muestra 2 – calicata 3. Los resultados mas importantes son: La relación densidad / humedad (proctor estándar) obtuvo una densidad máxima seca de 1.932 gr/cm<sup>3</sup> en relación al contenido de humedad óptimo de 11.65%. Para el ensayo California Bearing Ratio se tomó por ser el más bajo el resultado al valor del C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.1" igual a 1.69% de categoría sub-rasante inadecuada. Adicionándole a la nuestra muestra natural 2% de cemento + 15% de cenizas volantes de carbón para el mejoramiento de nuestra sub-rasante. La relación densidad / humedad cambio con el diseño de mezcla dando una densidad máxima seca de 1.840 gr/cm<sup>3</sup> en relación al contenido de humedad óptima de 14.61%. Y en el resultado del valor del C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.1" aumento hasta 21.5% pasando a una sub-rasante muy buena. Concluyó que los estudios de mecánicas de suelos realizados en nuestro tramo de estudio fueron desfavorables considerándolos suelos inestables debido a que en sus propiedades físicas y mecánicas se obtuvieron los siguientes resultados: según la clasificación SUCS obtuvimos CL (arcillas), en el ensayo del contenido de humedad se obtuvo un 14% de agua, y en los resultado de los límites líquido y plástico resulto con un Índice de Plasticidad media de 12%, en los ensayos de CBR se obtuvieron resultados menores del 3%, siendo el valor del CBR al 95% de

la MDS al 0.1” de 1.6 siendo el más bajo. En sus propiedades químicas el contenido de sales, cloruros y sulfatos fueron muy altos. Requiriendo un mejoramiento en todas sus propiedades. En los ensayos químicos que se realizaron con la muestra extraída de nuestra zona de estudio se procedió a analizarla por cloruros (CL) 0.06%, Sulfatos (SO<sub>4</sub>-2) 0.015% y solubles (S,S) 0.087%, cuyos valores son aceptables y cumplen con las normas técnicas según American Society for Testing and Materials (ASTM D - 512 cloruros, D - 512 sulfatos, D - 219). Después de haber realizado varios pilotos de diseño con diferentes proporciones de ceniza en su mezcla con cemento y muestra In-Situ se escogió el quinto piloto de diseño siendo este el que mayor porcentaje de cenizas se agregó en un 15% mejorando considerablemente sus propiedades. Por lo tanto nuestro diseño de mezcla es de 2% de cemento portland tipo IV + 15% de cenizas volantes + 83% de muestra in-situ. La influencia del diseño de este proyecto de investigación adicionándole en la mezcla de diseño las proporciones de cemento 2% y cenizas 15% se determinó que las cenizas volantes de carbón contienen un mayor contenido de propiedades químicas, obteniendo en cloruros (CL) 0.18%, Sulfatos (SO<sub>4</sub>-2) 0.028% y solubles (S,S) 0.57)%. También se observa que en la densidad máxima seca en relación con la humedad optima en el ensayo proctor estándar que mientras más contenido de agua menor será la MDS, así se observa que en la muestra natural la MDS es de 1.932 gr/cm<sup>3</sup> y el OCH es de 11.7%, y en el diseño de mezcla con 2% de cemento y 15% de cenizas volantes de carbón la MDS disminuye a 1.840 gr/cm<sup>3</sup> y en su contenido de humedad aumenta a 14.6% debido a que el cemento y la cenizas volantes de carbón absorben más cantidad de agua. Las cenizas volantes de carbón influyen como aditivo en las propiedades expansivas y cohesión de las arcillas reduciendo su índice de plasticidad, aumentando también la resistencia de su valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. al 0.1” en un 19.9%. El valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. al 0.1” aumento

favorablemente de 1.6% a 64 21.5% considerándola una sub-rasante muy buena con una proporción de 15% de cenizas volantes de carbón + 2% de cemento.

En la revista encontramos la investigación titulada **“Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú”** (Mamani Gonzalo et al., 2023) Esta investigación, de tipo aplicada con diseño experimental puro y enfoque cuantitativo, se enfocó en evaluar la efectividad de la combinación de ceniza de quinua y cal en la estabilización de suelos de la carretera Lago Sagrado en Puno, Perú. Los objetivos principales fueron determinar cómo estas adiciones afectan las propiedades físicas y mecánicas del suelo con el propósito de mejorar la capacidad de soporte y resistencia de la carretera adicionando a la muestra patrón 5% CQ+5% C, 7% CQ+5% C, 9% CQ+5% C. En la metodología, se llevó a cabo el reconocimiento del lugar mediante calicatas en zonas críticas de la carretera, seguido de ensayos de laboratorio que incluyeron análisis granulométrico, determinación de límites de plasticidad, ensayo Proctor Modificado para la máxima densidad seca y ensayo de California Bering Ratio (CBR). Se emplearon distintas proporciones de ceniza de quinua y cal, basadas en estudios anteriores, para evaluar su impacto en las propiedades del suelo. Según la clasificación Sucs se tiene un suelo CL (suelo arcilloso inorgánico de baja plasticidad) y según el sistema AASHTO, se encuentra en el grupo A- 6 -7. Los resultados muestran una mejora en las características de los suelos cohesivos adicionando ceniza de quinua y cal. Con adición de 9 % de ceniza de quinua y 5 % de cal, se obtuvo una pequeña variación del límite líquido, del límite plástico y el índice de plasticidad en comparación con el suelo de fundación. En el caso de la densidad seca y el contenido de humedad tras el mismo análisis, se obtuvo una disminución del óptimo contenido de humedad al 9 % y un aumento de la densidad seca al 1,902 g/cm<sup>3</sup>. El CBR aumentó alcanzando valores de 32,0 % al 100 % la densidad seca y al 95 % la densidad seca, mostró un valor de 25,6 %. Los resultados demostraron que la adición de ceniza de quinua y

cal modificó la granulometría del suelo, transformándolo de arcilloso a una arena arcillosa clasificándose según SUCS de tipo SC y con el sistema de clasificación AASHTO en el grupo A-6-3 y A-4-3 . Hubo una reducción en los límites líquido, plástico e índice de plasticidad con mayores porcentajes de adición. La densidad máxima seca aumentó, y la humedad óptima disminuyó con la adición de estos materiales. En el ensayo de CBR, se observó un aumento significativo en la capacidad de soporte, alcanzando valores de hasta el 32,0%. Se concluye que existe una mejora de las propiedades mecánicas del suelo con la adición de ceniza de quinua y cal.

(Cubas Benavides et al., 2016) en la investigación **“Evaluación De Las Cenizas De Carbón Para La Estabilización De Suelos Mediante Activación Alcalina Y Aplicación En Carreteras No Pavimentadas”** tuvo como objetivo evaluar las cenizas de carbón proveniente de ladrilleras lambayecanas mediante activación alcalina como estabilizante de suelos en carreteras no pavimentadas, la investigación fue de tipo Experimental. La primera muestra obtenida debe estar conformada por Arena Pobrementemente Gradada, siendo el material granular, cuyo porcentaje que pasa la Malla No. 200 es menor al 5 %. La segunda muestra debe estar conformada por Arenas arcillosas de alta plasticidad. La metodología consistió en una serie de ensayos de laboratorio donde se determinó primero que el Suelo es fino. El límite líquido es mayor al 50 %. El porcentaje que pasa la Malla No. 200 es mayor al 50 %. El porcentaje que pasa la Malla No. 4 es mayor al 50 %. Presento y analizo efectos logrados con los ensayos Proctor estándar y deformaciones unitarias de suelos de Pimentel y Lambayeque. Las muestras obtenidas por la elaboración de calicatas fueron adicionadas con ceniza de carbón en porcentajes de 7%, 14% y 21%, fallados y curados en diferentes tipos de ambiente y por 7 días. Mediante el software de análisis estadístico Minitab se comprobaron los efectos para asemejar los factores que más influyen sobre la variable de respuesta en cada uno de las muestras obtenidas por cada

punto señalado. Se efectuó un balance entre los resultados obtenidos por los diferentes tipos de suelo y las dosis de ceniza de carbón manejadas en el estudio, además del predominio del hidróxido de sodio como activador alcalino. Concluyo que las cenizas de carbón mediante activación alcalina mejoran la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas, por lo tanto, es recomendable utilizar las cenizas de carbón muestra 2 en suelos con características SP-SC.

(Medina Ñañez Juan Pablo Junior & Villar Tapia Wilson Gian Pieer, 2022) en la investigación **“Estabilización de subrasante incorporando cal y ceniza de carbón en el C.P. de Conache, Distrito de Laredo – Trujillo – La Libertad”**: tuvo como objetivo: Determinar el efecto de cal y ceniza de carbón, en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable del C.P. de Conache en el distrito de laredo, La Libertad, Se empleó el diseño de investigación experimental, tiene como variable independiente cal y cenizas de carbón. La población está considerada los 4.26 km.Las muestras obtenidas por la elaboración de calicatas fueron adicionadas con ceniza de carbón en porcentajes de 3%, 5% y 8% y con cal en porcentajes 2%, 4% y 7% .El instrumento usado es por medio de fichas de control guiado según el Manual de Carreteras (suelos geología, geotecnia y pavimentos), así mismo se hizo el cuestionamiento de esta tesis: ¿Cómo afecta la aplicación de cal y cenizas de carbón, en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable en el C.P. de Conache, del distrito de Laredo, La Libertad? Dicha trocha carrozable desde el C.P. de Conache, hay muchas deficiencias ya que no cuenta con carpeta asfáltica y además posee un suelo muy arcilloso con estrato limoso, perjudicando de gran medida la transitabilidad vehicular, generando polvo y perjudicando la salud de las personas, debido que está muy cerca de las zonas agrícolas. Para poder determinar los efectos de la cal y ceniza de carbón se realizó la siguiente metodología iniciando por la clasificación del estudio de suelo, también se realizó el ensayo de proctor modificado y CBR. Y finalmente

el ensayo de rayos X para determinar las composiciones químicas de la cal y la ceniza de carbón. Los resultados mas importantes fueron que el valor mayor del CBR al 100% del suelo de fundación es de 4.9% perteneciente a la C-03. Así mismo, el valor mayor del CBR al 95% es de 36% y el CBR al 100% es de 38% cuando se añadió el 5% (ceniza de carbón). Y hay una gran variedad cuando se añadió el 4% de (cal) porque aumento el CBR al 95% a un 42% y también el CBR al 100% con un 44%. En conclusión, los resultados revelan que la incorporación del 5% de ceniza de carbón y el 4% de cal contribuyen significativamente al aumento de la resistencia de la subrasante, con valores de CBR al 95% de 36% y 42%, respectivamente. Estos hallazgos indican un potencial efecto beneficioso en la estabilización de la subrasante en este estudio.

En su tesis de grado (Goñas Labajos, 2019), titulada “ **Estabilización De Suelos Con Cenizas De Carbón Para Uso Como Subrasante Mejorada**”, tuvo como propósito principal de su investigación tipo experimental realizada en la ciudad de Chachapoyas, abordar la problemática de la baja capacidad de soporte de los suelos locales, que los hace inadecuados como subrasante. El estudio se centró en evaluar el efecto de la adición de cenizas de carbón, un subproducto de una industria ladrillera local, en la mejora de las propiedades mecánicas de las muestras de suelo, procediendo metodológicamente primero a recolectar muestras de suelo de las calles Las Lomas (cuadras ocho y nueve) y se realizaron diversos ensayos, incluyendo humedad natural, granulometría, límites de consistencia, compactación proctor estándar y capacidad de soporte (CBR) en suelos en estado natural. La capacidad de Soporte obtenidas sin la adición para las muestras de la C1 y C2 fueron de 2.1 y 2. Para las muestras adicionadas con cenizas de carbón al 15%, 20% y 25%, se llevaron a cabo ensayos de límites de consistencia, compactación proctor estándar y CBR, los resultados mostraron que el aumento de la capacidad de soporte de los suelos estudiados estaba directamente relacionado con el incremento en los

porcentajes de cenizas de carbón añadidos. Sin embargo, ya que los resultados obtenidos fueron valores de CBR de 3.5% y 3.7% para los suelos CH y OH, respectivamente, siguieron sin alcanzar el valor mínimo requerido del 6%, concluyendo así que a pesar de la mejora, los suelos no cumplieron con los estándares establecidos en el manual de carreteras para ser considerados como subrasante mejorada.

### **Antecedentes Locales**

En Cajamarca encontramos que el ingeniero (Jara Anaypoma, 2014) realizó la investigación **“Efecto De La Cal Como Estabilizante De Una Subrasante De Suelo Arcilloso”**: tuvo como objetivos: Evaluar el efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso para ello tuvo que evaluar el efecto de la cal en el límite líquido y límite plástico, del suelo arcilloso también evaluar el efecto de la cal en la densidad seca máxima del suelo arcilloso finalmente evaluar el efecto de la cal en el valor relativo de soporte (CBR) del suelo arcilloso, estos objetivos fueron desarrollados en la investigación de tipo experimental-aplicativa, con ello partiendo del problema de que los suelos arcillosos presentes en una subrasante crean problemas debido a su elevada plasticidad, reducida capacidad de soporte e inestabilidad de volumen en función de la humedad. La muestra de suelo arcilloso de alta plasticidad es proveniente del acceso al centro comercial open plaza con la cual elaboro ensayos adicionándole porcentajes de cal de 0%, 2%, 4% y 6% tal, donde MO, M2, M4, M6 son los nombres dados a las muestras para ensayar con los diferentes porcentajes de cal respectivamente, La metodología empleada fue una serie de análisis de laboratorio donde se observó que el peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados. Los resultados que obtuvo de esta evaluación de estabilización son variaciones muy grandes, en el

índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle caJ al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55. Evaluando los resultados obtenidos, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-5(29), obtuvo mejores resultados con la adición de 4% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48%, se concluyo que estos hallazgos indican que la adición de cal a este suelo específico mejora significativamente su capacidad de soporte y plasticidad, lo que podría ser beneficioso en aplicaciones de ingeniería civil y construcción de carreteras.

También tenemos a (Carranza, 2021) en su tesis de grado titulada: **“Estabilización de suelos incorporando cal y yeso como aglomerantes naturales en el tramo La Capilla - Cedropampa, Cajamarca 2021”** Observo que estabilizar el tramo La Capilla – Cedropampa con la incorporación de aglomerantes naturales de cal y yeso en porcentajes de 2%, 3% y 5 % respectivamente, así mismo tuvo por objetivo general: Estabilizar el suelo incorporando cal y yeso como aglomerantes naturales en el tramo La Capilla - Cedro Pampa, Cajamarca 2021. El tipo de investigación fue aplicada, y de diseño pre- experimental. La población estuvo conformada por el tramo la capilla – cedropampa desde la progresiva 0+000 km a 0+3016 km, así mismo la muestra para la investigación fue representada por la calicata 1 que se encuentra en el km 0+360 y la calicata 2 en el km 2+400, el muestreo fue no probabilístico – intencional ya que se tomó los puntos más críticos del tramo La Capilla – Cedropampa. Concluyo que, de todos los porcentajes aplicados para la estabilización de suelo del tramo La Capilla - Cedropampa, la incorporación del 5% de cal y yeso fue el que mejoro significativamente la capacidad portante (CBR) de un 12.4% a 22.7% C-1 y de 13 a 22% C-2 al 100% Dms, así como también hubo una mejora del índice de plasticidad de 12.3 % a 3.2 % para C-1 y de 15.3% a



5.2% para C-2, en conclusion, estos hallazgos sugieren que la adición de cal y yeso en este porcentaje específico es eficaz para la estabilización del suelo en el tramo La Capilla - Cedropampa, con mejoras notables en la capacidad de soporte y plasticidad.

### 1.3. Definiciones conceptuales.

Ahora se presenta las **definiciones conceptuales** detalladas conforme al problema de investigación, que a su vez sustentan las variables de estudio.

El **Suelo** puede definirse como puede interpretarse de diferentes maneras de acuerdo con los intereses o aplicaciones. Para la ingeniería, el suelo es un sustrato terroso o depósito de partículas minerales no consolidado, un sistema que está formado por múltiples fases: sólida, líquida y gaseosa, sobre el cual se realizan diversas obras de ingeniería (Nortcliff et al., 2011). El suelo se considera como el material de construcción más antiguo, complejo y utilizado por los ingenieros, siendo las propiedades fisicoquímicas y mecánicas, tales como la compresibilidad, resistencia, permeabilidad, estabilidad volumétrica y durabilidad, de gran importancia en la ingeniería, ya que prácticamente todas las estructuras civiles están cimentadas sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Además, el suelo, no solo es un elemento de soporte de las construcciones civiles, sino que provee innumerable materia prima para la fabricación de elementos de mampostería y la construcción de estructuras.

Abordando el concepto de **Estabilización de suelos** podemos decir que es un Proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas del suelo esto según la Norma CE.020, (2002)

Los **métodos de estabilización de suelos** se clasifican en cuatro categorías (Rivera et al., 2020): mecánicos, físicos, químicos y biológicos.

La **estabilización mecánica** implica compactar el suelo estática o dinámicamente para aumentar su densidad y resistencia, reducir su porosidad y permeabilidad. También puede incluir mezclar suelos con diferentes gradaciones para obtener las especificaciones adecuadas. Sus objetivos son mejorar la capacidad de carga, reducir el asentamiento de estructuras, controlar cambios volumétricos indeseables, disminuir la permeabilidad al agua y aumentar la estabilidad de taludes, luego tenemos la **estabilización física** la cual modifica las propiedades del suelo utilizando materiales como geotextiles, geomallas, geomembranas, geocompuestos y geoceldas. Estos materiales aportan nuevas características estructurales al suelo. A su vez la **estabilización química** implica agregar al suelo otros materiales o productos químicos para modificar sus propiedades mediante reacciones físico-químicas o la creación de una matriz aglomerante de partículas del suelo. Algunos autores sugieren combinar métodos mecánicos y químicos para obtener mayor resistencia y durabilidad. Finalmente la **estabilización biológica** utiliza enzimas biológicas que, al incorporarse al suelo, aumentan la aglutinación y compactación de las partículas, generando un proceso de cementación acelerado.

También podemos argumentar que con la estabilización de suelos se puede incrementar la capacidad de soporte del suelo nativo, mejorar la resistencia al corte, aumentar la resistencia al ablandamiento por acción del agua, proporcionar estabilidad volumétrica ya que se minimiza la permeabilidad del agua, disminuir la plasticidad y aumentar el peso unitario de los suelos tratados (Nortcliff et al., 2011). Los procesos de estabilización de suelos más simples que se han implementado son la compactación y el drenaje de suelos; sin embargo, estas dos técnicas en algunos casos no son suficientes para lograr una buena estabilización de los terrenos, por lo que se recurre a la mejora de la gradación del tamaño de las partículas del suelo, siendo uno de los procesos de estabilización de suelos más utilizados, y se puede lograr agregando aglutinantes (Makusa, 2013). La aplicación de aglutinantes se conoce como estabilización química de suelos,

esta metodología utiliza materiales cementantes universales como el cemento Portland y la Cal, aunque también en aplicaciones específicas se han implementado sales como el cloruro de sodio (NaCl) o impermeabilizantes como los productos asfálticos.

Entre los materiales mas utilizados tenemos las Cenizas de Carbón y cal (LIME, 2004), abordando los conceptos de manera unitaria podemos decir que:

**Cenizas de Carbón** (Morales Zuluaga, 2015). Indica a las cenizas de carbón que se pueden fraccionar en cenizas de fondo, cenizas volantes (definidas así por la norma ASTM) y combinados; las cenizas volantes son residuos que se encuentran en el fondo de las calderas y poseen diámetros de partícula mayores a 0.075 mm (retenido malla N°200) característicos del carbón inquemado, este restante es más usado en estudios como material de relleno ya que no posee un alto potencial puzolánico; las cenizas de fondo son residuos que quedan atrapados en los filtros de las calderas y poseen diámetros menores a los 0.075 mm (pasante malla N° 200), este ha demostrado lograr reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, a este producto se le llama geopolímero lo que quiere decir que puede lograr obtener propiedades puzolánicas similares a las del cemento Portland. (Lopez Falcon, 2002), expresa que la combustión del carbón para generar energía eléctrica produce fundamentalmente dos tipos de residuos sólidos: Las cenizas volantes, obtenidas por precipitación electrostática o mecánica del polvo suspendido en los gases de la combustión y las cenizas de hogar o escoria, que caen al fondo por gravedad y que se diferencian de las primeras principalmente por el tamaño de partícula. La producción de cenizas volantes supera a las cenizas de hogar alcanzando valores de hasta un 80% del total de cenizas generadas en una central. Sharma, Swain, & Sahoo, (2012) hablan sobre estudios anteriores han sobrepasado un CBR enorme de 70% con un

contenido de ceniza de carbón de 30% sin emplear ningún activador, aumentando en un 500% el CBR inicial del suelo sin estabilizar (Senol 2006); Terceros estudios han confirmado que el incluido óptimo de cenizas de carbón es del 20% en suelos arcillosos, pasando de una resistencia a la compresión inicial del suelo de 25 kPa y un CBR de 2.06%, se logró mejorar a una resistencia de 63 kPa y a un CBR de 4.03%, por otro lado las imágenes del microscopio electrónico de barrido instruyeron la columna de ajenos compuestos cementosos, como resultado de la reacción puzolánica que se muestra dentro de los espacios porosos.

La disposición segura de la ceniza volante con respecto a la protección de suelos y aguas subterráneas depende del knowhow que se tenga para evaluar el potencial de un tipo dado de ceniza volante para liberar contaminantes tóxicos. La ceniza de carbón (Trezza et al., 2020) **está constituida** de tres tipos de sólidos: i) sólidos estables químicamente al agua ( $\text{SiO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{AlO}$ ), ii) sólidos relativamente solubles en agua (metal- $\text{SO}_4$ , metal- $\text{BO}_3$ ), y iii) óxidos metálicos que reaccionan con el agua ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , etc.). Las cenizas varían de ácido a álcalis, debido a la constitución química de la fuente de carbón.

La ceniza de carbón (CEDEX, 2018) cumple el rol de estabilizante debido a su **importante composición química**, las cuales son es muy variables dependiendo de la composición química de los componentes del carbón. Los porcentajes en los que se presentan los distintos componentes de las cenizas varían sustancialmente de unas a otras. En general poseen los siguientes componentes, en mayor proporción: sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), cal ( $\text{CaO}$ ) y carbón sin quemar; en menor proporción, generalmente menor del 5% en peso: magnesia ( $\text{MgO}$ ), óxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), y, otros constituyentes en cantidades aún más reducidas, como compuestos de titanio, vanadio, manganeso, fósforo, germanio, galio, etc.

Las cenizas volantes **se clasifican** (CEDEX, 2018) en diferentes tipos, atendiendo principalmente a su contenido en cal, y según la norma ASTM C 618-08a, se definen las más importantes, Clase F: producidas por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso, contienen pequeñas cantidades de cal, generalmente inferiores al 15%, y mayor combinación de sílice, aluminio y hierro. Estas cenizas presentan propiedades puzolánicas, Clase C: producidas por la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito, contienen una mayor cantidad de cal, generalmente entre 15% y 30%. Estas cenizas presentan propiedades puzolánicas y cementicias.

Abordando el tema de la **Finura de la Ceniza**, (Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018) los átomos más chicas de los materiales puzolánicos son más reactivas en la solución, una de las razones es que estas tienen una mayor área de contacto con sustancias químicas. Los materiales con grandiosos aumentos de partículas finas originan cementos con mínima porosidad y resistencias mecánicas principales. La finura de Blaine óptima para las escorias de alto horno varía entre 4.000 cm<sup>2</sup>/g y 5.500 cm<sup>2</sup>/g; Valores por encima de los 5.500 cm<sup>2</sup>/g tienen poco efecto sobre la resistencia mecánica de los materiales. Por otro (Cubas Benavides & Falen Chávez, 2016) enuncia que en la literatura la finura Blaine se define como la finura de los materiales granulares tales como el cemento y las puzolanas, y se expresan como la superficie total en centímetros cuadrados por gramo, el cual se determina por el dispositivo de aire-permeabilidad de Blaine. El estudio de Pacheco-Torgal, 2008 desmiente el estudio de Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, (2018), debido a que las consecuencias logradas exponen que al tener una mayor finura en los materiales también se exige una hidratación agregada, lo que conduce a un aumento de la porosidad y una menor resistencia mecánica. La investigación perfeccionado por Petermann & Saeed (2012) se ejecutaron experiencias de resistencia a la compresión de dos cenizas volantes diferentes: una de ellas ceniza volante evaluada sin cambiar

las condiciones dadas por el proveedor mientras el otro prueba se ejecutó a la misma ceniza pero tamizando de tal manera de eliminar las partículas mayores de 45  $\mu\text{m}$  de diámetro; Como consecuencia se manifestó que el monografía elaborado por Huaquisto Cáceres & Belizario Quispe, 2018 era incontrastable, ya que las resistencias de las muestras tamizadas dieron una mayor resistencia a la compresión, por lo que las muestras con material granular más fino tienden a tener resistencias mecánicas superiores.

Para la **Obtención de la ceniza de carbón** existe un proceso no muy complejo, acá en nuestro país lo llaman quemado, y consiste que en quemar el carbón al final queda una sustancia en forma de polvo, dicho residuo es el producto que se utilizare como material estabilizante.

La ceniza de carbón, incluye una **variedad de subproductos** (Agencia de Protección Ambiental, 2023) que provienen de la quema de carbón, tales como: cenizas volantes, cenizas de fondo, escoria de caldera, material de desulfuración de gases de combustión, Otras clases de subproductos: cenizas de combustión de lecho fluidizado, cenósferas, y residuos de depuración.

Una de las principales aplicaciones para la ingeniería es usar la **Ceniza de carbón como estabilizante**, si bien es cierto en muchos países incluyendo el nuestro se han utilizado la ceniza de carbón como estabilizante y no solo de carbón sino varios tipos de ceniza las cuales han sido extraídas de distintos tipos de materiales, como nosotros solo tomaremos las cenizas de carbón.

Otra de las técnicas usadas para el tratamiento de suelos es aplicar **cal viva** (óxido de calcio –  $\text{CaO}$ ), cal hidratada (hidróxido de calcio –  $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ) o una lechada de cal.<sup>1</sup> La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza –  $\text{CaCO}_3$ ) en óxido de calcio. Los tipos de Cal son, Cal aérea, Cal viva, Cal hidratada, Cal cálcicas, Cales dolomíticas, Cal hidráulica, Cal formulada.

Pero una de estas es utilizada en la mayoría de los casos para este tipo de proyectos que es Cal hidráulica natural (NHL), esta se puede moldear con facilidad por eso es muy solicitada. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio. Algunas veces el término “cal” se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo. Otras veces el término “cal” es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado. En este trabajo de investigación, "cal" significa cal viva, cal hidratada, o la lechada de cal hidratada.

*Figura. 1:*

Cal Usada en carreteras



**Fuente:** (LIME, 2004)

En el proceso de **Estabilización con cal**, la dosificación depende del tipo de arcilla. Se agregará de 2% a 8% por peso seco de suelo este porcentaje debe determinarse en laboratorio, siguiendo los pasos siguientes:

- Estimar el porcentaje de cal en función del pH.
- Elaborar especímenes para el ensayo de compresión no confinada a la humedad óptima y máxima densidad seca.
- Determinar el incremento de la resistencia ,con el porcentaje de cal elegido ,es mayor a 3.5 kg/cm<sup>2</sup>,determina la variación en la resistencia para especímenes elaborados con más de 2% de cal.
- Determinar el contenido de cal para el cual la resistencia no aumente en forma importante.

Por ningún motivo se debe emplear más del 8%de cal en el suelo ya que aumenta su resistencia, pero también su plasticidad Norma CE.020, (2002)

Sabiendo las técnicas empleadas en el estudio podemos tener una apreciación sobre la **ceniza de carbón y la cal** como estabilizantes de subrasantes(Lopez, 2021) utilizados en



ingeniería civil para mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia de los suelos. La ceniza de carbón es un subproducto de la combustión de carbón en plantas generadoras de energía y puede ser utilizada como un material agregado para aumentar la cohesión y reducir la expansión y contracción del suelo. Por otro lado, la cal, que es un hidróxido de calcio, se utiliza para modificar las características del suelo al incrementar su capacidad de carga, mejorar la plasticidad y disminuir su susceptibilidad a la humedad. Según investigaciones realizadas por López-Gil et al., la combinación de ceniza de carbón y cal como estabilizante de subrasantes ha demostrado ser una alternativa efectiva y sostenible para mejorar la capacidad portante y la durabilidad de las carreteras y otros proyectos de infraestructura vial.

Tratándose de un estudio de **Suelos expansivos** (Fig. 02) se sabe que estos corresponden al conjunto mineralógico de partículas finas muy pequeñas denominadas arcillas plásticas, las cuales poseen la particularidad de expandirse considerablemente en contacto con el agua o humedad, y contraerse con la pérdida o ausencia de la misma.

*Figura. 2:*

*Suelos Expansivos.*



Fuente: Peralta Tingal, (2021)

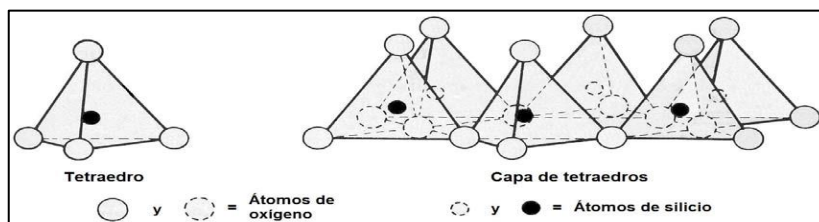
La arcilla es un material fino de carácter cohesivo. Sus partículas pasan el tamiz ASTM N° 200, que corresponde a 0,074 mm, y presenta una plasticidad que depende del contenido de humedad.

Los **Suelos arcillosos** pertenecen a la familia mineral de los filosilicatos, ya que desde un punto de vista químico son silicatos de aluminio, magnesio, hierro, etc., formados por la combinación de dos unidades estructurales fundamentales:

La primera es el tetraedro (Fig. 3) en el cual cuatro átomos de oxígeno rodean a un átomo de silicio ( $\text{SiO}_4$ ). Los tetraedros forman capas, de tal modo que los oxígenos de las bases de todos ellos se encuentren en un mismo plano, además cada oxígeno de las bases es compartido por dos tetraedros, formándose así una red hexagonal.

*Figura. 3:*

*Unidad estructural tetraédrica ( $\text{SiO}_4$ )*

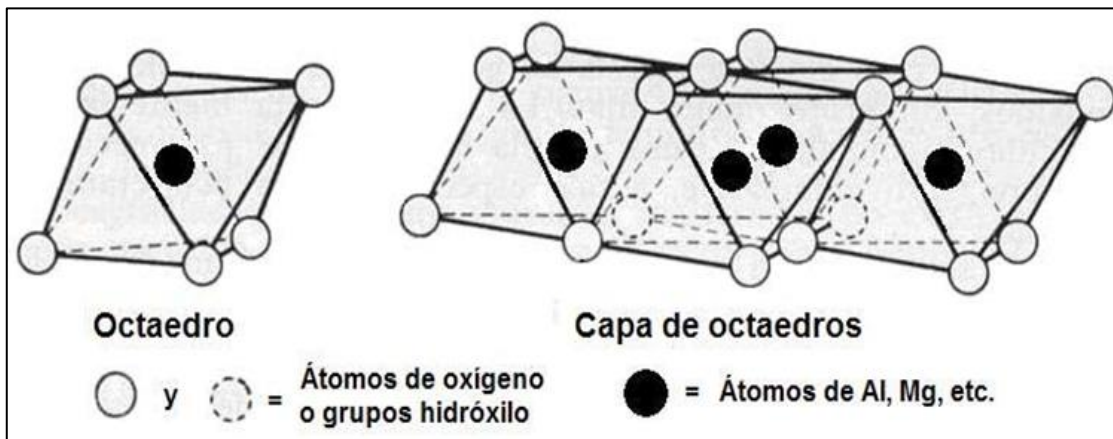


**Fuente:** Roy Whitlow, (1999)

La segunda es el octaedro (Fig. 4) en el que un átomo de aluminio, magnesio, hierro, etc. está rodeado por seis átomos de oxígeno o iones hidróxilo. Además, en este caso los octaedros también forman capas. La composición del octaedro es  $\text{Al}_2(\text{OH})_6$  para el aluminio, y  $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$  para el magnesio.

*Figura. 4:*

*Octaedro Unidad estructural*



**Fuente:** Roy Whitlow, (1999)

Un **suelo arcilloso de alta plasticidad** (ICCE, 2018) es un tipo de suelo compuesto principalmente por partículas de arcilla que exhibe una gran plasticidad o capacidad de deformación bajo la acción de fuerzas aplicadas. Este tipo de suelo es conocido por su elevada cohesión y capacidad de retener agua, lo que lo hace altamente plástico y maleable cuando está húmedo. Sin embargo, cuando se seca, tiende a contraerse significativamente, lo que puede provocar fisuras y asentamientos en las estructuras construidas sobre él. Los suelos arcillosos de alta plasticidad presentan desafíos para la ingeniería civil y la construcción, ya que requieren técnicas especiales de tratamiento y estabilización para ser utilizados en proyectos de infraestructura.

Los **Factores que intervienen en el fenómeno de expansión** más importantes son:

#### *Índice De Plasticidad*

El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedad en el que el suelo tiene un comportamiento plástico, un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir, resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario,

un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua (Inacap, 2020)

El Índice de plasticidad define el campo plástico de un suelo y corresponde, por lo tanto, a un parámetro influyente en la determinación del potencial de expansividad.

### **Ecuación 1**

$$I_p = LL - LP$$

Donde:

LL : Limite liquido

LP : Limite plástico

Límites De Consistencia Atterberg

#### *Limite líquido*

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. (Inacap, 2020).

### **Ecuación 2**

$$LL = w \cdot (N / 25)^{0.121}$$

Donde:

LL : Limite liquido

W : porcentaje de humedad del suelo

N : número de golpes necesarios para cerrar la ranura de la copa

### *Límite plástico*

El Límite Plástico LP es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico, esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. (Inacap, 2020)

Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al límite plástico.

### **Ecuación 3**

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100$$

Donde:

LP : Limite plástico en %

W : porcentaje de humedad del suelo

PH : Peso húmedo en gramos

Ps : Peso seco en gramos

Pw : Peso del agua contenida

#### *Límite de contracción*

Esta propiedad se manifiesta cuando una pérdida de humedad no trae consigo un cambio de volumen. Es el contenido de humedad entre los estados de consistencia semisólido y sólido. Para su obtención en laboratorio se seca una porción de suelo (humedad inicial y volumen inicial conocidos) a 105°C/110°C y se calcula la humedad perdida.(Inacap, 2020)

#### **Ecuación 4**

$$Lc = w - \frac{(V_n - V_s) \cdot Dw}{P_s} \times 100$$

Donde:

Lc : Limite de contracción en %

W : contenido de humedad del suelo

Vh : volumen del suelo húmedo

Vs : Volumen del suelo seco

Ps : Peso del suelo seco

Dw : Densidad del Agua

Abordando el tema sobre la granulometría de las muestras, tenemos el **Análisis granulométrico** el cual se refiere básicamente a la separación y la clasificación del suelo con el apoyo de los tamices según la abertura. Quien a su vez nos permite saber las dimensiones de

las partículas de un determinado suelo. También nos mostrara la información con respecto al suelo estudiado tales como la verificación del suelo si está mal o bien gradado, estimaremos la impermeabilidad, nos mostrara la estructuración de las partículas en el gráfico de la curva granulométrica y finalmente obtendremos los diámetros efectivos del suelo estudiado, para ello usaremos la granulometría por Tamizado el cual es un análisis que se ejecuta con una fracción de muestra pasando por medio de los diferentes tamices. Este es un método mecánico una de las formas de saber la granulometría. Para nuestro tipo de investigación, se utilizará desde el tamiz de abertura de 4 pulgadas (10,16) hasta el tamiz N° 200 (0.075). La granulometría se desarrollará utilizando la norma internacional y nacional como es la norma ASTM D422 (Standard Test Method for Particle –Size Analysis of Soils) y la Norma Técnica del Perú NTP 339.128:1998 (Método de ensayos para el análisis granulométrico).

*Figura. 5:*

*Serie de tamices según norma ASTM D422.*



**Fuente:** (Lopez, 2021)

La granulometría por tamizado radica en generar la curva granulométrica de una determinada muestra, este será representado por la distribución por los tamaños de la partícula. Entonces para una muestra alterada o inalterada se hará pasar por las mallas o tamices por vía seca por las diferentes aberturas, este análisis se ejecutará desde la abertura de 125mm hasta el tamiz n° 200 (0.075mm). En el siguiente cuadro (Tabla 1), se aprecia las aberturas de los tamices, según el manual de los suelos y pavimentos, MTC.

*Tabla 1:*

*Abertura de tamices según norma de la MTC.*

| Nº Tamiz (plg) | ABERTURA (mm) |
|----------------|---------------|
| 3              | 75            |
| 2              | 50.8          |
| 1 ½            | 38.1          |
| 1              | 25.4          |
| ¾              | 19            |
| Nº 3           | 9.5           |
| Nº 4           | 4.76          |
| Nº 10          | 2             |
| Nº 20          | 0.84          |
| Nº 40          | 0.425         |
| Nº 60          | 0.26          |
| Nº 140         | 0.106         |
| Nº 200         | 0.075         |

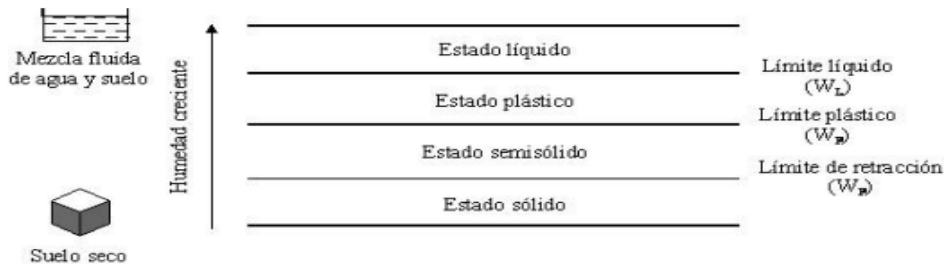
Nota: en esta tabla se parecían las aberturas estándar de los tamices según MTC, 2017

Para trabajar con el suelo natural, y poder determinar los **Límites de Atterberg**, tenemos que saber primero que son el grupo de pruebas para realizar en laboratorio que consiste en límite de contracción, límite plástico y el límite líquido. Todas estas pruebas se realizan con el objetivo de medir las condiciones del agua en el suelo, de tal manera que la compactación y la capacidad de carga del suelo se logren eficientemente. (Banu y Jasmine, 2019). También se puede definir como todos los límites de contenido de humedad que se caracteriza por estar conformado por los cuatro estados de consistencia del suelo grano finos (ver figura 6).

*Figura. 6:*

*Los cuatro estados de consistencia de los granos finos.*





**Fuente:** Estudio Geotécnico, (2013)

El límite de retracción se le denomina entre el estado sólido y el estado semisólido, el límite plástico entre los estados semisólido y estado plástico y finalmente el límite líquido entre el estado plástico y el estado viscoso. Entonces es de esta manera que un suelo de grano fino en función del contenido de humedad puede pasar a los diferentes estados de consistencia. Estudio Geotécnico, (2013)

*Figura. 7:*

Cambio de volumen asociado con variación de humedad en arcillas



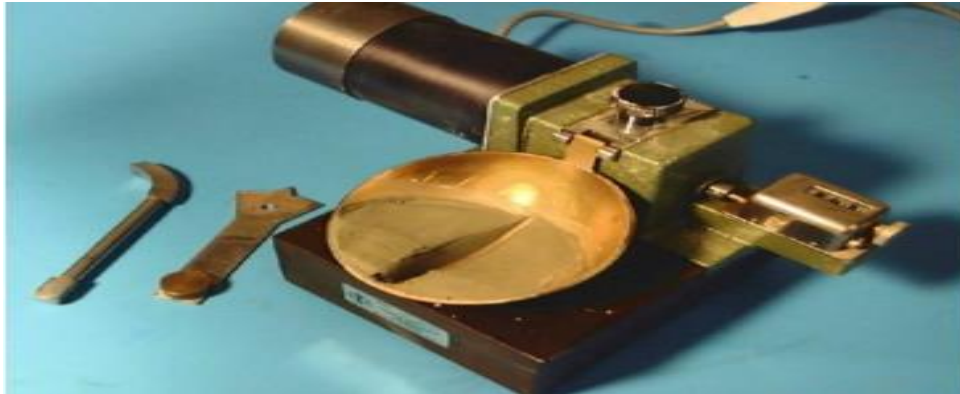
Fuente: Estudio Geotécnico, (2013)

Para determinar el **Límite Líquido**, tiene que realizarse por el Método de Atterberg, donde nos indica el límite líquido es la humedad descrita en porcentaje, dado que un determinado suelo cambia del estado líquido a uno plástico, y que este tiene una baja resistencia al corte. (Delgado y Guerra, 2020, p. 24). Este ensayo se determina mediante la cuchara de

Casagrande. Para ello el contenido de humedad del suelo deberá estar por debajo del cual el suelo se comporte como plástico.

*Figura. 8:*

*Copa de Casagrande.*



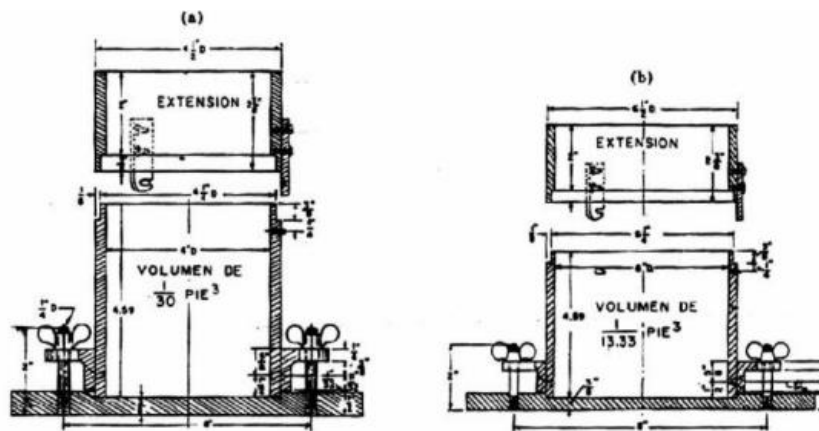
**Fuente:** Estudio Geotécnico, (2013)

Para continuar con el siguiente objetivo del proyecto se aplicará el ensayo de **Proctor modificado**, en el año 1933 el ingeniero de campo R.R. Proctor presento algunos métodos para analizar el grado de compactación de un suelo, quien fue creada con los métodos normativos modernos. Para una compactación eficiente es necesario tener partículas de diferentes tamaños y formas, es decir de granos pequeños y grandes, de tal manera que haya una posibilidad de mejorar la densidad, cabe recalcar que también depende de la humedad con la que se está compactando en ese instante. Los trabajadores de carreteras posterior a la Segunda Guerra Mundial en los Estados Unidos, aumentaron su velocidad en el movimiento y la capacidad de carga. De tal manera que tuvieron que modificar el equipo de Proctor, considerando algunas variaciones, a quien finalmente lo llamaron Proctor modificado, este nuevo método modificado tiene la densidad más alta el cual tiene una gran diferencia con la densidad del Proctor tradicional. (Lvovska, 2018). Por lo tanto, la prueba de Proctor modificada es una de las pruebas de compresión del suelo más utilizadas para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del

suelo, y es importante conocer las propiedades de compresión y la implementación del sitio de construcción del suelo. El ensayo del Proctor modificado y cabe mencionar junto al ensayo de Proctor normal, son las más utilizadas para el análisis del compacto de los suelos utilizados para la realización de los terraplenes, carreteras y otras obras de tierra. Este ensayo está regido por la norma (Proctor modificado - ASTM D-1557).

*Figura. 9:*

*Sección de moldes para Proctor.*

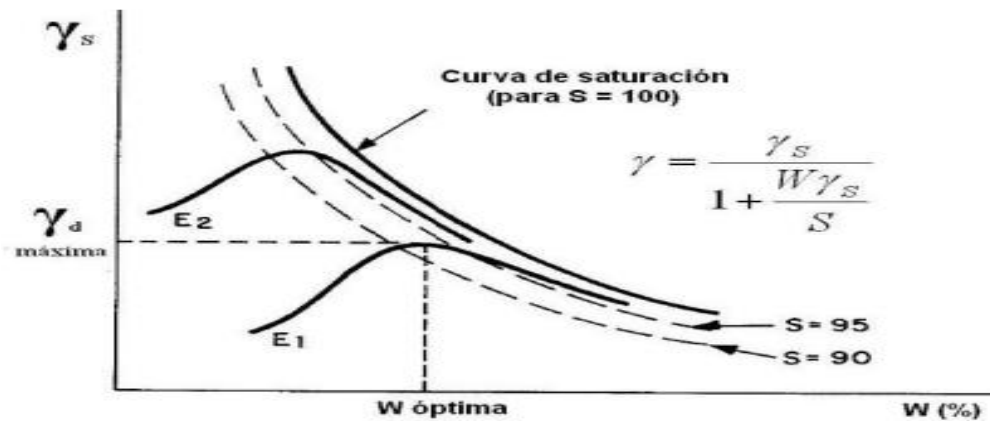


**Fuente:** (Valle Rodas, 1982)

Para el ensayo se deberá proporcionar la humedad óptima y también la densidad máxima seca y además la importancia de la curva humedad – densidad seca con todos los datos realizados en los diferentes ensayos.

*Figura. 10:*

*Curva de compactación.*



**Fuente:** (William & Rodríguez, 2016)

Esta correlación entre la humedad con la densidad de la compactación el cual está representada por la curva mostrada en la imagen, llamada curva Proctor en honor a su descubridor, como coordenadas en el eje X (humedad óptima) y en el eje Y (densidad seca máxima), esta curva es diferente para las distintas clases de suelo y depende principalmente de las partículas y tamaños de su forma y distribución. Explicando la curva Proctor que en el comienzo de su rama seca se puede apreciar que, con un esfuerzo de compactación constante, y al incrementar la humedad crece respectivamente la densidad seca, esto se debe porque el agua desaloja el aire de todos los poros y estas rodean a las partículas los cuales son más finos que una película de agua extraída que simplifica el movimiento hacia los diferentes 30 vacíos que dan para las partículas. Cuando se llega a la humedad en un punto específico es decir la humedad óptima, es cuando el agua ocupa casi la mayoría del volumen en los vacíos, alcanzando un porcentaje del 90% y 95%, es cuando se llega la densidad máxima seca en la compactación aplicada para el esfuerzo tal como se muestra en la imagen.

Uno de los aspectos que más influyen en la inestabilidad de suelos es la expansión de estos, la **expansión de los suelos** se refiere al fenómeno en el que suelos arcillosos, especialmente aquellos con alto contenido de arcilla, experimentan cambios significativos en

su volumen debido a la absorción de agua. Cuando estos suelos entran en contacto con la humedad, las partículas de arcilla tienden a hincharse, lo que provoca un aumento en el volumen del suelo. Por el contrario, cuando el suelo se seca, las partículas de arcilla se contraen y el suelo disminuye su volumen. Estos cambios en el volumen del suelo pueden ocasionar problemas en la construcción y afectar la estabilidad de las estructuras construidas sobre él. La expansividad del suelo es un aspecto importante a considerar en la ingeniería civil y en la planificación de proyectos de construcción para evitar posibles daños y deformaciones en las edificaciones (Llorca Aquesolo, 2018).

La expansión de los suelos **está influenciada** por varios factores, como la composición mineralógica, especialmente altos contenidos de arcilla; la granulometría, con una mayor cantidad de partículas finas; los límites de consistencia, que indican la plasticidad del suelo; las condiciones climáticas, siendo los climas semiáridos o áridos propicios para cambios de volumen; los niveles freáticos cercanos a la superficie del suelo, que pueden provocar saturación y aumento de volumen; y la actividad humana, incluyendo urbanización, cambios en el uso del suelo, orientación de edificaciones, vegetación y sistemas de drenaje, que afectan el equilibrio de humedad del suelo y su comportamiento expansivo. Estos factores interactúan y pueden plantear desafíos significativos en la ingeniería civil y la construcción de estructuras en terrenos con alta susceptibilidad a cambios de volumen. (Llorca Aquesolo, 2018)

Ahora abordando el tema de **resistencia de subrasantes** el cual se refiere a la capacidad que tiene el suelo subyacente de un pavimento para soportar las cargas impuestas por el tráfico y transmitir las de manera adecuada a las capas superiores del pavimento. Es un factor crucial para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento a lo largo de su vida de servicio. En el texto se mencionan diversas metodologías, como el Método AASHTO 1993, el Modelo de

Hogg, el Método de Lukanen, entre otros, que utilizan la información del deflectómetro de impacto para determinar la capacidad estructural del pavimento y la resistencia de la subrasante. Estos métodos permiten obtener parámetros como el Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ) y el Módulo Equivalente del Pavimento ( $E_p$ ) mediante procesos de retrocálculo. Además, se destaca la importancia de definir el factor de ajuste ( $C$ ) para obtener el módulo resiliente de retrocálculo, ya que este puede ser mayor que el módulo resiliente de laboratorio debido a las características específicas del suelo típico de una zona, región o país. Es relevante mencionar que la resistencia de subrasantes también puede verse influenciada por factores como la composición mineralógica del suelo, su granulometría y límites de consistencia, así como las condiciones climáticas, niveles freáticos cercanos y la actividad humana, incluyendo la urbanización y sistemas de drenaje (Hernando & Sandoval, 2010).

Para determinar la expansión de un suelo usaremos el **método de Holtz y Gibbs** demostraron que el índice plástico y el límite líquido son índices útiles para determinar las características de expansión de las arcillas. El grado de peligrosidad que ofrecen las arcillas ha sido correlacionado por Holtz y Gibbs en 1954 por medio de su límite de contracción según el cuadro, que durante un tiempo fue muy usada.

*Tabla 2:*

*Método de Holtz y Gibbs*

| <b>MÉTODO DE (HOLTZ Y GIBBZ)</b> |       |         |                    |                    |
|----------------------------------|-------|---------|--------------------|--------------------|
| % Partículas <1u                 | $L_p$ | $L_c\%$ | Expansión probable | Grado de expansión |
| <15                              | <18   | >15     | <10                | Bajo               |
| 13-23                            | 15-28 | Oct-16  | Oct-20             | Medio              |
| 20-31                            | 25-41 | 7-Dic   | 20-30              | Alto               |
| >28                              | >35   | <11     | >30                | Muy Alto           |

**Nota:** Tabla de los parámetros del método de HOLTZ Y GIBBZ obtenida del texto de (Montejo Fonseca, 1998)

Otra de las propiedades mecánicas más importantes es el **CBR** que es la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método que sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos . El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

**Ecuación 5**

$$C. B. R = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo en el suelo Patron}}$$

Este ensayo nos permite determinar la Resistencia al Corte de un suelo bajo condiciones de Humedad y Densidad controladas. El CBR (California Bearing Ratio) se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

*Figura. 11:*

*Pruebas CBR*

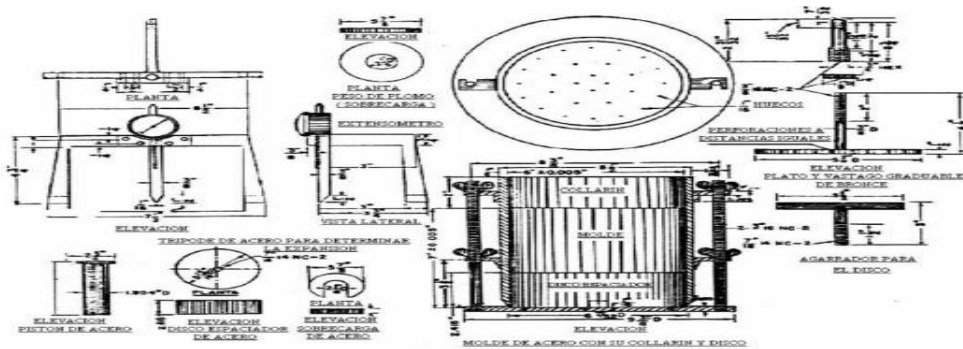


**Fuente:** (Calle-Delgado, 2018)

El ensayo del **CBR** (California Bearing Ratio) que en español significa la relación de Soporte California, es utilizado principalmente para analizar la calidad del suelo como material en su resistencia, el cual será medida mediante un ensayo de placa a escala. El ensayo se desarrolló en el año 1929 por el grupo de carreteras en California, quien consistía en ordenar la capacidad del suelo para luego ser utilizada como material de construcción en las carreteras. Esto sucedió mientras la segunda guerra mundial, adoptado por unos ingenieros para la construcción de aeropuerto.

*Figura. 12:*

*Sección de equipos para CBR.*



**Fuente:** (Valle Rodas, 1982).

El ensayo del CBR es básicamente el más divulgado y bastante fácil que nos permite entender la capacidad portante del suelo en estudio, por lo general es utilizados en su mayoría para el diseño de pavimentos para analizar la capacidad potencial de una determinada base, sub base y sub rasante. 31 según ASTM se le denota al ensayo como el ensayo de relación de soporte, quien nos mide la resistencia al corte en condiciones de humedad y también la densidad de un determinado suelo en las condiciones antes mencionadas, el cual nos permite extraer un determinado número de relación de soporte, pero lo de antes mencionado este número no será igual para un determinado suelo, ya que este ensayo solo se aplica para el suelo en su estado del



cual se encuentre a lo largo de la prueba. Vale la pena señalar que las pruebas de CBR se pueden realizar en el suelo o en suelo compactado. El valor de CBR se emplea para generar una coherencia con el comportamiento de los suelos principales con el fin de utilizar como base o subrasante para pavimentos, (Joseph E. Bowles, 1981, p. 191), en la siguiente tabla se muestra las calificaciones típicas:

Tabla 3:

ENSAYO DE CBR

| AASHTO                   | NO.CBR  | CLASIFICACIÓN GENERAL | USOS             | UNIFICADO             |
|--------------------------|---------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| A5-A6-A7                 | (0-3)   | -Muy Pobre            | Subrasante       | OH-CH-MH-OL           |
| A4-A5-A6-A7              | (3-7)   | -Regular Pobre        | Subrasante       | OH-CH-MH-OL           |
| A2-A4-A6-A7              | (7-20)  | -Regular              | Subbase          | OL-CL-ML-SC-SM-SP     |
| A1b-(A2-5)-<br>A3-(A2-6) | (20-50) | -Bueno                | Base,<br>subbase | GM-GC-SW-SM-<br>SP-GP |
| A1b-(A2-4)-<br>A3        | (>50)   | -Excelente            | Base             | GW-GM                 |

**Nota:** esta tabla fue obtenida del texto escrito por (William & Rodríguez, 2016)

Hablando ahora de **la clasificación de los suelos** podemos definir que es un proceso fundamental en la ingeniería geotécnica que permite categorizar y comprender sus características y comportamiento. Se basa en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Dos sistemas ampliamente utilizados son el Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS o USCS) y el sistema de clasificación AASHTO, que se enfoca en la construcción de carreteras y terraplenes. El SUCS utiliza símbolos de dos letras para representar el componente principal del suelo y sus características adicionales, mientras que el sistema AASHTO emplea símbolos de cinco letras para clasificar suelos granulares y finos, con énfasis en las necesidades de carreteras. Estas clasificaciones son esenciales para el diseño adecuado de estructuras y

cimentaciones, garantizando la seguridad y estabilidad en proyectos de ingeniería civil.

(Borselli, 2022)

Tabla 4:

Clasificación de suelos por el sistema ASHTO:

| Clasificación   | Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200) |           |            |                                  |           |           |           | Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200) |              |                   |           |           |
|---|--|-----------|------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|--------------|-------------------|-----------|-----------|
|   | A-1  |           |            | A-2-4                            |           |           |           | A-4  | A-5          | A-6               | A-7 A-7-5 | A-7-6     |
| Grupo:  | A-1-a  | A-1-b     | A-3        | A-2-4                            | A-2-5     | A-2-6     | A-2-7     | A-4  | A-5          | A-6               | A-7 A-7-5 | A-7-6     |
| <b>Porcentaje que pasa:</b>                                       |  |           |            |                                  |           |           |           |  |              |                   |           |           |
| N° 10 (2mm)   | 50<br>máx  | -         | -          |                                  |           |           |           | -  |              |                   |           |           |
| N° 40 (0,425mm)   | 30<br>máx  | 50<br>máx | 51<br>mín  |                                  |           |           |           | -  |              |                   |           |           |
| N° 200 (0,075mm)  | 15<br>máx  | 25<br>máx | 10<br>máx  |                                  |           | 35<br>máx |           | 36<br>mín  |              |                   |           |           |
| <b>Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40</b> |  |           |            |                                  |           |           |           |  |              |                   |           |           |
| Límite líquido  |  |           |            | 40<br>máx                        | 41<br>mín | 40<br>máx | 41<br>mín | 40<br>máx  | 41<br>mín    | 40<br>máx         | 41<br>mín | 41<br>mín |
| Índice de plasticidad   |  |           | NP<br>(1)  | 10<br>máx                        | 10<br>máx | 11<br>mín | 11<br>mín | 10<br>máx  | 10<br>máx    | 11<br>mín         |           | 11<br>mín |
| Constituyentes principales  | Fragmentos de roca, grava y arena                            |           | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa |           |           |           | Suelos limosos   |              | Suelos arcillosos |           |           |
| Características como subgrado                                     |  |           |            | Excelente a bueno                |           |           |           |  | Pobre a malo |                   |           |           |

Nota: Separata de mecánica de suelos, Ing. Llique Mondragón (2015)

Tabla 5:

Clasificación de suelos por el sistema SUCS:

| Grupo de Suelos | Símbolos | Descripción  |
|-----------------|----------|--|
| Gravas          | GW, GP   | Suelos granulares con poco o ningún contenido de finos |
| Arenas          | SW, SP   | Suelos granulares con poco o ningún contenido de finos |

|                             |                |   |
|-----------------------------|----------------|---|
| Limos                       | ML, CL         | Suelos con alto contenido de partículas finas         |
| Arcillas                    | CH, MH         | Suelos cohesivos con alto contenido de arcillas       |
| <b>Materiales Orgánicos</b> | <b>OL, OH</b>  | <b>Suelos con alto contenido de material orgánico</b> |
| Mezclas                     | GM, GC, SM, SC | Suelos granulares y con partículas finas combinadas   |

Nota: la tabla presentada fue obtenida de (Borselli, 2022)

Finalmente, para la **Caracterización de la subrasante** según el (MTC, 2017) para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevará a cabo mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5m de profundidad mínima.

Tabla 6:

*Número de calicatas para exploración de suelos*

| Tipo de carretera   | (m)  | Número mínimo de calicatas   | Observación  |
|---|--|--|--|
| Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada uno dos o más carriles                              | 1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . Calzada 2 carriles por sentido :4 calicatas x km x sentido.<br>Calzada 3 carriles por sentido :4 calicatas x km x sentido<br>. Calzada 4 carriles por sentido :6 calicatas x km x sentido  | Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada |
| Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles | 1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . Calzada 2 carriles por sentido :4 calicatas x Km x sentido<br>. Calzada 3 carriles por sentido :4 calicatas x Km x sentido<br>. Calzada 4 carriles por sentido :6 calicatas x Km x sentido |  |

|   |   |                    |  |
|---|---|--------------------|--|
| Carreteras de Primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles       | 1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . 4 calicatas x Km |  |
| Carreteras de Segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles        | 1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . 3 calicatas x Km | Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada |
| Carreteras de Tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles         | 1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . 2 calicatas x Km |  |
| Carreteras de Bajo volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $201 \leq$ veh/día, de una calzada de dos carriles | 1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto | . 1 calicatas x Km |  |

Nota: la tabla presentada fue obtenida del (MTC, 2017)

### Justificación

La investigación "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania mediante la adición de cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" se justifica por varias razones. En primer lugar, busca mejorar la infraestructura vial en la calle Ucrania, lo que podría aumentar su capacidad de carga y vida útil, reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo. También aborda la gestión de residuos industriales al reutilizar las cenizas de carbón, promoviendo una gestión más sostenible de los residuos. Desde una perspectiva medioambiental, reduce la necesidad de extraer materiales naturales y, al mejorar la calidad de la calle, podría reducir las emisiones de gases contaminantes. Además, tiene un impacto positivo en la economía local al generar empleo y fortalecer la economía regional. Además, proporciona información valiosa sobre la resistencia de las subrasantes estabilizadas con cenizas de carbón y cal, lo que puede mejorar la toma de

decisiones en proyectos de mejora de carreteras y tener aplicaciones en la optimización de recursos y la preservación del medio ambiente en el futuro.

#### 1.4. Formulación del problema

Con lo anteriormente citado podemos ver que la implementación de nuevas tecnologías junto a nuevos materiales tiene un grado de importancia muy relevante para el desarrollo investigativo en nuestro país, generando múltiples beneficios en la economía de los proyectos así como también solucionando problemas técnicos. Usar las cenizas de Carbon y Cal en la subrasante de la calle Ucrania es una posible solución para el aumento de la resistencia de esta, por esto que se planteó la siguiente **pregunta de investigación:** *¿Aumenta la resistencia de la subrasante de la Calle “Ucrania” al adicionarlo porcentajes de cenizas de carbón y cal?,*

Para poder encontrar una respuesta a este planteamiento investigativo se realizó 3 calicatas de las cuales se sacaron muestras para realizar ensayos en laboratorio, contenido de humedad, límites de consistencia, análisis granulométrico por lavado y en seco del suelo, peso específico, Proctor y CBR, de acuerdo a los datos obtenidos de CBR de las 3 calicatas, se escogió como muestra patrón para estabilizarlo la calicata 1 que tiene la resistencia más baja de subrasante por ser un suelo arcilloso de alta plasticidad según Sucs CH y A-7-6 según AAshto,

Con la muestra patrón se agregó la cal en porcentajes de 3,5 y 7% respectivamente y cenizas de carbon 25,27 y 30% y poder hallar su resistencia se realizaron los ensayos respectivos

Proctor para determinar la humedad óptima necesaria para obtener la densidad máxima de la muestra de suelo natural y estabilizado se utilizaron ensayos de Proctor modificado, finalmente mediante el ensayo de cbr ensayos se calculó la resistencia de las muestras.

### 1.5. Objetivos.

Para la investigación se tiene como **objetivo general** “Analizar la influencia de la adición de cenizas de carbón vegetal de algarrobo vs la adición de cal”.

Así mismo se planteó los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ *Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación de la Calle Ucrania mediante los ensayos de (Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor y CBR) y clasificarlo.*
- ✓ *Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 25,27,30% de ceniza de carbón vegetal de algarrobo*
- ✓ *Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 3,5,7% de cal .*

### 1.6. Hipótesis.

Para resolver el problema de investigación se planteó la siguiente **hipótesis**: *La resistencia de la sub rasante de la calle Ucrania se incrementa en más del 20% al adicionarle las cenizas de carbón y cal .*

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Según los propósitos de la investigación, es *Aplicada* por que se realizó ensayos en laboratorio de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, peso específico, Proctor modificado y CBR para determinar la resistencia de subrasantes (objetivo) y poder hallar la muestra patrón para poder estabilizarlo con distintos porcentajes de ceniza de carbón y cal (estrategia).

Según su profundidad o nivel de investigación, es *Explicativa* ya que se determinará una subrasante más estable y resistente (variable en estudio) y se estudiará de qué manera influye adicionar distintos porcentajes de ceniza de carbón y cal, así mismo se conocerá la variación de la resistencia (fenómeno en estudio) de las subrasantes en estudio.

El enfoque metodológico seleccionado para este estudio será el *Experimental*, ya que se intervendrán deliberadamente las variables bajo investigación. Esto implica la implementación de 25, 27 y 30% de cenizas de carbón y 3,5 y 7% de cal (Variable Independiente), la cual tiene un impacto directo en la capacidad de resistencia y la estabilización de las subrasantes (Variable Dependiente).

Por último, de acuerdo con la naturaleza de los datos y el enfoque adoptado, esta investigación se clasifica como *Cuantitativa*. Esto se debe a que se procederá a evaluar el aumento de resistencia de subrasantes mediante la implementación de cenizas de carbón y cal, donde la medición se llevará a cabo a través de la recopilación de datos resultantes de los experimentos ejecutados en el laboratorio de suelos en la UPN.

En el contexto de esta investigación, el conjunto total de elementos que están siendo analizados, conocido como la **población** está considerada todas las calles afirmadas de la urbanización la Molina de la ciudad de Cajamarca que presentan suelos de baja capacidad portante en la subrasante. La **muestra** fue la calle Ucrania elegida de forma no probabilística con una longitud de 500 m aproximadamente, la selección se basó en la representatividad de

esta vía en términos de suelos de baja capacidad portante en la subrasante en la ciudad de Cajamarca, el criterio de selección se basó en lo indicado en el Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas (MTC, 2008) el cual nos dice que para carreteras de bajo volumen de tránsito se realizara una calicata cada 500 metros pero también nos dice que si la naturaleza del terreno evidencia un cambio significativo de sus características se deben realizar más calicatas, ubicándolas en lugares estratégicos, escogiendo así, el tramo inicial, medio y final de la calle Ucrania. Se consideró también que esta calle era un caso relevante debido a la presencia de suelos con estas características, que son de interés para la investigación. Además, la accesibilidad a la calle Ucrania facilitó la realización de 3 calicatas para ser analizadas con coordenadas:

*Tabla 7:*

*Coordenadas de las Calicatas*

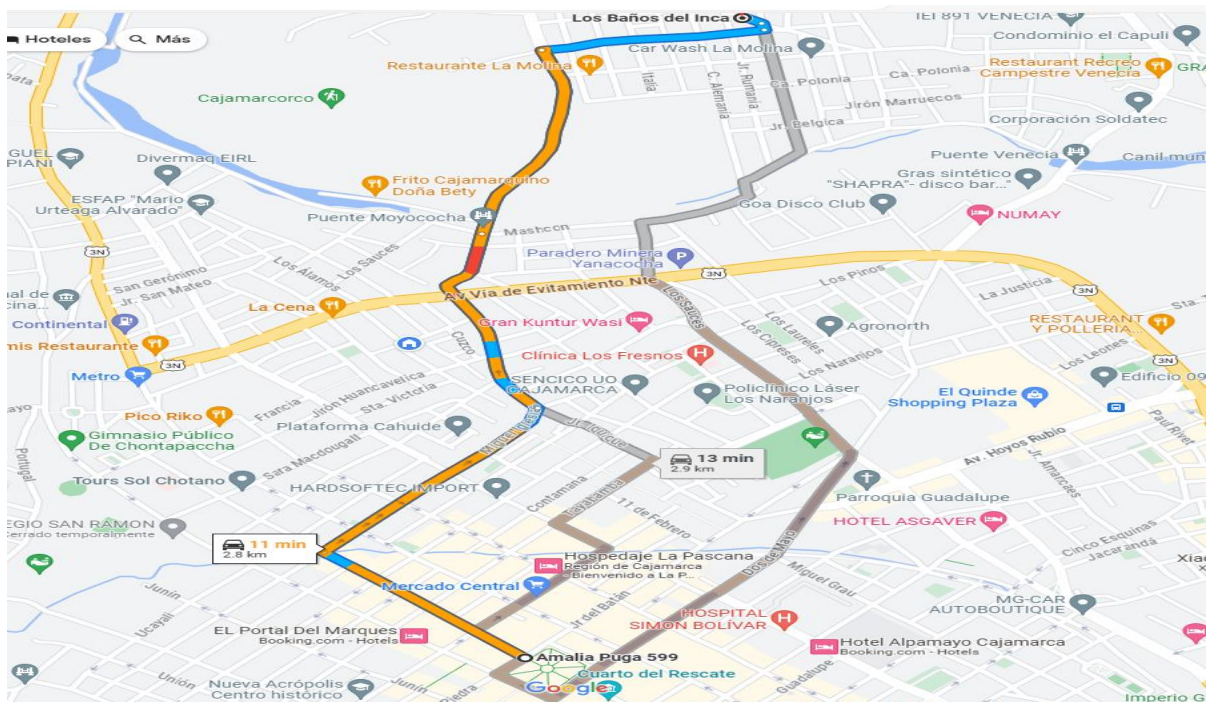
| Muestra    | Este      | Norte      | Cota |
|------------|-----------|------------|------|
| Calicata 1 | 77458285  | 9210234.25 | 2721 |
| Calicata 2 | 77461981  | 9210022.71 | 2782 |
| Calicata 3 | 774635.27 | 9209836    | 2733 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta coordenadas de las muestras realizadas en la calle Ucrania. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Figura. 13:*

*Vías de Acceso a la Calle Ucrania*





Nota. En la figura se observa el recorrido desde la “Plaza de Armas de Cajamarca”, hasta la zona de estudio. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 8:

Vía de acceso a la Calle Ucrania, desde la Plaza de armas de Cajamarca

| Punto de partida            | Punto de llegada        | Tipo de Carretera | Distancia en Km      | Tiempo en Vehículo |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| Plaza de armas de Cajamarca | Calle Ucrania-Cajamarca | Asfaltada-Trocha  | 3 km aproximadamente | 11 minutos         |

Nota. en la tabla se muestra la vía de acceso a la trocha carrozable mencionada. Fuente: elaboración propia (2023).

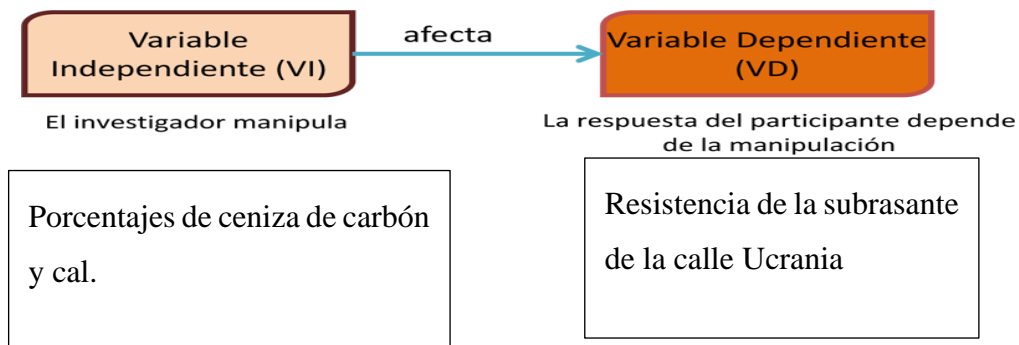
Las muestras obtenidas fueron adicionadas con ceniza de carbón en 25, 27 y 30% de cenizas de carbón y 3,5 y 7% de cal. Es importante destacar que este estudio sigue las directrices establecidas en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) del Ministerio de transporte , los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) para la realización de ensayos de suelos:

Para **definir la muestra** se optó por emplear un muestreo no probabilístico por conveniencia, el cual, de acuerdo con la referencia de (Otzen & Manterola, 2017), posibilita la selección de aquellos casos disponibles y dispuestos a participar.

De acuerdo con lo planteado por (González, 2017), la **Variable Independiente** se refiere a aquella que origina el efecto y se denota con la letra "X", mientras que la **Variable Dependiente** corresponde al resultado generado por la influencia de la variable independiente, y se representa con la letra "Y". De esta manera, se establece la relación  $Y=f(X)$ .

*Figura. 14:*

*Variables de estudio*



*Nota: La figura muestra la variable independiente respecto de la variable dependiente, Fuente: (González, 2017)*

A continuación se describen las **técnicas y materiales** de recolección y análisis de datos que se han empleado:

La técnica que se ha empleado para dar *validéz a los resultados* de los ensayos de las muestras tomadas y también a las que se le ha añadido ceniza de carbón y cal ha sido dar cumplimiento a las recomendaciones según lo especificado en la norma NTP 339.179 (2015), la cual especifica los siguientes aspectos:

a) *Muestreo de suelos:*

Se seleccionan puntos de muestreo a lo largo de la zona de subrasante. Se extraen muestras de suelo a 1.50m de profundidad para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas.

*b) Preparación de muestras:*

Las muestras de suelo se preparan para su análisis en el laboratorio. Pueden ser tamizadas y separadas por tamaños de partículas para obtener datos granulométricos.

*c) Análisis de laboratorio:*

Se realizan varios tipos de análisis en las muestras de suelo para determinar propiedades como la densidad, la humedad, la plasticidad y la permeabilidad. Estos datos son esenciales para comprender el comportamiento del suelo.

*d) Ensayos de compactación:*

Se llevan a cabo ensayos de compactación en el laboratorio para determinar la máxima densidad seca y la humedad óptima para el suelo. Estos datos son vitales para el diseño de la subrasante.

*e) Ensayos de resistencia:*

Se realizan ensayos de resistencia , para evaluar la capacidad del suelo y para soportar cargas. Estos ensayos ayudan a determinar la capacidad portante de la subrasante.

Todas estas recomendaciones han sido tomadas de la norma NTP 339.179 (2015), las fichas técnicas de los materiales se encuentran en el anexo III.

Para la *recopilación de información*, se optó por la **técnica** de observación directa, mediante la cual se registraron minuciosamente los comportamientos de los suelos ante variadas condiciones y tratamientos. Esto facilitó una evaluación directa de la eficacia de las medidas

implementadas para mejorar la estabilidad y la resistencia. En cuanto a las referencias utilizadas, se recurrió a las "Guías de laboratorio" y los "Protocolos de ensayo" establecidos por el Laboratorio de Concreto de la Universidad Privada del Norte, los cuales se describen en detalle a continuación:

- i. La etapa inicial comprende el encabezado, en el cual se hacen constar elementos como el emblema y denominación de la institución educativa; la naturaleza del ensayo y las normativas que le confieren respaldo; el título de la tesis; la designación y ubicación de la cantera analizada; los encargados de recabar y supervisar los datos; y, por último, la fecha de realización del ensayo.
- ii. Seguidamente, se dispone del área de trabajo, cuyas características varían conforme al tipo de ensayo ejecutado; aquí se incluyen tablas, gráficos y, en algunos casos, fórmulas.
- iii. Además, se incorpora un espacio destinado a observaciones, donde se pueden añadir detalles suplementarios o datos de relevancia.
- iv. En última instancia, se asignan roles al responsable de la ejecución del trabajo, al supervisor de laboratorio y al asesor que otorga autorización y valida los datos adquiridos.

En otro aspecto, el **método empleado para tratar la información y obtener los resultados** ha sido el siguiente:

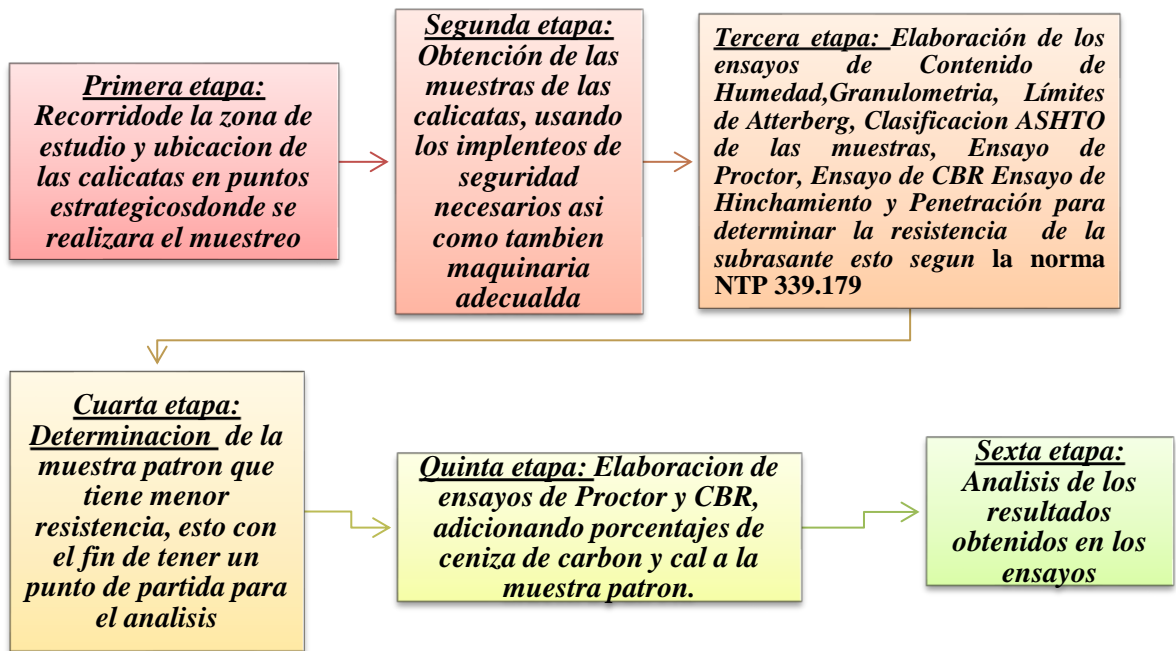
- En un primer momento, se llevó a cabo una visita a la zona de estudio, ubicada en la Calle Ucrania. Después de realizar un recorrido por la zona y destacar las áreas de mayor relevancia, se procedió a definir los sitios específicos para la excavación de calicatas destinadas al muestreo.

- Los datos subsiguientes registrados se refieren al peso en kilogramos (kg) de las muestras extraídas de las previamente mencionadas calicatas, antes de someterlas a los ensayos de granulometría, límite plástico, Proctor y CBR. El propósito de esto es establecer comparaciones entre las muestras con el fin de identificar la muestra patrón.
- Posteriormente, se determinó cuál sería la muestra patrón, correspondiente a la de menor resistencia.
- Se llevaron a cabo los análisis correspondientes en esta muestra, incorporando diversos porcentajes de ceniza de carbón (25%, 27% y 30%) y cal (3%, 5% y 7%).
- Por último, se efectuó el cálculo del aumento en la resistencia de las subrasantes que habían sido mejoradas mediante la adición de ceniza de carbón y cal.

En este punto, se detallan los **procedimientos** de cada una de las fases que se han seguido durante la ejecución de la investigación.

*Figura. 15:*

*Flujograma de procedimiento seguido en la investigación*



Nota: El siguiente gráfico ilustra las etapas que han sido establecidas para la realización de este estudio.

**Primera etapa:** Recorrido de la zona de estudio y ubicación de las calicatas donde se realizara el muestreo. Como primer paso se ha realizado el recorrido de la zona de estudio y se a establecido la ubicación de las calicatas de donde se obtendran las muestras las cuales estan ubicadas en zonas estrategicas, estas son .

Tabla 9:

Ubicación de la calle Ucrania.

| Ubicación geopolítica |           |           |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Departamento          | Provincia | Distrito  |
| Cajamarca             | Cajamarca | Cajamarca |
| Ubicación geográfica  |           |           |
| Norte                 | Este      | Elevación |
| 9210220.05            | 774643.85 | 2705.00   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la ubicación geopolítica y geográfica de la calle Ucrania. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 16:

*Ubicación de la calle Ucrania*



**Nota.** En la imagen observamos el acceso a la calle Ucrania teniendo como referencia el paradero de Minera Yanacocha(2023)

Posteriormente se realizo las calicatas, obteniendo el material necesario para la realizacion de los ensayos.

*Figura. 17:*

*Elaboración de Calicatas y extracción de material.*



**Nota:** Procedimiento de Extracción del material, Fuente: Elaboración propia, 2023

Cabe mencionar que se extrajo material de 3 calicatas ubicadas en zonas estrategicas con el fin de cubrir la mayor cantidad de la longitud de la calle Ucrania.

*Figura. 18:*  
*Calicata 2*



*Nota: Procedimiento de Extracción del material, Fuente: Elaboración propia, 2023*

*Figura. 19:*  
*Calicata 3*



*Nota: Procedimiento de Extracción del material, Fuente: Elaboración propia, 2023*

A continuación, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Privada del Norte, localizado en la Av. Vía de Evitamiento Norte cuadra 15, Cajamarca.

*Tabla 10:*  
*Ubicación del laboratorio de suelos – UPN*

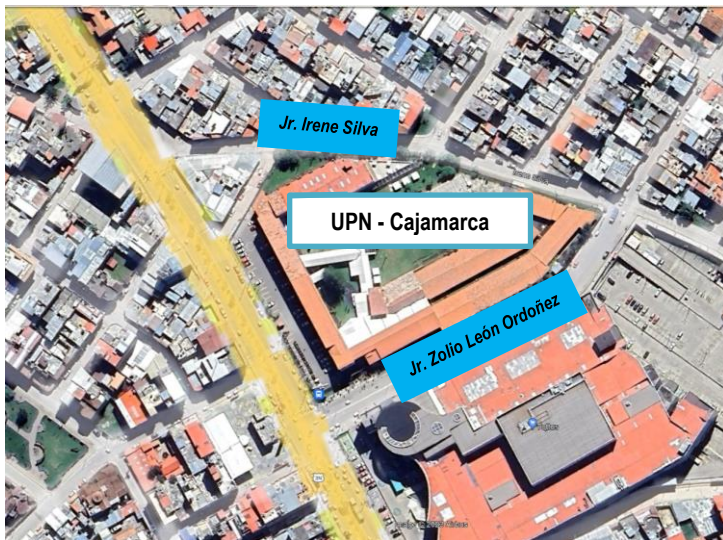


| Ubicación geopolítica |           |           |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Departamento          | Provincia | Distrito  |
| Cajamarca             | Cajamarca | Cajamarca |
| Ubicación geográfica  |           |           |
| Norte                 | Este      | Elevación |
| 9208857.00            | 775444.00 | 2697.00   |

**Nota:** Las unidades de la ubicación geográfica se encuentran en metros (m).

Figura. 20:

Ubicación del Laboratorio de suelos - UPN



**Nota:** Ubicación del laboratorio de Mecánica de suelos – UPN.

**Fuente:** Google Earth Pro, 2018

**Segunda etapa: Ensayos de las muestras obtenidas de campo.** la segunda fase se caracteriza por la implementación de una serie de ensayos de relevancia. Entre estos ensayos se encuentra el contenido de humedad, análisis de granulometría mediante tamizado por lavado y en seco, límites de consistencia, ensayo Proctor, CBR (Índice de Soporte de California), estudio de hinchamiento y ensayo de penetración. Estos procedimientos adquieren una importancia primordial en la obtención de datos rigurosos y precisos, cuya contribución resulta esencial para el desarrollo integral del proyecto, el orden de los ensayos es el siguiente:

Ensayo N°1: Contenido de Humedad (MTC E108 – EM2000) basado en la norma ASTM D 2216)

Ensayo N°2: Análisis granulométrico por tamizado (MTC E107 – EM2000) basado en la norma ASTM D 422 y AASHTO T88).

Ensayo N°3: Límites de consistencia, Límite líquido MTC E110 – EM2000 y Determinación del límite plástico MTC E111 – EM 2000

Ensayo N°4: Ensayo de Proctor Modificado (Relación humedad – densidad compactada a la energía Proctor modificado MTC 115 – EM2000)

Ensayo N°5: CBR MTC132-EM2000

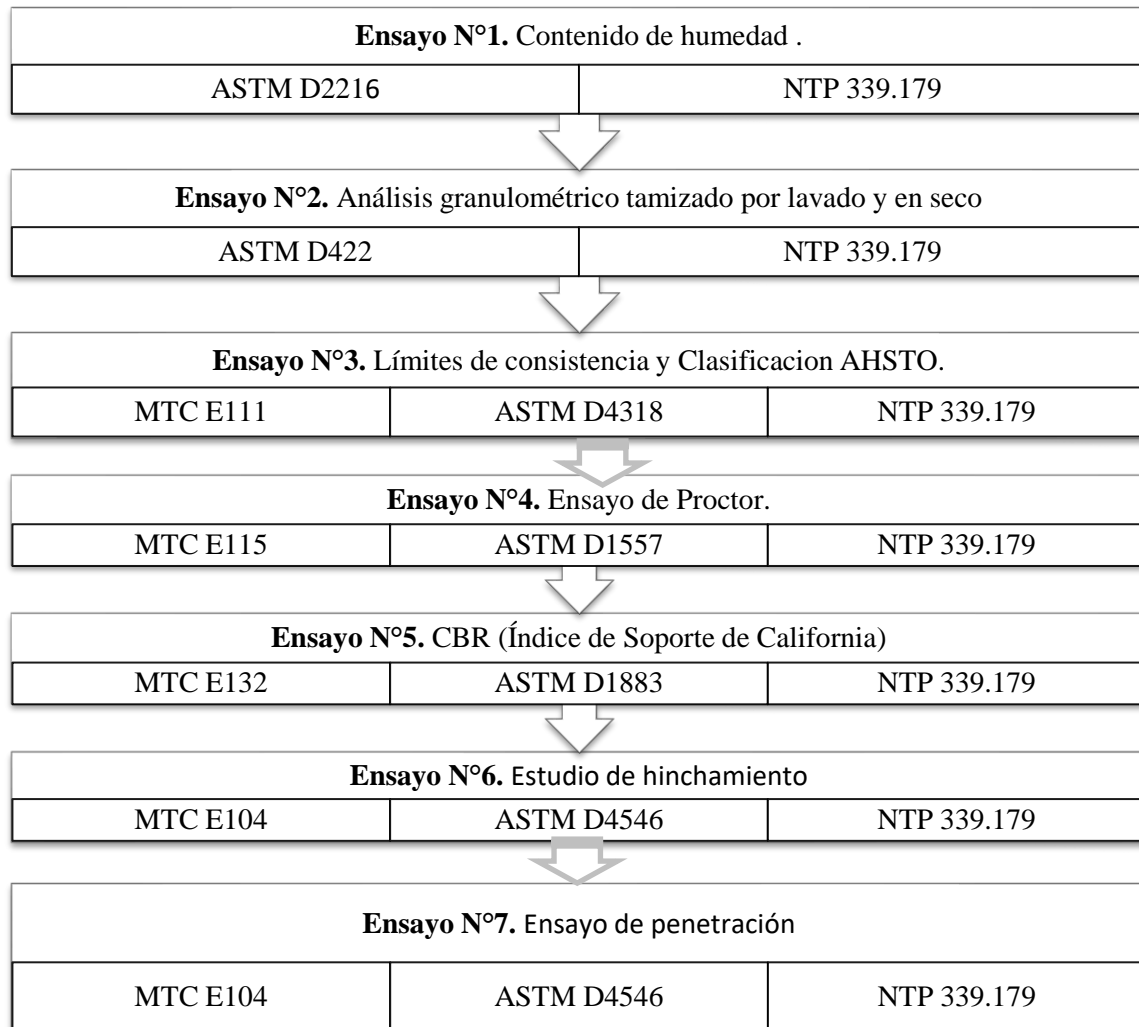
Ensayo N°6: Estudio de hinchamiento

Ensayo N°7: Ensayo de penetración

Es relevante destacar que todos los ensayos han sido minuciosamente revisados y autenticados por los técnicos especializados del laboratorio universitario en el que se llevaron a cabo dichas pruebas.

Figura. 21:

Ensayos realizados de las muestras de suelo.



**Nota:** En este gráfico se muestra el orden de los ensayos que se han realizado a los agregados.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

A continuación, se proporciona un análisis exhaustivo de las regulaciones que respaldan los ensayos, los elementos y dispositivos empleados, el proceso seguido y las ecuaciones utilizadas en su implementación.

**Contenido de Humedad (MTC E108 – EM2000) basado en la norma ASTM D 2216)**

El contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

### Equipo y herramientas

- Taras
- Balanza con aprox. De 0.01gr
- Horno con control de temperatura

### Procedimiento

- Se pesa las taras(Mc)
- Se realiza el cuarteo del material extraído y selecciona la muestra
- Se pesa suelo húmedo + la tara (Mcws)
- Colocar la muestra en la estufa durante 24 horas a 105°C
- Pesar la muestra seca más la tara(Mcs)

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente formula:

#### *Ecuación 6.*

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{Mcws - Mcs}{Mcs - Mc} \times 100 = \frac{Mw}{Ms} \times 100$$

Donde:

W = es el contenido de humedad, (%)

Mcws = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

Mcs = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos:

Mc = es el peso del contenedor, en gramos

Mw = es el peso del agua, en gramos

Ms = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

**Ecuación 7.**

$$\text{Porcentaje acumulado en tamiz} = \frac{\text{Peso acumulado en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

Estos estándares aseguran que el análisis de granulometría se realice de manera uniforme y precisa, brindando resultados confiables que son esenciales para la toma de decisiones en proyectos geotécnicos y de construcción.

**Análisis granulométrico por tamizado (MTC E107 – EM2000) basado en la norma ASTM D 422 y AASHTO T88).**

Es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo en porcentajes que pasan distintos tamices 75mm (3”), 50.8mm (2”), 38.1mm(1½”), 25.4mm(1”), 19mm(¾”), 9.5mm, (3/8”), 4.76mm(N°4), 2.00mm(N°10), 0.840mm(N°20) , 0.425mm(N°40), 0.250mm(N°60), 0.106mm(140) y 74mm(N°200).

*Figura. 22 :*

*Análisis granulométrico por lavado C2-E1*



**Nota: Granulometría de la C2, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 23: Análisis granulométrico en seco C3-E1*



**Nota: Granulometría y tamizado, Fuente: Elaboración propia, 2023**

### **Límites de Atterberg**

#### **Límite líquido MTC E110 – EM2000**

El límite líquido es el contenido de humedad que corresponde a la frontera entre los estados de consistencia semilíquido y plástico de un suelo, se determina cerrando una ranura practicada en la copa de Casagrande golpeando mediante una manivela; un golpe representa la resistencia al esfuerzo cortante de  $1\text{gr}/\text{cm}^2$ .

#### **Material**

Muestra que pese 150-200g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz N°40

#### **Equipo y herramientas**

- Copa de Casagrande y ranurador
- Espátula
- Cápsula de porcelana

- Probeta de 100ml
- Taras
- Balanza con aprox. De 0.01gr
- Horno con control de temperatura

### **Procedimiento**

- En una cápsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme.
- Colocar una porción de la pasta en la copa de Casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1cm.
- En el centro hacer una ranura con el acanalador de manera que a muestra quede dividida en 2 partes.
- Elevar y dejar caer la copa mediante la manivela a razón de 1 o 2 caídas por segundo hasta que las 2 mitades de la pasta del suelo se ponga en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de 13mm y registrar el número de golpes.
- Con la espátula retirar la porción de suelo que se ha puso en contacto en la parte inferior de la ranura y colocarlo en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Retirar el suelo que quedo en la copa de Casagrande.

### Determinación del límite plástico MTC E111 – EM 2000

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8 ") de diámetro ,rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa(vidrio esmerilado),sin que dichas barritas se desmoronen.

*Figura. 24:*

*Limite Liquido de la C2-E1*



**Nota: Límites de Atterberg, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 25:*

*Limite Platico de la C2-E1*



**Nota: Límites de Atterberg, Fuente: Elaboración propia, 2023**



*Figura. 26:*

*Limite Liquido de la C1*



**Nota: Limites de Atterberg, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 27:*

*Limite Plástico*



**Nota: Limites de Atterberg, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 28:*

*Tamizado del material de la C1-1 por la malla n°4*



**Nota: Límites de Atterberg, Fuente: Elaboración propia, 2023**

**Ficha técnica de clasificación de suelos.**

**Método AASHTO para la clasificación de suelos.**

Este sistema describe un procedimiento para clasificar los suelos en siete grupos, basados en granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un índice de grupo el cual se calcula por la fórmula:

**Ecuación 8.**

$$IG = 0.2(a)+0.005(ac)+0.01(bd)$$

Donde:

a=F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 - 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40

b=F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N°200 - 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40

c=LL - 40 (LL = límite líquido). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 0 y 20.

$d=IP - 10$  ( $IP =$  índice plástico). Expresado por un numero entero positivo comprendido entre 0 y 20 o más.

Tabla 11:

Tabla para la clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO

| Clasificación general                              | Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm |        |            |                                      |        |        |                   | Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de |        |                  |        |        |
|--|---|--------|------------|--------------------------------------|--------|--------|-------------------|--|--------|------------------|--------|--------|
|  | A1  |        | A3         | A2                                   |        |        |                   | A4   | A5     | A6               | A7     |        |
| Símbolo  | A1-a  | A1-b   |            | A2-4                                 | A2-5   | A2-6   | A2-7              |  |        |                  | A7-5   | A7-6   |
| Análisis Granulométrico<br>% que pasa por el tamiz |   |        |            |                                      |        |        |                   |  |        |                  |        |        |
| N° 10  | máx.50  |        |            |                                      |        |        |                   |  |        |                  |        |        |
| N° 40  | máx.30  | máx.50 | máx.50     |                                      |        |        |                   |  |        |                  |        |        |
| N° 200   | máx.15  | máx.25 | máx.10     | máx.35                               | máx.35 | máx.35 | máx.35            | min.35                                       | min.35 | min.35           | min.35 | min.35 |
| Limites Atterberg                                  |   |        |            | máx.40                               | min.40 | máx.40 | min.40            | máx.40                                       | máx.40 | máx.40           | min.40 | min.40 |
| Límite de liquidez<br>índice de plasticidad        | máx.6   | máx.6  |            | máx.10                               | máx.10 | min.10 | min.10            | máx.10                                       | máx.10 | min.10           | min.10 | min.10 |
| Índice de grupo                                    | 0   | 0      | 0          | 0                                    | 0      | máx.4  | máx.4             | máx.8  | máx.12 | máx.16           | máx.20 | máx.20 |
| Tipo de material                                   | Piedras, gravas y arena                                   |        | Arena Fina | Gravas y arenas limosas y arcillosas |        |        |                   | Suelos limosos                               |        | Suelos arcilloso |        |        |
| Estimación general del suelo como subrasante       | De excedente a bueno                                      |        |            |                                      |        |        | De pasable a malo |  |        |                  |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla nos permite realizar la clasificacion de una muestra según el Metodo ASHTO, previo analisis granulometrico. **Fuente:** Ing. Llique Mondragón (2015).

### Método SUCS

Este sistema divide los suelos en dos grandes grupos de grano grueso y de grano fino. Los primeros tienen más de 50% en peso de granos mayores que N° 200 (0.0075). Se representa por el símbolo S si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en el tamiz N°4 (4.75mm), y por el símbolo F si más de la mitad pasa por el tamiz N°4 (4.75mm)

### Índice de Grupo

El índice de grupo (IG) es una medida utilizada en ingeniería geotécnica para evaluar las propiedades de un suelo. Se determina a partir de muestras de suelo recopiladas en calicatas y se basa en dos propiedades fundamentales: el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) del suelo. La fórmula para calcular el IG es la siguiente:

***Ecuación 9.***

$$IG=(F200-35)*[0.2+0.005*(LL-40)]+0.01(F200-15)*(IP-10)$$

IG= Índice de Grupo

LL= Limite Liquido

IP= Índice de plasticidad

Este índice se utiliza para clasificar el suelo en diferentes grupos, lo que proporciona información valiosa sobre su comportamiento bajo cargas y condiciones específicas.

La clasificación del suelo según el IG es esencial en el diseño de estructuras geotécnicas como cimientos y carreteras, ya que ayuda a los ingenieros a comprender cómo se comportará el suelo en función de su plasticidad y contenido de humedad.

**Ensayo de Proctor Modificado (Relación humedad – densidad compactada a la energía Proctor modificado MTC 115 – EM2000)**

Consiste en determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactada en un molde de 4 o 6 pulgadas (101,6 o 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10lbf(44.5N) que cae de una altura de 18 pulgadas(457mm), produciendo una energía de compactación de 56 000lb-pie/pie<sup>3</sup>(2700 KN-m/m<sup>3</sup>).

**Método “A”**

Molde de 4 pulg de diámetro(101.6mm)

Material: Se emplea el que pasa por el tamiz N°4(4,75mm)

Capas:5

Golpes por capa:25

Uso: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4(4.75mm)

**Método “B”**

Molde de 4 pulg de diámetro(101.6mm)

Material: Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 de pulg(9.5mm)

Capas:5

Golpes por capa:25

Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4(4.75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9.5mm).

### **Método “C”**

Molde de 6 pulg de diámetro (152.4 mm) de diámetro

Material:

Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/4 de pulg(19mm)

Capas:5

Golpes por capa:56

Uso: Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9.53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4 pulg (19mm).

### **Material**

- Muestra alterada seca aproximadamente 30kg
- Papel filtro

### **Equipo**

- Equipo de Proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión)
- Pisón de Proctor modificado
- Balanza con precisión de 1gr.
- Estufa con control de temperatura .
- Probeta de 1000ml, recipiente de 6 kg de capacidad, espátula, taras identificadas

- Probeta de 1000ml, recipiente de 6 kg de capacidad, espátula, taras identificadas

**Procedimiento:**

- Obtener aproximadamente 30Kg de muestra seca para hacer el ensayo de acuerdo con el método a utilizar (método A, B o C).
- Preparar 5 muestras de 2.3 Kg de suelo cuando se emplee el método A, B y 5.9 Kg aproximadamente cuando se emplee el método C con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada uno de ellos varié aprox en 2%.
- Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.
- Colocar el collar de extensión y el papel de filtro para colocar la muestra que se va a compactar.
- Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 o 56 golpes depende del método A, B o C al terminar de compactar la última capa se retira el collar y se enrasa con una espátula y se determina el peso húmedo.
- Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.

**CBR MTC132-EM2000**

Este ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base

El CBR es la carga unitaria de un suelo correspondiente a 0.1” o 0.2” de penetración, expresada en %.

Mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, se obtiene de la carga unitaria (lbs/pulg<sup>2</sup>) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de 19.4 cm<sup>2</sup> de área dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg<sup>2</sup>) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

### **Equipo**

- Prensa para forzar la penetración de un pistón en el espécimen
- Tres moldes de metal cilíndricos provisto de un collar de metal suplementario
- Tres moldes de metal cilíndricos provisto de un collar de metal suplementario
- Disco espaciador de metal de forma circular
- Pisón de compactación utilizado en el Proctor modificado
- Probeta de 1000ml.
- Balanza con precisión de 1gr.
- Recipiente de 6kg de capacidad
- Estufa con control de temperatura
- Taras identificadas
- Aparato medidor de expansión compuesto por:
  - Una placa de metal perforada por cada molde
  - Un trípode que se puedan apoyar en el borde del molde con aprox. de 0.0025mm

- Pesas que tengan una masa total de  $4.54 \pm 0.02 \text{Kg}$

### Procedimiento

#### Consta de 3 fases

- Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad húmeda del suelo)
- Ensayo de hinchamiento (Determinación de las propiedades expansivas del suelo)
- Ensayo de carga penetración (Determinación de la resistencia de penetración)

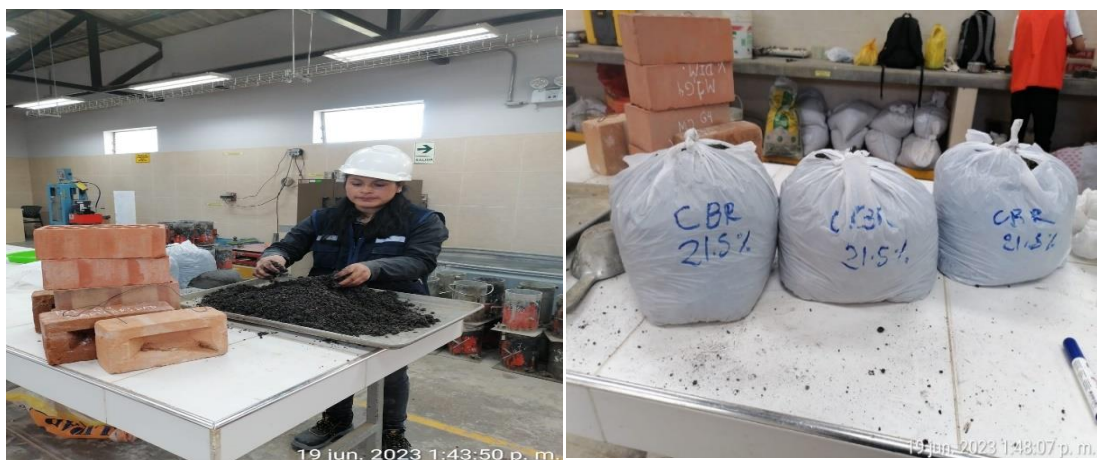
Para esto se usa la siguiente ecuación:

#### Ecuación 10.

$$CBR = \frac{CARGA \text{ CORREGIDA}}{CARGA \text{ ESTANDAR}} \times 100$$

Las normas MTC E132, ASTM D1883 y NTP 339.179 establecen los procedimientos precisos para llevar a cabo el ensayo CBR, asegurando que se realice de manera consistente y proporcionando información vital sobre la capacidad de soporte del suelo en condiciones de pavimentación y tráfico vehicular.

*Figura. 29: Preparación de la muestra para el ensayo CBR*



**Nota: Determinación de la resistencia ensayo de CBR, Fuente: Elaboración propia, 2023**



### **Ensayo de compactación CBR**

- Preparar la muestra del contenido óptimo determinado en el ensayo de Proctor modificado
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes el primero con 12 golpes, el segundo con 26 golpes y el tercero con 55 golpes.
- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde
- Determinar la densidad seca de la muestra de cada molde

### **Ensayo de hinchamiento**

- Invertir las muestras de manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión

Colocar los tres moldes debidamente equipados en una tina de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas .

La fórmula para calcular el índice de hinchamiento es:

#### **Ecuación 11.**

*Índice de Hinchamiento*

$$\text{Índice de Hinchamiento} = \frac{\text{Volumen Máximo} + \text{Volumen Mínimo}}{\text{Volumen Mínimo}} \times 100$$

Las normas MTC E104, ASTM D4546 y NTP 339.179 proporcionan los procedimientos detallados para llevar a cabo el estudio de hinchamiento, asegurando que se realice de manera uniforme y precisa. Estos ensayos son fundamentales para evaluar la estabilidad

y la posibilidad de cambios volumétricos en el suelo, lo que es crucial para proyectos de construcción y geotecnia.

*Figura. 30:*

*Ensayo de Hinchamiento*



**Nota: Ensayos de laboratorio, Fuente: Elaboración propia, 2023**

### **Ensayo de Carga penetración**

- Después de los 4 días sacar los moldes de la tina de agua y de cada uno de ellos se retira el dial, trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde y llevar a la prensa hidráulica, proceder el ensayo de penetración con una velocidad del pistón a una velocidad de 0.005 pulg/min, registrar las lecturas de cada muestra.

*Figura. 31:*

*Ensayo de Penetración*



*Nota: Ensayos de laboratorio, Fuente: Elaboración propia, 2023*

**Cuarta etapa: Eleccion de la muestra patron** . Con los ensayos realizados en la tercera etapa, se determina la muestra patron, la cual vendria siendo la muestra que menos resistencia resultante se a obtenido, estos resultados pertenecen a la muestra obtenida de la calicata 1

**Quinta etapa: Determinacion de la resistencia de la muestra patron agregando distintos porcentajes de ceniza de carbon y Cal.**

Como *primer paso* de esta etapa tenemos que obtener los materiales necesarios para el mejoramiento de la muestra obtenida en la calicata 1, estos son las **cenizas de carbon y cal**.

*Figura. 32:*

*Obtención de la ceniza de Carbón*



**Nota: Preparación de materiales, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 33:*

*Cal empleada en los ensayos.*



**Nota: Preparación de materiales, Fuente: Elaboración propia, 2023**

Seguidamente, como segundo paso tenemos la adición de la cal en distintos porcentajes para luego realizar los ensayos anteriormente aplicados a todas las muestras para determinar la resistencia de la subrasante de la muestra patrón adicionada con cal.

*Figura. 34 :*

*Limites de consistencia adicionando cal con porcentajes de 3,5 y 7%*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 35:*

*Preparación del material con cal para Proctor*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 36:*

*Ensayo de Proctor con Cal*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 37:*

*Ensayo de CBR con cal*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 38:*

*Ensayo de penetración*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 39:*

*Ensayo de hinchamiento con 3% cal*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 40:*

*Ensayo de penetración con cal*



**Nota: Ensayos de laboratorio con cal adicionada, Fuente: Elaboración propia, 2023**

Luego como *tercer paso*, tenemos la adición a la muestra patrón de la ceniza de carbón en distintos porcentajes, y se realizan los respectivos análisis para obtener la resistencia de la muestra con estos porcentajes adicionados.

*Figura. 41:*

*Ensayo de limites de consistencia con la ceniza de carbon 25,27 y 30%*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 42:*

*Ensayo del limite plasticidad*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**



*Figura. 43:*

*Preparación de la ceniza para el ensayo de Proctor*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 44:*

*Ensayo de Proctor con ceniza de Carbon*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 45:*

*Ensayo de CBR con ceniza de Carbón*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 46:*

*Preparación del material para el CBR*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 47:*

*Compactación del material*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 48:*

*Ensayo de hinchamiento con cenizas de carbón*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

*Figura. 49:*

*Ensayo de penetración con cenizas de carbón*



**Nota: Ensayos de laboratorio con ceniza de carbon, Fuente: Elaboración propia, 2023**

**Sexta etapa: Analisis e interpretacion de resultados.**

Finalmente, procedemos al análisis e interpretación de los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados con la adición de ceniza de carbón en porcentajes del 25%, 27% y 30%, junto con la incorporación de cal en concentraciones del 3%, 5% y 7%. En esta etapa crucial, examinamos detenidamente los datos recopilados para comprender cómo estas variaciones en los materiales afectan las propiedades y el comportamiento del suelo.

A través de los ensayos de granulometría, límites de consistencia, Proctor, CBR, estudio de hinchamiento y ensayo de penetración, obtuvimos una visión completa de cómo la mezcla de ceniza de carbón y cal interactúa con las características naturales del suelo. Las curvas y resultados obtenidos de cada ensayo nos proporcionan una evaluación profunda de los cambios en la composición granulométrica, plasticidad, densidad y capacidad de soporte del suelo modificado.

La comparación de los datos entre las diferentes proporciones de ceniza de carbón y cal nos permitirá identificar patrones y tendencias claras en relación con el aumento de la resistencia y la estabilidad del suelo. Además, examinaremos cómo estos cambios afectan propiedades específicas como la expansión y contracción debido al hinchamiento, así como la resistencia a la penetración en diferentes profundidades.

La interpretación de estos resultados nos brindará información esencial para tomar decisiones informadas en la mejora de la subrasante en la Calle Ucrania. Con una comprensión sólida de cómo las adiciones de ceniza de carbón y cal influyen en las propiedades geotécnicas del suelo, estaremos en una posición sólida para determinar las proporciones óptimas de materiales para lograr los objetivos de resistencia y estabilidad deseados en el proyecto.

### *Aspectos Éticos*

En el transcurso de esta investigación, se han abordado los aspectos éticos con un compromiso riguroso en todas las etapas del proceso. Desde la fase inicial de recopilación de información hasta el análisis final de los resultados, se ha otorgado una importancia primordial a los principios éticos que sustentan este estudio.

En cuanto a las referencias utilizadas, se ha seguido una estricta adhesión a las normas APA (American Psychological Association) en la citación y referencia de los artículos e investigaciones que han aportado al desarrollo de esta tesis. Este enfoque garantiza una adecuada atribución de las fuentes consultadas, promoviendo la integridad académica y evitando el plagio.

Es fundamental destacar que, tanto en el trabajo de campo como en el trabajo de gabinete, se ha seguido y respetado la normativa establecida por la Universidad Privada del Norte. La obtención de los permisos y consentimientos necesarios ha sido un paso crucial para

asegurar el cumplimiento de las regulaciones éticas y legales vigentes en el ámbito de la investigación.

En consonancia con la confidencialidad y la privacidad de los sujetos de estudio, se ha mantenido un enfoque meticuloso. Los datos recolectados han sido tratados con la máxima confidencialidad, asegurando que cualquier información sensible se mantenga en el anonimato y se utilice exclusivamente con fines académicos.

Los cálculos numéricos y estadísticos, realizados con el apoyo de herramientas como Microsoft Excel, siguiendo la normativa siguiente, análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107 – NTP 339.128), Límites de Atterberg (MTC E 110, MTC E 111 - NTP 339.129), Proctor modificado (MTC E 115 – NTP 339.141), California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132 – NTP 339.145, estos análisis han sido efectuados con integridad y precisión. La veracidad de los cálculos ha sido verificada y se han implementado medidas para prevenir cualquier forma de manipulación indebida de los datos.

Cabe destacar que esta investigación se enmarca dentro de la institucionalidad de la Universidad privada del Norte. Los lineamientos y regulaciones internas de la institución han sido respetados en su totalidad, asegurando que el proceso de investigación se realice con integridad y en conformidad con los estándares éticos.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se ostentan los resultados obtenidos mediante tablas y gráficos los cuales nos permiten tener una mejor interpretación de las mismas. En primer lugar, se presentan los resultados de los ensayos correspondientes a las muestras obtenidas sin adicionar ningún tipo de material, los resultados se presentan en el orden citado en el capítulo anterior:

*El objetivo principal de la investigación nos da los siguientes resultados:*

CBR de las muestras iniciales: Los valores de California Bearing Ratio (CBR) para las muestras iniciales C1, C2 y C3 fueron 1.30%, 2.5% y 9.2%, respectivamente, a una densidad máxima seca (Dms) del 95%. Se eligió la muestra C1 como referencia debido a su menor resistencia.

Efecto de la adición de cal: Tras incorporar cal en porcentajes de 3%, 5% y 7%, los valores de CBR aumentaron gradualmente a 1.95%, 4.2% y 5.2% respectivamente, a un 95% de Dms. Las densidades máximas secas (Dms) variaron entre 1.49 g/cm<sup>3</sup>, 1.50 g/cm<sup>3</sup> y 1.52 g/cm<sup>3</sup>, con humedades óptimas de 25.50%, 23.40% y 21.60% respectivamente.

Efecto de la adición de ceniza de carbón: Al agregar ceniza de carbón en proporciones del 25%, 27% y 30%, la resistencia aumentó a 1.5%, 2.6% y 3.7% respectivamente, a un 95% de Dms. Las Dms resultantes fueron de 1.50 g/cm<sup>3</sup>, 1.53 g/cm<sup>3</sup> y 1.62 g/cm<sup>3</sup>, con humedades óptimas de 24.80%, 22.00% y 15.80% respectivamente.

*Primero, abordando el objetivo 1, se calcula el contenido de Humedad, límites de consistencia*

,

Tabla 12:

*Determinacion del contenido de Humedad C1*

Temperatura de Secado

60 °C / 110 °C /Ambiente  
5 °C

Método

Horno 110 ±

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| ID | DESCRIPCIÓN                      | Unidades | 1            | 2           | 3           |
|----|----------------------------------|----------|--------------|-------------|-------------|
| A  | Identificación de la tara        |          | M1           | M2          | M3          |
| B  | Peso Tara(A) + Muestra Húmeda(B) | Gr       | 2027.6<br>0  | 1058.7<br>0 | 2036.1<br>3 |
| C  | Peso Tara + Muestra Seca         | Gr       | 1477.1<br>0  | 820.12      | 1474.2<br>3 |
| D  | Peso de la Tara                  | Gr       | 238.90       | 239.50      | 238.50      |
| E  | Peso de la Muestra Seca          | Gr       | 1238.2<br>0  | 580.62      | 1235.7<br>3 |
| F  | Peso del Agua(B-D-E)             | Gr       | 550.50       | 238.58      | 561.90      |
| W% | Contenido de Humedad             | %        | 44.46        | 41.09       | 45.47       |
| G  | Promedio                         |          | <b>43.67</b> |             |             |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el cálculo del contenido de humedad de la Calicata 1. **Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 13:

*Determinacion del contenido de Humedad C2-E1*

Temperatura de Secado

60 °C / 110 °C /Ambiente

Método  
Horno 110 ± 5 °C

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| ID | DESCRIPCIÓN                | Unidades | 1            | 2       | 3       |
|----|----------------------------|----------|--------------|---------|---------|
| A  | Identificación de la tara  |          | M1           | M2      | M3      |
| B  | Peso Tara + Muestra Húmeda | Gr       | 1350.60      | 1225.80 | 1278.40 |
| C  | Peso Tara + Muestra Seca   | Gr       | 1068.80      | 970.20  | 1018.20 |
| D  | Peso de la Tara            | Gr       | 158.40       | 158.70  | 157.80  |
| E  | Peso de la Muestra Seca    | Gr       | 910.40       | 811.50  | 860.40  |
| F  | Peso del Agua(B-D-E)       | Gr       | 281.80       | 255.60  | 260.20  |
| W% | Contenido de Humedad       | %        | 30.95        | 31.50   | 30.24   |
| G  | Promedio                   |          | <b>30.90</b> |         |         |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el cálculo del contenido de humedad de la Calicata 2-E1. **Fuente:** Elaboración Propia.



Tabla 14:

## Determinación del contenido de Humedad C2-E2

Temperatura de Secado

Método

 60 °C / 110 °C /Ambiente  
 ± 5 °C

Horno 110

| CONTENIDO DE HUMEDAD |                           |          |        |        |        |
|----------------------|---------------------------|----------|--------|--------|--------|
| ID                   | DESCRIPCIÓN               | Unidades | 1      | 2      | 3      |
| A                    | Identificación de la tara |          | M1     | M2     | M3     |
|                      | Peso Tara + Muestra       |          |        |        |        |
| B                    | Húmeda                    | Gr       | 571.60 | 662.20 | 579.20 |
| C                    | Peso Tara + Muestra Seca  | Gr       | 479.30 | 558.70 | 481.30 |
| D                    | Peso de la Tara           | Gr       | 72.60  | 72.90  | 73.20  |
| E                    | Peso de la Muestra Seca   | Gr       | 406.70 | 485.80 | 408.10 |
| F                    | Peso del Agua(B-D-E)      | Gr       | 92.30  | 103.50 | 97.90  |
| W%                   | Contenido de Humedad      | %        | 22.69  | 21.31  | 23.99  |
| G                    | Promedio                  |          | 22.66  |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el cálculo del contenido de humedad de la Calicata 2-E2.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 15:

## Determinación del contenido de Humedad C3

Temperatura de Secado

Método

 60 °C / 110 °C /Ambiente  
 Horno 110 ± 5 °C

| CONTENIDO DE HUMEDAD |                           |          |         |        |        |
|----------------------|---------------------------|----------|---------|--------|--------|
| ID                   | DESCRIPCIÓN               | Unidades | 1       | 2      | 3      |
| A                    | Identificación de la tara |          | M1      | M2     | M3     |
|                      | Peso Tara + Muestra       |          |         |        |        |
| B                    | Húmeda                    | Gr       | 2018.60 | 600.30 | 583.55 |
| C                    | Peso Tara + Muestra Seca  | Gr       | 1877.10 | 516.06 | 509.54 |
| D                    | Peso de la Tara           | Gr       | 239.70  | 100.30 | 83.55  |
| E                    | Peso de la Muestra Seca   | Gr       | 1637.40 | 415.76 | 425.99 |
| F                    | Peso del Agua(B-D-E)      | Gr       | 141.50  | 84.24  | 74.01  |
| W%                   | Contenido de Humedad      | %        | 8.64    | 20.26  | 17.37  |
| G                    | Promedio                  |          | 15.43   |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el cálculo del contenido de humedad de la Calicata 3. **Fuente:**  
 Elaboración Propia.

Ahora para continuar con la investigación abordamos el objetivo 2 procediendo con el cálculo de los *Limites de plasticidad*

Tabla 16:

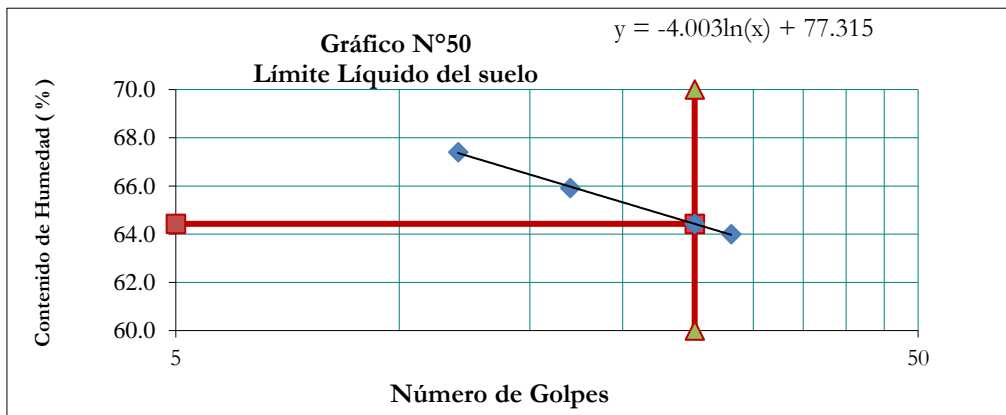
*Limites de plasticidad C1*

|                                |                  |        |
|--------------------------------|------------------|--------|
| <b>Límite Líquido:</b>         | LL =             | 64.43% |
| <b>Límite Plástico:</b>        | LP =             | 28.28% |
| <b>Índice de Plasticidad :</b> | IP =             | 36.15% |
| <b>Contenido de Humedad :</b>  | W <sub>n</sub> = | 43.67% |
| <b>Grado de Consistencia :</b> | K <sub>w</sub> = | 0.57   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los límites de plasticidad de la Calicata 1. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 50:

*Limite Liquido del suelo, Calicata 1*



**Nota:** Resultados obtenidos del analisis de limites de plasticidad, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

Tabla 17:

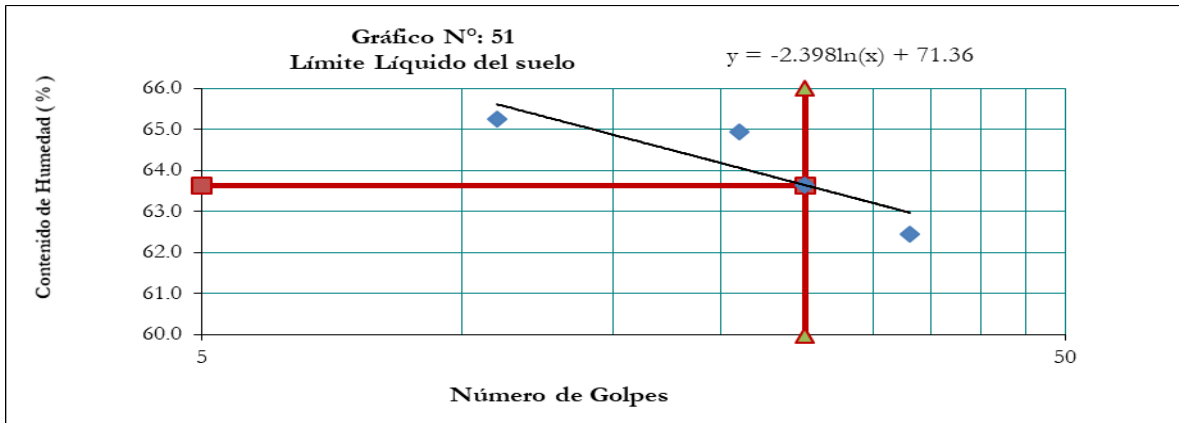
*Limites de plasticidad C2-E1*

|                                |                  |        |
|--------------------------------|------------------|--------|
| <b>Límite Líquido:</b>         | LL =             | 63.64% |
| <b>Límite Plástico:</b>        | LP =             | 26.92% |
| <b>Índice de Plasticidad :</b> | IP =             | 36.73% |
| <b>Contenido de Humedad :</b>  | W <sub>n</sub> = | 26.67% |
| <b>Grado de Consistencia :</b> | K <sub>w</sub> = | 1.01   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los límites de plasticidad de la Calicata 2-E1. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 51:

Limite Liquido del suelo, Calicata 2-E1



**Nota:** Resultados obtenidos del analisis de limites de plasticidad, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

Tabla 18:

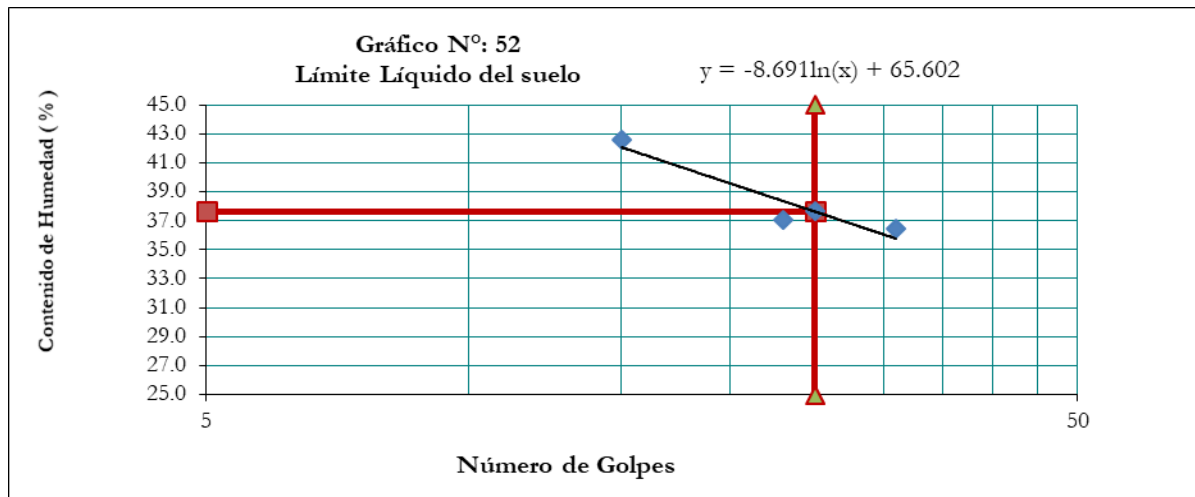
Limites de plasticidad C2-E2

|                                |                  |        |
|--------------------------------|------------------|--------|
| <b>Límite Líquido:</b>         | LL =             | 37.63% |
| <b>Límite Plástico:</b>        | LP =             | 29.17% |
| <b>Índice de Plasticidad :</b> | IP =             | 8.45%  |
| <b>Contenido de Humedad :</b>  | W <sub>n</sub> = | 24.14% |
| <b>Grado de Consistencia :</b> | K <sub>w</sub> = | 1.60   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los límites de plasticidad de la Calicata 2-E2. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 52:

Limite Liquido del suelo, Calicata 2-E2



**Nota:** Resultados obtenidos del analisis de limites de plasticidad, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

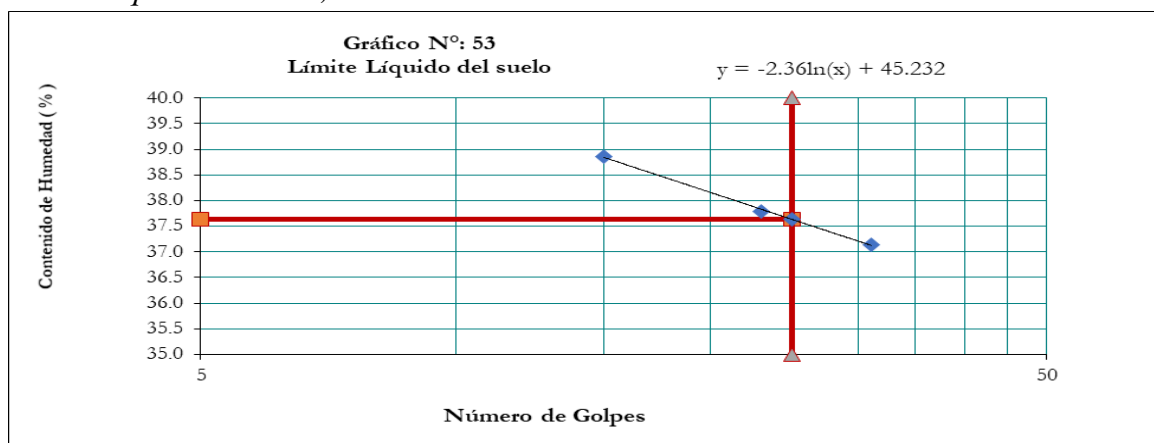
*Tabla 19: Límites de plasticidad C3*

|                                |                  |        |
|--------------------------------|------------------|--------|
| <b>Límite Líquido:</b>         | LL =             | 37.63% |
| <b>Límite Plástico:</b>        | LP =             | 29.93% |
| <b>Índice de Plasticidad :</b> | IP =             | 7.71%  |
| <b>Contenido de Humedad :</b>  | W <sub>n</sub> = | 10.58% |
| <b>Grado de Consistencia :</b> | K <sub>w</sub> = | 3.51   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los límites de plasticidad de la Calicata 3. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Figura. 53:*

*Límite Líquido del suelo, Calicata 3-EI*



**Nota:** Resultados obtenidos del analisis de limites de plasticidad, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

*Obtenidos los resultados de los objetivos anteriores se procede a abordar el objetivo 3*

**Análisis granulométrico en seco**

Tabla 20:

Análisis granulométrico en seco de la Calicata 2

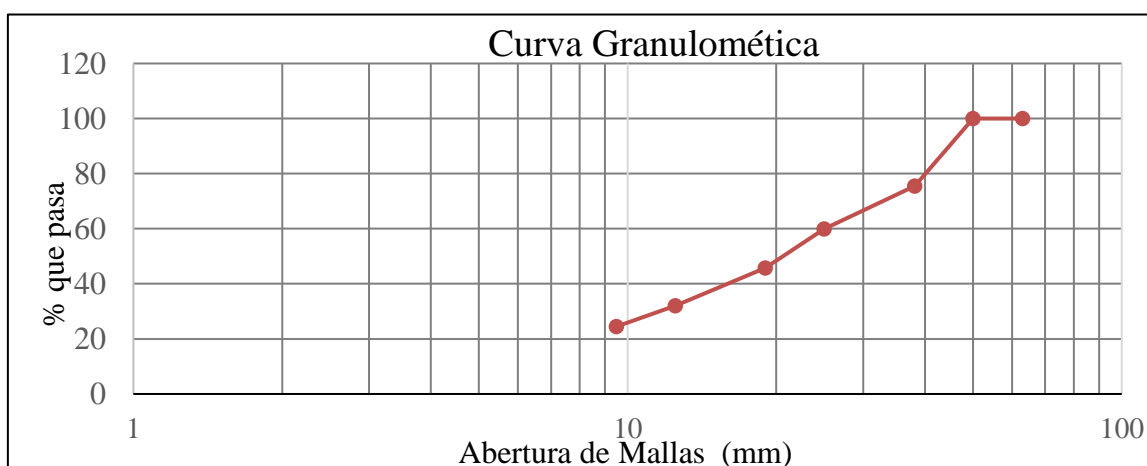
|  |            |
|--|------------|
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b>    | 2672.10 gr |
| <b>Peso del recipiente =</b>                     | 100.10 gr  |
| <b>Peso de la muestra seca , W<sub>s</sub> =</b> | 2572.00 gr |

| Tamaño nominal del tamiz<br>TAMIZ | DIÁMETRO<br>(mm) | Peso retenido<br>(gr) | %<br>retenido | % retenido<br>acumulado | % que<br>pasa |
|-----------------------------------|------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| 3"                                | 75               | 0                     | 0             | 0                       | 100           |
| 2"                                | 63               | 0                     | 0.000         | 0.000                   | 100.000       |
| 1 1/2"                            | 50               | 631                   | 24.533        | 24.533                  | 75.467        |
| 1"                                | 38.1             | 399                   | 15.513        | 40.047                  | 59.953        |
| 3/4"                              | 25               | 364                   | 14.152        | 54.199                  | 45.801        |
| 1/2"                              | 19               | 353                   | 13.725        | 67.924                  | 32.076        |
| 3/8"                              | 12.5             | 195                   | 7.582         | 75.505                  | 24.495        |
| N° 4                              | 9.5              | 479                   | 18.624        | 94.129                  | 5.871         |
| CAZOLETA                          |                  | 151                   | 5.871         | 100.000                 | 0.000         |
| ΣPRP                              |                  | 2572                  | 100.000       |                         |               |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 2. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 54:

Análisis Granulométrico en seco Calicata 2



**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

Tabla 21:

Analisis granulométrico en seco de la Calicata 3

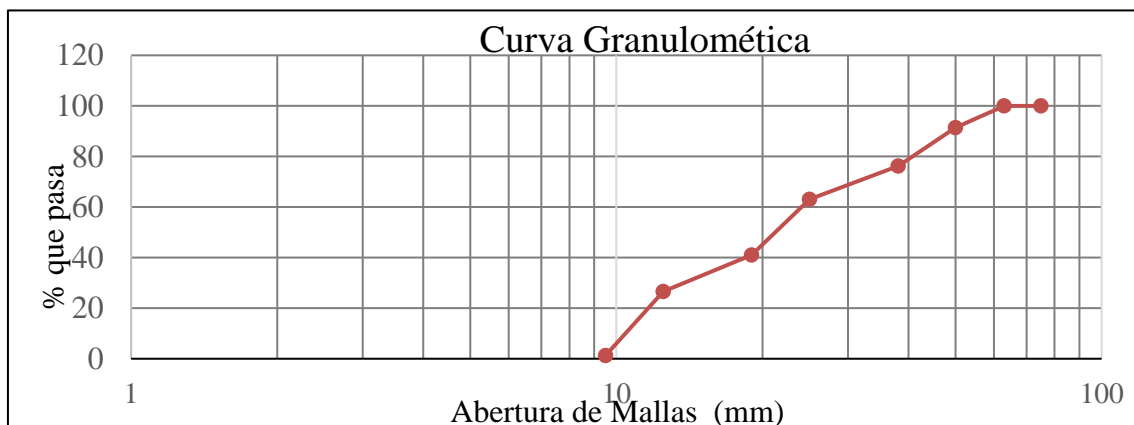
|  |            |
|--|------------|
| Peso de la muestra seca + recipiente = | 2316.00 gr |
| Peso del recipiente =                  | 100.30 gr  |
| Peso de la muestra seca , $W_s$ =      | 2215.70 gr |

| Tamaño nominal del tamiz | Peso retenido (gr) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|--------------------------|--------------------|------------|----------------------|------------|
| TAMIZ                    | DIÁMETRO (mm)      |            |                      |            |
| 3"                       | 75                 | 0          | 0.000                | 100.00     |
| 2"                       | 63                 | 0          | 0.000                | 100.00     |
| 1 1/2"                   | 50                 | 189.5      | 8.553                | 91.45      |
| 1"                       | 38.1               | 337.2      | 15.219               | 76.23      |
| 3/4"                     | 25                 | 293        | 13.224               | 63.00      |
| 1/2"                     | 19                 | 486.6      | 21.961               | 41.04      |
| 3/8"                     | 12.5               | 321.2      | 14.497               | 26.55      |
| N° 4                     | 9.5                | 559.5      | 25.252               | 1.30       |
| cazoleta                 |                    | 28.7       | 1.295                | 0.00       |
| $\Sigma$ PRP             |                    | 2215.7     | 100.000              |            |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 3. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 55:

Analisis Granulometrico en seco Calicata 3



**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

*Análisis granulométrico por lavado*

Tabla 22:

*Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 1*

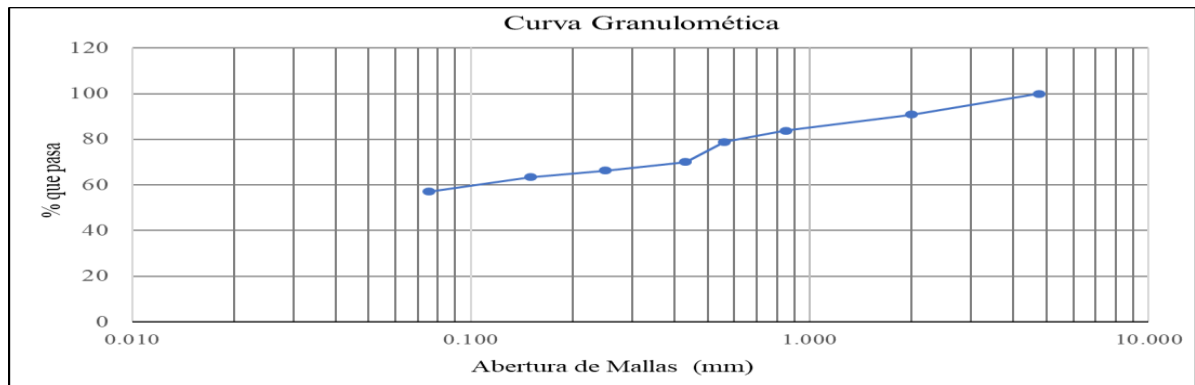
|   |           |
|---|-----------|
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b> | 573.00 gr |
| <b>Peso del recipiente =</b>                  | 73.00 gr  |
| <b>Peso de la muestra seca , Ws =</b>         | 500.00 gr |

| TAMIZ          | DIÁMETRO<br>(mm) | Peso<br>retenido<br>(gr) | %<br>retenido  | %<br>retenido<br>acumulado | % que pasa |
|----------------|------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|------------|
| N° 4           | 4.750            | 0.000                    | 0.000          | 0.000                      | 100.000    |
| N° 10          | 2.000            | 2.600                    | 0.520          | 0.520                      | 99.480     |
| N° 20          | 0.850            | 3.000                    | 0.600          | 1.120                      | 98.880     |
| N° 30          | 0.560            | 2.200                    | 0.440          | 1.560                      | 98.440     |
| N° 40          | 0.430            | 3.500                    | 0.700          | 2.260                      | 97.740     |
| N° 60          | 0.250            | 10.500                   | 2.100          | 4.360                      | 95.640     |
| N° 100         | 0.150            | 11.600                   | 2.320          | 6.680                      | 93.320     |
| N° 200         | 0.075            | 15.600                   | 3.120          | 9.800                      | 90.200     |
| <b>Perdida</b> | Lavado           | 451.000                  | 90.200         | 100.000                    | 0.000      |
| <b>Total</b>   |                  | <b>500.000</b>           | <b>100.000</b> |                            |            |
| <b>Cu =</b>    | <b>0.73</b>      |                          | <b>D10 =</b>   | 90.900                     |            |
| <b>Cc =</b>    | <b>1.03</b>      |                          | <b>D30 =</b>   | 78.840                     |            |
|                |                  |                          | <b>D60 =</b>   | 66.380                     |            |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 1. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 56:

*Análisis Granulométrico por lavado Calicata 1*



**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

Tabla 23:

Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 2 – E1

**Peso de la muestra seca + recipiente =** 617.40 gr  
**Peso del recipiente =** 117.40 gr  
**Peso de la muestra seca , Ws =** 500.00 gr

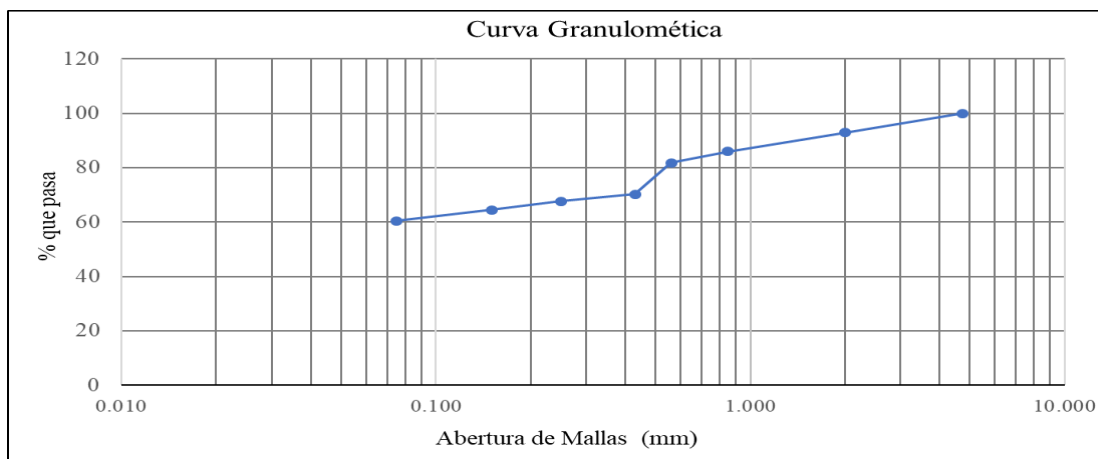
| Tamaño nominal del tamiz |               |                    |                |                      |            |
|--------------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------------|------------|
| TAMIZ                    | DIÁMETRO (mm) | Peso retenido (gr) | % retenido     | % retenido acumulado | % que pasa |
| N° 4                     | 4.750         | 0.000              | 0.000          | 0.000                | 100.000    |
| N° 10                    | 2.000         | 35.200             | 7.040          | 7.040                | 92.960     |
| N° 20                    | 0.850         | 35.100             | 7.020          | 14.060               | 85.940     |
| N° 30                    | 0.560         | 20.800             | 4.160          | 18.220               | 81.780     |
| N° 40                    | 0.430         | 57.600             | 11.520         | 29.740               | 70.260     |
| N° 60                    | 0.250         | 13.100             | 2.620          | 32.360               | 67.640     |
| N° 100                   | 0.150         | 16.200             | 3.240          | 35.600               | 64.400     |
| N° 200                   | 0.075         | 20.200             | 4.040          | 39.640               | 60.360     |
| Perdida                  | Lavado        | 301.800            | 60.360         | 100.000              | 0.000      |
| <b>Total</b>             |               | <b>500.0</b>       | <b>100.000</b> |                      |            |
| <b>Cu =</b>              | <b>0.73</b>   |                    | <b>D10 =</b>   | 92.96                |            |
| <b>Cc =</b>              | <b>1.06</b>   |                    | <b>D30 =</b>   | 81.78                |            |
|                          |               |                    | <b>D60 =</b>   | 67.64                |            |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 2 – E1. **Fuente:** Elaboración Propia.



Figura. 57:

Analisis Granulometrico por lavado Calicata 2 – E1



**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

Tabla 24:

Analisis granulométrico por lavado de la Calicata 2 – E2

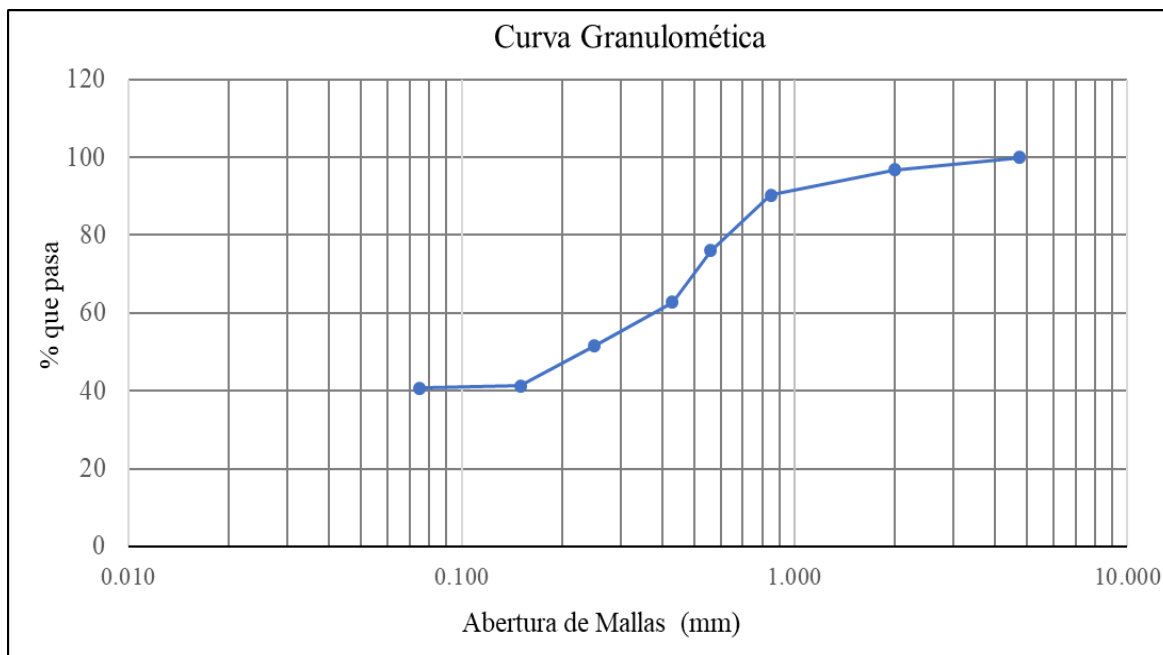
**Peso de la muestra seca + recipiente =** 617.40 gr  
**Peso del recipiente =** 117.40 gr  
**Peso de la muestra seca , Ws =** 500.00 gr  
**Tamaño nominal del tamiz**

| TAMIZ          | DIÁMETRO (mm)      | Peso retenido (gr) | % retenido     | % retenido acumulado | % que pasa |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------------|------------|
| N° 4           | 4.750              | 0                  | 0.000          | 0.000                | 100.000    |
| N° 10          | 2.000              | 16.300             | 3.260          | 3.260                | 96.740     |
| N° 20          | 0.850              | 32.400             | 6.480          | 9.740                | 90.260     |
| N° 30          | 0.560              | 71.300             | 14.260         | 24.000               | 76.000     |
| N° 40          | 0.43               | 66.100             | 13.220         | 37.220               | 62.780     |
| N° 60          | 0.25               | 56.400             | 11.280         | 48.500               | 51.500     |
| N° 100         | 0.15               | 51.400             | 10.280         | 58.780               | 41.220     |
| N° 200         | 0.075              | 2.900              | 0.580          | 59.360               | 40.640     |
| <b>Perdida</b> | Lavado             | 203.20             | 40.640         | 100.000              | 0.000      |
| <b>Total</b>   |                    | <b>500.000</b>     | <b>100.000</b> |                      |            |
| <b>Cu =</b>    | <b>0.532354765</b> |                    | <b>D10 =</b>   | 96.740               |            |
| <b>Cc =</b>    | <b>1.159348148</b> |                    | <b>D30 =</b>   | 76.000               |            |
|                |                    |                    | <b>D60 =</b>   | 51.500               |            |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 2 – E2. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Figura. 58:*

*Análisis Granulométrico por lavado Calicata 2 – E2*



**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

*Tabla 25:*

*Análisis granulométrico por lavado de la Calicata 3*

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b> | 617.40 gr |
| <b>Peso del recipiente =</b>                  | 117.40 gr |
| <b>Peso de la muestra seca , Ws =</b>         | 500.00 gr |

**Tamaño nominal del tamiz**

| TAMIZ  | DIÁMETRO (mm) | Peso retenido (gr) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|--------|---------------|--------------------|------------|----------------------|------------|
| N° 4   | 4.750         | 0                  | 0.000      | 0.000                | 100.000    |
| N° 10  | 2.000         | 65.4               | 13.080     | 13.080               | 86.920     |
| N° 20  | 0.850         | 75.6               | 15.120     | 28.200               | 71.800     |
| N° 30  | 0.560         | 39.8               | 7.960      | 36.160               | 63.840     |
| N° 40  | 0.43          | 42.4               | 8.480      | 44.640               | 55.360     |
| N° 60  | 0.25          | 80.7               | 16.140     | 60.780               | 39.220     |
| N° 100 | 0.15          | 58.5               | 11.700     | 72.480               | 27.520     |

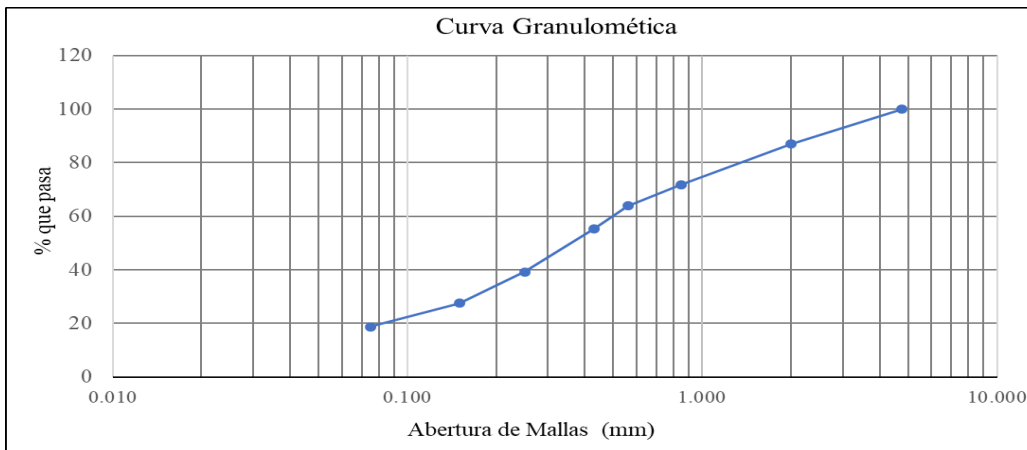
|                |        |            |                |         |        |
|----------------|--------|------------|----------------|---------|--------|
| <b>N° 200</b>  | 0.075  | 44.3       | 8.860          | 81.340  | 18.660 |
| <b>Perdida</b> | Lavado | 93.3       | 18.660         | 100.000 | 0.000  |
| <b>Total</b>   |        | <b>500</b> | <b>100.000</b> |         |        |

|             |                    |              |        |
|-------------|--------------------|--------------|--------|
| <b>Cu =</b> | <b>0.451219512</b> | <b>D10 =</b> | 86.920 |
| <b>Cc =</b> | <b>1.195524415</b> | <b>D30 =</b> | 63.840 |
|             |                    | <b>D60 =</b> | 39.220 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta el análisis granulométrico de la Calicata 3. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 59:*

*Analisis Granulometrico por lavado Calicata 3*

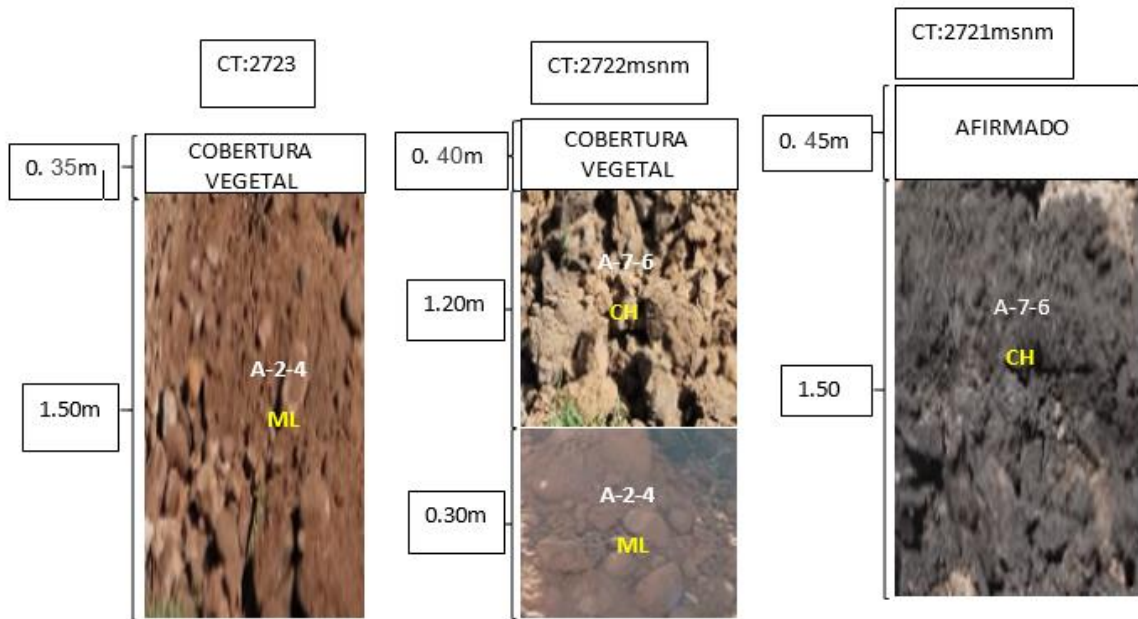


**Nota:** Resultados obtenidos en la primera fase del estudio, **Fuente:** Elaboración propia, 2023

*Ahora se procede a abordar el objetivo 4 mediante la Clasificación de suelos*

*Figura. 60:*

*Perfil estratigráfico.*

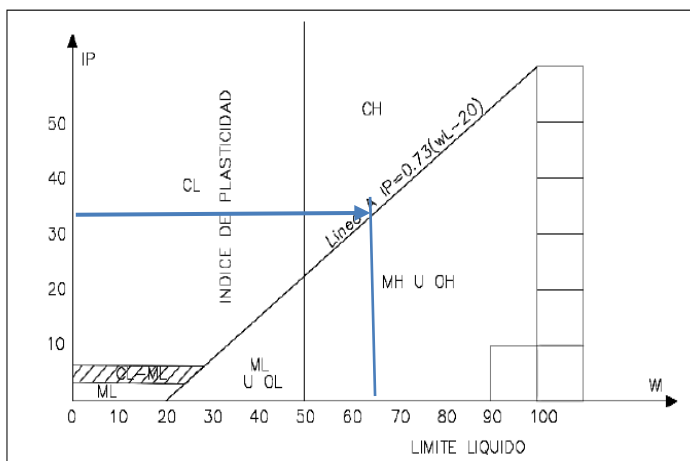


*Fuente: Elaboración propia, 2023*

La muestra a la que se realizaran los ensayos de mejoramiento es la muestra 1 ubicada en la cota 2723 con una cobertura vegetal de 0.35m y una profundidad de 1.50m, es un suelo A-2-4 tipo CL.

*Figura. 61:*

*Clasificación método de SUCS.*



**Fuente:** Llique Mondragon, 2015

*Tabla 26:*

*Clasificación de Suelos, Metodo SUCS de la C1*

|  |        |
|--|--------|
| LL=  | 64.43% |
| LP=  | 28.28% |
| IP=  | 36.15% |
| <b>Suelo arcilloso de alta plasticidad(CH)</b> |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación del suelo según el método SUCS de la C1.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 27:

*Clasificación de Suelos, Metodo ASHTO de la C1*

| Clasificación general                           | Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08mm |        |            |                                      |        |        | Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de |                |        |                   |        |        |
|---|---|--------|------------|--------------------------------------|--------|--------|--|----------------|--------|-------------------|--------|--------|
|   | A1  |        | A3         | A2                                   |        |        |  | A4             | A5     | A6                | A7     |        |
| Símbolo   | A1-a  | A1-b   |            | A2-4                                 | A2-5   | A2-6   | A2-7   |                |        |                   | A7-5   | A7-6   |
| Análisis Granulométrico % que pasa por el tamiz |   |        |            |                                      |        |        |  |                |        |                   |        |        |
| N° 10   | máx.50  |        |            |                                      |        |        |  |                |        |                   |        |        |
| N° 40   | máx.30  | máx.50 | máx.50     |                                      |        |        |  |                |        |                   |        |        |
| N° 200  | máx.15  | máx.25 | máx.10     | máx.35                               | máx.35 | máx.35 | máx.35                                       | mín.35         | mín.35 | mín.35            | mín.35 | mín.35 |
| Limites Atterberg                               |   |        |            | máx.40                               | mín.40 | máx.40 | mín.40                                       | máx.40         | máx.40 | máx.40            | mín.40 | mín.40 |
| Límite de liquidez índice de plasticidad        | máx.6   | máx.6  |            | máx.10                               | máx.10 | mín.10 | mín.10                                       | máx.10         | máx.10 | mín.10            | mín.10 | mín.10 |
| Índice de grupo                                 | 0   | 0      | 0          | 0                                    | 0      | máx.4  | máx.4  | máx.8          | máx.12 | máx.16            | máx.20 | máx.20 |
| Tipo de material                                | Piedras, gravas y arena                                   |        | Arena Fina | Gravas y arenas limosas y arcillosas |        |        |  | Suelos limosos |        | Suelos arcillosos |        |        |
| Estimación general del suelo como subrasante    | De excedente a bueno                                      |        |            |                                      |        |        | De pasable a malo                            |                |        |                   |        |        |

$$IG=(F200-35)*[0.2+0.005*(LL-40)]+0.01(F200-15)*(IP-10)$$

$$F200= \text{Porcentaje que pasa la malla N°200}$$

$$LL= \text{Limite liquido}$$

$$IP= \text{Índice de plasticidad}$$

$$\text{Tipo de suelo} =$$

**A-7-6**

$$\% \text{pasa } 200 = 57.14$$

$$\text{Limite Liquido} = 64.43$$

$$IP = 36.15 > 14.43$$

$$IG = 18.15031001$$

$$7.132167943$$

$$11.01814206$$

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación del suelo según el método ASHTO de la C1.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 28:

*Clasificación de Suelos, Metodo SUCS de la C2-E1*

|  |        |
|--|--------|
| LL=  | 63.64% |
| LP=  | 26.92% |
| IP=  | 36.73% |
| <b>Suelo arcilloso de alta plasticidad(CH)</b> |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación del suelo según el método SUCS de la C1.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 29: *Clasificación de Suelos, Metodo ASHTO de la C2-E1*

| F200=           | Porcentaje que pasa la malla N°200 |                 |              |
|-----------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| LL=             | Limite liquido                     |                 |              |
| IP=             | Índice de plasticidad              |                 |              |
| %pasa 200=      | 60.36                              |                 |              |
| Limite Liquido= | 63.64                              | Tipo de suelo = | <b>A-7-6</b> |
| IP=             | 36.73                              | >               | 13.64        |
| IG=             | 20.19256239                        |                 |              |
|                 | 8.069892695                        |                 |              |
|                 | 12.12266969                        |                 |              |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación del suelo según el método ASHTO de la C2-E1. **Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 30:

*Clasificación de Suelos, Metodo SUCS de la C2-E2*

|   |        |
|---|--------|
| LL=   | 37.63% |
| LP=   | 29.17% |
| IP=   | 8.45%  |
| <b>Suelo arcilloso de baja plasticidad (CL)</b> |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación del suelo según el método SUCS de la C1.

**Fuente:** Elaboración Propia.

Tabla 31:

*Clasificación de Suelos, Metodo ASHTO de la C2-E2*

| F200=      | Porcentaje que pasa la malla N°200 |                 |              |
|------------|------------------------------------|-----------------|--------------|
| LL=        | Limite liquido                     |                 |              |
| IP=        | Índice de plasticidad              |                 |              |
| %pasa 200= | 40.64                              | Tipo de suelo : | <b>A-2-4</b> |

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Limite Liquido= | 37.63       |
| IP=             | 8.45        |
| IG=             | 0.664529453 |
|                 | 1.061080437 |
|                 | -0.39655098 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificacion del suelo según el metodo ASHTO de la C2-E2. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 32:

*Clasificacion de Suelos, Metodo SUCS de la C3*

|     |        |
|-----|--------|
| LL= | 37.63% |
| LP= | 29.93% |
| IP= | 7.71%  |

**Suelos arcillosos de baja plasticidad(CL)**

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificacion del suelo según el metodo SUCS de la C3. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 33:

*Clasificacion de Suelos, Metodo ASHTO de la C3*

| F200=             | Porcentaje que pasa la malla<br>N°200 |                                    |
|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| LL=               | Limite liquido                        |                                    |
| IP=               | Índice de plasticidad                 |                                    |
|                   | <b>Tipo de suelo :</b>                | <b>A-2-4</b>                       |
| <b>%pasa 40=</b>  | <b>55.36</b>                          |                                    |
| <b>%pasa 200=</b> | 18.66                                 |                                    |
| Limite Liquido=   | 37.634533                             |                                    |
| IP=               | 7.7052535                             |                                    |
| IG=               | -3.1587291                            | por lo tanto,<br>se considera<br>0 |
|                   | -3.0747414                            |                                    |
|                   | -0.0839877                            |                                    |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificacion del suelo según el metodo ASHTO de la C3. **Fuente:** Elaboracion Propia.

**Peso Específico:**

Tabla 34:

*Peso específico del material fino*

| ID | DESCRIPCIÓN                                 | UN                 | 1      | 2      |
|----|---|--------------------|--------|--------|
| A  | Identificación de la Muestra                |                    | M1     | M2     |
| B  | Peso de la Muestra Seca                     | gr                 | 100.00 | 100.00 |
| C  | Peso de Fiola + Agua (500ml)                | cm <sup>3</sup>    | 709.20 | 669.80 |
| D  | Peso de Fiola + Agua (500 ml) - Aire        | cm <sup>3</sup>    | 771.20 | 731.60 |
| E  | Peso específico $Y_s = (B / (B + C - D))$   | gr/cm <sup>3</sup> | 2.63   | 2.62   |
| F  | Promedio del Peso Específico " $\gamma_s$ " | gr/cm <sup>3</sup> |        | 2.62   |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la determinación del peso específico del material fino de la muestra C1. **Fuente:** Elaboración Propia.

**Índice de Grupo:**

Tabla 35:

*Ensayo de Proctor C1*

| Número        | Valor de IG | Rango de Clasificación                   |
|---------------|-------------|--|
| IG Calicata 1 | 18.15       | CH (Suelo arcilloso de alta plasticidad) |
| IG Calicata 2 | 20.19       | CH (Suelo arcilloso de alta plasticidad) |
| IG Calicata 3 | 0           | CL (Arcilla de baja plasticidad)         |

**Nota:** La siguiente tabla presenta la clasificación dada a partir del Índice de grupo calculado. **Fuente:** Elaboración Propia.

Con todo lo anterior podemos proceder con los Ensayos de Proctor que nos ayudaran con el objetivo 5 :

Tabla 36:

*Ensayo de Proctor C1*

|                 |   |         |
|-----------------|---|---------|
| Volumen molde   | : | 948.22  |
| Peso molde      | : | 4019.80 |
| Altura de caída | : | 18 plg  |



|                               |                   |        |         |          |             |          |          |
|-------------------------------|-------------------|--------|---------|----------|-------------|----------|----------|
| Peso martillo                 | :                 | 4.5 Kg | Golpes: | 25       | # de capas: | 5        |          |
| Muestra #                     |                   |        |         | <b>1</b> | <b>2</b>    | <b>3</b> | <b>4</b> |
| Peso del molde + suelo húmedo | G                 |        |         | 5753.60  | 5800.00     | 5835.00  | 5820.00  |
| Peso del suelo húmedo         | G                 |        |         | 1733.80  | 1780.20     | 1815.20  | 1800.20  |
| Humedad calculada             | %                 |        |         | 18.41    | 19.35       | 21.03    | 24.60    |
| Densidad Húmeda               | kg/m <sup>3</sup> |        |         | 1.83     | 1.88        | 1.91     | 1.90     |
| Densidad seca                 | kg/m <sup>3</sup> |        |         | 1.54     | 1.57        | 1.58     | 1.52     |

### Contenidos de humedad

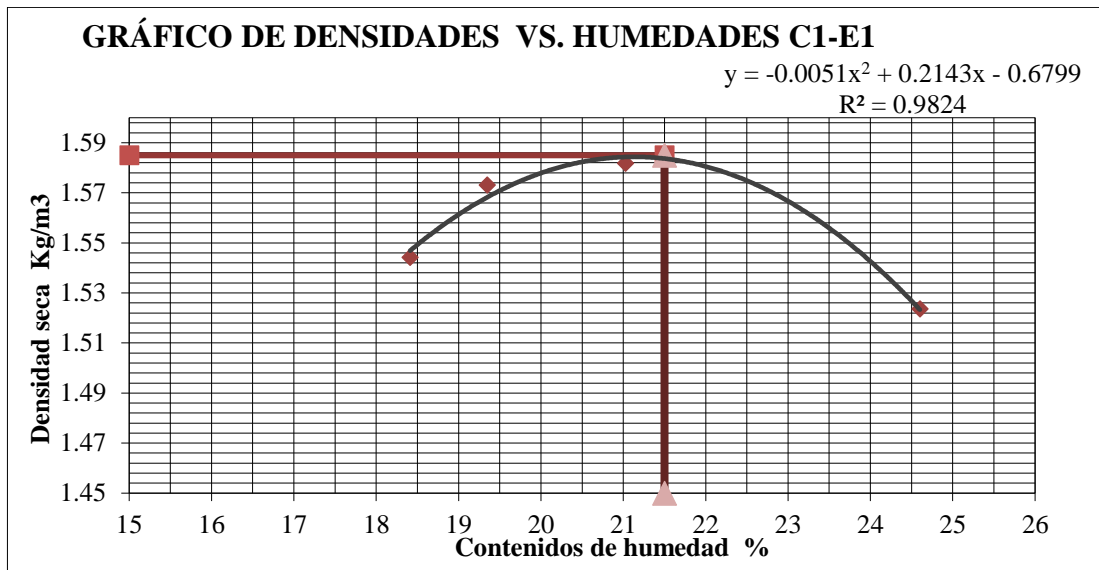
| Muestra #            |   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |        |        |        |        |
|----------------------|---|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| Recipiente #         |   |          |          |          |          |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo   | G | 124.60   | 154.90   | 166.54   | 165.06   | 171.53 | 169.83 | 193.00 | 184.03 |
| Rec + suelo seco     | G | 109.60   | 135.00   | 143.46   | 143.41   | 145.79 | 145.64 | 160.70 | 152.59 |
| Peso del recipiente  | G | 27.60    | 27.60    | 27.35    | 28.33    | 26.64  | 27.34  | 27.12  | 26.94  |
| Peso del suelo seco  | G | 82.00    | 107.40   | 116.11   | 115.08   | 119.15 | 118.30 | 133.58 | 125.65 |
| Peso del agua        | G | 15.00    | 19.90    | 23.08    | 21.65    | 25.74  | 24.19  | 32.30  | 31.44  |
| Contenido de Humedad | % | 18.29    | 18.53    | 19.88    | 18.81    | 21.60  | 20.45  | 24.18  | 25.02  |
| Humedad promedio     | % | 18.41    |          | 19.35    |          | 21.03  |        | 24.60  |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor de la C1.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 62:*

*Grafico de densidades vs Humedades C1-E1.*



**Fuente:** Propia *Tabla 37:*

*Ensayo de Proctor C2-E1*

Volumen molde : 948.22

Peso molde : 4264.00

Altura de caída : 18 plg  
4.5

Peso martillo : Kg Golpes :25

# de capas: 5

| Muestra #         |                   | 1       | 2       | 3       | 4       |
|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Peso del molde +  |                   |         |         |         |         |
| suelo húmedo      | G                 | 5955.50 | 6022.50 | 6089.00 | 6094    |
| Peso del suelo    |                   |         |         |         |         |
| húmedo            | G                 | 1691.50 | 1758.50 | 1825.00 | 1830.00 |
| Humedad calculada | %                 | 14.37   | 16.63   | 21.17   | 23.42   |
| Densidad Húmeda   | kg/m <sup>3</sup> | 1.78    | 1.85    | 1.92    | 1.93    |
| Densidad seca     | kg/m <sup>3</sup> | 1.56    | 1.59    | 1.59    | 1.56    |

**Contenidos de humedad**

| Muestra #    |   | 1      | 2      | 3      | 4      |        |        |        |        |
|--------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Recipiente # |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rec + suelo  |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| húmedo       | G | 425.30 | 385.20 | 360.40 | 378.00 | 393.70 | 165.06 | 567.40 | 423.30 |
| Rec + suelo  |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| seco         | G | 381.10 | 344.80 | 318.20 | 342.50 | 337.00 | 148.20 | 484.40 | 355.00 |

|                      |   |        |        |        |        |        |       |        |        |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Peso del recipiente  | G | 69.10  | 67.40  | 69.20  | 124.90 | 67.40  | 69.10 | 124.90 | 67.40  |
| Peso del suelo seco  | G | 312.00 | 277.40 | 249.00 | 217.60 | 269.60 | 79.10 | 359.50 | 287.60 |
| Peso del agua        | G | 44.20  | 40.40  | 42.20  | 35.50  | 56.70  | 16.86 | 83.00  | 68.30  |
| Contenido de Humedad | % | 14.17  | 14.56  | 16.95  | 16.31  | 21.03  | 21.31 | 23.09  | 23.75  |
| Humedad promedio     | % | 14.37  |        | 16.63  |        | 21.17  |       | 23.42  |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor de la C2-E1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 63

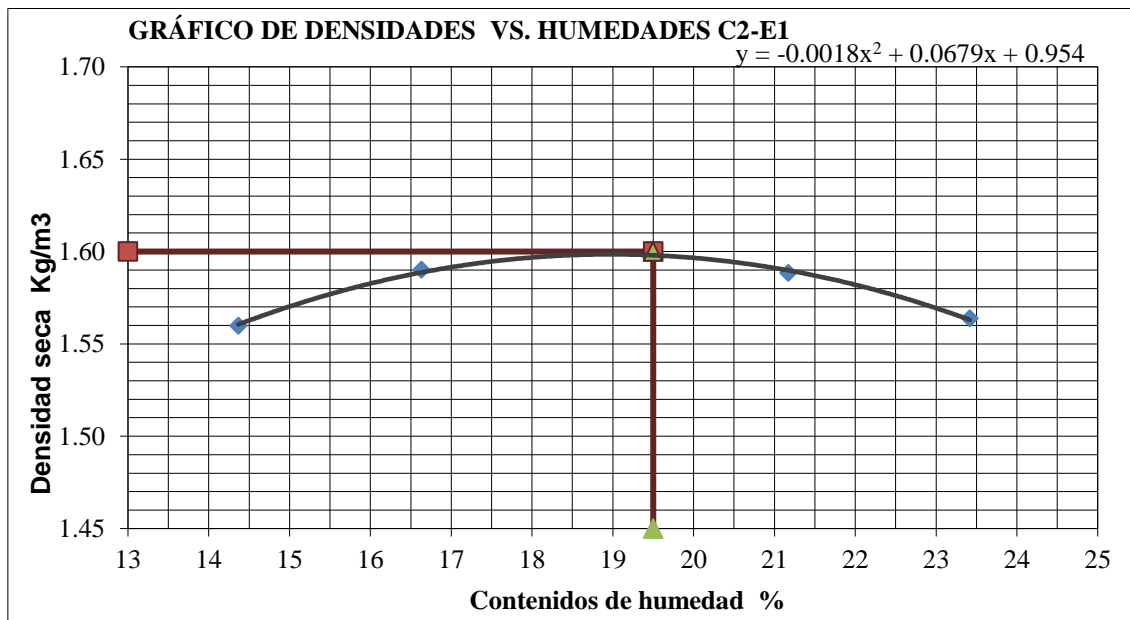


Gráfico de densidades vs Humedades C2-E1. **Fuente:** Propia

Tabla 38:

### Ensayo de Proctor C3

Volumen molde : 933.98

Peso molde : 4036.90

Altura de caída : 18 plg

Peso martillo : 4.5 Kg

Golpes: 25

# de capas: 5

| Muestra #                     |       | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
|-------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peso del molde + suelo húmedo | g     | 5814.80 | 5888.50 | 6160.00 | 6137.00 | 6100.00 |
| Peso del suelo húmedo         | g     | 1777.90 | 1851.60 | 2123.10 | 2100.10 | 2063.10 |
| Humedad calculada             | %     | 6.32    | 7.40    | 9.91    | 11.46   | 12.53   |
| Densidad Húmeda               | kg/m3 | 1.90    | 1.98    | 2.27    | 2.25    | 2.21    |
| Densidad seca                 | kg/m3 | 1.79    | 1.85    | 2.07    | 2.02    | 1.96    |

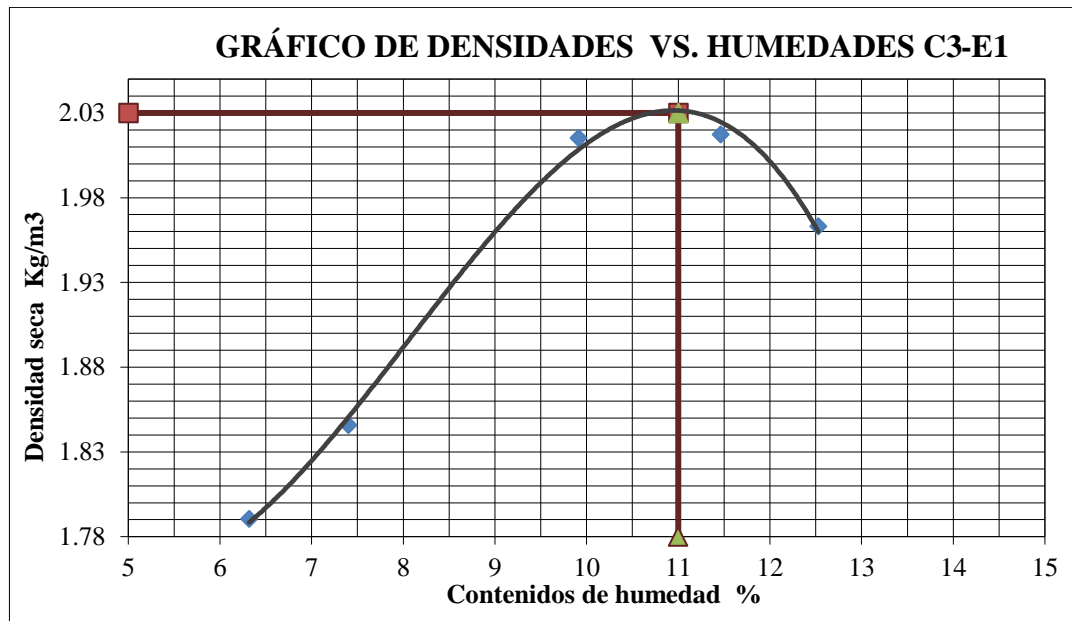
### CONTENIDO DE HUMEDAD

| Muestra #            |   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |        |        |        |        |        |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Recipiente #         |   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo   | G | 222.10 | 259.70 | 261.60 | 240.80 | 229.40 | 206.60 | 246.70 | 223.90 | 172.10 | 183.00 |
| Rec + suelo seco     | G | 210.90 | 245.40 | 245.90 | 225.70 | 211.10 | 190.50 | 223.60 | 204.20 | 156.30 | 165.40 |
| Peso del recipiente  | G | 27.10  | 26.80  | 27.40  | 27.40  | 27.30  | 27.30  | 26.80  | 28.10  | 28.30  | 26.90  |
| Peso del suelo seco  | G | 183.80 | 218.60 | 218.50 | 198.30 | 183.80 | 163.20 | 196.80 | 176.10 | 128.00 | 138.50 |
| Peso del agua        | G | 11.20  | 14.30  | 15.70  | 15.10  | 18.30  | 16.10  | 23.10  | 19.70  | 15.80  | 17.60  |
| Contenido de Humedad | % | 6.09   | 6.54   | 7.19   | 7.61   | 9.96   | 9.87   | 11.74  | 11.19  | 12.34  | 12.71  |
| Humedad promedio     | % | 6.32   | 7.40   | 9.91   | 11.46  | 12.53  |        |        |        |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor de la C3. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 64:*

*Grafico de densidades vs Humedades C3.*



Fuente: Propia

El **objetivo 6** nos ayuda a obtener los siguientes resultados

**Ensayos de CBR Hinchamiento:**

Tabla 39: Ensayo de CBR Hinchamiento C1

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL |                    |        |        |        |        |        |        |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DESCRIPCIÓN                            | UND                | 1      | 2      | 3      |        |        |        |
| N° Golpes                              |                    | 5      | 5      | 5      |        |        |        |
| N° Golpes por capa                     |                    | 13     | 27     | 56     |        |        |        |
| Condición de muestra                   |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu  | Antes  | Despu. |
| Peso Molde                             | gr                 | 7737   | 7737   | 8292   | 8292   | 7840   | 7840   |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 | 11471  | 11758  | 12346  | 12516  | 12026  | 12211  |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 | 3734   | 4021   | 4054   | 4224   | 4186   | 4371   |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2291.0 | 2114.0 | 2238.4 | 2120.0 | 2269.3 |
| Densidad húmeda; Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.718  | 1.8    | 1.918  | 1.9    | 1.975  | 1.9    |

| CONTENIDO DE HUMEDAD             |    |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|----------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ensayo                           | N° | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C |
| Peso Recipiente                  | gr | 27.90  | 26.00  | 28.88  | 27.30  | 26.90  | 28.75  | 26.90  | 28.90  | 27.11 |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr | 153.00 | 167.00 | 220.75 | 151.10 | 138.40 | 189.43 | 144.50 | 137.80 | 204.2 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr | 126.80 | 136.80 | 159.89 | 126.20 | 116.30 | 139.57 | 121.90 | 116.70 | 147.8 |

|                                  |           |       |        |        |       |       |        |       |       |        |
|----------------------------------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Peso del Agua                    | <b>gr</b> | 26.20 | 30.20  | 60.86  | 24.90 | 22.10 | 49.86  | 22.60 | 21.10 | 56.36  |
| Peso Muestra Seca                | <b>gr</b> | 98.90 | 110.80 | 131.01 | 98.90 | 89.40 | 110.82 | 95.00 | 87.80 | 120.75 |
| <b>Contenido de Humedad ; W%</b> | <b>%</b>  |       | 26.87  | 46.45  | 24.95 | 44.99 |        | 23.91 |       | 46.67  |
| Promedio Contenido de Humedad    | <b>%</b>  |       | 36.66  |        | 34.97 |       |        | 35.29 |       |        |
| <b>Densidad Máxima Seca; Ds</b>  |           |       | 1.354  |        | 1.535 |       |        | 1.594 |       |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Tabla 40:*

*Ensayo de Hinchamiento C1*

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| <b>TIEMPO ACUMULADO</b> | <b>MOLDE N°01</b> |                     |             | <b>MOLDE N°02</b> |                     |                 | <b>MOLDE N°03</b> |                     |       |
|-------------------------|-------------------|---------------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------|
|                         | <b>Lectura</b>    | <b>Hinchamiento</b> |             | <b>Lectura</b>    | <b>Hinchamiento</b> |                 | <b>Lectura</b>    | <b>Hinchamiento</b> |       |
|                         | <b>Días</b>       | <b>Deforma.</b>     | <b>Mm %</b> | <b>Deforma.</b>   | <b>mm %</b>         | <b>Deforma.</b> | <b>mm %</b>       |                     |       |
| 0.00                    | 0                 | 0                   | 0.000       | 0                 | 0                   | 0.000           | 0                 | 0                   | 0.000 |
| 1.00                    | 0.135             | 3.429               | 2.716       | 0.129             | 3.2766              | 2.783           | 0.124             | 3.1496              | 2.518 |
| 2.00                    | 0.2               | 5.08                | 4.024       | 0.19              | 4.826               | 4.099           | 0.256             | 6.5024              | 5.199 |
| 3.00                    | 0.236             | 5.9944              | 4.748       | 0.242             | 6.1468              | 5.221           | 0.296             | 7.5184              | 6.012 |
| 4.00                    | 0.256             | 6.5024              | 5.150       | 0.27              | 6.858               | 5.825           | 0.324             | 8.2296              | 6.580 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Tabla 41:*

*Ensayo de CBR Hinchamiento C2-E1*

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL**

| <b>DESCRIPCIÓN</b>          | <b>UND</b> | <b>1</b>     |              | <b>2</b>     |              | <b>3</b>     |              |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>N° Golpes</b>            |            | 5            |              | 5            |              | 5            |              |
| <b>N° Golpes por capa</b>   |            | 13           |              | 27           |              | 56           |              |
| <b>Condición de muestra</b> |            | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> |
| <b>Peso Molde</b>           | <b>Gr</b>  | 8513         | 8513         | 8537         | 8537         | 8601         | 8601         |

|                                    |                          |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Peso Muestra húmeda + Molde</b> | <b>Gr</b>                | 11870  | 12679  | 12109  | 12721  | 12474  | 12999  |
| <b>Peso Muestra húmeda</b>         | <b>gr</b>                | 3357   | 4166   | 3572   | 4184   | 3873   | 4399   |
| <b>Volumen Muestra húmeda</b>      | <b>cm<sup>3</sup></b>    | 2139.9 | 2198.0 | 2152.0 | 2136.3 | 2047.1 | 2140.0 |
| <b>Densidad húmeda; Dh</b>         | <b>gr/cm<sup>3</sup></b> | 1.569  | 1.9    | 1.660  | 2.0    | 1.892  | 2.1    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                                  | N°        | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Peso Recipiente</b>                  | <b>gr</b> | 150.20 | 102.10 | 28.50  | 143.00 | 37.30  | 32.40  | 102.10 | 143.00 | 31.40  |
| <b>Peso Muestra húmeda + Recipiente</b> | <b>gr</b> | 545.70 | 485.50 | 240.20 | 604.60 | 168.20 | 301.00 | 530.30 | 250.00 | 283.60 |
| <b>Peso Muestra Seca + Recipiente</b>   | <b>gr</b> | 482.60 | 424.50 | 168.80 | 532.50 | 147.70 | 214.70 | 463.20 | 235.00 | 210.20 |
| <b>Peso del Agua</b>                    | <b>gr</b> | 63.10  | 61.00  | 71.40  | 72.10  | 20.50  | 86.30  | 67.10  | 15.00  | 73.40  |
| <b>Peso Muestra Seca</b>                | <b>gr</b> | 332.40 | 322.40 | 140.30 | 389.50 | 110.40 | 182.30 | 361.10 | 92.00  | 178.80 |
| <b>Contenido de Humedad ; W%</b>        | <b>%</b>  | 18.95  | 50.89  |        | 18.54  | 47.34  |        | 17.44  | 41.05  |        |
| <b>Promedio Contenido de Humedad</b>    | <b>%</b>  |        | 34.92  |        |        | 32.94  |        | 29.25  |        |        |
| <b>Densidad Máxima Seca; Ds</b>         |           |        | 1.319  |        |        | 1.400  |        | 1.611  |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C2-E1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 42:

*Ensayo de Hinchamiento C2-E1*

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO ACUMULADO | MOLDE N°01       |                 |        | MOLDE N°02       |                 |         | MOLDE N°03       |                 |        |
|------------------|------------------|-----------------|--------|------------------|-----------------|---------|------------------|-----------------|--------|
|                  | Lectura Deforma. | Hinchamiento Mm | %      | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | %       | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | %      |
| 0.00             | 0.00             | 0               | 0      | 0.000            | 0               | 0       | 0.000            | 0               | 0      |
| 24.00            | 1.00             | 0.0495          | 1.2375 | 1.022            | 0.0441          | 1.12014 | 0.951            | 0.041           | 1.025  |
| 48.00            | 2.00             | 0.0521          | 1.3025 | 1.075            | 0.0462          | 1.17348 | 0.997            | 0.0435          | 1.0875 |
| 72.00            | 3.00             | 0.0545          | 1.3625 | 1.125            | 0.0481          | 1.22174 | 1.038            | 0.044           | 1.1    |
| 96.00            | 4.00             | 0.055           | 1.375  | 1.135            | 0.0483          | 1.22682 | 1.042            | 0.044           | 1.1    |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 43:

*Ensayo de CBR Hinchamiento C3*

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL**

| DESCRIPCIÓN                 | UND | 1           | 2           | 3           |
|-----------------------------|-----|-------------|-------------|-------------|
| <b>N° Golpes</b>            |     | 5           | 5           | 5           |
| <b>N° Golpes por capa</b>   |     | 13          | 27          | 56          |
| <b>Condición de muestra</b> |     | Antes Desp. | Antes Desp. | Antes Desp. |

|                                    |                          |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Peso Molde</b>                  | <b>Gr</b>                | 7244   | 7244   | 7219   | 7219   | 7253   | 7253   |
| <b>Peso Muestra húmeda + Molde</b> | <b>Gr</b>                | 11880  | 12010  | 12110  | 12175  | 12245  | 12280  |
| <b>Peso Muestra húmeda</b>         | <b>gr</b>                | 4637   | 4767   | 4891   | 4956   | 4992   | 5027   |
| <b>Volumen Muestra húmeda</b>      | <b>cm<sup>3</sup></b>    | 2173.0 | 2187.7 | 2114.0 | 2123.7 | 2120.0 | 2126.9 |
| <b>Densidad húmeda; Dh</b>         | <b>gr/cm<sup>3</sup></b> | 2.134  | 2.2    | 2.313  | 2.3    | 2.355  | 2.4    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                                  | N°        | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Peso Recipiente</b>                  | <b>gr</b> | 27.90  | 27.00  | 38.50  | 38.6   | 27.3   | 38.00  | 38.90  | 38.70  | 38.70  |
| <b>Peso Muestra húmeda + Recipiente</b> | <b>gr</b> | 297.30 | 358.70 | 199.80 | 275.70 | 240.90 | 244.00 | 333.00 | 336.90 | 211.60 |
| <b>Peso Muestra Seca + Recipiente</b>   | <b>gr</b> | 264.80 | 318.40 | 179.50 | 246.50 | 217.10 | 219.20 | 295.00 | 306.10 | 191.00 |
| <b>Peso del Agua</b>                    | <b>gr</b> | 32.50  | 40.30  | 20.30  | 29.20  | 23.80  | 24.80  | 38.00  | 30.80  | 20.60  |
| <b>Peso Muestra Seca</b>                | <b>gr</b> | 236.90 | 291.40 | 141.00 | 207.90 | 189.80 | 181.20 | 256.10 | 267.40 | 152.30 |
| <b>Contenido de Humedad ; W%</b>        | <b>%</b>  | 13.77  | 14.40  | 13.29  | 13.69  | 13.18  | 13.53  |        |        |        |
| <b>Promedio Contenido de Humedad</b>    | <b>%</b>  | 14.09  |        | 13.49  |        | 13     |        |        |        |        |
| <b>Densidad Máxima Seca; Ds</b>         |           | 1.875  |        | 2.042  |        | 2.080  |        |        |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C3. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 44:

*Ensayo de Hinchamiento C3*

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO ACUMULADO | MOLDE N°01       |                 |       | MOLDE N°02       |                 |       | MOLDE N°03       |                 |       |
|------------------|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|-------|
|                  | Lectura Deforma. | Hinchamiento Mm | %     | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | %     | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | %     |
| Horas            |                  |                 |       |                  |                 |       |                  |                 |       |
| 0                | 0                | 0.000           | 0     | 0                | 0.000           | 0     | 0                | 0.000           | 0     |
| 0.023            | 0.5842           | 0.482           | 0.01  | 0.254            | 0.217           | 0.05  | 1.27             | 1.084           | 0.023 |
| 0.025            | 0.635            | 0.524           | 0.013 | 0.3302           | 0.282           | 0.01  | 0.254            | 0.217           | 0.025 |
| 0.03             | 0.762            | 0.629           | 0.017 | 0.4318           | 0.369           | 0.012 | 0.3048           | 0.260           | 0.03  |
| 0.032            | 0.8128           | 0.671           | 0.021 | 0.5334           | 0.456           | 0.015 | 0.381            | 0.325           | 0.032 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Ensayos de CBR penetración:*

Tabla 45:

*Ensayo de CBR penetracion C1*

**CARGA - PENETRACIÓN C1-E1**

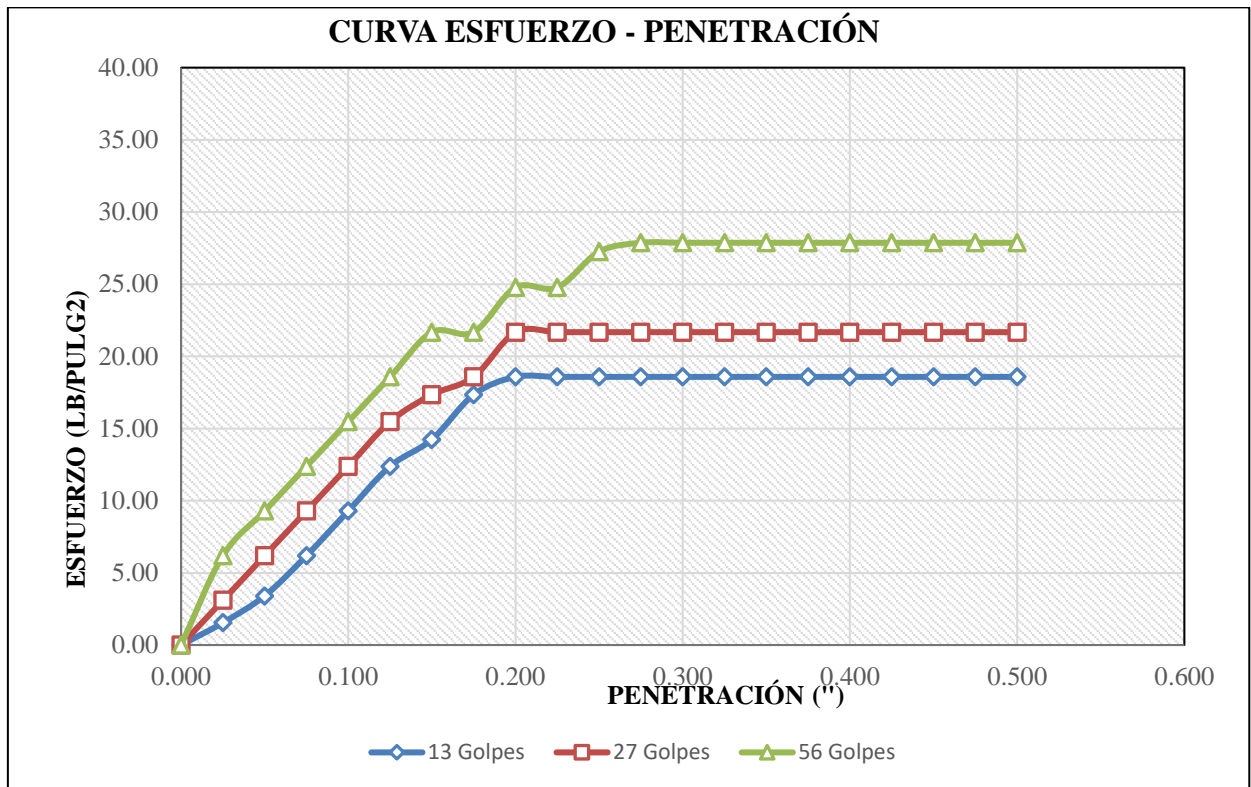
| PENETRACIÓN | MOLDE N° 01 |          | MOLDE N° 02 |          | MOLDE N° 03 |          |
|-------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|             | Carga       | Esfuerzo | Carga       | Esfuerzo | Carga       | Esfuerzo |
|             |             |          |             |          |             |          |



| Mm    | Pulg  | kg    | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg    | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg     | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| 0.00  | 0.000 | 0.00  | 0.00               | 0.00               | 0.00  | 0.00               | 0.00               | 0.00   | 0.00               | 0.00               |
| 0.64  | 0.025 | 6.35  | 0.33               | 1.55               | 12.70 | 0.65               | 3.10               | 25.40  | 1.31               | 6.19               |
| 1.27  | 0.050 | 13.97 | 0.72               | 3.41               | 25.40 | 1.31               | 6.19               | 38.10  | 1.96               | 9.29               |
| 1.91  | 0.075 | 25.40 | 1.31               | 6.19               | 38.10 | 1.96               | 9.29               | 50.80  | 2.62               | 12.39              |
| 2.54  | 0.10  | 38.10 | 1.96               | <b>9.29</b>        | 50.80 | 2.62               | <b>12.39</b>       | 63.50  | 3.27               | <b>15.48</b>       |
| 3.18  | 0.125 | 50.80 | 2.62               | 12.39              | 63.50 | 3.27               | 15.48              | 76.20  | 3.93               | 18.58              |
| 3.81  | 0.150 | 58.42 | 3.01               | 14.24              | 71.12 | 3.67               | 17.34              | 88.90  | 4.58               | 21.68              |
| 4.45  | 0.175 | 71.12 | 3.67               | 17.34              | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90  | 4.58               | 21.68              |
| 5.08  | 0.20  | 76.20 | 3.93               | <b>18.58</b>       | 88.90 | 4.58               | <b>21.68</b>       | 101.60 | 5.24               | <b>24.77</b>       |
| 5.72  | 0.225 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 101.60 | 5.24               | 24.77              |
| 6.35  | 0.250 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 111.76 | 5.76               | 27.25              |
| 6.99  | 0.275 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 7.62  | 0.300 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 8.26  | 0.325 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 8.89  | 0.350 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 9.53  | 0.375 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 10.16 | 0.400 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 10.80 | 0.425 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 11.43 | 0.450 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 12.07 | 0.475 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |
| 12.70 | 0.500 | 76.20 | 3.93               | 18.58              | 88.90 | 4.58               | 21.68              | 114.30 | 5.89               | 27.87              |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 65:*  
*Curva Esfuerzo-Penetracion C1.*



Fuente: Propia

Tabla 46:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl²)                   | 9.2894     | 18.5789 | 12.3859    | 21.6753 | 15.4824    | 24.7718 |
| Esf. Patrón (Lb/pl²)                    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 0.9289     | 1.2386  | 1.2386     | 1.4450  | 1.5482     | 1.6515  |

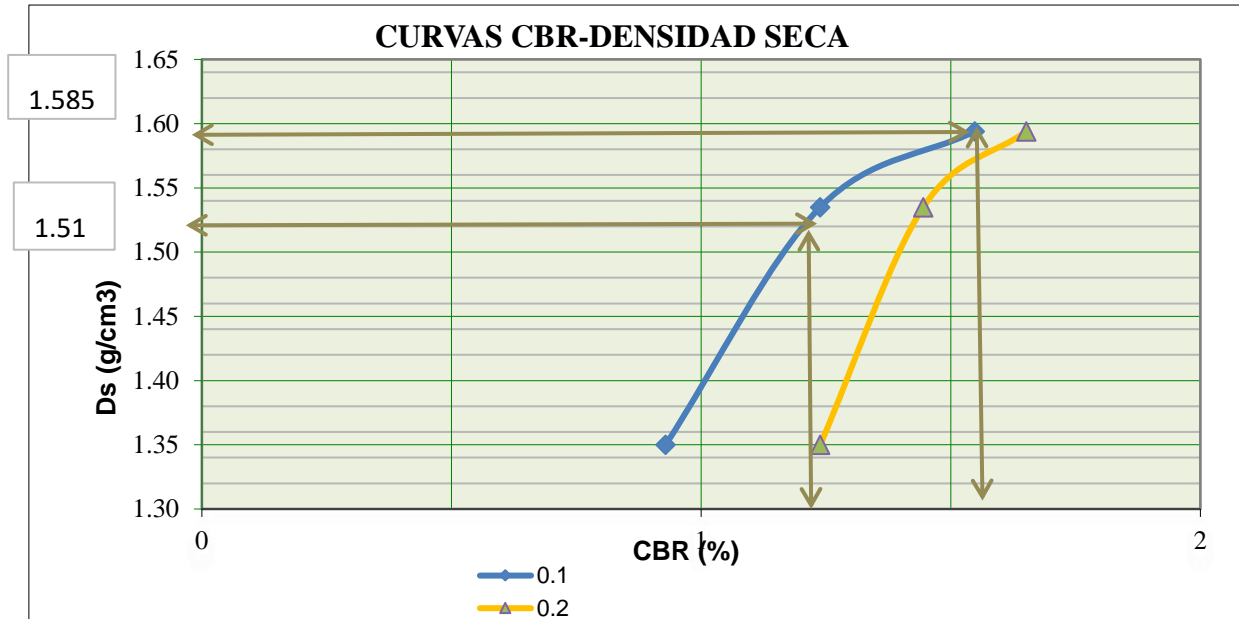
| C.B.R Y DENSIDAD SECA           |            |        |            |        |            |        |
|---------------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°                        | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")                 | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)                         | 0.9289     | 1.2386 | 1.2386     | 1.4450 | 1.5482     | 1.6515 |
| Ds ( gr/cm3)                    | 1.35       | 1.35   | 1.54       | 1.54   | 1.59       | 1.59   |
| Densidad seca máxima de Proctor |            |        | 1.585      |        | 1.59       |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion para la C1.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 66:

Curva CBR-Densidad Seca C1.



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                               |       |
|---|-------|
| +<br>Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.59  |
|   | 1.51  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                        | 21.50 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1")         | 1.58% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")          | 1.30% |

Fuente: Propia

Tabla 47:

Carga - Penetración C2-E1

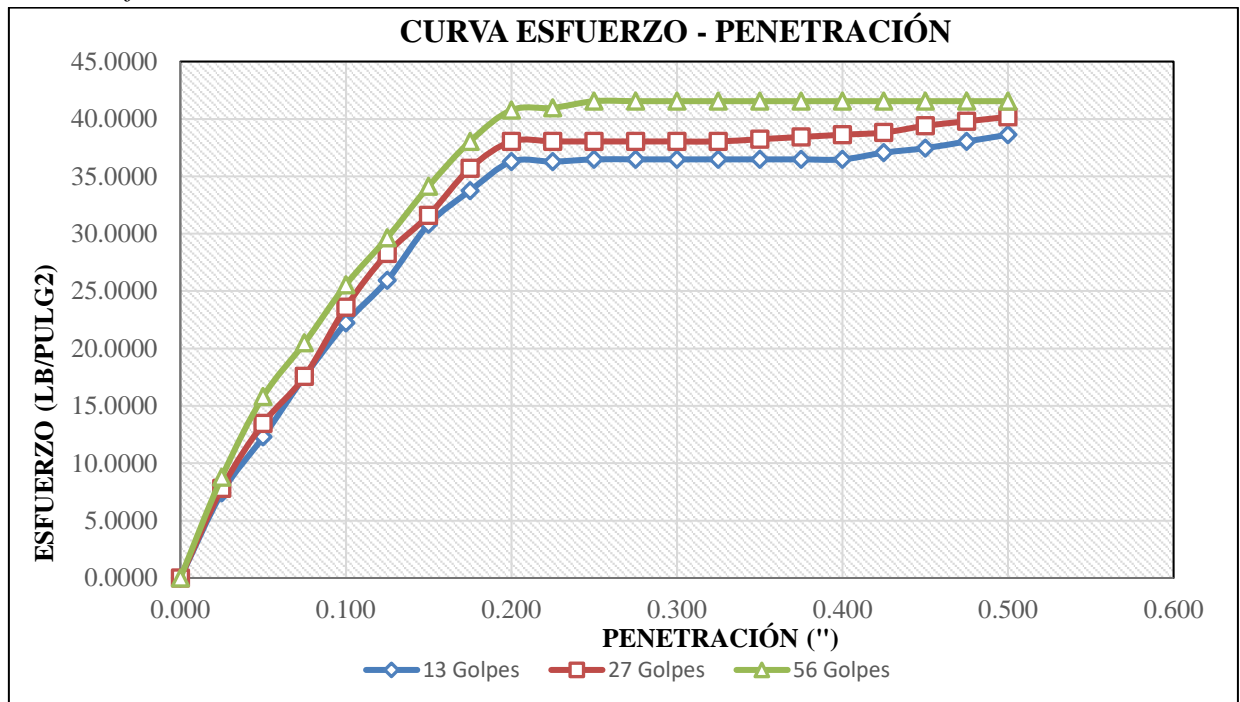
| CARGA - PENETRACIÓN C2-E1 |       |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---------------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|                           |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm                        | Pulg  | Kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.000                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             |
| 0.635                     | 0.025 | 30.4000     | 1.5670             | 7.4120             | 32.0000     | 1.6495             | 7.8022             | 36.0000     | 1.8557             | 8.7774             |
| 1.270                     | 0.050 | 50.4000     | 2.5979             | 12.2884            | 55.2000     | 2.8454             | 13.4587            | 64.8000     | 3.3402             | 15.7994            |
| 1.905                     | 0.075 | 72.0000     | 3.7113             | 17.5548            | 72.0000     | 3.7113             | 17.5548            | 84.0000     | 4.3299             | 20.4806            |
| 2.540                     | 0.100 | 91.2000     | 4.7010             | <b>22.2361</b>     | 96.8000     | 4.9897             | <b>23.6015</b>     | 104.8000    | 5.4021             | <b>25.5520</b>     |
| 3.175                     | 0.125 | 106.4000    | 5.4845             | 25.9422            | 116.0000    | 5.9794             | 28.2828            | 121.6000    | 6.2680             | 29.6482            |
| 3.810                     | 0.150 | 126.4000    | 6.5155             | 30.8185            | 129.6000    | 6.6804             | 31.5987            | 140.0000    | 7.2165             | 34.1344            |

|        |       |          |        |               |          |        |                |          |        |                |
|--------|-------|----------|--------|---------------|----------|--------|----------------|----------|--------|----------------|
| 4.445  | 0.175 | 138.4000 | 7.1340 | 33.7443       | 146.4000 | 7.5464 | 35.6948        | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        |
| 5.080  | 0.200 | 148.8000 | 7.6701 | <b>36.280</b> | 156.0000 | 8.0412 | <b>38.0355</b> | 167.2000 | 8.6186 | <b>40.7662</b> |
| 5.715  | 0.225 | 148.8000 | 7.6701 | 36.2800       | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        | 168.0000 | 8.6598 | 40.9613        |
| 6.350  | 0.250 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 6.985  | 0.275 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 7.620  | 0.300 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 8.255  | 0.325 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 8.890  | 0.350 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 156.8000 | 8.0825 | 38.2305        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 9.525  | 0.375 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 157.6000 | 8.1237 | 38.4256        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 10.160 | 0.400 | 149.6000 | 7.7113 | 36.4751       | 158.4000 | 8.1649 | 38.6206        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 10.795 | 0.425 | 152.0000 | 7.8351 | 37.0602       | 159.2000 | 8.2062 | 38.8157        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 11.430 | 0.450 | 153.6000 | 7.9175 | 37.4503       | 161.6000 | 8.3299 | 39.4009        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 12.065 | 0.475 | 156.0000 | 8.0412 | 38.0355       | 163.2000 | 8.4124 | 39.7910        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |
| 12.700 | 0.500 | 158.4000 | 8.1649 | 38.6206       | 164.8000 | 8.4948 | 40.1811        | 170.4000 | 8.7835 | 41.5465        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C2-E1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 67:

Curva Esfuerzo-Penetracion C2-E1



**Fuente:** Propia

Tabla 48:

*Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración*

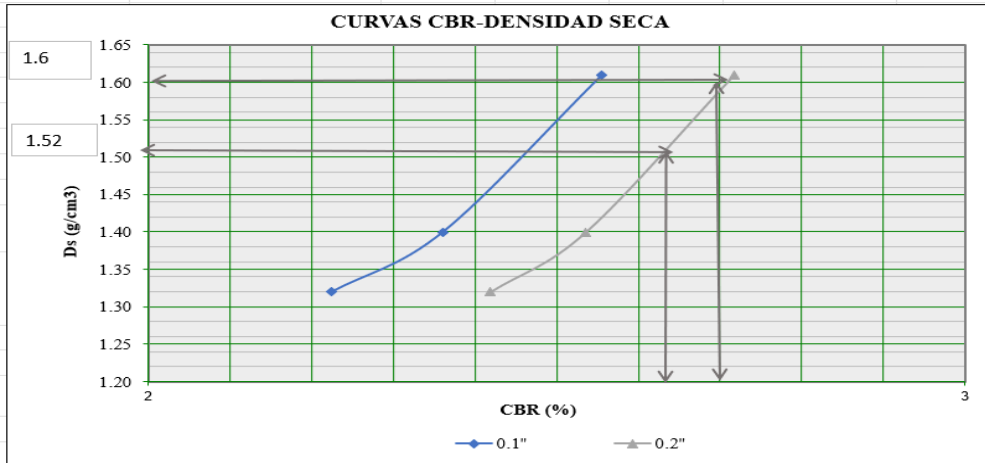
| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |         |         |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| MOLDE N°                                | 0.1"    |         | 0.2"    |         | 0.1"    |         |
| Penetración (")                         | 22.2361 | 36.2800 | 23.6015 | 38.0355 | 25.5520 | 40.7662 |
| Esf. Terreno (Lb/pl <sup>2</sup> )      | 1000    | 1500    | 1000    | 1500    | 1000    | 1500    |
| Esf. Patrón (Lb/pl <sup>2</sup> )       | 2.2236  | 2.4187  | 2.3602  | 2.5357  | 2.5552  | 2.7177  |
| CBR %                                   | 0.1"    | 0.2"    | 0.1"    | 0.2"    | 0.1"    | 0.2"    |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA           |            |        |            |        |            |            |
|---------------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|------------|
| MOLDE N°                        | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |            |
| Penetración (")                 | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"       |
| CBR (%)                         | 2.2236     | 2.4187 | 2.3602     | 2.5357 | 2.5552     | 2.7177     |
| Ds ( gr/cm <sup>3</sup> )       | 1          | 1.32   | 1.40       | 1.40   | 1.61       | 1.61       |
| Densidad seca máxima de Proctor |            |        | 1.6        |        |            | <b>1.6</b> |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion para la C2-E1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 68:*

*Curva CBR-Densidad Seca C2-E1.*



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |                   |
|---|-------------------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | Kg/m <sup>3</sup> |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.52              |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 19.50             |
| <b>C.B.R</b>  |                   |

|   |       |
|---|-------|
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 2.55% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 2.46% |

Fuente:Elaboración Propia

Tabla 49:

Carga - Penetracion C3

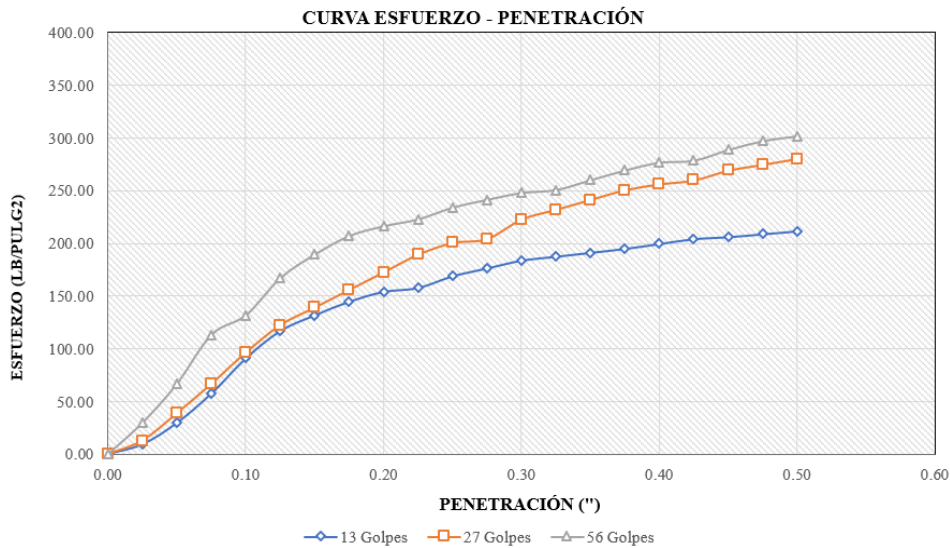
| CARGA - PENETRACIÓN C3 |             |          |       |               |          |       |               |          |       |               |
|------------------------|-------------|----------|-------|---------------|----------|-------|---------------|----------|-------|---------------|
| PENETRACIÓN            | MOLDE N° 01 |          |       | MOLDE N° 02   |          |       | MOLDE N° 03   |          |       |               |
|                        | Carga       | Esfuerzo |       | Carga         | Esfuerzo |       | Carga         | Esfuerzo |       |               |
| 0.00                   | 0.00        | 0.00     | 0.00  | 0.00          | 0.00     | 0.00  | 0.00          | 0.00     | 0.00  | 0.00          |
| 0.64                   | 0.03        | 38.10    | 1.96  | 9.29          | 53.34    | 2.75  | 13.01         | 121.92   | 6.28  | 29.73         |
| 1.27                   | 0.05        | 121.92   | 6.28  | 29.73         | 160.02   | 8.25  | 39.02         | 274.32   | 14.14 | 66.88         |
| 1.91                   | 0.08        | 236.22   | 12.18 | 57.59         | 274.32   | 14.14 | 66.88         | 464.82   | 23.96 | 113.33        |
| 2.54                   | 0.10        | 373.38   | 19.25 | <b>91.04</b>  | 396.24   | 20.42 | <b>96.61</b>  | 541.02   | 27.89 | <b>131.91</b> |
| 3.18                   | 0.13        | 480.06   | 24.75 | 117.05        | 502.92   | 25.92 | 122.62        | 685.80   | 35.35 | 167.21        |
| 3.81                   | 0.15        | 541.02   | 27.89 | 131.91        | 571.50   | 29.46 | 139.34        | 777.24   | 40.06 | 189.50        |
| 4.45                   | 0.18        | 594.36   | 30.64 | 144.92        | 640.08   | 32.99 | 156.06        | 849.63   | 43.80 | 207.15        |
| 5.08                   | 0.20        | 632.46   | 32.60 | <b>154.20</b> | 708.66   | 36.53 | <b>172.78</b> | 887.73   | 45.76 | <b>216.44</b> |
| 5.72                   | 0.23        | 647.70   | 33.39 | 157.92        | 777.24   | 40.06 | 189.50        | 914.40   | 47.13 | 222.95        |
| 6.35                   | 0.25        | 693.42   | 35.74 | 169.07        | 822.96   | 42.42 | 200.65        | 960.12   | 49.49 | 234.09        |
| 6.99                   | 0.28        | 723.90   | 37.31 | 176.50        | 838.20   | 43.21 | 204.37        | 990.60   | 51.06 | 241.53        |
| 7.62                   | 0.30        | 754.38   | 38.89 | 183.93        | 914.40   | 47.13 | 222.95        | 1017.27  | 52.44 | 248.03        |
| 8.26                   | 0.33        | 769.62   | 39.67 | 187.65        | 952.50   | 49.10 | 232.24        | 1028.70  | 53.03 | 250.81        |
| 8.89                   | 0.35        | 784.86   | 40.46 | 191.36        | 990.60   | 51.06 | 241.53        | 1066.80  | 54.99 | 260.10        |
| 9.53                   | 0.38        | 800.10   | 41.24 | 195.08        | 1028.70  | 53.03 | 250.81        | 1104.90  | 56.95 | 269.39        |
| 10.16                  | 0.40        | 819.15   | 42.22 | 199.72        | 1051.56  | 54.20 | 256.39        | 1135.38  | 58.52 | 276.83        |
| 10.80                  | 0.43        | 838.20   | 43.21 | 204.37        | 1066.80  | 54.99 | 260.10        | 1143.00  | 58.92 | 278.68        |
| 11.43                  | 0.45        | 845.82   | 43.60 | 206.23        | 1104.90  | 56.95 | 269.39        | 1184.91  | 61.08 | 288.90        |
| 12.07                  | 0.48        | 857.25   | 44.19 | 209.01        | 1127.76  | 58.13 | 274.97        | 1219.20  | 62.85 | 297.26        |
| 12.70                  | 0.50        | 868.68   | 44.78 | 211.80        | 1150.62  | 59.31 | 280.54        | 1238.25  | 63.83 | 301.91        |

Nota: La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C2-E1. Fuente: Elaboracion Propia.



Figura. 69:

Curva Esfuerzo-Penetracion C3



**Fuente:** Propia

*Tabla 50:*

*Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración*

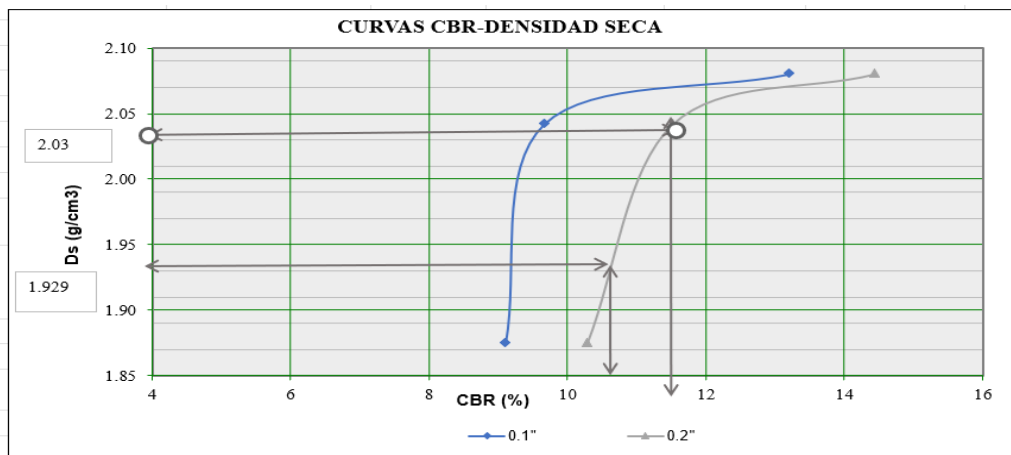
| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |          |            |             |            |          |
|---|------------|----------|------------|-------------|------------|----------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |          | MOLDE N° 2 |             | MOLDE N° 3 |          |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"     | 0.1"       | 0.2"        | 0.1"       | 0.2"     |
| Esf. Terreno (Lb/pl <sup>2</sup> )      | 1.0365     | 154.2046 | 96.6101    | 172.7835    | 131.9100   | 216.4438 |
| Esf. Patrón (Lb/pl <sup>2</sup> )       | 1000       | 1500     | 1000       | 1500        | 1000       | 1500     |
| CBR %                                   | 9.1036     | 10.2803  | 9.6610     | 11.5189     | 13.1910    | 14.4296  |
| C.B.R Y DENSIDAD SECA                   |            |          |            |             |            |          |
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |          | MOLDE N° 2 |             | MOLDE N° 3 |          |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"     | 0.1"       | 0.2"        | 0.1"       | 0.2"     |
| CBR (%)                                 | 9.1036     | 10.2803  | 9.6610     | 11.5189     | 13.1910    | 14.4296  |
| Ds ( gr/cm <sup>3</sup> )               | 1.88       | 1.88     | 2.04       | 2.04        | 2.08       | 2.08     |
| Densidad seca máxima de Proctor         |            |          | 2.03       | <b>2.00</b> |            |          |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion para la C3.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 70:*

*Curva CBR-Densidad Seca C3*



| <b>ENSAYO PROCTOR MODIFICADO</b>                    |              |
|---|--------------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 2.03         |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.93         |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 11.00        |
| <b>C.B.R</b>  |              |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1'')    | <b>9.70%</b> |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1'')     | <b>9.2%</b>  |

Fuente: Propia

*Ensayos de Proctor adicionando distintos porcentajes de CAL:*

Tabla 51:

*Ensayo de Proctor adicionando 3% de CAL*

| Volumen molde                 | :                 | 933.98  |         |         |               |
|-------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------------|
| Peso molde                    | :                 | 4052.70 |         |         |               |
| Altura de caída               | :                 | 18 plg  |         |         |               |
| Peso martillo                 | :                 | 4.5 Kg  | Golpes: | 25      | # de capas: 5 |
| Muestra #                     |                   | 1       | 2       | 3       | 4             |
| Peso del molde + suelo húmedo | g                 | 5800.00 | 5871.90 | 5893.20 | 5821.40       |
| Peso del suelo húmedo         | g                 | 1747.30 | 1819.20 | 1840.50 | 1768.70       |
| Humedad calculada             | %                 | 23.33   | 24.98   | 26.81   | 28.50         |
| Densidad Húmeda               | kg/m <sup>3</sup> | 1.87    | 1.95    | 1.97    | 1.89          |
| Densidad seca                 | kg/m <sup>3</sup> | 1.52    | 1.56    | 1.55    | 1.47          |

**Contenidos de humedad**

| Muestra # | 1 | 2 | 3 |
|-----------|---|---|---|
|-----------|---|---|---|



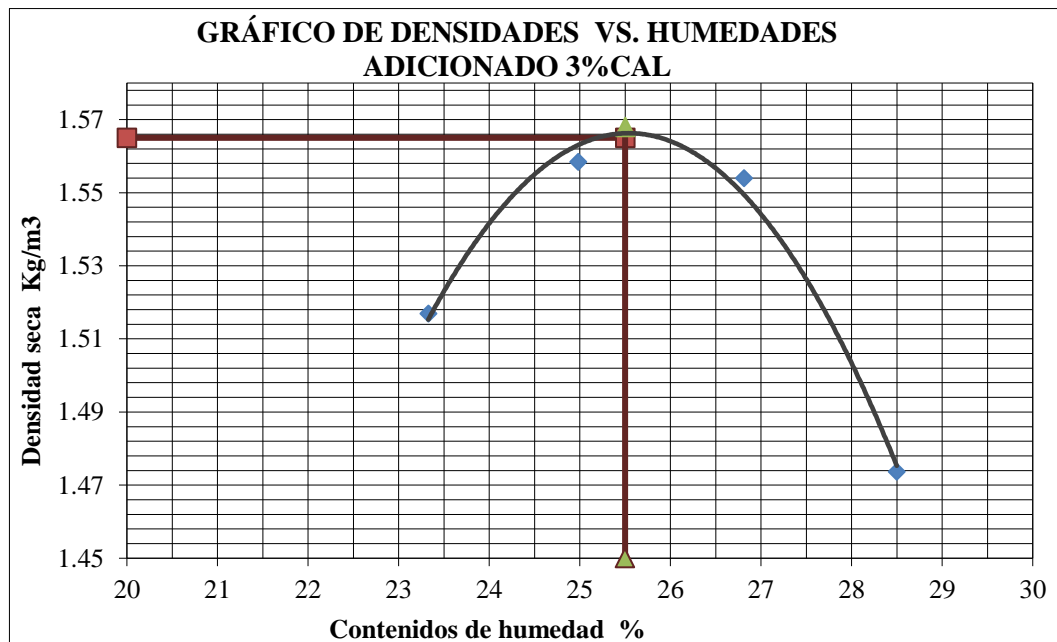
Recipiente #

|                      |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rec + suelo húmedo   | g | 135.80 | 137.20 | 146.10 | 154.10 | 154.30 | 148.80 | 171.70 | 193.10 |
| Rec + suelo seco     | g | 115.70 | 116.20 | 122.60 | 128.80 | 127.20 | 123.60 | 139.90 | 156.40 |
| Peso del recipiente  | g | 27.40  | 28.30  | 27.50  | 28.60  | 27.70  | 28.10  | 27.90  | 28.10  |
| Peso del suelo seco  | g | 88.30  | 87.90  | 95.10  | 100.20 | 99.50  | 95.50  | 112.00 | 128.30 |
| Peso del agua        | g | 20.10  | 21.00  | 23.50  | 25.30  | 27.10  | 25.20  | 31.80  | 36.70  |
| Contenido de Humedad | % | 22.76  | 23.89  | 24.71  | 25.25  | 27.24  | 26.39  | 28.39  | 28.60  |
| Humedad promedio     | % | 23.33  |        | 24.98  |        | 26.81  |        | 28.50  |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 3% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 71:

Grafico de densidades vs Humedades adicionando 3% de CAL.



**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 52:

Ensayo de Proctor adicionando 5% de CAL

|                               |   |         |         |          |               |          |          |
|-------------------------------|---|---------|---------|----------|---------------|----------|----------|
| Volumen molde                 | : | 933.98  |         |          |               |          |          |
| Peso molde                    | : | 4177.80 |         |          |               |          |          |
| Altura de caída               | : | 18 plg  |         |          |               |          |          |
| Peso martillo                 | : | 4.5 Kg  | Golpes: | 25       | # de capas: 5 |          |          |
| Muestra #                     |   |         |         | <b>1</b> | <b>2</b>      | <b>3</b> | <b>4</b> |
| Peso del molde + suelo húmedo | G |         |         | 5859.00  | 5946.80       | 5980.9   | 5663.5   |

|                       |                   |         |         |         |         |
|-----------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Peso del suelo húmedo | G                 | 1681.20 | 1769.00 | 1803.10 | 1485.70 |
| Humedad calculada     | %                 | 21.33   | 22.33   | 24.35   | 27.00   |
| Densidad Húmeda       | kg/m <sup>3</sup> | 1.80    | 1.89    | 1.93    | 1.59    |
| Densidad seca         | kg/m <sup>3</sup> | 1.48    | 1.55    | 1.55    | 1.25    |

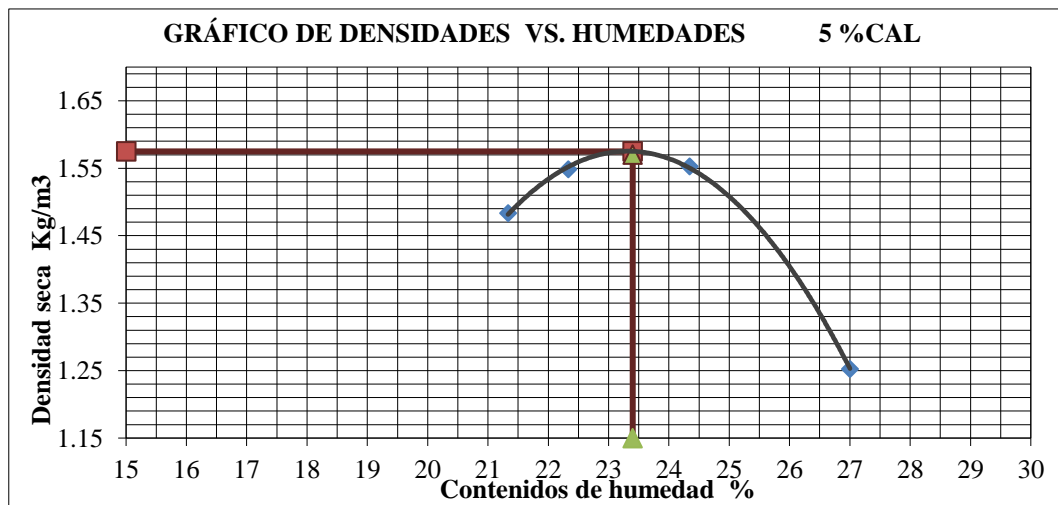
**Contenidos de humedad**

| Muestra #            |   | 1      | 2      | 3      | 4      |        |        |       |       |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Recipiente #         |   |        |        |        |        |        |        |       |       |
| Rec + suelo húmedo   | g | 130.50 | 133.40 | 146.70 | 149.70 | 125.60 | 121.10 | 83.00 | 80.40 |
| Rec + suelo seco     | g | 112.54 | 114.86 | 124.96 | 127.39 | 106.56 | 102.94 | 71.54 | 69.07 |
| Peso del recipiente  | g | 27.50  | 28.80  | 27.90  | 27.20  | 28.40  | 28.30  | 28.80 | 27.40 |
| Peso del suelo seco  | g | 85.04  | 86.06  | 97.06  | 100.19 | 78.16  | 74.64  | 42.74 | 41.67 |
| Peso del agua        | g | 17.96  | 18.54  | 21.74  | 22.31  | 19.04  | 18.16  | 11.46 | 11.33 |
| Contenido de Humedad | % | 21.12  | 21.54  | 22.40  | 22.27  | 24.36  | 24.33  | 26.81 | 27.19 |
| Humedad promedio     | % | 21.33  | 22.33  | 24.35  | 27.00  |        |        |       |       |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 5% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 72:

Grafico de densidades vs Humedades adicionando 5% de CAL



**Fuente:** Propia

Tabla 53:

Ensayo de Proctor adicionando 7% de CAL

|                 |   |        |
|-----------------|---|--------|
| Volumen molde   | : | 933.98 |
| Peso molde      | : | 4055.2 |
| Altura de caída | : | 0      |
|                 | : | 18 plg |

|                               |                   |        |          |          |             |          |
|-------------------------------|-------------------|--------|----------|----------|-------------|----------|
| Peso martillo                 | :                 | 4.5 Kg | Golpes:  | 25       | # de capas: | 5        |
| Muestra #                     |                   |        | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b>    | <b>4</b> |
| Peso del molde + suelo húmedo | g                 |        | 5755.00  | 5858.50  | 5850.50     | 5849.80  |
| Peso del suelo húmedo         | g                 |        | 1699.80  | 1803.30  | 1795.30     | 1794.60  |
| Humedad calculada             | %                 |        | 16.88    | 20.72    | 27.00       | 27.15    |
| Densidad Húmeda               | kg/m <sup>3</sup> |        | 1.82     | 1.93     | 1.92        | 1.92     |
| Densidad seca                 | kg/m <sup>3</sup> |        | 1.56     | 1.60     | 1.51        | 1.51     |

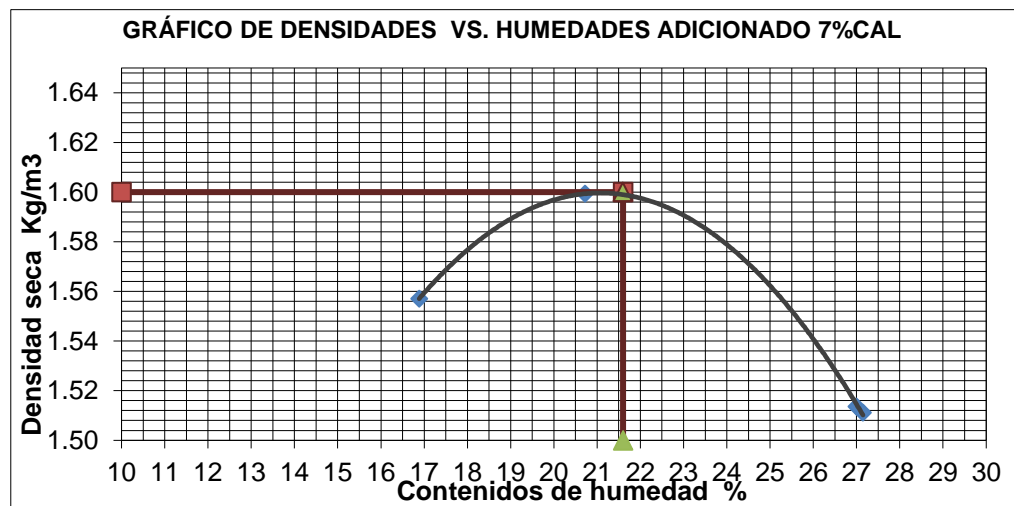
**Contenidos de humedad**

|                      |   |        |          |          |          |          |        |        |        |
|----------------------|---|--------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|
| Muestra #            |   |        | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |        |        |        |
| Recipiente #         |   |        |          |          |          |          |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo   | g | 169.10 | 125.00   | 171.70   | 164.60   | 160.70   | 152.40 | 165.00 | 146.30 |
| Rec + suelo seco     | g | 147.00 | 112.00   | 146.40   | 141.50   | 134.20   | 128.80 | 139.30 | 118.20 |
| Peso del recipiente  | g | 27.50  | 26.90    | 26.40    | 28.00    | 28.40    | 27.70  | 28.10  | 28.10  |
| Peso del suelo seco  | g | 119.50 | 85.10    | 120.00   | 113.50   | 105.80   | 101.10 | 111.20 | 90.10  |
| Peso del agua        | g | 22.10  | 13.00    | 25.30    | 23.10    | 26.50    | 23.60  | 25.70  | 28.10  |
| Contenido de Humedad | % | 18.49  | 15.28    | 21.08    | 20.35    | 25.05    | 23.34  | 23.11  | 31.19  |
| Humedad promedio     | % |        | 16.88    | 20.72    |          | 27.00    |        | 27.15  |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 7% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 73:

Grafico de densidades vs Humedades adicionando 7% de CAL.



**Fuente:** Propia

Abordando el **objetivo 6** tenemos los Ensayos de CBR adicionando distintos porcentajes de CAL:

Tabla 54:

Ensayo de CBR adicionando 3% de CAL

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL |                    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DESCRIPCIÓN                            |                    | UND          | 1            |              | 2            |              | 3            |              |              |              |
| N° Golpes                              |                    |              | 5            |              | 5            |              | 5            |              |              |              |
| N° Golpes por capa                     |                    |              | 13           |              | 27           |              | 56           |              |              |              |
| <b>Condición de muestra</b>            |                    |              | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> | <b>Antes</b> | <b>Desp.</b> |
| Peso Molde                             | gr                 |              | 8220         | 8220         | 7843         | 7843         | 7185         | 7185         |              |              |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 |              | 12199        | 12455        | 12307        | 12412        | 12200        | 12342        |              |              |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 |              | 3979         | 4235         | 4235         | 4569         | 5015         | 5157         |              |              |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    |              | 2173.0       | 2313.1       | 2114.0       | 2255.5       | 2120.0       | 2274.9       |              |              |
| Densidad húmeda; Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> |              | 1.831        | 1.8          | 2.003        | 2.0          | 2.366        | 2.3          |              |              |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>            |                    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>Ensayo</b>                          | N°                 | <b>1 - A</b> | <b>1 - B</b> | <b>1 - C</b> | <b>2 - A</b> | <b>2 - B</b> | <b>2 - C</b> | <b>3 - A</b> | <b>3 - B</b> | <b>3 - C</b> |
| Peso Recipiente                        | gr                 | 27.90        | 27.60        | 28.34        | 28.90        | 27.20        | 26.45        | 26.70        | 27.40        | 28.68        |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente       | gr                 | 136.30       | 176.00       | 137.01       | 172.10       | 160.40       | 183.35       | 163.50       | 156.60       | 201.82       |
| Peso Muestra Seca + Recipiente         | gr                 | 113.60       | 146.30       | 101.19       | 140.40       | 130.20       | 133.69       | 132.10       | 127.50       | 147.50       |
| Peso del Agua                          | gr                 | 22.70        | 29.70        | 35.82        | 31.70        | 30.20        | 49.66        | 31.40        | 29.10        | 54.32        |
| Peso Muestra Seca                      | gr                 | 98.9         | 110.8        | 131.01       | 98.9         | 89.4         | 110.82       | 95           | 87.8         | 120.75       |
| <b>Contenido de Humedad ; W%</b>       | %                  | 25.75        |              | 49.17        | 28.88        |              | 46.31        | 29.43        |              | 45.72        |
| Promedio Contenido de Humedad          | %                  | 37.46        |              |              | 37.59        |              |              | 37.57        |              |              |
| <b>Densidad Máxima Seca; Ds</b>        |                    | 1.456        |              |              | 1.554        |              |              | 1.828        |              |              |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 3% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 55:

Ensayo de Hinchamiento adicionando 3% de CAL

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       | MOLDE N°01 |              |       | MOLDE N°02 |              |       | MOLDE N°03 |              |       |
|                        | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       |
| Días                   | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0.00                   | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 1.00                   | 0.2570866  | 6.53         | 5.144 | 0.267      | 6.7818       | 5.613 | 0.291      | 7.3914       | 6.109 |
| 2.00                   | 0.287      | 7.2898       | 5.743 | 0.292      | 7.4168       | 6.139 | 0.3213     | 8.16102      | 6.745 |
| 3.00                   | 0.2928     | 7.43712      | 5.859 | 0.3        | 7.62         | 6.307 | 0.33       | 8.382        | 6.927 |
| 4.00                   | 0.304      | 7.7216       | 6.083 | 0.307      | 7.7978       | 6.454 | 0.336      | 8.5344       | 7.053 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 56: Ensayo de CBR adicionando 5% de CAL

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL**

| DESCRIPCIÓN                 | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° Golpes                   |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |
| N° Golpes por capa          |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |
| Condición de muestra        |                    | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  |
| Peso Molde                  | gr                 | 8220   | 8220   | 7842   | 7842   | 7810   | 7810   |
| Peso Muestra húmeda + Molde | gr                 | 11900  | 12322  | 11671  | 11836  | 12180  | 12364  |
| Peso Muestra húmeda         | gr                 | 3680   | 4102   | 3829   | 3994   | 4370   | 4554   |
| Volumen Muestra húmeda      | cm <sup>3</sup>    | 2139.9 | 2303.4 | 2152.0 | 2192.4 | 2047.1 | 2195.6 |
| Densidad húmeda; Dh         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.720  | 1.8    | 1.779  | 1.8    | 2.135  | 2.1    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                           | N° | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
|----------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Recipiente                  | gr | 27.40  | 27.70  | 28.73  | 28.00  | 27.70  | 28.42  | 28.20  | 27.40  | 26.41  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr | 113.20 | 104.00 | 179.66 | 115.80 | 104.00 | 134.22 | 136.70 | 120.40 | 155.44 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr | 98.20  | 90.00  | 138.10 | 98.50  | 88.90  | 103.30 | 113.80 | 101.30 | 116.70 |
| Peso del Agua                    | gr | 15.00  | 14.00  | 41.56  | 17.30  | 15.10  | 30.92  | 22.90  | 19.10  | 38.74  |
| Peso Muestra Seca                | gr | 70.80  | 62.30  | 109.37 | 70.50  | 61.20  | 74.88  | 85.60  | 73.90  | 90.29  |
| Contenido de Humedad ; W%        | %  | 21.83  | 38.00  | 24.61  | 41.29  | 25.00  | 42.91  |        |        |        |
| Promedio Contenido de Humedad    | %  | 29.91  |        | 32.95  |        | 33.95  |        |        |        |        |
| Densidad Máxima Seca; Ds         |    | 1.412  |        | 1.428  |        | 1.708  |        |        |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR **adicionando 5% de CAL**.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 57:

## Ensayo de Hinchamiento adicionando 5% de CAL

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO ACUMULADO | MOLDE N°01 |              |        | MOLDE N°02 |              |        | MOLDE N°03 |              |        |
|------------------|------------|--------------|--------|------------|--------------|--------|------------|--------------|--------|
|                  | Lectura    | Hinchamiento |        | Lectura    | Hinchamiento |        | Lectura    | Hinchamiento |        |
|                  | Deforma.   | mm           | %      | Deforma.   | mm           | %      | Deforma.   | mm           | %      |
| Horas            |            |              |        |            |              |        |            |              |        |
| 0.00             | 0.00       | 0            | 0      | 0.000      | 0            | 0      | 0.000      | 0            | 0      |
| 24.00            | 1.00       | 0.159        | 4.0386 | 3.182      | 0.099        | 2.5146 | 2.081      | 0.092        | 2.3368 |
| 48.00            | 2.00       | 0.205        | 5.207  | 4.102      | 0.144        | 3.6576 | 3.027      | 0.132        | 3.3528 |
| 72.00            | 3.00       | 0.25         | 6.35   | 5.002      | 0.156        | 3.9624 | 3.280      | 0.143        | 3.6322 |
| 96.00            | 4.00       | 0.283        | 7.1882 | 5.663      | 0.17         | 4.318  | 3.574      | 0.164        | 4.1656 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 58:

*Ensayo de CBR Hinchamiento adicionando 7% de CAL*

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL**

| DESCRIPCIÓN                 | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° Golpes                   |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |
| N° Golpes por capa          |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |
| Condición de muestra        |                    | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  |
| Peso Molde                  | gr                 | 7592   | 7592   | 7498   | 7498   | 7231   | 7231   |
| Peso Muestra húmeda + Molde | gr                 | 11140  | 11791  | 11560  | 11820  | 12140  | 12381  |
| Peso Muestra húmeda         | gr                 | 3548   | 4199   | 4062   | 4322   | 4909   | 5150   |
| Volumen Muestra húmeda      | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2175.4 | 2114.0 | 2115.1 | 2120.0 | 2126.2 |
| Densidad húmeda; Dh         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.633  | 1.9    | 1.922  | 2.0    | 2.316  | 2.4    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                           | N° | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
|----------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Recipiente                  | gr | 28.31  | 27.42  | 26.87  | 27.72  | 26.87  | 27.42  | 26.40  | 27.97  | 28.31  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr | 131.24 | 171.29 | 147.41 | 162.02 | 144.50 | 149.68 | 134.67 | 167.07 | 158.42 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr | 113.77 | 139.87 | 113.00 | 112.64 | 139.93 | 113.50 | 118.00 | 136.84 | 118.20 |
| Peso del Agua                    | gr | 17.47  | 31.42  | 34.41  | 49.38  | 4.57   | 36.18  | 16.67  | 30.23  | 40.22  |
| Peso Muestra Seca                | gr | 85.46  | 112.45 | 86.13  | 84.92  | 113.06 | 86.08  | 91.60  | 108.87 | 89.89  |
| Contenido de Humedad ; W%        | %  | 24.19  | 39.95  | 31.10  | 42.03  | 32.00  | 44.74  |        |        |        |
| Promedio Contenido de Humedad    | %  | 32.07  |        | 36.56  |        | 38.37  |        |        |        |        |
| Densidad Máxima Seca; Ds         |    | 1.315  |        | 1.466  |        | 1.754  |        |        |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 7% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 59:

*Ensayo de Hinchamiento adicionando 7% de CAL*

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO ACUMULADO | MOLDE N°01       |                 |                | MOLDE N°02       |                 |                | MOLDE N°03       |                 |                |
|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
|                  | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % |
| Horas            |                  |                 |                |                  |                 |                |                  |                 |                |
| 0.00             | 0                | 0               | 0.000          | 0                | 0               | 0.000          | 0                | 0               | 0.000          |
| 1.00             | 0.499            | 0.1016          | 0.080          | 0.184            | 0.0381          | 0.032          | 0.175            | 0.175           | 0.145          |
| 2.00             | 0.541            | 0.127           | 0.100          | 0.283            | 0.05588         | 0.046          | 0.23             | 0.23            | 0.190          |
| 3.00             | 0.547            | 0.13208         | 0.104          | 0.392            | 0.05842         | 0.048          | 0.2935           | 0.2935          | 0.243          |
| 4.00             | 0.55             | 0.13462         | 0.106          | 0.437            | 0.05842         | 0.048          | 0.34             | 0.34            | 0.281          |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

**Ensayos de CBR penetración con adición de distintos porcentajes de CAL:**

Tabla 60:

Carga - Penetración adicionando 3% de CAL

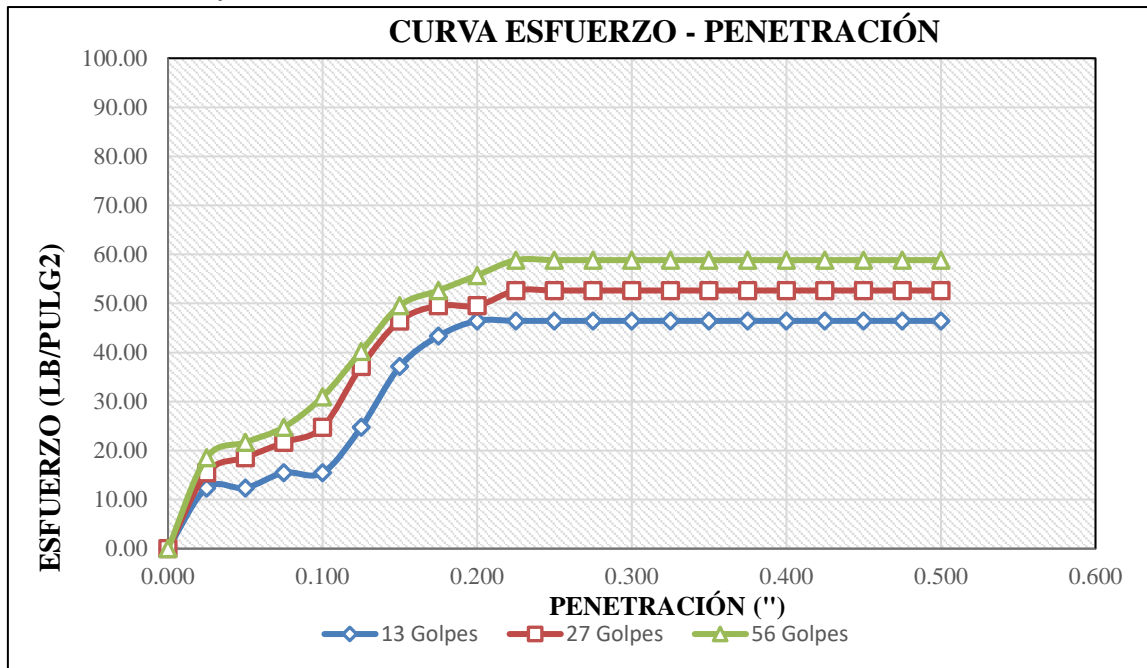
**CARGA - PENETRACIÓN ADICIONANDO 3% de CAL**

| PENETRACIÓN |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|-------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
|             |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm          | Pulg  | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00        | 0.000 | 0.00        | 0.00               | 0.00               | 0.00        | 0.00               | 0.00               | 0.00        | 0.00               | 0.00               |
| 0.64        | 0.025 | 50.80       | 2.62               | 12.39              | 63.50       | 3.27               | 15.48              | 76.20       | 3.93               | 18.58              |
| 1.27        | 0.050 | 50.80       | 2.62               | 12.39              | 76.20       | 3.93               | 18.58              | 88.90       | 4.58               | 21.68              |
| 1.91        | 0.075 | 63.50       | 3.27               | 15.48              | 88.90       | 4.58               | 21.68              | 101.60      | 5.24               | 24.77              |
| 2.54        | 0.10  | 63.50       | 3.27               | <b>15.48</b>       | 101.60      | 5.24               | <b>24.77</b>       | 127.00      | 6.55               | <b>30.96</b>       |
| 3.18        | 0.125 | 101.60      | 5.24               | 24.77              | 152.40      | 7.86               | 37.16              | 165.10      | 8.51               | 40.25              |
| 3.81        | 0.150 | 152.40      | 7.86               | 37.16              | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 203.20      | 10.47              | 49.54              |
| 4.45        | 0.175 | 177.80      | 9.16               | 43.35              | 203.20      | 10.47              | 49.54              | 215.90      | 11.13              | 52.64              |
| 5.08        | 0.20  | 190.50      | 9.82               | <b>46.45</b>       | 203.20      | 10.47              | <b>49.54</b>       | 228.60      | 11.78              | <b>55.74</b>       |
| 5.72        | 0.225 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 6.35        | 0.250 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 6.99        | 0.275 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 7.62        | 0.300 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 8.26        | 0.325 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 8.89        | 0.350 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 9.53        | 0.375 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 10.16       | 0.400 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 10.80       | 0.425 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 11.43       | 0.450 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 12.07       | 0.475 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |
| 12.70       | 0.500 | 190.50      | 9.82               | 46.45              | 215.90      | 11.13              | 52.64              | 241.30      | 12.44              | 58.83              |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C1. **Fuente:** Elaboración Propia.

Figura. 74:

Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 3% de CAL.



Fuente: Propia

Tabla 61:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 3% de CAL

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl²)                   | 15.4824    | 24.7718 | 24.7718    | 49.5437 | 30.9648    | 55.7366 |
| Esf. Patrón (Lb/pl²)                    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 1.5482     | 1.6515  | 2.4772     | 3.3029  | 3.0965     | 3.7158  |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 1.5482     | 1.6515 | 2.4772     | 3.3029 | 3.0965     | 3.7158 |
| Ds ( gr/cm3)          | 1.46       | 1.46   | 1.55       | 1.55   | 1.83       | 1.83   |

Densidad seca máxima de Proctor

**1.57**

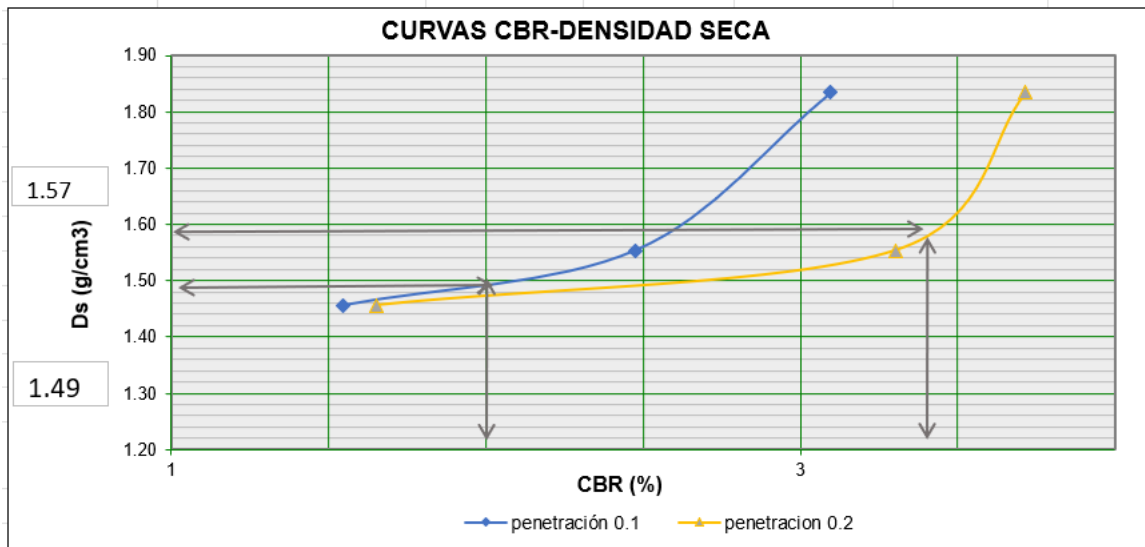
**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion para la C1.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 75:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 3% de CAL.





| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.57  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.49  |
| Contenido óptimo de humedad (%) :                   | 25.50 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1")     | 3.08% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")      | 1.95% |

Fuente: Propia

Tabla 62:

Carga - Penetración adicionando 5% de CAL

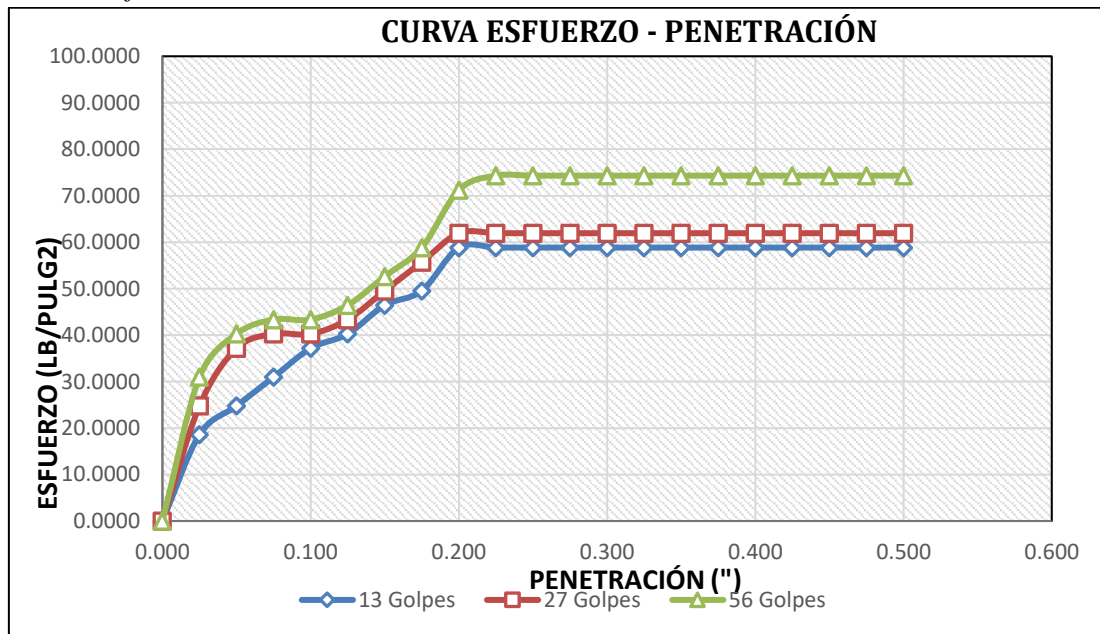
| CARGA - PENETRACIÓN ADICIONANDO 5% de CAL |       |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN                               |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|   |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm  | Pulg  | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.000                                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             |
| 0.635                                     | 0.025 | 76.2000     | 3.9278             | 18.5789            | 101.6000    | 5.2371             | 24.7718            | 127.0000    | 6.5464             | 30.9648            |
| 1.270                                     | 0.050 | 101.6000    | 5.2371             | 24.7718            | 152.4000    | 7.8557             | 37.1577            | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            |
| 1.905                                     | 0.075 | 127.0000    | 6.5464             | 30.9648            | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            | 177.8000    | 9.1649             | 43.3507            |
| 2.54                                      | 0.10  | 152.40      | 7.86               | <b>37.16</b>       | 165.10      | 8.51               | <b>40.25</b>       | 177.80      | 9.16               | <b>43.35</b>       |
| 3.175                                     | 0.125 | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            | 177.8000    | 9.1649             | 43.3507            | 190.5000    | 9.8196             | 46.4472            |
| 3.810                                     | 0.150 | 190.5000    | 9.8196             | 46.4472            | 203.2000    | 10.4742            | 49.5437            | 215.9000    | 11.1289            | 52.6401            |
| 4.445                                     | 0.175 | 203.2000    | 10.4742            | 49.5437            | 228.6000    | 11.7835            | 55.7366            | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            |
| 5.08                                      | 0.20  | 241.30      | 12.44              | <b>58.83</b>       | 254.00      | 13.09              | <b>61.93</b>       | 292.10      | 15.06              | <b>71.22</b>       |
| 5.715                                     | 0.225 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 6.350                                     | 0.250 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 6.985                                     | 0.275 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 7.620                                     | 0.300 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |

|        |       |          |         |         |          |         |         |          |         |         |
|--------|-------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 8.255  | 0.325 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 8.890  | 0.350 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 9.525  | 0.375 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 10.160 | 0.400 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 10.795 | 0.425 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 11.430 | 0.450 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 12.065 | 0.475 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |
| 12.700 | 0.500 | 241.3000 | 12.4381 | 58.8331 | 254.0000 | 13.0928 | 61.9296 | 304.8000 | 15.7113 | 74.3155 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 5% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 76:

Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 5% de CAL.



Fuente: Propia

Tabla 63:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 5% de CAL

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |      |            |      |            |      |
|---|------------|------|------------|------|------------|------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |      | MOLDE N° 2 |      | MOLDE N° 3 |      |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2" |
|   |            |      |            |      |            |      |

|                                    |         |         |         |         |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Esf. Terreno (Lb/pl <sup>2</sup> ) | 37.1577 | 58.8331 | 40.2542 | 61.9296 | 43.3507 | 71.2190 |
| Esf. Patrón (Lb/pl <sup>2</sup> )  | 1000    | 1500    | 1000    | 1500    | 1000    | 1500    |
| CBR %                              | 3.7158  | 3.9222  | 4.0254  | 4.1286  | 4.3351  | 4.7479  |

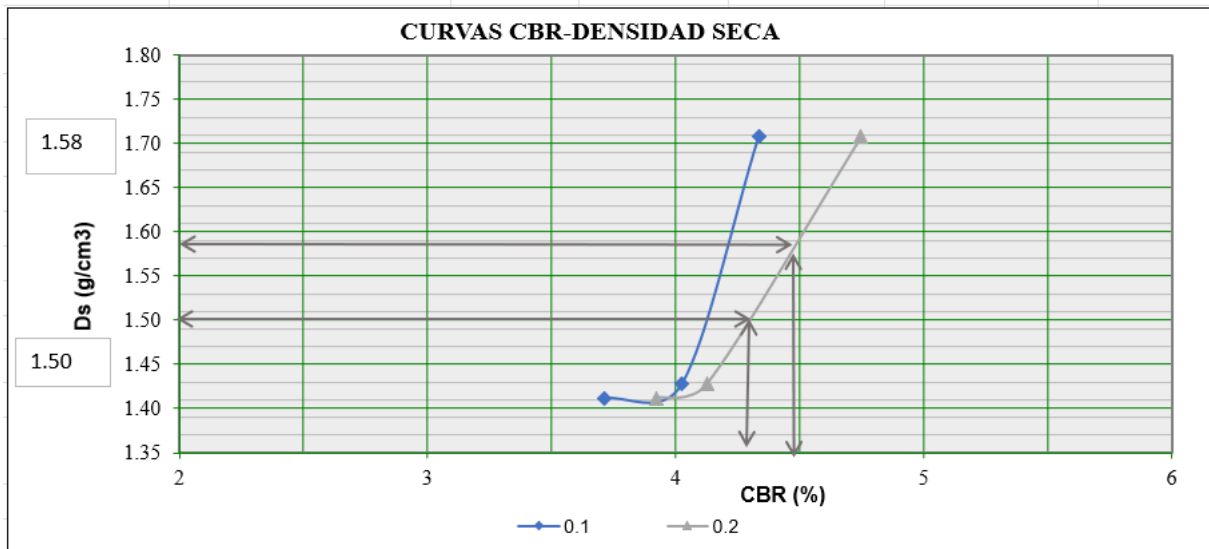
| C.B.R Y DENSIDAD SECA    |            |        |            |        |            |        |
|--------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°                 | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")          | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)                  | 3.7158     | 3.9222 | 4.0254     | 4.1286 | 4.3351     | 4.7479 |
| Ds (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.41       | 1.41   | 1.43       | 1.43   | 1.71       | 1.71   |

Densidad seca máxima de Proctor 1.575 **1.58**

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion adicionando 5% de CAL. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 77:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 5% de CAL



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.58  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.50  |
| Contenido óptimo de humedad (%) :                   | 23.40 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1")     | 4.40% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")      | 4.2%  |

Fuente: Propia

Tabla 64:

Carga - Penetracion adicionando 7% de CAL

CARGA - PENETRACIÓN ADICIONANDO 7% de CAL

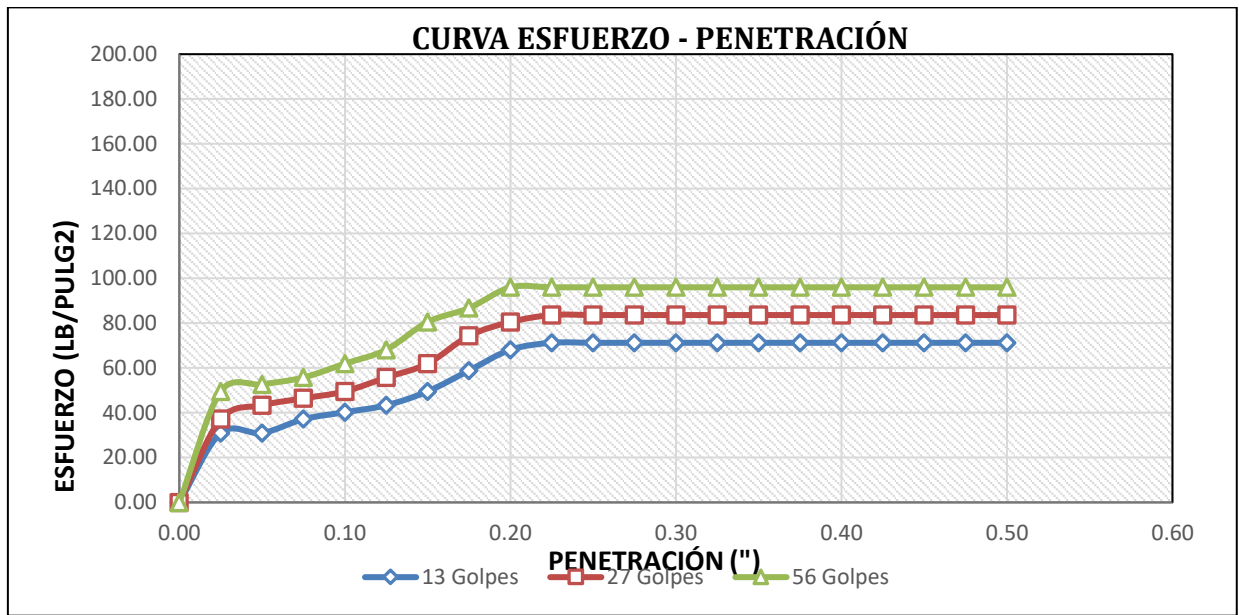
| PENETRACIÓN | MOLDE N° 01 | MOLDE N° 02 | MOLDE N° 03 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
|-------------|-------------|-------------|-------------|

|       |      | Carga  |                    |                    | Esfuerzo |                    |                    | Carga  |                    |                    | Esfuerzo |                    |                    |
|-------|------|--------|--------------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|
| mm    | Pulg | kg     | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg       | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg     | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg       | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00  | 0.00 | 0.00   | 0.00               | 0.00               | 0.00     | 0.00               | 0.00               | 0.00   | 0.00               | 0.00               | 0.00     | 0.00               | 0.00               |
| 0.64  | 0.03 | 127.00 | 6.55               | 30.96              | 152.40   | 7.86               | 37.16              | 203.20 | 10.47              | 49.54              | 203.20   | 10.47              | 49.54              |
| 1.27  | 0.05 | 127.00 | 6.55               | 30.96              | 177.80   | 9.16               | 43.35              | 215.90 | 11.13              | 52.64              | 215.90   | 11.13              | 52.64              |
| 1.91  | 0.08 | 152.40 | 7.86               | 37.16              | 190.50   | 9.82               | 46.45              | 228.60 | 11.78              | 55.74              | 228.60   | 11.78              | 55.74              |
| 2.54  | 0.10 | 165.10 | 8.51               | <b>40.25</b>       | 203.20   | 10.47              | <b>49.54</b>       | 254.00 | 13.09              | <b>61.93</b>       | 254.00   | 13.09              | <b>61.93</b>       |
| 3.18  | 0.13 | 177.80 | 9.16               | 43.35              | 228.60   | 11.78              | 55.74              | 279.40 | 14.40              | 68.12              | 279.40   | 14.40              | 68.12              |
| 3.81  | 0.15 | 203.20 | 10.47              | 49.54              | 254.00   | 13.09              | 61.93              | 330.20 | 17.02              | 80.51              | 330.20   | 17.02              | 80.51              |
| 4.45  | 0.18 | 241.30 | 12.44              | 58.83              | 304.80   | 15.71              | 74.32              | 355.60 | 18.33              | 86.70              | 355.60   | 18.33              | 86.70              |
| 5.08  | 0.20 | 279.40 | 14.40              | <b>68.12</b>       | 330.20   | 17.02              | <b>80.51</b>       | 393.70 | 20.29              | <b>95.99</b>       | 393.70   | 20.29              | <b>95.99</b>       |
| 5.72  | 0.23 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 6.35  | 0.25 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 6.99  | 0.28 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 7.62  | 0.30 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 8.26  | 0.33 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 8.89  | 0.35 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 9.53  | 0.38 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 10.16 | 0.40 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 10.80 | 0.43 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 11.43 | 0.45 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 12.07 | 0.48 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |
| 12.70 | 0.50 | 292.10 | 15.06              | 71.22              | 342.90   | 17.68              | 83.60              | 393.70 | 20.29              | 95.99              | 393.70   | 20.29              | 95.99              |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 7% de CAL.  
**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 78:*

*Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 7% de CAL*



Fuente: Propia

Tabla 65:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 7% de CAL

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl <sup>2</sup> )      | 40.2542    | 68.1225 | 49.5437    | 80.5084 | 61.9296    | 95.9908 |
| Esf. Patrón (Lb/pl <sup>2</sup> )       | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 4.0254     | 4.5415  | 4.9544     | 5.3672  | 6.1930     | 6.3994  |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA     |            |        |            |        |            |        |
|---------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°                  | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")           | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)                   | 4.0254     | 4.5415 | 4.9544     | 5.3672 | 6.1930     | 6.3994 |
| Ds ( gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.32       | 1.32   | 1.47       | 1.47   | 1.75       | 1.75   |

Densidad seca máxima de

Proctor

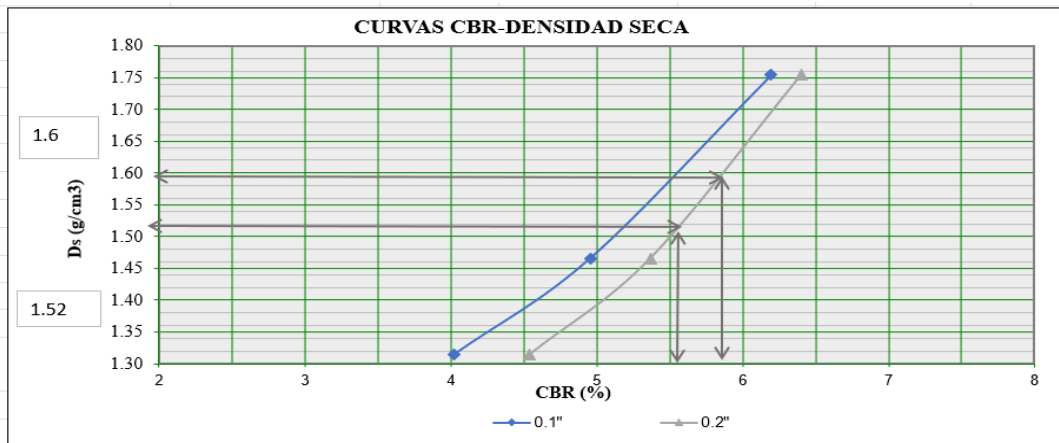
1.6

**1.6**

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion adicionando 7% de CAL. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 79:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 7% de CAL



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.6   |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.52  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 21.60 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1'')    | 5.52% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1'')     | 5.2%  |

Fuente: Propia

**Ensayos de Proctor adicionando distintos porcentajes de Ceniza de Carbón:**

Tabla 66:

*Ensayo de Proctor adicionando 25% de Ceniza de Carbon*

|                   |         |            |             |   |
|-------------------|---------|------------|-------------|---|
| Volumen molde :   | 948.22  |            |             |   |
| Peso molde :      | 4264.00 |            |             |   |
| Altura de caída : | 18 plg  |            |             |   |
| Peso martillo :   | 4.5 Kg  | Golpes: 25 | # de capas: | 5 |

| Muestra #                     |                   | 1       | 2       | 3       | 4       |
|-------------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Peso del molde + suelo húmedo | g                 | 5996.00 | 6090.50 | 6126.50 | 6113.00 |
| Peso del suelo húmedo         | g                 | 1732.00 | 1826.50 | 1862.50 | 1849.00 |
| Humedad calculada             | %                 | 22.59   | 23.78   | 25.37   | 26.35   |
| Densidad Húmeda               | kg/m <sup>3</sup> | 1.83    | 1.93    | 1.96    | 1.95    |
| Densidad seca                 | kg/m <sup>3</sup> | 1.49    | 1.56    | 1.57    | 1.54    |

**Contenidos de humedad**

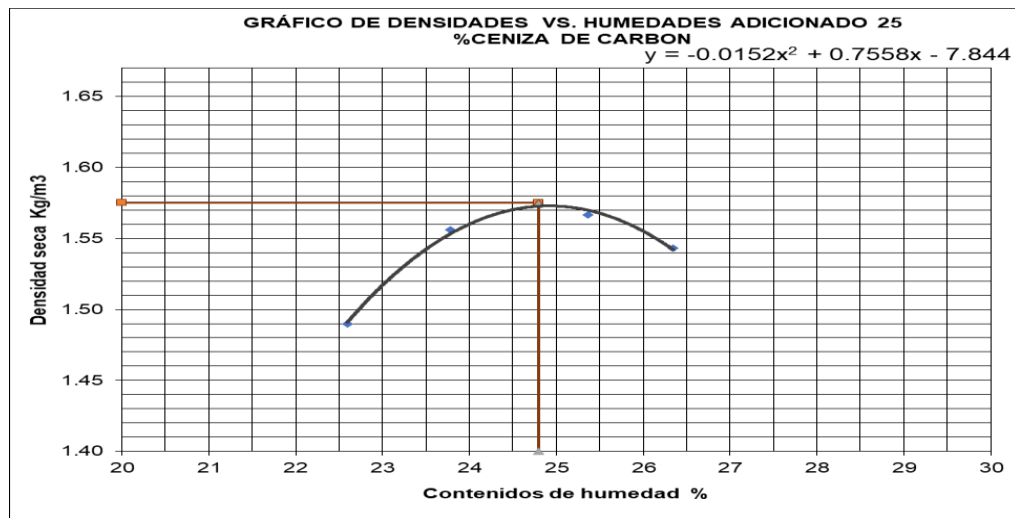
| Muestra #           |   | 1      | 2      | 3      | 4      |        |        |        |        |
|---------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Recipiente #        |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo  | G | 165.60 | 160.70 | 164.30 | 145.00 | 145.20 | 148.50 | 129.60 | 132.60 |
| Rec + suelo seco    | G | 140.20 | 136.30 | 138.10 | 122.70 | 121.50 | 123.90 | 108.40 | 110.80 |
| Peso del recipiente | G | 28.10  | 28.00  | 28.10  | 28.80  | 27.80  | 27.20  | 27.20  | 28.80  |

|                      |   |        |        |        |       |       |       |       |       |
|----------------------|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso del suelo seco  | G | 112.10 | 108.30 | 110.00 | 93.90 | 93.70 | 96.70 | 81.20 | 82.00 |
| Peso del agua        | G | 25.40  | 24.40  | 26.20  | 22.30 | 23.70 | 24.60 | 21.20 | 21.80 |
| Contenido de Humedad | % | 22.66  | 22.53  | 23.82  | 23.75 | 25.29 | 25.44 | 26.11 | 26.59 |
| Humedad promedio     | % |        | 22.59  |        | 23.78 |       | 25.37 |       | 26.35 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 25% de Ceniza de Carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura.80:

Gráfico de densidades vs Humedades adicionando 25% de Ceniza de Carbon.



**Fuente:** Propia

Tabla 67:

Ensayo de Proctor adicionando 27% de Ceniza de Carbon

|                 |   |         |         |    |             |   |
|-----------------|---|---------|---------|----|-------------|---|
| Volumen molde   | : | 948.22  |         |    |             |   |
| Peso molde      | : | 4264.00 |         |    |             |   |
| Altura de caída | : | 18 plg  |         |    |             |   |
| Peso martillo   | : | 4.5 Kg  | Golpes: | 25 | # de capas: | 5 |

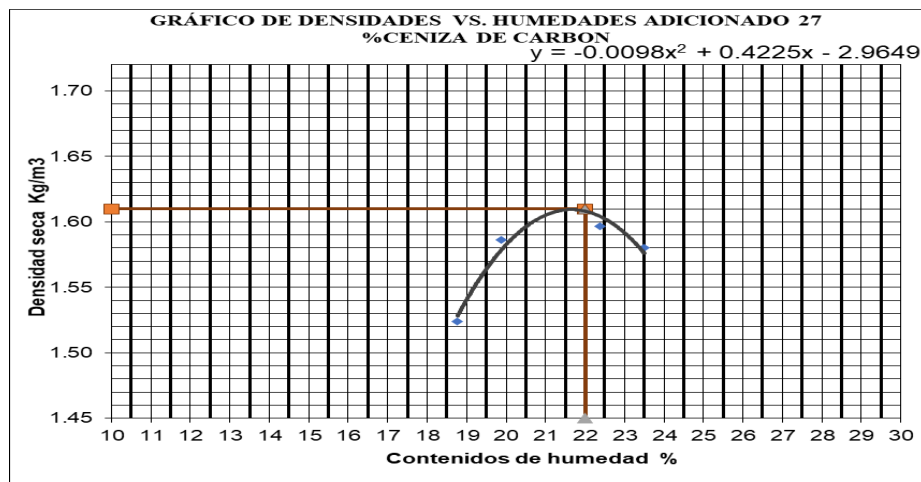
| Muestra #                     |       | 1       | 2       | 3       | 4       |        |        |       |       |
|-------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|
| Peso del molde + suelo húmedo | g     | 5980.00 | 6067.00 | 6116.50 | 6114.50 |        |        |       |       |
| Peso del suelo húmedo         | g     | 1716.00 | 1803.00 | 1852.50 | 1850.50 |        |        |       |       |
| Humedad calculada             | %     | 18.77   | 19.87   | 22.38   | 23.50   |        |        |       |       |
| Densidad Húmeda               | kg/m3 | 1.81    | 1.90    | 1.95    | 1.95    |        |        |       |       |
| Densidad seca                 | kg/m3 | 1.52    | 1.59    | 1.60    | 1.58    |        |        |       |       |
| <b>Contenidos de humedad</b>  |       |         |         |         |         |        |        |       |       |
| Muestra #                     |       | 1       | 2       | 3       | 4       |        |        |       |       |
| Recipiente #                  |       |         |         |         |         |        |        |       |       |
| Rec + suelo húmedo            | G     | 130.50  | 133.40  | 146.70  | 149.70  | 125.60 | 121.10 | 83.00 | 80.40 |

|                      |   |        |        |        |        |        |        |       |       |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Rec + suelo seco     | G | 114.10 | 117.00 | 127.10 | 129.30 | 108.00 | 103.90 | 72.70 | 70.30 |
| Peso del recipiente  | G | 27.50  | 28.80  | 27.90  | 27.20  | 28.00  | 28.30  | 28.80 | 27.40 |
| Peso del suelo seco  | G | 86.60  | 88.20  | 99.20  | 102.10 | 80.00  | 75.60  | 43.90 | 42.90 |
| Peso del agua        | G | 16.40  | 16.40  | 19.60  | 20.40  | 17.60  | 17.20  | 10.30 | 10.10 |
| Contenido de Humedad | % | 18.94  | 18.59  | 19.76  | 19.98  | 22.00  | 22.75  | 23.46 | 23.54 |
| Humedad promedio     | % | 18.77  |        | 19.87  |        | 22.38  |        | 23.50 |       |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 27% de Ceniza de Carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 81:

Grafico de densidades vs Humedades adicionando 27% de Ceniza de Carbon.



**Fuente:** Propia

Tabla 68:

Ensayo de Proctor adicionando 30% de Ceniza de Carbon

|                               |       |      |         |          |               |          |          |
|-------------------------------|-------|------|---------|----------|---------------|----------|----------|
|                               |       | 948. |         |          |               |          |          |
| Volumen molde                 | :     | 22   |         |          |               |          |          |
|                               |       | 4264 |         |          |               |          |          |
| Peso molde                    | :     | .00  |         |          |               |          |          |
|                               |       | 18   |         |          |               |          |          |
| Altura de caída               | :     | plg  |         |          |               |          |          |
|                               |       | 4.5  |         |          |               |          |          |
| Peso martillo                 | :     | Kg   | Golpes: | 25       | # de capas: 5 |          |          |
| Muestra #                     |       |      |         | <b>1</b> | <b>2</b>      | <b>3</b> | <b>4</b> |
| Peso del molde + suelo húmedo | g     |      |         | 6012.00  | 6081.50       | 6135.50  | 6090.50  |
| Peso del suelo húmedo         | g     |      |         | 1748.00  | 1817.50       | 1871.50  | 1826.50  |
| Humedad calculada             | %     |      |         | 11.70    | 14.18         | 17.78    | 21.62    |
| Densidad Húmeda               | kg/m3 |      |         | 1.86     | 1.94          | 1.99     | 1.95     |
| Densidad seca                 | kg/m3 |      |         | 1.67     | 1.70          | 1.69     | 1.60     |



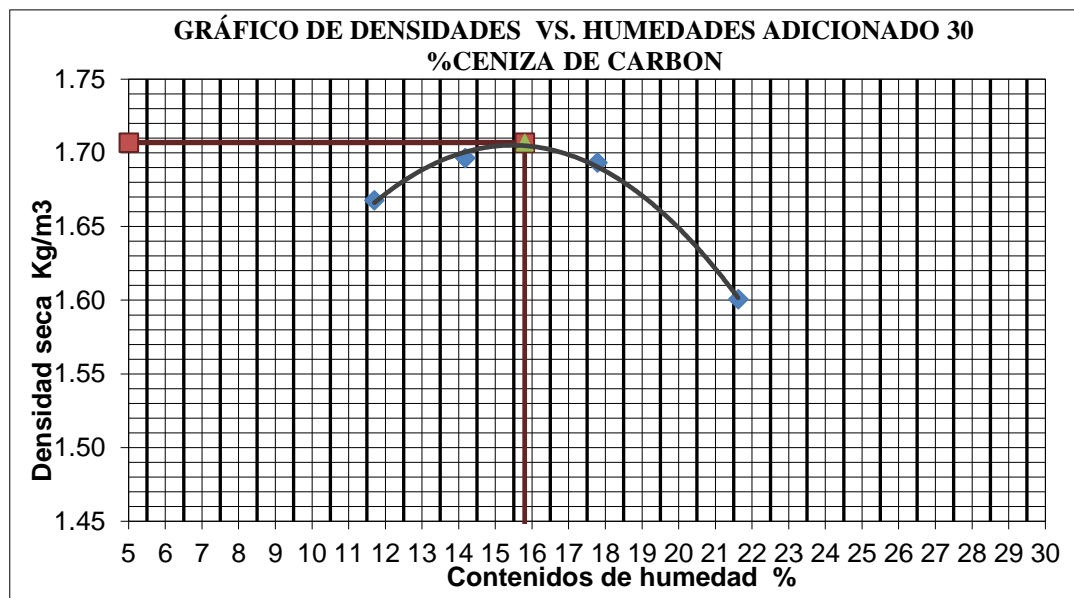
**Contenidos de humedad**

| Muestra #            |   | 1      | 2      | 3      | 4      |        |        |        |       |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Recipiente #         |   |        |        |        |        |        |        |        |       |
| Rec + suelo húmedo   | G | 169.10 | 125.00 | 171.70 | 164.60 | 160.70 | 152.40 | 165.00 | 146.3 |
|                      |   |        |        |        |        |        |        |        | 0     |
|                      |   |        |        |        |        |        |        |        | 125.0 |
| Rec + suelo seco     | G | 154.30 | 114.70 | 153.70 | 147.60 | 140.70 | 133.60 | 141.00 | 0     |
| Peso del recipiente  | G | 27.50  | 26.90  | 26.40  | 28.00  | 28.40  | 27.70  | 28.10  | 28.10 |
| Peso del suelo seco  | G | 126.80 | 87.80  | 127.30 | 119.60 | 112.30 | 105.90 | 112.90 | 96.90 |
| Peso del agua        | G | 14.80  | 10.30  | 18.00  | 17.00  | 20.00  | 18.80  | 24.00  | 21.30 |
| Contenido de Humedad | % | 11.67  | 11.73  | 14.14  | 14.21  | 17.81  | 17.75  | 21.26  | 21.98 |
| Humedad promedio     | % | 11.70  |        | 14.18  |        | 17.78  |        | 21.62  |       |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de Proctor adicionando 30% de Ceniza de Carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 82:

Grafico de densidades vs Humedades adicionando 30% de Ceniza de Carbon.



**Fuente:** Propia

*El objetivo 7 sigue con la metodología de los Ensayos de CBR adicionando distintos porcentajes de Ceniza de Carbón:*

Tabla 69:

Ensayo de CBR adicionando 25% de Ceniza de Carbon

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 25% Ceniza de Carbón**

| DESCRIPCIÓN                 | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° Golpes                   |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |
| N° Golpes por capa          |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |
| Condición de muestra        |                    | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  |
| Peso Molde                  | gr                 | 8601   | 8601   | 8513   | 8513   | 8537   | 8537   |
| Peso Muestra húmeda + Molde | gr                 | 12418  | 12941  | 12469  | 13058  | 12508  | 13104  |
| Peso Muestra húmeda         | gr                 | 3818   | 4341   | 3956   | 4545   | 3971   | 4567   |
| Volumen Muestra húmeda      | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2690.2 | 2173.0 | 2658.4 | 2120.0 | 2726.1 |
| Densidad húmeda; Dh         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.757  | 1.6    | 1.821  | 1.7    | 1.873  | 1.7    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                           | N° | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |  |
|----------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Peso Recipiente                  | gr | 69.10  | 124.90 | 34.70  | 67.40  | 125.50 | 37.70  | 125.50 | 67.40  | 34.70  |  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr | 524.80 | 342.10 | 307.90 | 447.30 | 407.00 | 326.20 | 455.00 | 435.20 | 307.90 |  |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr | 455.30 | 310.30 | 223.20 | 389.10 | 363.90 | 232.00 | 404.40 | 378.30 | 223.20 |  |
| Peso del Agua                    | gr | 69.50  | 31.80  | 84.70  | 58.20  | 43.10  | 94.20  | 50.60  | 56.90  | 84.70  |  |
| Peso Muestra Seca                | gr | 386.20 | 185.40 | 188.50 | 321.70 | 238.40 | 194.30 | 278.90 | 310.90 | 188.50 |  |
| Contenido de Humedad ; W%        | %  | 17.57  |        | 44.93  |        | 18.09  |        | 48.48  |        | 18.22  |  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %  | 31.25  |        |        |        | 33.28  |        |        |        | 34.11  |  |
| Densidad Máxima Seca; Ds         |    | 1.494  |        |        |        | 1.542  |        |        |        | 1.584  |  |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 7% de CAL.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 70:

Ensayo de Hinchamiento adicionando 25% de Ceniza de Carbon

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO ACUMULADO | MOLDE N°01       |                 |                | MOLDE N°02       |                 |                | MOLDE N°03       |                 |                |
|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
|                  | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % | Lectura Deforma. | Hinchamiento mm | Hinchamiento % |
| Horas            |                  |                 |                |                  |                 |                |                  |                 |                |
| 0.00             | 0.00             | 0.00            | 0.00           | 0.00             | 0.00            | 0.00           | 0.00             | 0.00            | 0.00           |
| 1.00             | 1.11             | 28.10           | 19.73          | 1.17             | 29.70           | 21.14          | 1.30             | 33.10           | 23.03          |
| 2.00             | 1.12             | 28.40           | 19.94          | 1.17             | 29.80           | 21.21          | 1.31             | 33.30           | 23.17          |

|      |      |       |       |      |       |       |      |       |       |
|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 3.00 | 1.12 | 28.50 | 20.01 | 1.18 | 30.00 | 21.35 | 1.31 | 33.40 | 23.24 |
| 4.00 | 1.12 | 28.50 | 20.01 | 1.18 | 30.00 | 21.35 | 1.31 | 33.40 | 23.24 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 25% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 71:

Ensayo de CBR adicionando 27% de Ceniza de Carbon.

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 27% Ceniza de Carbón |    |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|----|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DESCRIPCIÓN  |    | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |
| N° Golpes  |    |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |
| N° Golpes por capa                                   |    |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |
| Condición de muestra                                 |    |                    | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  |        |        |
| Peso Molde   |    | gr                 | 8791   | 8791   | 8638   | 8638   | 8388   | 8388   |        |        |
| Peso Muestra húmeda + Molde                          |    | gr                 | 12541  | 12956  | 12630  | 13055  | 12521  | 13126  |        |        |
| Peso Muestra húmeda                                  |    | gr                 | 3750   | 4165   | 3993   | 4418   | 4133   | 4738   |        |        |
| Volumen Muestra húmeda                               |    | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2465.1 | 2114.0 | 2400.7 | 2120.0 | 2383.1 |        |        |
| Densidad húmeda; Dh                                  |    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.726  | 1.7    | 1.889  | 1.8    | 1.950  | 2.0    |        |        |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                                 |    |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ensayo   | N° | 1 - A              | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                                      | Gr | 33.10              | 67.50  | 27.90  | 34.8   | 67.50  | 28.80  | 33.60  | 67.50  | 28.30  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente                     | Gr | 351.90             | 440.12 | 140.00 | 362.1  | 225.30 | 128.70 | 341.40 | 300.10 | 134.30 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente                       | Gr | 311.50             | 392.10 | 105.00 | 309.00 | 205.00 | 93.00  | 285.00 | 271.50 | 95.00  |
| Peso del Agua  | Gr | 40.40              | 48.02  | 35.00  | 53.10  | 20.30  | 35.70  | 56.40  | 28.60  | 39.30  |
| Peso Muestra Seca                                    | Gr | 278.40             | 324.60 | 77.10  | 274.20 | 137.50 | 64.20  | 251.40 | 204.00 | 66.70  |
| Contenido de Humedad ; W%                            | %  | 15.00              |        | 45.40  | 17.06  |        | 55.61  | 18.23  |        | 58.92  |
| Promedio Contenido de Humedad                        | %  | 30.20              |        |        | 36.34  |        |        | 38.57  |        |        |
| Densidad Máxima Seca; Ds                             |    | 1.501              |        |        | 1.613  |        |        | 1.649  |        |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 27% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 72:

Ensayo de Hinchamiento adicionando 27% de Ceniza de Carbon

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |            |              |            |              |            |              |  |
|------------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--|
| TIEMPO ACUMULADO       | MOLDE N°01 |              | MOLDE N°02 |              | MOLDE N°03 |              |  |
|                        | Lectura    | Hinchamiento | Lectura    | Hinchamiento | Lectura    | Hinchamiento |  |
|                        |            |              |            |              |            |              |  |

| Horas | Deforma. | mm   | %      | Deforma. | mm   | %      | Deforma. | mm   | %      |
|-------|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|------|--------|
| 0.00  | 0"       | 0    | 0.000  | 0"       | 0    | 0.000  | 0        | 0    | 0.000  |
| 24.00 | 0.004"   | 16.1 | 11.302 | 0.0015"  | 15.7 | 11.174 | 16.1     | 14.4 | 10.019 |
| 48.00 | 0.005"   | 16.1 | 11.302 | 0.0022"  | 15.8 | 11.246 | 16.1     | 14.4 | 10.019 |
| 72.00 | 0.0052"  | 16.1 | 11.302 | 0.0023"  | 15.8 | 11.246 | 16.1     | 14.5 | 10.088 |
| 96.00 | 0.0053"  | 16.1 | 11.302 | 0.0023"  | 15.8 | 11.246 | 16.1     | 14.5 | 10.088 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 73:

Ensayo de CBR adicionando 30% de Ceniza de Carbon

**CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 30% Ceniza de Carbón**

| DESCRIPCIÓN                 | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|-----------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° Golpes                   |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |
| N° Golpes por capa          |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |
| Condición de muestra        |                    | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  | Antes  | Desp.  |
| Peso Molde                  | gr                 | 8601   | 8601   | 8513   | 8513   | 8537   | 8537   |
| Peso Muestra húmeda + Molde | gr                 | 12103  | 13055  | 12320  | 13228  | 12622  | 13457  |
| Peso Muestra húmeda         | gr                 | 3503   | 4455   | 3807   | 4715   | 4085   | 4920   |
| Volumen Muestra húmeda      | cm <sup>3</sup>    | 2139.9 | 2584.9 | 2152.0 | 2549.5 | 2047.1 | 2608.1 |
| Densidad húmeda; Dh         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.637  | 1.7    | 1.769  | 1.8    | 1.995  | 1.9    |

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

| Ensayo                           | N° | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
|----------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso Recipiente                  | Gr | 124.90 | 32.40  | 124.90 | 143.60 | 67.40  | 143.10 | 67.50  | 69.10  | 147.70 |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | Gr | 478.40 | 302.80 | 342.10 | 421.70 | 445.20 | 369.20 | 331.80 | 512.30 | 419.70 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | Gr | 429.50 | 265.00 | 256.50 | 383.00 | 391.20 | 278.80 | 295.10 | 448.50 | 310.70 |
| Peso del Agua                    | Gr | 48.90  | 37.80  | 85.60  | 38.70  | 54.00  | 90.40  | 36.70  | 63.80  | 109.00 |
| Peso Muestra Seca                | Gr | 304.60 | 232.60 | 131.60 | 239.40 | 323.80 | 135.70 | 227.60 | 379.40 | 163.00 |
| Contenido de Humedad ; W%        | %  | 16.15  |        | 65.05  |        | 16.42  |        | 66.62  |        | 16.47  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %  |        | 40.60  |        |        | 41.52  |        |        | 41.67  |        |
| Densidad Máxima Seca; Ds         |    |        | 1.409  |        |        | 1.519  |        |        | 1.713  |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 30% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 74:

Ensayo de Hinchamiento adicionando 30% de Ceniza de Carbon

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO<br>ACUMULADO | MOLDE N°01          |                    |      | MOLDE N°02          |                    |      | MOLDE N°03          |                    |      |
|---------------------|---------------------|--------------------|------|---------------------|--------------------|------|---------------------|--------------------|------|
|                     | Lectura<br>Deforma. | Hinchamiento<br>mm | %    | Lectura<br>Deforma. | Hinchamiento<br>mm | %    | Lectura<br>Deforma. | Hinchamiento<br>mm | %    |
| Horas               |                     |                    |      |                     |                    |      |                     |                    |      |
| 0.00                | 0.00                | 0"                 | 0    | 0.000               | 0"                 | 0    | 0.000               | 0                  | 0    |
| 24.00               | 1.00                | 0.8897638          | 22.6 | 15.865              | 0.0015"            | 23.8 | 16.939              | 0.01               | 26.7 |
| 48.00               | 2.00                | 0.908              | 22.7 | 15.935              | 0.0022"            | 28.9 | 20.569              | 0.02               | 26.8 |
| 72.00               | 3.00                | 0.8937008          | 22.7 | 15.935              | 0.0023"            | 23.9 | 17.011              | 0.022              | 26.9 |
| 96.00               | 4.00                | 0.8937008          | 22.7 | 15.935              | 0.0023"            | 24   | 17.082              | 0.022              | 26.9 |

**Fuente:** Elaboracion Propia.

*Ensayos de CBR penetración con adición de distintos porcentajes de ceniza de carbón*

Tabla 75:

Carga - Penetracion adicionando 25% de Ceniza de Carbon

**CARGA - PENETRACIÓN C1-E1**

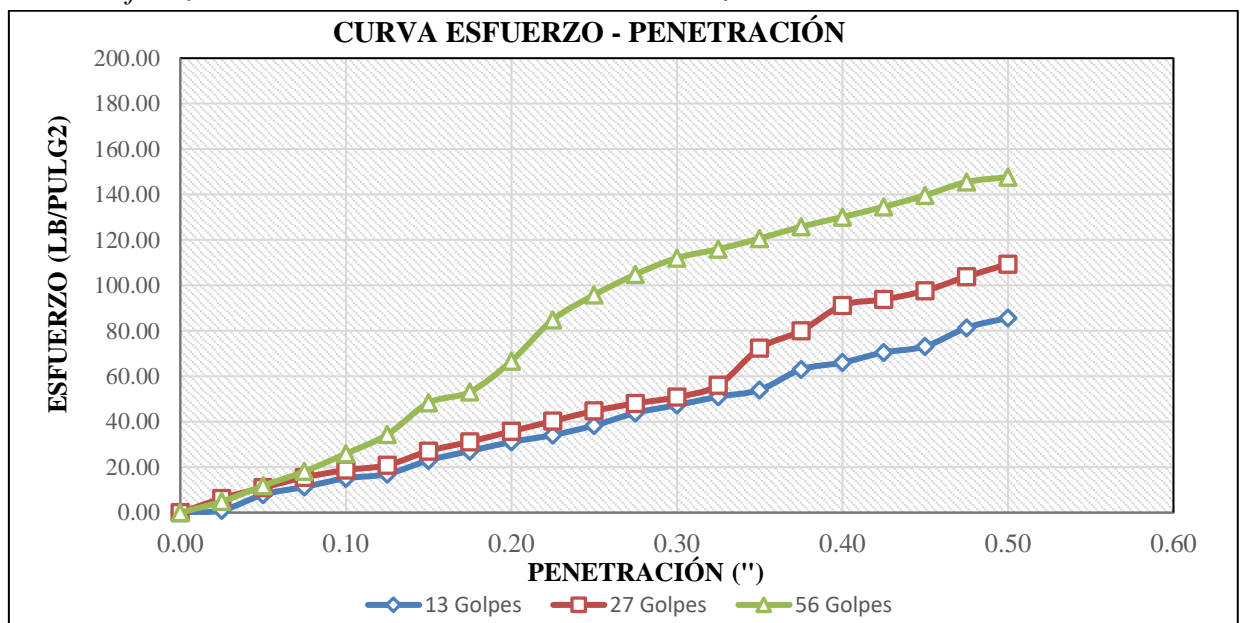
| PENETRACIÓN |      | MOLDE N° 01 |                                |                                | MOLDE N° 02 |                                |                                | MOLDE N° 03 |                                |                                |
|-------------|------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|
| mm          | Pulg | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00        | 0.00 | 0.0000      | 0.00                           | 0.00                           | 0.0000      | 0.00                           | 0.00                           | 0.0000      | 0.00                           | 0.00                           |
| 0.64        | 0.03 | 4.1000      | 0.21                           | 1.00                           | 25.6000     | 1.32                           | 6.24                           | 20.0000     | 1.03                           | 4.88                           |
| 1.27        | 0.05 | 32.4000     | 1.67                           | 7.90                           | 45.2000     | 2.33                           | 11.02                          | 48.4000     | 2.49                           | 11.80                          |
| 1.91        | 0.08 | 46.4000     | 2.39                           | 11.31                          | 63.6000     | 3.28                           | 15.51                          | 74.4000     | 3.84                           | 18.14                          |
| 2.54        | 0.10 | 62.0000     | 3.20                           | <b>15.12</b>                   | 76.8000     | 3.96                           | <b>18.73</b>                   | 106.4000    | 5.48                           | <b>25.94</b>                   |
| 3.18        | 0.13 | 69.6000     | 3.59                           | 16.97                          | 85.6000     | 4.41                           | 20.87                          | 140.8000    | 7.26                           | 34.33                          |
| 3.81        | 0.15 | 94.4000     | 4.87                           | 23.02                          | 111.2000    | 5.73                           | 27.11                          | 198.0000    | 10.21                          | 48.28                          |
| 4.45        | 0.18 | 111.2000    | 5.73                           | 27.11                          | 128.0000    | 6.60                           | 31.21                          | 218.0000    | 11.24                          | 53.15                          |
| 5.08        | 0.20 | 127.6000    | 6.58                           | <b>31.11</b>                   | 146.8000    | 7.57                           | <b>35.79</b>                   | 273.6000    | 14.10                          | <b>66.71</b>                   |
| 5.72        | 0.23 | 140.0000    | 7.22                           | 34.13                          | 165.2000    | 8.52                           | 40.28                          | 348.0000    | 17.94                          | 84.85                          |
| 6.35        | 0.25 | 157.2000    | 8.10                           | 38.33                          | 183.6000    | 9.46                           | 44.76                          | 392.8000    | 20.25                          | 95.77                          |
| 6.99        | 0.28 | 180.0000    | 9.28                           | 43.89                          | 197.2000    | 10.16                          | 48.08                          | 430.0000    | 22.16                          | 104.84                         |
| 7.62        | 0.30 | 194.0000    | 10.00                          | 47.30                          | 208.4000    | 10.74                          | 50.81                          | 459.6000    | 23.69                          | 112.06                         |
| 8.26        | 0.33 | 209.2000    | 10.78                          | 51.01                          | 230.0000    | 11.86                          | 56.08                          | 475.6000    | 24.52                          | 115.96                         |

|       |      |          |       |       |          |       |        |          |       |        |
|-------|------|----------|-------|-------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|
| 8.89  | 0.35 | 221.6000 | 11.42 | 54.03 | 296.8000 | 15.30 | 72.36  | 494.8000 | 25.51 | 120.64 |
| 9.53  | 0.38 | 258.4000 | 13.32 | 63.00 | 328.0000 | 16.91 | 79.97  | 516.0000 | 26.60 | 125.81 |
| 10.16 | 0.40 | 270.8000 | 13.96 | 66.03 | 374.0000 | 19.28 | 91.19  | 533.6000 | 27.51 | 130.10 |
| 10.80 | 0.43 | 289.2000 | 14.91 | 70.51 | 384.8000 | 19.84 | 93.82  | 552.0000 | 28.45 | 134.59 |
| 11.43 | 0.45 | 300.0000 | 15.46 | 73.15 | 400.4800 | 20.64 | 97.64  | 572.8000 | 29.53 | 139.66 |
| 12.07 | 0.48 | 333.6000 | 17.20 | 81.34 | 426.0000 | 21.96 | 103.87 | 596.8000 | 30.76 | 145.51 |
| 12.70 | 0.50 | 351.6000 | 18.12 | 85.73 | 448.4000 | 23.11 | 109.33 | 605.6000 | 31.22 | 147.66 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR para la C1. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 83:

Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 25% de Ceniza de Carbon.



**Fuente:** Propia

Tabla 76:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 25% de Ceniza de Carbon

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl²)                   | 15.1167    | 31.1111 | 18.7252    | 35.7924 | 25.9422    | 66.7084 |
| Esf. Patrón (Lb/pl²)                    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 1.5117     | 2.0741  | 1.8725     | 2.3862  | 2.5942     | 4.4472  |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 1.5117     | 2.0741 | 1.8725     | 2.3862 | 2.5942     | 4.4472 |
| Ds ( gr/cm3)          | 1.49       | 1.49   | 1.54       | 1.54   | 1.58       | 1.58   |

Densidad seca máxima de Proctor 1.575

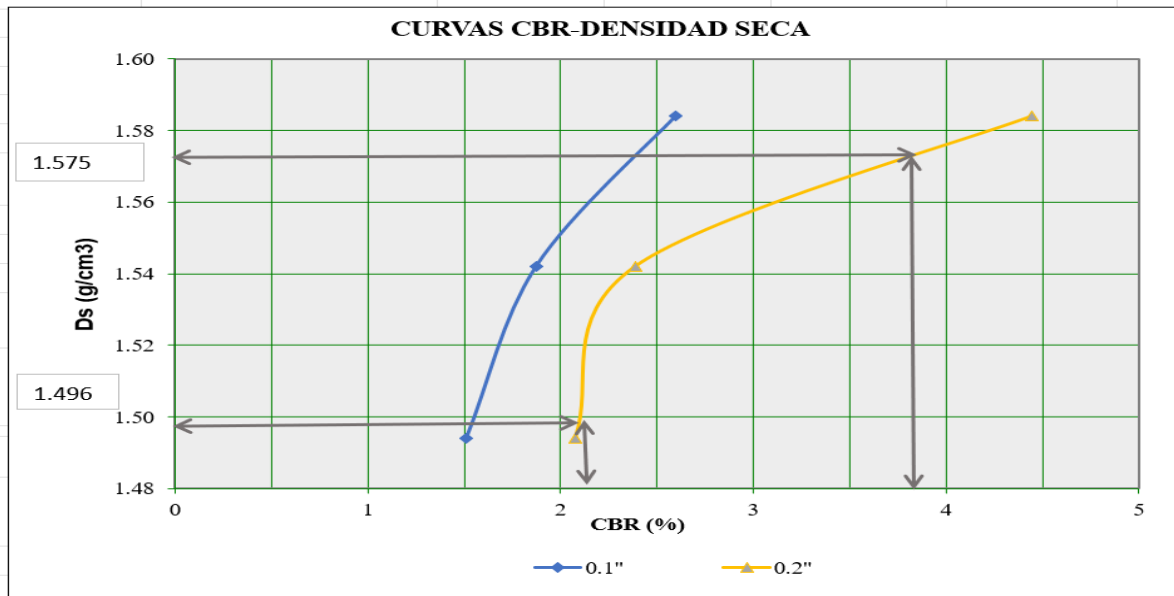
1.575

1.58

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion adicionando 25% de Ceniza de Carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 84:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 25% de Ceniza de Carbon.



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |         |
|---|---------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.575   |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.49625 |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 24.80   |
| C.B.R   |         |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1'')    | 2.46%   |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1'')     | 1.5%    |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 25% de Ceniza de Carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 77:

Carga - Penetracion adicionando 27% de Ceniza de Carbon

| CARGA - PENETRACIÓN C1-E1 |       |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---------------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|                           |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm                        | Pulg  | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.000                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             |

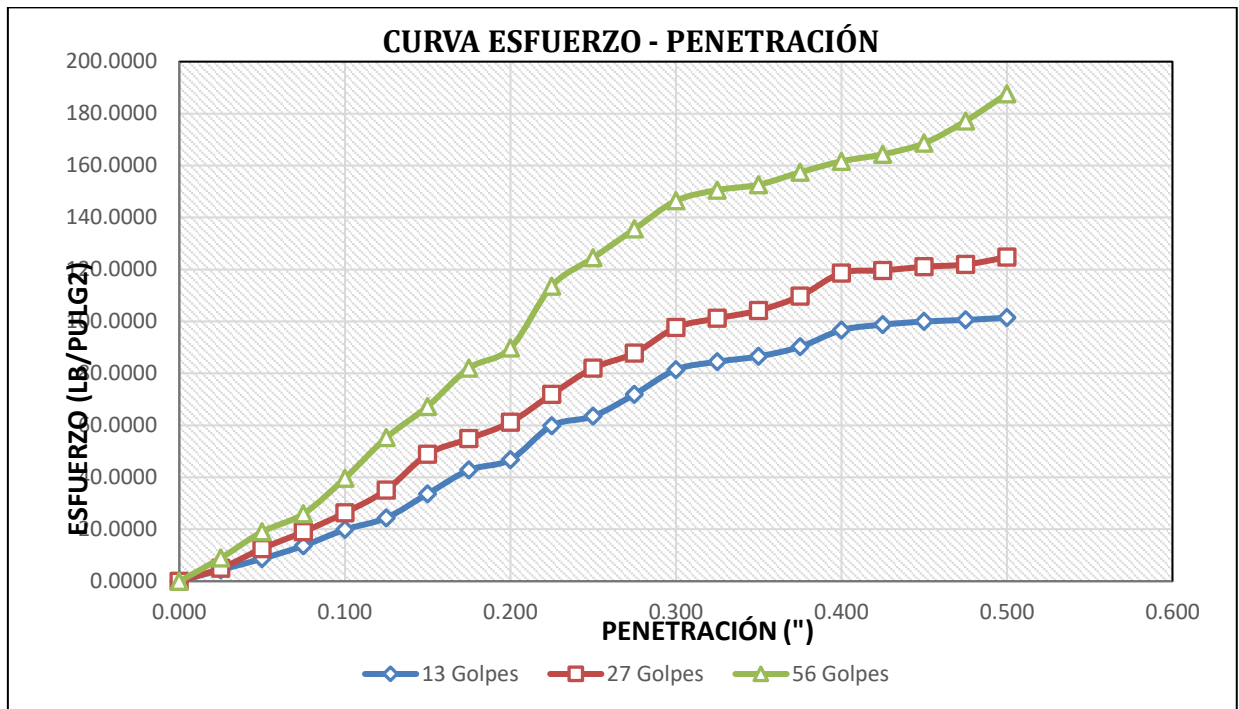
|        |       |          |         |              |          |         |              |          |         |              |
|--------|-------|----------|---------|--------------|----------|---------|--------------|----------|---------|--------------|
| 0.635  | 0.025 | 18.0000  | 0.9278  | 4.3887       | 20.5000  | 1.0567  | 4.9983       | 36.5000  | 1.8814  | 8.8993       |
| 1.270  | 0.050 | 35.5000  | 1.8299  | 8.6555       | 51.5000  | 2.6546  | 12.5566      | 78.0000  | 4.0206  | 19.0177      |
| 1.905  | 0.075 | 56.0000  | 2.8866  | 13.6538      | 78.0000  | 4.0206  | 19.0177      | 106.5000 | 5.4897  | 25.9665      |
| 2.54   | 0.10  | 81.5000  | 4.20    | <b>19.87</b> | 108.0000 | 5.57    | <b>26.33</b> | 162.5000 | 8.38    | <b>39.62</b> |
| 3.175  | 0.125 | 100.0000 | 5.1546  | 24.3817      | 144.0000 | 7.4227  | 35.1097      | 226.5000 | 11.6753 | 55.2246      |
| 3.810  | 0.150 | 138.0000 | 7.1134  | 33.6468      | 200.5    | 10.3351 | 48.8853      | 276.0000 | 14.2268 | 67.2935      |
| 4.445  | 0.175 | 175.5000 | 9.0464  | 42.7899      | 225.0000 | 11.5979 | 54.8589      | 336.5000 | 17.3454 | 82.0445      |
| 5.08   | 0.20  | 192.000  | 9.90    | <b>46.81</b> | 251.0000 | 12.94   | <b>61.20</b> | 368.0000 | 18.97   | <b>89.72</b> |
| 5.715  | 0.225 | 245.5000 | 12.6546 | 59.8571      | 295.0000 | 15.2062 | 71.9261      | 466.0000 | 24.0206 | 113.6188     |
| 6.350  | 0.250 | 260.5000 | 13.4278 | 63.5144      | 336.5000 | 17.3454 | 82.0445      | 510.5000 | 26.3144 | 124.4687     |
| 6.985  | 0.275 | 295.0000 | 15.2062 | 71.9261      | 360.0000 | 18.5567 | 87.7742      | 556.0000 | 28.6598 | 135.5624     |
| 7.620  | 0.300 | 334.0000 | 17.2165 | 81.4349      | 400.5000 | 20.6443 | 97.6488      | 600.5000 | 30.9536 | 146.4122     |
| 8.255  | 0.325 | 346.5000 | 17.8608 | 84.4827      | 415.0000 | 21.3918 | 101.1841     | 617.5000 | 31.8299 | 150.5571     |
| 8.890  | 0.350 | 355.0000 | 18.2990 | 86.5551      | 427.5000 | 22.0361 | 104.2319     | 626.0000 | 32.2680 | 152.6296     |
| 9.525  | 0.375 | 370.0000 | 19.0722 | 90.2124      | 450.0000 | 23.1959 | 109.7177     | 645.5000 | 33.2732 | 157.3840     |
| 10.160 | 0.400 | 396.5000 | 20.4381 | 96.6735      | 486.5000 | 25.0773 | 118.6171     | 663.0000 | 34.1753 | 161.6508     |
| 10.795 | 0.425 | 405.0000 | 20.8763 | 98.7460      | 490.5000 | 25.2835 | 119.5923     | 674.0000 | 34.7423 | 164.3328     |
| 11.430 | 0.450 | 410.0000 | 21.1340 | 99.9651      | 496.5000 | 25.5928 | 121.0552     | 691.5000 | 35.6443 | 168.5996     |
| 12.065 | 0.475 | 412.5000 | 21.2629 | 100.5746     | 500.0000 | 25.7732 | 121.9086     | 726.5000 | 37.4485 | 177.1332     |
| 12.700 | 0.500 | 416.0000 | 21.4433 | 101.4280     | 511.5000 | 26.3660 | 124.7125     | 769.5000 | 39.6649 | 187.6173     |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 27% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

*Figura. 85:*

*Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 27% de Ceniza de Carbon.*





Fuente: Propia

Tabla 78:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 27% de Ceniza de Carbon

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl²)                   | 19.8711    | 46.8129 | 26.3323    | 61.1981 | 39.6203    | 89.7247 |
| Esf. Patrón (Lb/pl²)                    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 1.9871     | 3.1209  | 2.6332     | 4.0799  | 3.9620     | 5.9816  |

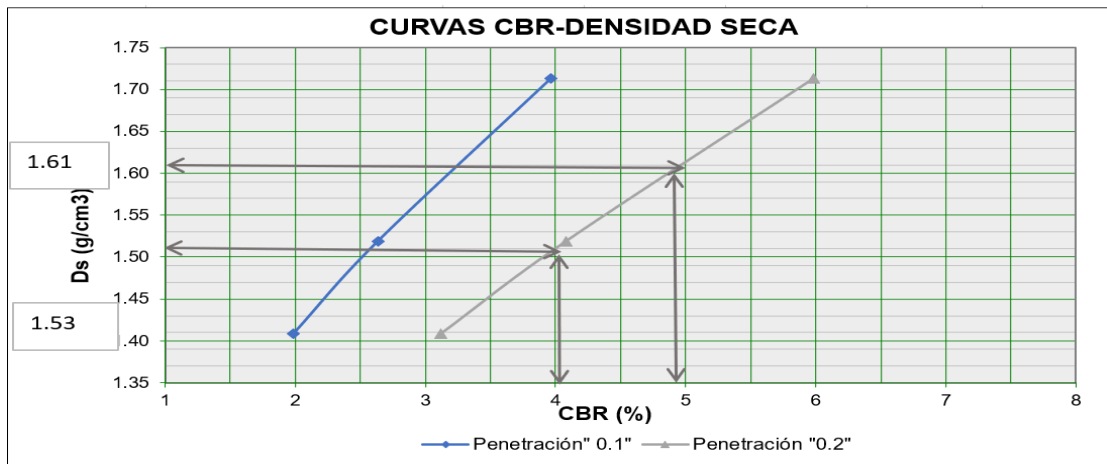
| C.B.R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 1.9871     | 3.1209 | 2.6332     | 4.0799 | 3.9620     | 5.9816 |
| Ds ( gr/cm3)          | 1.41       | 1.41   | 1.52       | 1.52   | 1.71       | 1.71   |

Densidad seca máxima de Proctor 1.61

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion adicionando 27% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 86:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 27% de Ceniza de Carbon



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.61  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.53  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 22.00 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1")     | 3.20% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")      | 2.6 % |

Fuente: Propia

Tabla 79:

Carga - Penetración adicionando 30% de Ceniza de Carbon

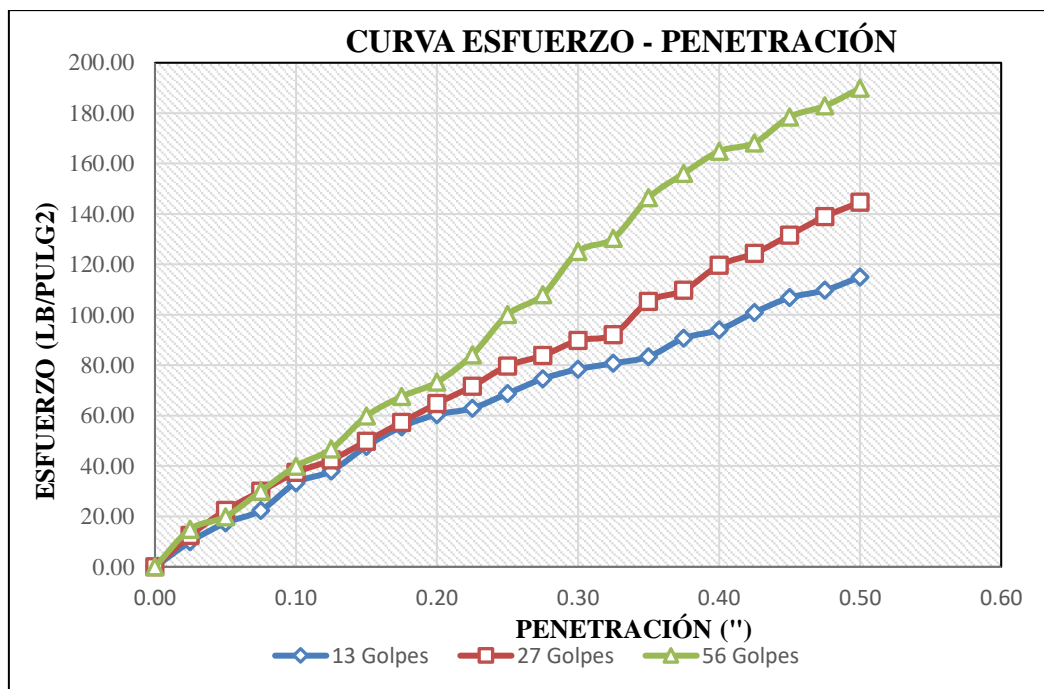
| CARGA - PENETRACIÓN C1-E1 |      |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---------------------------|------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |      | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|                           |      | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm                        | Pulg | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00                      | 0.00 | 0.0000      | 0.00               | 0.00               | 0.0000      | 0.00               | 0.00               | 0.0000      | 0.00               | 0.00               |
| 0.64                      | 0.03 | 40.8000     | 2.10               | 9.95               | 51.0000     | 2.63               | 12.43              | 61.2000     | 3.15               | 14.92              |
| 1.27                      | 0.05 | 71.4000     | 3.68               | 17.41              | 91.8000     | 4.73               | 22.38              | 81.6000     | 4.21               | 19.90              |
| 1.91                      | 0.08 | 91.8000     | 4.73               | 22.38              | 123.0000    | 6.34               | 29.99              | 123.0000    | 6.34               | 29.99              |
| 2.54                      | 0.10 | 136.8000    | 7.05               | <b>33.35</b>       | 153.6000    | 7.92               | <b>37.45</b>       | 163.8000    | 8.44               | <b>39.94</b>       |
| 3.18                      | 0.13 | 156.0000    | 8.04               | 38.04              | 174.0000    | 8.97               | 42.42              | 192.0000    | 9.90               | 46.81              |
| 3.81                      | 0.15 | 196.2000    | 10.11              | 47.84              | 204.6       | 10.55              | 49.88              | 245.4000    | 12.65              | 59.83              |
| 4.45                      | 0.18 | 228.0000    | 11.75              | 55.59              | 235.2000    | 12.12              | 57.35              | 277.2000    | 14.29              | 67.59              |
| 5.08                      | 0.20 | 247.800     | 12.77              | <b>60.42</b>       | 265.8000    | 13.70              | <b>64.81</b>       | 300.6000    | 15.49              | <b>73.29</b>       |
| 5.72                      | 0.23 | 258.0000    | 13.30              | 62.90              | 294.0000    | 15.15              | 71.68              | 345.0000    | 17.78              | 84.12              |
| 6.35                      | 0.25 | 282.0000    | 14.54              | 68.76              | 327.0000    | 16.86              | 79.73              | 410.4000    | 21.15              | 100.06             |
| 6.99                      | 0.28 | 306.0000    | 15.77              | 74.61              | 343.8000    | 17.72              | 83.82              | 442.8000    | 22.82              | 107.96             |

|       |      |          |       |        |          |       |        |          |       |        |
|-------|------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|
| 7.62  | 0.30 | 321.6000 | 16.58 | 78.41  | 368.4000 | 18.99 | 89.82  | 513.0000 | 26.44 | 125.08 |
| 8.26  | 0.33 | 331.2000 | 17.07 | 80.75  | 378.0000 | 19.48 | 92.16  | 534.6000 | 27.56 | 130.34 |
| 8.89  | 0.35 | 342.0000 | 17.63 | 83.39  | 432.0000 | 22.27 | 105.33 | 600.6000 | 30.96 | 146.44 |
| 9.53  | 0.38 | 372.0000 | 19.18 | 90.70  | 450.0000 | 23.20 | 109.72 | 640.2000 | 33.00 | 156.09 |
| 10.16 | 0.40 | 385.8000 | 19.89 | 94.06  | 490.8000 | 25.30 | 119.67 | 676.2000 | 34.86 | 164.87 |
| 10.80 | 0.43 | 414.0000 | 21.34 | 100.94 | 510.0000 | 26.29 | 124.35 | 690.0000 | 35.57 | 168.23 |
| 11.43 | 0.45 | 438.0000 | 22.58 | 106.79 | 540.0000 | 27.84 | 131.66 | 732.0000 | 37.73 | 178.47 |
| 12.07 | 0.48 | 450.0000 | 23.20 | 109.72 | 570.0000 | 29.38 | 138.98 | 750.0000 | 38.66 | 182.86 |
| 12.70 | 0.50 | 471.6000 | 24.31 | 114.98 | 593.4000 | 30.59 | 144.68 | 778.8000 | 40.14 | 189.88 |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR adicionando 30% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 87:

Curva Esfuerzo-Penetracion adicionando 30% de Ceniza de Carbon



**Fuente:** Propia

Tabla 80:

Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración adicionando 30% de Ceniza de Carbon

| MOLDE N°<br>Penetración (")        | ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |         |            |         |            |         |
|------------------------------------|---|---------|------------|---------|------------|---------|
|                                    | MOLDE N° 1                              |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
|                                    | 0.1"                                    | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pl <sup>2</sup> ) | 33.3542                                 | 60.4179 | 37.4503    | 64.8066 | 39.9373    | 73.2915 |

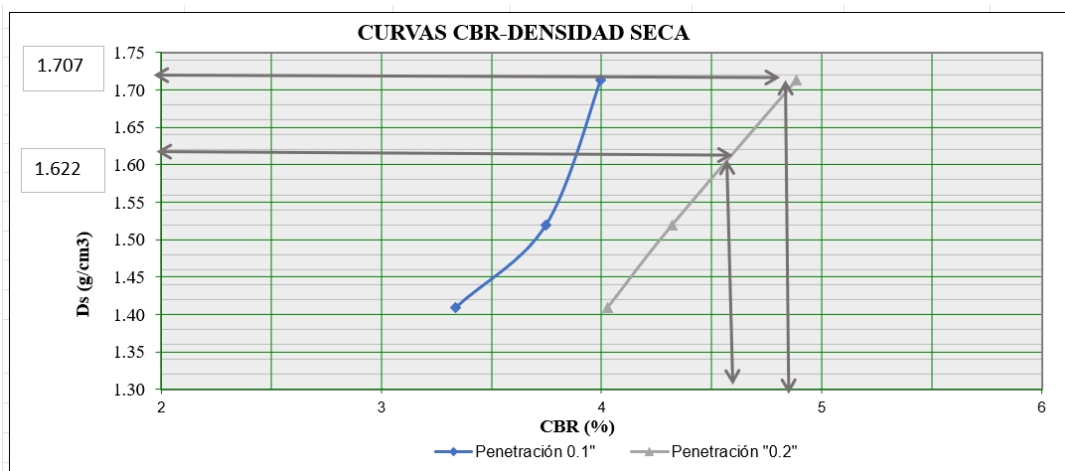
|                                   |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Esf. Patrón (Lb/pl <sup>2</sup> ) | 1000   | 1500   | 1000   | 1500   | 1000   | 1500   |
| CBR %                             | 3.3354 | 4.0279 | 3.7450 | 4.3204 | 3.9937 | 4.8861 |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA           |            |        |            |        |            |        |
|---------------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°                        | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
| Penetración (")                 | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)                         | 3.3354     | 4.0279 | 3.7450     | 4.3204 | 3.9937     | 4.8861 |
| Ds ( gr/cm <sup>3</sup> )       | 1.41       | 1.41   | 1.52       | 1.52   | 1.71       | 1.71   |
| Densidad seca máxima de Proctor |            |        |            | 1.707  |            |        |

**Nota:** La siguiente tabla presenta los resultados del ensayo de CBR por penetracion adicionando 30% de Ceniza de Carbón. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Figura. 88:

Curva CBR-Densidad Seca adicionando 30% de Ceniza de Carbon



| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                           |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm <sup>3</sup> ) : | 1.71  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm <sup>3</sup> ) :  | 1.62  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                    | 15.80 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1")     | 4.00% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")      | 3.7%  |

**Fuente:** Propia

**Resumen de resultados:**

Tabla 81:

*Resumen Proctor de calicatas.*

| PROCTOR DE CALICATAS |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|
| RESULTADOS           | CALICATA 1 | CALICATA 2 | CALICATA 3 |
| Max. Densidad Seca   | 1.585      | 1.6        | 2.03       |
| Contenido de Humedad | 21.50      | 19.50      | 11.00      |

**Nota:** Resumen de resultados Proctor de Calicatas. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 82:

*Resumen Proctor con adicion de cal*

| PROCTOR CON ADICIÓN DE CAL  |                |          |          |          |
|-----------------------------|----------------|----------|----------|----------|
| RESULTADOS                  | MUESTRA PATRÓN | C1+3%CAL | C1+5%CAL | C1+%7CAL |
| Max. Densidad Seca          | 1.585          | 1.565    | 1.575    | 1.60     |
| Contenido de Humedad Optimo | 21.500         | 25.50    | 23.4     | 21.6     |

**Nota:** Resumen de resultados Proctor con adicion de Cal. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 83: *Resumen Proctor con adicion de Ceniza de Carbon.*

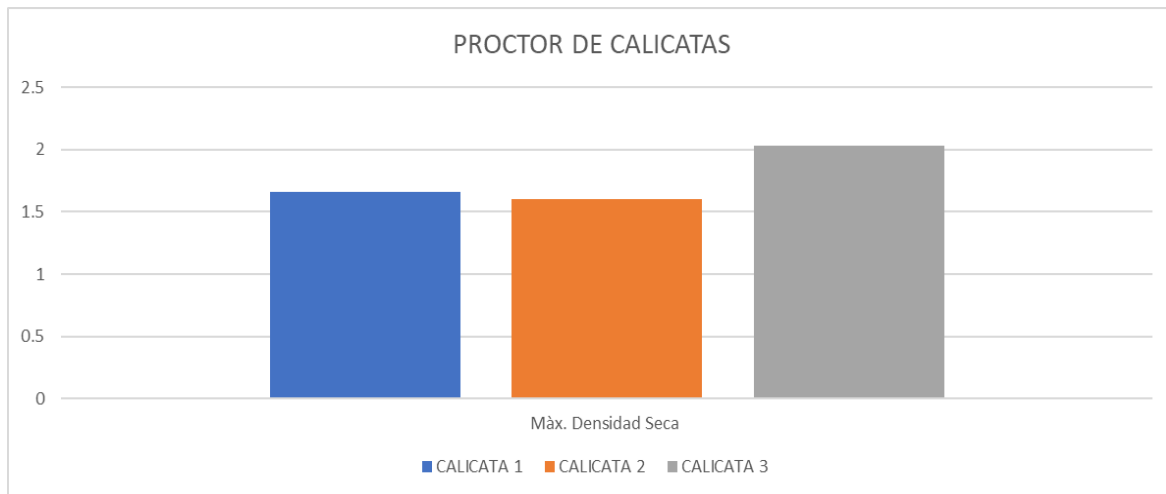
| PROCTOR CON ADICIÓN DE CENIZA DE CARBÓN |                |                        |                        |                        |
|---|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| RESULTADOS                              | Muestra patrón | C1+25%ceniza de carbón | C1+27%ceniza de carbón | C1+30%ceniza de carbón |
| Max. Densidad Seca                      | 1.585          | 1.575                  | 1.610                  | 1.707                  |
| Contenido de Humedad Optimo             | 21.500         | 24.800                 | 22.000                 | 15.800                 |

**Nota:** Resumen de resultados Proctor con adicion de Ceniza de carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 84:

*Resumen CBR con adicion de Cal*

| CBR CON ADICIÓN DE CAL |  |
|------------------------|--|
|------------------------|--|



| RESULTADOS                 | MUESTRA PATRÓN | C1+3%CA<br>L | C1+5%CA<br>L | C1+7%CA<br>L |
|----------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Max. Densidad Seca al 100% | 1.59           | 1.57         | 1.58         | 1.6          |
| CBR al 100% de la dms      | 1.58           | 3.08         | 4.40         | 5.52         |
| CBR al 95 % de la dms      | 1.30           | 1.95         | 4.2          | 5.2          |

**Nota:** Resumen de resultados CBR con adición de Cal. **Fuente:** Elaboracion Propia.

Tabla 85: Resumen CBR con adición de Ceniza de Carbon.

| CBR CON ADICIÓN DE CENIZA DE CARBÓN |                |                            |                            |                            |
|-------------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| RESULTADOS                          | MUESTRA PATRÓN | C1+25%ceniz<br>a de carbón | C1+27%ceniz<br>a de carbón | C1+30%ceniz<br>a de carbón |
| Max. Densidad Seca al 100%          | 1.59           | 1.575                      | 1.61                       | 1.71                       |
| CBR al 100% de la dms               | 1.58           | 2.46                       | 3.20                       | 4                          |
| CBR al 95 % de la dms               | 1.30           | 1.5                        | 2.6                        | 3.7                        |

**Nota:** Resumen de resultados CBR con adición de Ceniza de carbon. **Fuente:** Elaboracion Propia.

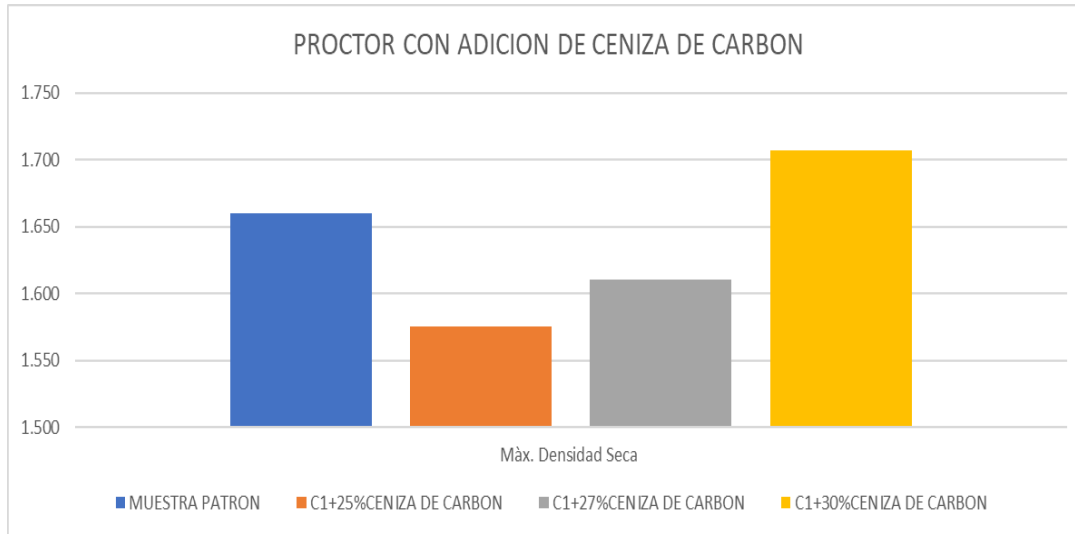
Figura. 89:

Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR de todas las Calicatas.

**Fuente:** Propia

Figura. 90:

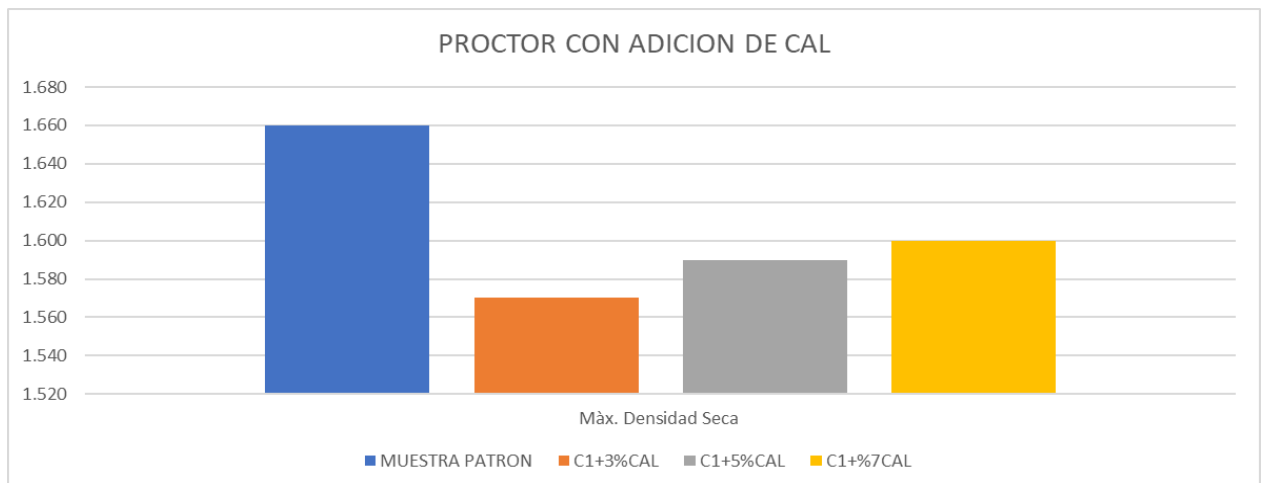
*Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR con la adición de Ceniza de Carbon.*



**Fuente:** Propia

*Figura. 91:*

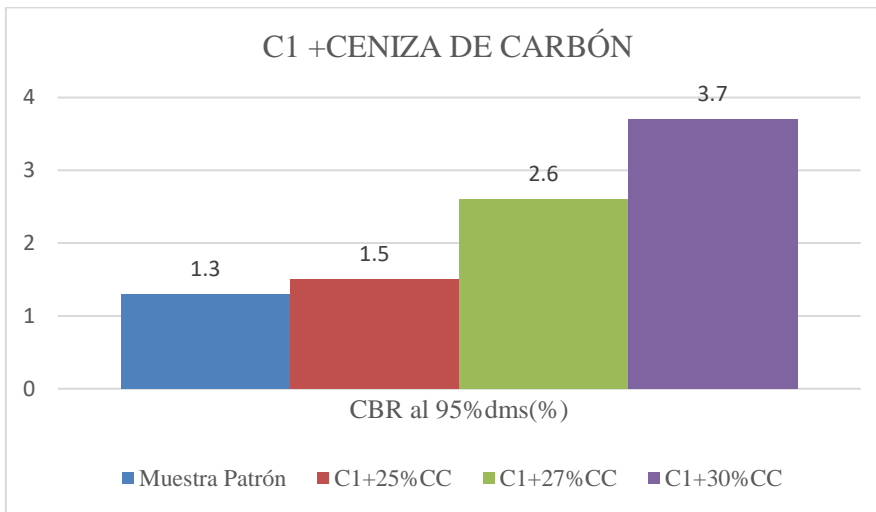
*Grafica comparativa de los ensayos de PROCTOR con la adición de Cal.*



**Fuente:** Propia

*Figura. 92:*

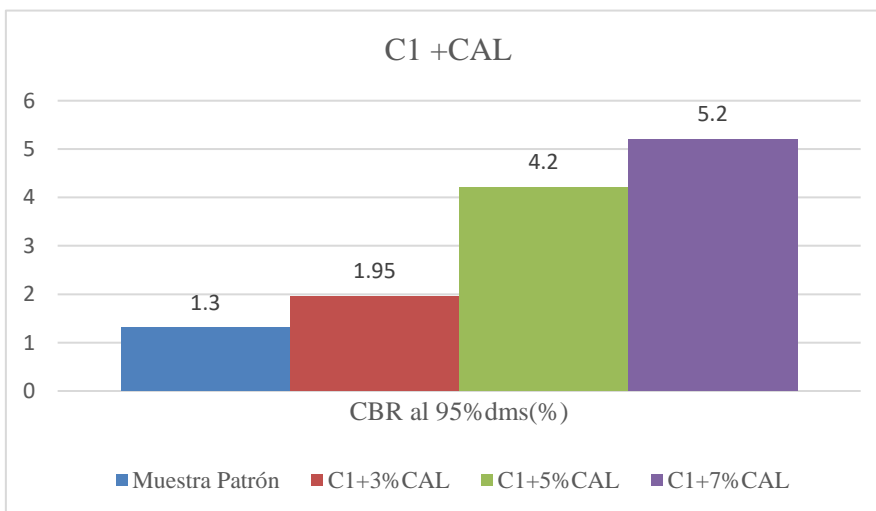
*Grafica comparativa de los ensayos de CBR con la adición de Ceniza de Carbon.*



**Fuente:** Propia

*Figura. 93:*

*Grafica comparativa de los ensayos de CBR con la adición de Cal.*



**Fuente:** Propia



## ***CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES***

En el último capítulo, que abarca la discusión y las conclusiones de los resultados, se proporciona un análisis exhaustivo de las restricciones identificadas, así como las interpretaciones comparativas entre los hallazgos del tercer capítulo. Estos resultados están presentados en tablas y gráficos, contrastados con los antecedentes citados. Además, este apartado destaca las ramificaciones derivadas de los resultados obtenidos. Asimismo, se presentan las conclusiones que corresponden directamente a los objetivos de la investigación. Por último, se detallan las citas y las referencias conforme al formato APA 7ma edición. A continuación, se exponen las limitaciones que surgieron durante la ejecución de la investigación.

Durante el proceso de llevar a cabo esta investigación, surgieron algunas **limitaciones** en relación con la selección de los lugares para realizar las calicatas y la recolección de muestras porque la calle en estudio ya cuenta con todos los servicios de agua desagüe y gas .

A pesar de estas limitaciones, se tomaron medidas para minimizar su impacto en los resultados. Se procedió con cautela en la selección y manipulación de las muestras para garantizar su integridad y representatividad. Además, se maximizó el uso de los recursos disponibles y se priorizaron los ensayos más cruciales para los objetivos de la investigación.

Por último, durante el desarrollo de la investigación, surgió una limitación adicional que merece mención al encontrar un suelo de baja capacidad portante, lo que generó un desafío en la interpretación de los resultados.

Otra de las limitaciones presentadas corresponde a la revisión de la información correspondiente a los antecedentes relacionados con el tema de estudio, debido a la escasa realización de estudios en relación a la estabilización de subrasantes usando ceniza de carbón y Cal. Sin embargo, a pesar de esta limitación, se tomó la decisión de revisar información que se asemeje al estudio mencionado, considerando las similitudes en las características físicas y mecánicas.

En el siguiente punto, se expone **la discusión de resultados**, donde se contrastan y analizan los hallazgos obtenidos en relación con los antecedentes mencionados.

### **Clasificación del tipo de suelo de la subrasante de la calle Ucrania.**

Tras el análisis detallado de la zona de estudio y la aplicación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se obtuvieron resultados significativos. Las dos primeras muestras, provenientes de la calle Ucrania, fueron clasificadas como suelo tipo CH, caracterizado por su alta plasticidad debido a su composición arcillosa. Además, la muestra restante, perteneciente a la tercera calicata, fue clasificada como suelo tipo CL, lo que indica la presencia de arcillas inorgánicas con una plasticidad media y baja, además de pequeñas cantidades de gravas arcillosas limosas.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas, brindando un respaldo sólido a nuestro estudio. (González, 2014), en su investigación sobre la "Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal - ceniza volante," identificó suelos arcillosos y evaluó su comportamiento al ser estabilizados con ceniza volante y cal. De manera similar, (Carranza Gómez, 2021), en su tesis "Estabilización de suelos incorporando cal y yeso como aglomerantes naturales en el tramo La Capilla - Cedropampa, Cajamarca 2021," estudió la estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de aglomerantes naturales en diferentes porcentajes. Además, los resultados se asemejan a la investigación de (Medina y Villar, 2022) en "Estabilización de subrasante incorporando cal y ceniza de carbón en el C.P. de Conache, Distrito de Laredo – Trujillo – La Libertad," donde se evaluó la influencia de la cal y la ceniza de carbón en la mejora de la subrasante, también identificando suelos arcillosos y evaluando los efectos de estos materiales en las propiedades mecánicas del suelo.

### **Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, capacidad portante del suelo y CBR**

En el ensayo de **contenido de humedad** de las tres muestras correspondientes a la subrasante de la calle Ucrania se encontraron valores de la primera, la segunda y la tercera en ese orden tiene el valor de 43.67% y 30.90% y 22.66 %. Además, al realizar la granulometría de las 2 primeras muestras correspondientes a la calicata 1 y al estrato 1 de la calicata 2 se encontró el porcentaje pasante de la malla 200 es mayor al 50% lo que significa que es un suelo fino compuesto por suelo arcilloso. Así mismo, al realizar la granulometría de las dos últimas muestras correspondientes al estrato 2 de la calicata 2 y a la calicata 3 se tiene que pasa menos del 50% de la malla 200 lo que significa que es un suelo compuesto de arenas finas limosas o

arcillosas. Este resultado es similar a lo encontrado por (Cañar, 2017), quien en su investigación también realizó ensayos de granulometría y obtuvo resultados que clasificaban los suelos como arcillosos .

Cabe mencionar que estos resultados coinciden con los hallazgos reportados por otros investigadores, como se observa en los antecedentes de (González, 2014) donde también se realizó una caracterización granulométrica de los suelos y se obtuvo una clasificación similar. Esto respalda la consistencia de los datos y la coherencia con los resultados previamente documentados en la literatura.

Asimismo, Cañar Tiviano (2019) proporcionó datos numéricos sobre la variación de la humedad y su impacto en la resistencia del suelo, destacando la importancia de estos valores en el diseño geotécnico. Estos enfoques científicos basados en datos numéricos son esenciales para comprender en profundidad cómo la modificación del contenido de humedad influye en las propiedades mecánicas del suelo y, en última instancia, en la eficacia de la estabilización del suelo en proyectos de ingeniería.

**Los límites de consistencia** de las muestras de la calicata 1 son: Límite Líquido (LL) = 64.43%, Límite Plástico (LP) = 28.28%, Índice de Plasticidad (IP) = 36.15%, Contenido de Humedad (W<sub>n</sub>) = 43.67%, y Grado de Consistencia (K<sub>w</sub>) = 0.57. Estos resultados indican que la muestra de la calicata 1 tiene un alto grado de plasticidad, con un índice de plasticidad (IP) significativo, lo que sugiere que el suelo es propenso a cambios volumétricos al cambiar su contenido de humedad. La capacidad portante de este suelo deberá evaluarse cuidadosamente para determinar su idoneidad para soportar las cargas previstas.

Para la segunda muestra de la calicata 2, estrato 1, se obtuvieron los siguientes valores: LL = 63.64%, LP = 26.92%, IP = 36.73%, W<sub>n</sub> = 26.67% y K<sub>w</sub> = 1.01. Estos resultados indican una plasticidad similar a la muestra de la calicata 1, con un índice de plasticidad (IP) considerable. El contenido de humedad (W<sub>n</sub>) es menor en esta muestra, lo que podría influir en su resistencia y compresibilidad, afectando su capacidad portante.

En cuanto a la segunda muestra de la calicata 2, estrato 2, los resultados fueron: LL = 37.63%, LP = 29.17%, IP = 8.45%, W<sub>n</sub> = 24.14% y K<sub>w</sub> = 1.60. Esta muestra una plasticidad más baja en comparación con las anteriores, con un índice de plasticidad (IP) menor. El contenido de humedad (W<sub>n</sub>) y el grado de consistencia (K<sub>w</sub>) sugieren que el suelo está cerca

de su límite plástico, lo que podría tener implicaciones en su capacidad de deformación y, por ende, en su capacidad portante.

Por último, los límites de consistencia de la muestra de la calicata 3 son:  $LL = 37.63\%$ ,  $LP = 29.93\%$ ,  $IP = 7.71\%$ ,  $W_n = 10.58\%$  y  $K_w = 3.51$ . Estos resultados indican un suelo con una plasticidad más baja que las muestras anteriores, con un índice de plasticidad (IP) relativamente bajo. El contenido de humedad ( $W_n$ ) es aún menor en esta muestra, lo que podría influir en su comportamiento en términos de asentamiento y capacidad de carga. El grado de consistencia ( $K_w$ ) sugiere que el suelo está en un estado más consistente en comparación con las otras muestras, lo que podría tener implicaciones en su capacidad portante. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por (Carranza Gómez, 2021), quien también realizó análisis de los límites de consistencia y plasticidad de los suelos en su investigación.

Por otro lado, Jara Anaypoma (2018) también presentó resultados cuantitativos relevantes al evaluar el efecto de la cal en el suelo arcilloso. Se observó una disminución significativa en el índice de plasticidad, pasando de  $36.87\%$  en el suelo sin aditivos a  $9.23\%$  con la adición del  $6\%$  de cal.

En la investigación de Carranza Gómez (2021), al incorporar el  $5\%$  de cal y yeso en el suelo, se logró una mejora notable en el índice de plasticidad, disminuyendo de  $15.3\%$  a  $5.2\%$ .

**En los ensayos de Proctor** tenemos que en **C1**, se observa que a medida que el contenido de humedad aumenta, la densidad húmeda del suelo disminuye. Por ejemplo, en la muestra 1, con un contenido de humedad calculado del  $18.41\%$ , la densidad húmeda es de  $1.83 \text{ kg/m}^3$ , mientras que la densidad seca es de  $1.54 \text{ kg/m}^3$ . En la muestra 4, con un contenido de humedad del  $24.60\%$ , la densidad húmeda es de  $1.90 \text{ kg/m}^3$  y la densidad seca es de  $1.52 \text{ kg/m}^3$ . Estos resultados sugieren que la compactación podría lograrse con un contenido de humedad más bajo para alcanzar una mayor densidad. Luego en **C2**, se observa nuevamente que la densidad del suelo húmedo disminuye a medida que aumenta el contenido de humedad. Por ejemplo, en la muestra 1, con un contenido de humedad calculado del  $14.37\%$ , la densidad húmeda es de  $1.78 \text{ kg/m}^3$ , mientras que la densidad seca es de  $1.56 \text{ kg/m}^3$ . En la muestra 4, con un contenido de humedad del  $23.42\%$ , la densidad húmeda es de  $1.93 \text{ kg/m}^3$  y la densidad seca es de  $1.56 \text{ kg/m}^3$ . Estos resultados indican que el contenido de humedad tiene un impacto significativo en la densidad del suelo húmedo y seco. Finalmente, en **C3**, una vez más, se observa que la densidad del suelo húmedo disminuye a medida que aumenta el contenido de

humedad. Por ejemplo, en la muestra 1, con un contenido de humedad calculado del 6.32%, la densidad húmeda es de 1.90 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad seca es de 1.79 kg/m<sup>3</sup>. En la muestra 5, con un contenido de humedad del 12.53%, la densidad húmeda es de 2.21 kg/m<sup>3</sup> y la densidad seca es de 1.96 kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados demuestran nuevamente la influencia del contenido de humedad en las propiedades del suelo.

Los resultados obtenidos de los ensayos **California Bearing Ratio (CBR)**, así como los análisis de hinchamiento y penetración, proporcionan información valiosa sobre las propiedades del suelo en diferentes condiciones. Estos ensayos se llevaron a cabo en muestras C1-E1, C2-E1 y C3-E1. Se observaron variaciones en los números de golpes, golpes por capa y pesos iniciales de moldes y muestras húmedas. El contenido de humedad fluctuó en los rangos de 18.95% a 50.89% para C1-E1, y de 13.77% a 14.40% para C2-E1 y C3-E1, con promedios de 36.66%, 34.97% y 35.29%, respectivamente.

Las densidades máximas secas (Ds) también variaron: 1.354 g/cm<sup>3</sup>, 1.535 g/cm<sup>3</sup> y 1.594 g/cm<sup>3</sup> para C1-E1; 1.319 g/cm<sup>3</sup>, 1.400 g/cm<sup>3</sup> y 1.611 g/cm<sup>3</sup> para C2-E1; y 1.875 g/cm<sup>3</sup>, 2.042 g/cm<sup>3</sup> y 2.080 g/cm<sup>3</sup> para C3-E1.

Los ensayos de hinchamiento demostraron deformaciones progresivas en milímetros y porcentajes de hinchamiento a lo largo del tiempo para cada molde. En el caso de la prueba C1, los esfuerzos a 0.1" y 0.2" de penetración arrojaron valores de CBR entre 0.93% y 1.6515%, junto con densidades secas que oscilaron entre 1.35 g/cm<sup>3</sup> y 1.59 g/cm<sup>3</sup>. En la prueba C2, los esfuerzos a las mismas profundidades mostraron valores de CBR entre 2.2236% y 2.7177%, con densidades secas constantes a 1.0 g/cm<sup>3</sup> y 1.88 g/cm<sup>3</sup>. Por último, en la prueba C3, los esfuerzos a las mismas profundidades revelaron valores de CBR desde 9.1036% hasta 14.4296%, con densidades secas constantes a 1.88 g/cm<sup>3</sup> y 2.08 g/cm<sup>3</sup>.

Además, los ensayos Proctor modificados arrojaron densidades secas máximas al 100% de compactación de 1.585 g/cm<sup>3</sup> en C1, 2.03 g/cm<sup>3</sup> en C2 y 2.03 g/cm<sup>3</sup> en C3, mientras que las densidades máximas al 95% variaron de 1.50575 g/cm<sup>3</sup> a 1.9285 g/cm<sup>3</sup>.

**Determinar la variación de la densidad máxima seca del suelo en estudio (ensayo de Proctor) con la adición de Cal en 3%, 5% y 7% y la adición de ceniza de Carbón en diferentes porcentajes de 25%, 27% y 30% en la Subrasante de la Calle Ucrania.**

En el análisis de los ensayos Proctor con **adición de diferentes porcentajes de cal** al suelo, se evaluaron minuciosamente las propiedades de densidad y contenido de humedad. Cada ensayo se llevó a cabo utilizando un molde de 933.98 cm<sup>3</sup>, con la aplicación de 25 golpes mediante un martillo de 4.5 kg desde una altura de 18 pulgadas en 5 capas. En el ensayo con adición del **3% de cal**, se observaron variaciones en las densidades húmedas entre 1.90 kg/m<sup>3</sup> y 1.97 kg/m<sup>3</sup>, con una densidad máxima de 1.570 kg/m<sup>3</sup> y un nivel de humedad óptimo del 25.10%. En el caso del ensayo con adición del **5% de cal**, las densidades húmedas fluctuaron entre 1.91 kg/m<sup>3</sup> y 1.93 kg/m<sup>3</sup>, con una densidad máxima de 1.590 kg/m<sup>3</sup> y un nivel de humedad óptimo del 22.50%. En el ensayo con adición del **7% de cal**, las densidades húmedas variaron entre 1.82 kg/m<sup>3</sup> y 1.92 kg/m<sup>3</sup>, con una densidad máxima de 1.600 kg/m<sup>3</sup> y un nivel de humedad óptimo del 11.00%.

Los ensayos adicionando **diferentes porcentajes de cenizas de carbón** son los siguientes:

En el ensayo con una **adición del 25%** de ceniza de carbón, se utilizó un molde de volumen 948.22 cm<sup>3</sup> y se aplicaron 25 golpes con un martillo de 4.5 kg desde una altura de 18 pulgadas en 5 capas. Los pesos iniciales del molde y del suelo húmedo fueron de 4264.00 g y 5996.00 g, respectivamente, lo que resultó en un contenido de humedad calculado entre 22.59% y 26.35%. Las densidades húmedas variaron desde 1.83 kg/m<sup>3</sup> hasta 1.96 kg/m<sup>3</sup>, mientras que las densidades secas oscilaron entre 1.49 kg/m<sup>3</sup> y 1.57 kg/m<sup>3</sup>. Al analizar el contenido de humedad en los recipientes, los valores promedio fluctuaron entre 22.66% y 26.59%, con una humedad promedio general de 24.08%. Se obtuvo una densidad máxima de 1.575 kg/m<sup>3</sup> y la humedad óptima determinada fue del 24.80%.

En el ensayo con una **adición del 27%** de ceniza de carbón, se utilizó un molde de volumen 948.22 cm<sup>3</sup> y se aplicaron 25 golpes con un martillo de 4.5 kg desde una altura de 18 pulgadas en 5 capas. Los pesos iniciales del molde y del suelo húmedo fueron de 4264.00 g y 5980.00 g, respectivamente, lo que resultó en un contenido de humedad calculado entre 18.77% y 23.50%. Las densidades húmedas oscilaron entre 1.81 kg/m<sup>3</sup> y 1.95 kg/m<sup>3</sup>, mientras que las densidades secas variaron entre 1.52 kg/m<sup>3</sup> y 1.60 kg/m<sup>3</sup>. Al analizar el contenido de humedad en los recipientes, los valores promedio fluctuaron entre 18.77% y 23.54%, con una humedad promedio general de 21.63%. Se obtuvo una densidad máxima de 1.610 kg/m<sup>3</sup> y la humedad óptima determinada fue del 22.00%.

En el ensayo con una **adición del 30%** de ceniza de carbón, se utilizó un molde de volumen 938.22 cm<sup>3</sup> y se aplicaron 25 golpes con un martillo de 4.5 kg desde una altura de 18 pulgadas en 5 capas. Los pesos iniciales del molde y del suelo húmedo fueron de 4264.00 g y 6012.00 g, respectivamente, lo que resultó en un contenido de humedad calculado entre 11.70% y 21.62%. Las densidades húmedas oscilaron entre 1.86 kg/m<sup>3</sup> y 1.99 kg/m<sup>3</sup>, mientras que las densidades secas variaron entre 1.60 kg/m<sup>3</sup> y 1.70 kg/m<sup>3</sup>. Al analizar el contenido de humedad en los recipientes, los valores promedio fluctuaron entre 11.70% y 21.98%, con una humedad promedio general de 16.32%. Se obtuvo una densidad máxima de 1.707 kg/m<sup>3</sup> y la humedad óptima determinada fue del 15.80%.

En lo que respecta a los resultados del ensayo **Proctor**, tanto la presente investigación como en las investigaciones previas se han presentado datos cuantitativos que ofrecen una comprensión precisa de cómo la compactación afecta las propiedades del suelo. En este estudio, se realizaron ensayos de compactación con diferentes porcentajes de cal y ceniza de carbón. Al adicionar el 2% de cemento portland tipo IV y el 15% de cenizas volantes a la muestra in-situ, se logró una densidad máxima seca de 1.840 gr/cm<sup>3</sup>, en comparación con la MDS inicial de 1.932 gr/cm<sup>3</sup>.

Por otro lado, Jara Anaypoma (2018) también proporcionó resultados cuantitativos relevantes al evaluar el efecto de la cal en el suelo arcilloso. Al añadir el 4% de cal, se obtuvo una densidad máxima seca de 1.840 gr/cm<sup>3</sup>, en contraste con la MDS inicial de 1.932 gr/cm<sup>3</sup>.

En la investigación de Carranza Gómez (2021), al incorporar el 5% de cal y yeso en el suelo, se logró una mejora en la densidad máxima seca, aumentando de 1.840 gr/cm<sup>3</sup> a 1.932 gr/cm<sup>3</sup>.

### **Ensayos de CBR con distintos porcentajes de Cal y Ceniza de Carbón**

Los resultados del ensayo de hinchamiento con diferentes porcentajes de cal en el California Bearing Ratio (CBR):

Primero tenemos con **3% de Cal**: Se realizaron ensayos con 5 golpes por capa en tres muestras. Los pesos iniciales de los moldes fueron 8220 g, 7843 g y 7185 g. Después del ensayo, los pesos de las muestras húmedas más el molde aumentaron, con contenido de humedad entre 25.75% y 29.43%. Se registraron deformaciones e hinchamientos a lo largo del tiempo, variando para cada molde. Las densidades húmedas (Dh) oscilaron entre 1.831 y 2.366. Luego **5% de**

**Cal:** En los ensayos con un 5% de cal, se aplicaron 5 golpes por capa en tres muestras. Los pesos iniciales de los moldes fueron 8220 g, 7842 g y 7810 g. Se observó un aumento en los pesos de las muestras húmedas más el molde después del ensayo, con contenido de humedad promedio entre 21.83% y 25.00%. Se realizó un seguimiento de las deformaciones e hinchamientos durante el tiempo, registrando variaciones para cada molde. Las densidades húmedas (Dh) se situaron entre 1.720 y 2.135, Finalmente **7% de Cal:** En el ensayo con un 7% de cal, se llevaron a cabo 5 golpes por capa en tres muestras. Los pesos iniciales de los moldes fueron 7592 g, 7498 g y 7231 g. Tras el ensayo, se observó un aumento en los pesos de las muestras húmedas más el molde, con un contenido de humedad promedio entre 24.19% y 32.00%. Se realizaron lecturas de deformación e hinchamiento a intervalos de 1 día, mostrando variaciones a lo largo del tiempo y para cada molde. Las densidades húmedas (Dh) variaron entre 1.633 y 2.316.

Los ensayos de penetración con adiciones del 3%, 5% y 7% de cal al California Bearing Ratio (CBR) demostraron mejoras progresivas en la capacidad de carga y resistencia del suelo. Se evaluaron esfuerzos terreno y patrón para penetraciones de 0.1" y 0.2" en tres moldes diferentes en cada caso. En el ensayo de **3% de cal**, los valores de CBR variaron entre 1.5482% y 3.7158%, con densidades secas (Ds) de 1.46 gr/cm<sup>3</sup> a 1.83 gr/cm<sup>3</sup>. En el ensayo de **5% de cal**, los valores de CBR fluctuaron entre 3.7158% y 4.7479%, con densidades secas entre 1.41 gr/cm<sup>3</sup> y 1.71 gr/cm<sup>3</sup>. Para el ensayo de **7% de cal**, los valores de CBR oscilaron entre 4.0254% y 6.3994%, con densidades secas de 1.32 gr/cm<sup>3</sup> a 1.75 gr/cm<sup>3</sup>. En todos los casos, los resultados indican una mejora significativa en la resistencia y estabilidad del suelo debido a la adición de cal, lo que tiene implicaciones valiosas para el diseño y la ejecución de proyectos de ingeniería civil.

Ahora con **Adición de ceniza de carbón** al ensayo de California Bearing Ratio (CBR) el ensayo de hinchamiento, tenemos que para la adición de **25% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de CBR con un 25% de ceniza de carbón reveló mejoras en la capacidad de carga y estabilidad del suelo. Se evaluaron esfuerzos terreno y patrón, y se obtuvieron valores de densidad húmeda (Dh) entre 1.6 g/cm<sup>3</sup> y 1.873 g/cm<sup>3</sup>. El contenido de humedad promedio osciló entre 31.25% y 34.11%, y las densidades máximas secas (Ds) se situaron entre 1.494 g/cm<sup>3</sup> y 1.584 g/cm<sup>3</sup>. El ensayo de hinchamiento mostró deformaciones a lo largo del tiempo, indicando la influencia de la ceniza de carbón en el comportamiento del suelo. Siguiendo con la adición



de **27% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de CBR con un 27% de ceniza de carbón reveló mejoras notables en la capacidad de carga y estabilidad del suelo. Se evaluaron esfuerzos terreno y patrón, y se obtuvieron valores de densidad húmeda (Dh) entre 1.7 g/cm<sup>3</sup> y 2.0 g/cm<sup>3</sup>. El contenido de humedad promedio varió entre 30.20% y 38.57%, y las densidades máximas secas (Ds) se ubicaron entre 1.501 g/cm<sup>3</sup> y 1.649 g/cm<sup>3</sup>. El ensayo de hinchamiento registró deformaciones a lo largo del tiempo, evidenciando la influencia de la ceniza de carbón en el comportamiento del suelo. Para finalizar con el ensayo de adición con **30% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de CBR con un 30% de ceniza de carbón demostró mejoras significativas en la capacidad de carga y estabilidad del suelo. Se evaluaron esfuerzos terreno y patrón, y se obtuvieron valores de densidad húmeda (Dh) entre 1.7 g/cm<sup>3</sup> y 1.9 g/cm<sup>3</sup>. El contenido de humedad promedio varió entre 40.60% y 41.67%, y las densidades máximas secas (Ds) se ubicaron entre 1.409 g/cm<sup>3</sup> y 1.713 g/cm<sup>3</sup>. El ensayo de hinchamiento registró deformaciones a lo largo del tiempo, indicando la influencia de la ceniza de carbón en la expansión del suelo.

Ensayo CBR penetración para diferentes porcentajes de **ceniza de carbón adicionada:**

Ensayo de Penetración con **25% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de penetración con un 25% de ceniza de carbón mostró mejoras notables en la capacidad de carga del suelo modificado. Los esfuerzos terrenos para penetraciones de 0.1" variaron entre 15.1167 lb/pl<sup>2</sup> y 25.9422 lb/pl<sup>2</sup>, mientras que para penetraciones de 0.2" oscilaron entre 18.7252 lb/pl<sup>2</sup> y 66.7084 lb/pl<sup>2</sup>. Los valores de California Bearing Ratio (CBR) estuvieron en el rango de 1.5117% a 2.5942%, lo que refleja una mayor resistencia del suelo modificado. Las densidades secas máximas de Proctor fueron de 1.575 g/cm<sup>3</sup> al 100% y 1.49625 g/cm<sup>3</sup> al 95%. Además, se estableció un contenido óptimo de humedad del 24.80%. Ensayo de Penetración con **27% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de penetración con un 27% de ceniza de carbón demostró mejoras notables en la capacidad de carga del suelo modificado. Los esfuerzos terrenos para penetraciones de 0.1" variaron entre 19.8711 lb/pl<sup>2</sup> y 39.6203 lb/pl<sup>2</sup>, y para penetraciones de 0.2" oscilaron entre 46.8129 lb/pl<sup>2</sup> y 89.7247 lb/pl<sup>2</sup>. Los valores de CBR se ubicaron entre 1.9871% y 3.9620%, indicando una resistencia mejorada del suelo modificado. Las densidades secas máximas de Proctor fueron de 1.61 g/cm<sup>3</sup>. Ensayo de Penetración con **30% de Ceniza de Carbón:** El ensayo de penetración con un 30% de ceniza de carbón demostró mejoras notables en la capacidad de carga del suelo modificado. Los esfuerzos terrenos para penetraciones de 0.1" variaron entre 33.3542 lb/pl<sup>2</sup> y 39.9373 lb/pl<sup>2</sup>, mientras que para penetraciones de 0.2"

oscilaron entre 60.4179 lb/pl<sup>2</sup> y 73.2915 lb/pl<sup>2</sup>. Los valores de CBR estuvieron en el rango de 3.3354% a 3.9937%, destacando una resistencia mejorada del suelo modificado. Las densidades secas máximas de Proctor fueron de 1.707 g/cm<sup>3</sup> al 100% y 1.62165 g/cm<sup>3</sup> al 95%. Además, se estableció un contenido óptimo de humedad del 15.80%.

Los resultados del índice de California Bearing Ratio (CBR) proporcionan información cuantitativa sobre la capacidad de carga y resistencia de los suelos mejorados. En este estudio, al agregar el 15% de cenizas volantes de carbón y el 2% de cemento portland tipo IV, se logró un aumento significativo en el CBR, con valores que aumentaron del 1.69% (CBR al 95% de la MDS a 0.1") en la muestra natural a un 21.5% (CBR al 95% de la MDS a 0.1") con las adiciones.

En la investigación de Jara Anaypoma (2018), al incorporar el 4% de cal al suelo arcilloso, se observó un incremento en el CBR, que alcanzó un valor de 11.48% (CBR al 95% de la MDS a 0.1") en comparación con el 2.55% (CBR al 95% de la MDS a 0.1") en el suelo sin mejoras.

Carranza Gómez (2021) también reportó mejoras en el CBR al incorporar el 5% de cal y yeso en el suelo, logrando valores de CBR del 95% de la MDS a 0.1" de 21.5% y 44% en diferentes muestras.

### **Análisis Comparativo de los Ensayos de CBR: Muestra Natural, Adición de Cal y Adición de Ceniza de Carbón**

#### **1. Ensayo de CBR con Muestra Natural:**

En este ensayo, se evaluaron las propiedades del suelo en su estado natural, sin ninguna adición. De acuerdo a los ensayos realizados a la C1, C2 y C3 los CBR obtenidos fueron (1.30, 2.5 y 9.2 al 95% de densidad máxima seca (D<sub>ms</sub>), eligiéndose como muestra patrón debido a su peor condición la C1 con una densidad máxima seca de 1.51 g/cm<sup>3</sup>. Este ensayo proporciona una referencia inicial para la resistencia y comportamiento del suelo en su estado natural.

#### **2. Ensayo de CBR con Adición de Cal:**

En este conjunto de ensayos, se evaluaron las mejoras en la resistencia del suelo mediante la adición de diferentes porcentajes de cal (3%, 5% y 7%), los CBR obtenidos fueron 1.95, 4.2 y 5.2% al 95% de su D<sub>ms</sub>, su D<sub>ms</sub> varió entre (1.49, 1.50 y 1.52 g/cm<sup>3</sup> con humedades óptimas de 25.50, 23.40 y 21.60%. Se observó un aumento progresivo en los valores de CBR,

indicando una mayor capacidad de carga y resistencia. Estos resultados indican que la adición de cal tuvo un impacto positivo en la resistencia del suelo en todos los casos, con valores de CBR más altos a medida que aumentaba el porcentaje de cal.

### **3. Ensayo de CBR con Adición de Ceniza de Carbón:**

En este conjunto de ensayos, se evaluaron las mejoras en la resistencia del suelo mediante la adición de diferentes porcentajes de ceniza de carbón (25%, 27% y 30%). Al igual que en los ensayos con adición de cal, se observó un aumento progresivo en los valores de CBR, lo que indica una mejora en la capacidad de carga y resistencia. Los valores de CBR (1.5, 2.6 y 3.7 %) al 95% de su Dms con Dms de 1.50, 1.53 y 1.62 g/cm<sup>3</sup> con humedades óptimas de 24.80, 22 y 15.80 % . Estos resultados sugieren que la adición de ceniza de carbón también tuvo un impacto positivo en la resistencia del suelo, con valores de CBR más altos a medida que aumentaba el porcentaje de ceniza de carbón.

#### **Comparación y Conclusiones:**

El ensayo con muestra natural proporciona una base para comprender la resistencia inicial del suelo sin adiciones, también podemos observar que **Tanto la adición de cal como la adición de ceniza de carbón** mostraron mejoras en la resistencia y capacidad de carga del suelo, En general, los ensayos con adición de **cal tuvieron un efecto más significativo en la mejora de la resistencia**, con valores de CBR más altos en comparación con la adición de cenizas de carbón en porcentajes equivalentes.

Los valores de densidad seca y contenido de humedad también variaron en función de las adiciones, lo que resalta la importancia de considerar estos factores en el diseño y construcción de proyectos de ingeniería.

En tercer lugar, se abordan las **implicancias** derivadas de esta investigación, destacando las siguientes dimensiones:

Desde una **perspectiva práctica**, las conclusiones de este estudio tienen un impacto concreto en la toma de decisiones para los residentes, autoridades y empresarios. Se ofrece la oportunidad de implementar un método de estabilización de suelos arcillosos de alta plasticidad. Tras realizar los ensayos correspondientes, se estableció que la cal hidratada mejora la resistencia del suelo, pero no es suficiente para estabilizarlo.

A **nivel teórico**, se propone un plan de difusión dirigido a la población. Se plantea la realización de charlas informativas en entornos laborales, tanto en empresas públicas como privadas vinculadas a la construcción y estabilización de subrasantes. Estas charlas se orientan a aquellos que utilizan distintos materiales orgánicos o químicos y están comprometidos con el cuidado del medio ambiente. El objetivo es fomentar la creación de conocimiento adicional y motivar a otros investigadores a buscar mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, contribuyendo así a una mayor calidad de vida.

En cuanto a la implicación en el **ámbito metodológico**, esta investigación presenta un aporte de gran relevancia. Dada la escasez de estudios detallados sobre la estabilidad de subrasantes utilizando ceniza de carbón y cal en la zona en los últimos años, este estudio ofrece un enfoque técnico y metódico que facilita la replicabilidad y comparabilidad. Se proporciona un marco sólido para llevar a cabo estudios detallados en la estabilidad de subrasantes desde su lugar de origen, analizando sus propiedades físicas y mecánicas, su calidad y sus posibles aplicaciones.

En Cuarto lugar, se presentan las **conclusiones** obtenidas a partir de los análisis y ensayos realizados en este estudio son las siguientes:

Respecto a la **caracterización del Suelo y Comportamiento Natural**: los ensayos de contenido de humedad, granulometría y límites de consistencia revelaron que la subrasante de la Calle Ucrania está compuesta principalmente por suelos arcillosos con alta plasticidad (CH) y arcillas inorgánicas de plasticidad media y baja con gravas arcillosas limosas (CL). Los valores de límite líquido (LL) y límite plástico (LP) proporcionaron una comprensión profunda de la plasticidad del suelo. También la **capacidad portante** del suelo natural debe evaluarse cuidadosamente debido a su alto grado de plasticidad y contenido de humedad variable.

La **incorporación de diferentes proporciones de cal** (3%, 5% y 7%) al suelo resultó en mejoras significativas en la resistencia y capacidad de carga. Los valores promedio del índice CBR aumentaron progresivamente, pasando del 1.5482% al 6.3994%, lo que indica un aumento sustancial en la estabilidad y resistencia del suelo con la adición de cal.

Los datos de **densidad húmeda** (Dh) variaron desde 1.633 hasta 2.316, y el contenido de humedad óptimo para la mezcla de 7% de cal se estableció en 11.00%, lo que respalda la eficacia de la cal como estabilizador del suelo.

La adición de **diferentes porcentajes de ceniza de carbón** (25%, 27% y 30%) también demostró mejoras notables en la capacidad de carga y resistencia del suelo. Los valores promedio del índice CBR aumentaron significativamente, pasando del 1.5117% al 3.9937%, indicando un aumento en la estabilidad y resistencia del suelo con la adición de ceniza de carbón.

Los datos de **densidad húmeda** (Dh) variaron desde 1.6 g/cm<sup>3</sup> hasta 1.9 g/cm<sup>3</sup>, y el contenido de humedad óptimo para la mezcla de 30% de ceniza de carbón se estableció en 15.80%, destacando la influencia positiva de la ceniza de carbón en el comportamiento del suelo.

Los ensayos de **Proctor modificado** demostraron que la densidad máxima seca del suelo varía con la adición de cal y ceniza de carbón. Los valores de densidad máxima seca (Ds) oscilaron desde 1.409 g/cm<sup>3</sup> hasta 2.135 g/cm<sup>3</sup>, lo que subraya la influencia de estos estabilizadores en la compactación del suelo y su capacidad de soportar cargas.

Los datos indican la importancia de seleccionar el contenido óptimo de cal o ceniza de carbón para lograr la densidad máxima seca requerida según las necesidades del proyecto.

Los ensayos de **California Bearing Ratio (CBR)** revelaron mejoras progresivas en la capacidad de carga y resistencia del suelo con la adición de cal y ceniza de carbón en diferentes porcentajes. Los valores del índice CBR aumentaron significativamente, respaldando la hipótesis de que la resistencia de la subrasante aumenta con estas adiciones.

Los **esfuerzos** terrenos para penetraciones de 0.1" variaron entre 15.1167 lb/pl<sup>2</sup> y 33.3542 lb/pl<sup>2</sup>, y para penetraciones de 0.2", oscilaron entre 18.7252 lb/pl<sup>2</sup> y 89.7247 lb/pl<sup>2</sup>, lo que demuestra una mejora sustancial en la capacidad de carga del suelo modificado.

Basado en los resultados de los ensayos, se puede concluir que la hipótesis inicial de que "La resistencia de la subrasante de la calle Ucrania se incrementa en más del 20% al adicionarle las cenizas de carbón y cal" no se cumple. Los valores del índice CBR aumentaron progresivamente con la adición de cal, pasando del 1.5482% al 6.3994%, En el caso de la adición de ceniza de carbón, los valores del índice CBR también aumentaron significativamente, pasando del 1.5117% al 3.9937%. En ambos casos, los incrementos en la resistencia del suelo son notables, pero están por debajo del 20% que se planteó en la hipótesis. Por lo tanto, la hipótesis no se verifica con los datos numéricos obtenidos en este estudio.

En el contexto del diseño geotécnico, estos resultados tienen implicaciones valiosas para futuros proyectos de ingeniería civil en la zona de estudio. Tanto la adición de cal como la adición de ceniza de carbón pueden considerarse enfoques efectivos para mejorar las propiedades del suelo, garantizando una mayor capacidad de carga y estabilidad en la construcción de infraestructuras. Se reconoce que este estudio tiene limitaciones, como la influencia de la variabilidad natural del suelo y las condiciones climáticas adversas en los ensayos. Además, explorar otros materiales o distintas proporciones de adición podría enriquecer aún más los resultados y conclusiones.

Finalmente se muestran las **recomendaciones** más importantes:

**Selección Cuidadosa de Materiales:** Al emprender futuros proyectos de construcción en la Calle Ucrania u otras áreas con características de suelo similares, se recomienda llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los tipos de suelo presentes. Esto permitirá una selección más precisa de los materiales de estabilización, ya sea cal, ceniza de carbón u otros aditivos, para lograr mejoras sustanciales en la capacidad de carga y resistencia del suelo.

**Optimización de Proporciones:** Basándose en los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere realizar investigaciones adicionales para determinar las proporciones óptimas de cal y ceniza de carbón en función de las condiciones locales y los requisitos específicos de cada proyecto. Esto permitirá maximizar los beneficios de la estabilización del suelo y minimizar los costos asociados.

**Estudios Geotécnicos Detallados:** Antes de la construcción, es esencial llevar a cabo estudios geotécnicos detallados en el sitio de construcción. Estos estudios deben incluir pruebas de laboratorio y de campo para evaluar la composición del suelo, su capacidad portante y su comportamiento bajo diferentes cargas. Estos datos servirán como base para diseñar las mezclas de suelo y aditivos más adecuadas.

**Monitoreo Continuo:** Durante la construcción, se recomienda implementar un monitoreo constante de las propiedades del suelo y la calidad de la construcción. Esto asegurará que las proporciones de aditivos y las técnicas de mezcla se estén aplicando correctamente y que los resultados esperados se estén logrando en el campo.

**Consideración de Factores Ambientales:** Al utilizar ceniza de carbón como aditivo, es importante considerar los posibles impactos ambientales y cumplir con las regulaciones

locales. Se debe evaluar la posibilidad de lixiviación de sustancias tóxicas y, si es necesario, implementar medidas de mitigación adecuadas.

**Investigación Adicional:** Dado que este estudio tiene limitaciones propias, se recomienda realizar investigaciones adicionales para abordar aspectos no considerados en este análisis. Por ejemplo, se podría investigar la influencia de otros tipos de aditivos, diferentes condiciones de compactación y la durabilidad a largo plazo de las mejoras del suelo.

## REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental, la. (2023). *Ceniza de carbón ¿Qué es la ceniza de carbón?*, EPA. [www.epa.gov/coalash](http://www.epa.gov/coalash).
- Borselli, L. (2022). *GEOTECNIA I Año Académico 2022-2023*, UASLP, [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)
- Calle-Delgado, M. (2018). *INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA Y EL TIPO DE CEMENTO EN LA CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS ESTRUCTURALES [Tesis de Grado]*, Universidad de Piura.
- Carranza Gómez. (2021). *Estabilización de suelos incorporando cal y yeso como aglomerantes naturales en el tramo La Capilla - Cedropampa, Cajamarca 2021 [Tesis de Grado]- Universidad Cesar Vallejo.*
- CEDEX. (2018). *CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN Y CENIZAS DE HOGAR O ESCORIAS- Centro de estudios y experimentación de obras Públicas.*
- Cubas Benavides, & Falen Chávez. (2016). *EVALUACIÓN DE LAS CENIZAS DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ACTIVACIÓN ALCALINA Y APLICACIÓN EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS [Tesis de Grado]*, Universidad Señor de Sipán.
- Estudio Geotécnico. (2013). *EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO DE 1KM DE VÍA NO PAVIMENTADA, EXPONRIENDO EL COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO DEL MISMO EN EL MUNICIPIO DE MELGAR [Tesis de Grado]- Universidad de Tolima.*
- Goñas Labajos. (2019). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZAS DE CARBÓN PARA USO COMO SUBRASANTE MEJORADA [Tesis de Grado] - Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.*
- González.J(2014). *ESTABILIZACIÓN MECÁNICA DE SUELOS COHESIVOS A TRAVÉS DE LA UTILIZACIÓN DE CAL - CENIZA VOLANTE [Tesis de Grado]- Universidad San Carlos de Guatemala.*



- González, A. R. (2017). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA- Pontificia Universidad Javeriana- Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.*
- Hernando, C., & Sandoval, H. (2010). Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del difractor de impacto-CEDEC. *Revista Facultad de Ingeniería, 19*, 28.
- Huaquisto Cáceres, S., & Belizario Quispe, G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas, 20*(2), 225–234. <https://doi.org/10.18271/RIA.2018.366>
- ICCE. (2018). *CLASIFICACIÓN DEL SUELO-Universidad Nacional de Colombia- Departamento de Geomecánica.* <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Inacap. (2020). *Propiedades índices de los suelos y características del hormigón fresco y endurecido- Universidad Tecnológica de Chile.*
- Jara Anaypoma. (2014). *EFECTO DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE DE UNA SUBRASANTE DE SUELO ARCILLOSO [Tesis de Grado]- Universidad Nacional de Cajamarca.*
- LIME. (2004). *MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL ESTABILIZACIÓN Y MODIFICACIÓN CON CAL- National Lime Association.*
- Llorca Aquesolo. (2018). *Sobre la edificación en arcillas expansivas.*
- Lopez. (2021). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS APLICANDO CENIZA DE MADERA DE FONDO PARA SU USO COMO SUBRASANTE MEJORADA DE PAVIMENTO, PRODUCTO DE LADRILLERA CERÁMICAS JÚPITER S.A.C. DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI” [Tesis de Grado] - Universidad Nacional de Ucayali.*
- Lvovska, L. y K. (2018). Soil Compaction Methods Development. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(3.34 Special Issue 34), 636–643. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14605>
- Makusa, G. P. (2013). *STATE OF THE ART REVIEW SOIL STABILIZATION METHODS AND MATERIALS IN ENGINEERING PRACTICE -Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering.*

- Mamani Gonzalo, G., De La Cruz Vega, S. A., Vega Neyra, C. S., Yllescas Rodríguez, P. M., & Rea Olivares, W. M. (2023). Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. *Infraestructura Vial*, 25(44), 1–7. <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.53569>
- Medina Ñañez Juan Pablo Junior, & Villar Tapia Wilson Gian Pieer. (2022). *Estabilización de subrasante incorporando cal y ceniza de carbón en el Centro Poblado de Conache, Distrito de Laredo, La Libertad [Tesis de Grado]- Universidad Cesar Vallejo.*
- Montejo Fonseca, Alfonso. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (Universidad Católica de Colombia, Ed.; Segunda). Universidad Católica de Colombia.
- Morales Zuluaga, D. (2015). *VALORACIÓN DE LAS CENIZAS DE CARBÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE ACTIVACIÓN ALCALINA Y SU USO- Universidad de Medellín.*
- MTC. (2008). *MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.* [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)
- MTC. (2017). *“MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES”- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.* [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)
- Norma CE.020. (2002). *SUELOS Y TALUDES- Ministerio de Vivienda.* [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf)
- Nortcliff, S., Hulpke, H., Bannick, C. G., Terytze, K., Knoop, G., Bredemeier, M., & Schulte-Bisping, H. (2011). Soil, 1. Definition, Function, and Utilization of Soil. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. [https://doi.org/10.1002/14356007.B07\\_613.PUB3](https://doi.org/10.1002/14356007.B07_613.PUB3)
- Ospina-García, M. Á., Chaves-Pabón, S. B., Jiménez-Sicachá, L. M., Ospina-García, M. Á., Chaves-Pabón, S. B., & Jiménez-Sicachá, L. M. (2020). Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(1), 185–196. <https://doi.org/10.19053/20278306.V11.N1.2020.11692>

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., & Jalali, S. (2008). Alkali-activated binders: A review. Part 1. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1305–1314. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2007.10.015>
- Peralta Tingal. (2021). *CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS EXPANSIVAS Y MITIGACIÓN DE RIESGOS [Tesis de Grado]- Pontificia Universidad Católica del Perú.*
- Pérez y Hayro. (2019). “Uso de las cenizas volantes de carbón para mejorar la subrasante en la Avenida San Josemaría Escrivá de Balaguer [Progresiva: 2+880 –3+880], Piura - Piura - Piura, 2018” [Tesis de Grado]- Universidad Cesar Vallejo.
- Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 43–67. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
- Roy Whitlow. (1999). Fundamentos de la mecánica de suelos. *Compañía Editorial Continental de México, Segundo.*
- Serrano Rodríguez, E. J., & Padilla González, E. A. (2019). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Ingeniería Solidaria*, 15(27), 1–23. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2019.01.01>
- Tiviano, C., & Santiago, E. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS FINOS Y ARCILLOSOS COMBINADAS CON CENIZA DE CARBÓN [Tesis de Grado]- Universidad Técnica de Ambato.*
- Trezza, M. A., Crozes, & Scian, (2020). Cenizas de carbon sedimented: su efecto puzolánico en clinker portland Sedimental Coal Ashes: its pozzolanic effects in Portland cement clinker. *Revista Materia*, Vol. 17(N. 03).

Lopez Falcon. (2002). *DEGRADACION DEL SUELO: Causas, Procesos, Evaluación e Investigación - Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial.*

Valle Rodas. (1982). *CARRETERAS, CALLES Y AEROPISTAS: Principios Generales de la Mecánica de Suelos Aplicados a la Pavimentación y Métodos para el Cálculo de Pavimentos Flexibles- Libro: Cuarta Edición.*

William, & Rodríguez. (2016). *INGENIERÍA GEOTÉCNICA- Universidad Pedro Ruiz Gallo* (William Rodríguez, Ed.; 1st ed.).

## ANEXOS

### Matriz de Consistencia

| TITULO   | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA  | OBJETIVOS  | HIPÓTESIS   | VARIABLES  | MUESTRA  | DISEÑO   | INSTRUMENTO  |
|--|---|--|---|--|--|--|--|
| <b>ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE UCRANIA ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023</b> | <b>Pregunta general</b><br>¿Aumenta la resistencia de la subrasante de la Calle “Ucrania” al adicionarlo porcentajes de cenizas de carbón y cal?, | <b>Objetivo General</b><br><br>Analizar la influencia de la adición de cenizas de carbón vegetal de algarrobo vs la adición de cal.  | -La resistencia de la subrasante de la Calle Ucrania se incrementa en más del 20% al adicionarle cenizas de carbón y cal. | <b>Variable dependiente</b><br><br>-CBR.   | <b>Población</b><br><br>Calle Ucrania .  | <b>Método</b><br><br><b>Nivel de investigación</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación</li> <li>• Experimentación</li> <li>• Ensayos</li> </ul> - Contenido de humedad<br>- Análisis granulométrico tamizado por lavado y seco<br>- Peso específico<br>- Límites de atterberg<br>- Proctor modificado<br>- Cbr |
|  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación de la Calle Ucrania mediante los ensayos de (Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, Proctor y CBR) y clasificarlo.</li> <li>✓ Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 25,27,30% de ceniza de carbón vegetal de algarrobo</li> <li>✓ Determinar el CBR del suelos natural adicionando porcentajes de 3,5,7% de cal .</li> </ul> |   | <b>Variable independiente</b><br><br>- Ceniza de carbón vegetal de algarrobo y cal . | <b>Muestra</b><br><br>Tres Calicatas ubicadas en longitudes proporcionales al inicio ,centro y casi al final de la calle Ucrania | <b>Diseño de investigación</b><br><br>Experimental |  |

PANEL FOTOGRÁFICO:

TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE UCRANIA  
ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023”



Figura 1. Contenido de humedad. En esta imagen se puede observar el proceso para poder determinar el contenido de humedad de las muestras extraídas, una actividad esencial para la evaluación de las variaciones en el volumen de los suelos.

Figura 2. Granulometría por lavado. En esta imagen se muestra el procedimiento de la prueba de granulometría de la C2-E1, un paso crítico que involucra la separación de partículas finas y el paso subsiguiente a través de tamices en orden descendente, con el propósito de llevar a cabo su clasificación de manera efectiva.

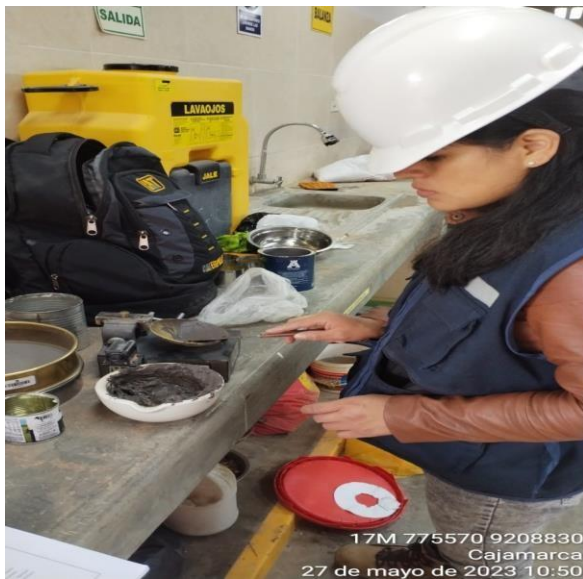


Figura 3. Limite Líquido.

En esta imagen se puede apreciar el proceso de realización del ensayo de límites de Atterberg, utilizado para establecer el nivel de contenido de agua en el suelo en el que adquiere una consistencia de lodo que puede fluir con mínimos esfuerzos, con el objetivo de facilitar su posterior clasificación.



Figura 4. Limite Plástico.

En esta imagen se observa el proceso de realización del ensayo de límites de Atterberg, utilizado para identificar el nivel de contenido de agua en el suelo en el cual adquiere una consistencia parcialmente sólida (plástica), con el propósito de facilitar su posterior clasificación.

TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE UCRANIA  
ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023”



Figura 5. Peso Específico.

En esta imagen se muestra el proceso de realización del ensayo de Peso Específico, mediante el cual se establece la correlación entre el peso y el volumen del material, con el fin de calcular los espacios vacíos de aire y el peso específico de las partículas sólidas.

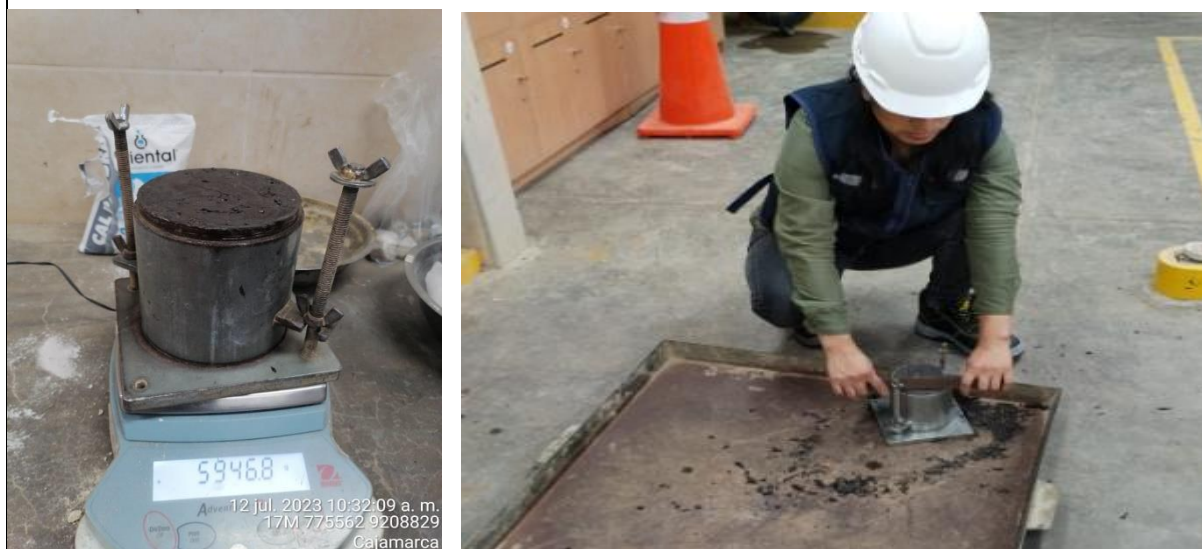


Figura 6. Proctor Modificado.

Esta imagen ilustra el procedimiento de ejecución del ensayo de Proctor Modificado, utilizado para establecer la conexión entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos bajo investigación.



**TESIS: “ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE UCRANIA  
ADICIONANDO CENIZAS DE CARBÓN Y CAL, CAJAMARCA 2023”**



Figura 7. California Bearing Ratio.

Esta imagen captura el momento en que se llevó a cabo el ensayo de CBR, el cual consistió en la evaluación de la resistencia potencial de los suelos investigados.



Figura 8. Hinchamiento. En esta imagen se puede apreciar el proceso de realización del ensayo de hinchamiento, utilizado para analizar la expansión y el aumento de volumen de los suelos que están siendo estudiados.



Figura 9. Penetración. En esta imagen se observa la ejecución del ensayo de penetración en las para introducir el pistón a una profundidad de 2.54 mm.



Figura 10. Obtención de materiales. En esta imagen se observa la obtención de los materiales que se usaron para los ensayos de mejoramiento de subrasante.







Figura 11. Calicatas. En esta fotografía se evidencia las excavaciones de las calicatas.

## PROTOCOLOS

Contenido de Humedad C1,C2,C3

Peso Específico C1

Limites de Plasticidad C1,C2,C3

Análisis Granulométrico mediante tamizado por lavado

Análisis Granulométrico mediante tamizado en seco

Compactación de Proctor Modificado C1,C2,C3

Cbr C1,C2,C3

Limites de Consistencia C1 adicionando 3,5,7% cal

Compactación de Proctor Modificado C1 adicionando 3,5,7% cal

Cbr C1 adicionando 3,5,7% cal

Limites de Consistencia C1 adicionando 25,27,30% ceniza de carbón

Compactación de Proctor Modificado C1 adicionando 25,27,30% ceniza de carbón

Cbr C1 adicionando 25,27,30% ceniza de carbón

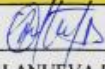
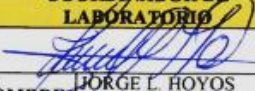
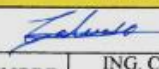
AUTORIZACIÓN DE CENIZA DE CARBÓN


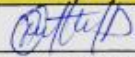
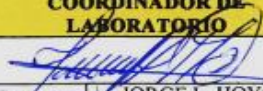
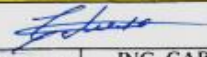
ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA DE CARBÓN

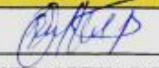

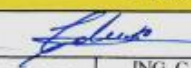
ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CAL

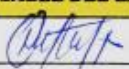
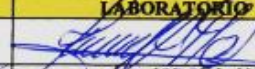
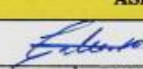








| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                     |                                      |   |                         |   |                                  |
|---|--------------------------------------|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| PROTOCOLO   |                                      |   |                         |   |                                  |
| ENSAYO:   |                                      | CONTENIDO DE HUMEDAD  |                         |   |                                  |
| NORMA:  |                                      | MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127  |                         |   |                                  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                         |   |                                  |
| CALICATA  | C1                                   | ESTRATO:  | E1                      | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilla de alta plasticidad      |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                         | COLOR DE MATERIAL:  | Negro                            |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |                         | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand, Maribel       |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/05/2023                           |   |                         | REVISADO POR:   |                                  |
| Temperatura de Secado   |                                      | Método  |                         |   |                                  |
| 60 °C / 110 °C / Ambiente   |                                      | Horno 110 ± 5 °C  |                         |   |                                  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |                                      |   |                         |   |                                  |
| ID  | DESCRIPCION                          | Unidades  | 1                       | 2   | 3                                |
| A   | Identificación de la tara            |   | M1                      | M2  | M3                               |
| B   | Peso Tara(A) + Muestra Húmeda(B)     | Gr  | 2027.60                 | 1058.70   | 2036.13                          |
| C   | Peso Tara + Muestra Seca             | Gr  | 1477.10                 | 820.12  | 1474.23                          |
| D   | Peso de la Tara                      | Gr  | 238.90                  | 239.50  | 238.50                           |
| E   | Peso de la Muestra Seca              | Gr  | 1238.20                 | 580.62  | 1235.73                          |
| F   | Peso del Agua(B-D-E)                 | Gr  | 550.50                  | 238.58  | 561.90                           |
| W%  | Contenido de Humedad                 | %   | 44.46                   | 41.09   | 45.47                            |
| G   | Promedio                             |   | 43.67                   |   |                                  |
| OBSERVACIONES:  |                                      |   |                         |   |                                  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |                                      | COORDINADOR DE LABORATORIO  |                         | ASESOR  |                                  |
|  |                                      |                     |                         |  |                                  |
| NOMBRE:   | VILLANUEVA DURAND MARIBEL            | NOMBRE:   | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:  | 15/05/2023                           | FECHA:  | 15/05/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                     |   |  |                                   |   |                                  |
|---|---|--|-----------------------------------|---|----------------------------------|
|    | PROTOCOLO   |  |                                   |   |                                  |
|   | CONTENIDO DE HUMEDAD  |  |                                   |   |                                  |
|   | ENSAYO:   | MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127   |                                   |   |                                  |
| NORMA:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |  |                                   |   |                                  |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |  |                                   |   |                                  |
| CALICATA:   | C2  | ESTRATO:   | E1                                | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilla de alta plasticidad      |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |  |                                   | COLOR DE MATERIAL:  | Marron                           |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  |  |                                   | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand,Maribel        |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/05/2023  |  |                                   | REVISADO POR:   |                                  |
| <u>Temperatura de Secado</u><br>60 °C / 110 °C /Ambiente                            |   |  | <u>Método</u><br>Horno 110 ± 5 °C |   |                                  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |  |                                   |   |                                  |
| ID  | DESCRIPCION   | Unidades   | 1                                 | 2   | 3                                |
| A   | Identificación de la tara   |  | M1                                | M2  | M3                               |
| B   | Peso Tara + Muestra Húmeda  | Gr   | 1350.60                           | 1225.80   | 1278.40                          |
| C   | Peso Tara + Muestra Seca  | Gr   | 1068.80                           | 970.20  | 1018.20                          |
| D   | Peso de la Tara   | Gr   | 158.40                            | 158.70  | 157.80                           |
| E   | Peso de la Muestra Seca   | Gr   | 910.40                            | 811.50  | 860.40                           |
| F   | Peso del Agua(B-D-E)  | Gr   | 281.80                            | 255.60  | 260.20                           |
| W%  | Contenido de Humedad  | %  | 30.95                             | 31.50   | 30.24                            |
| G   | Promedio  |  | 30.90                             |   |                                  |
| OBSERVACIONES:  |   |  |                                   |   |                                  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |   | COORDINADOR DE LABORATORIO   |                                   | ASESOR  |                                  |
|  |   |  |                                   |  |                                  |
| NOMBRE:   | VILLANUEVA DURAND MARIBEL   | NOMBRE:  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ           | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:  | 15/05/2023  | FECHA:   | 15/05/2023                        | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                     |   |  |                         |   |                                  |
|---|---|--|-------------------------|---|----------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |  |                         |   |                                  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |  |                         |   |                                  |
| <b>ENSAYO:</b>  |   |  |                         |   |                                  |
| <b>NORMA:</b>   | MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339 127  |  |                         |   |                                  |
| <b>TESIS:</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |  |                         |   |                                  |
| CALICATA  | C2  | ESTRATO:   | E2                      | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilla arenosa                  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |  |                         | COLOR DE MATERIAL:  | Marron                           |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  |  |                         | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand,Maribel        |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/05/2023  |  |                         | REVISADO POR:   |                                  |
| Temperatura de Secado   |   | Método   |                         |   |                                  |
| 60 °C / 110 °C /Ambiente  |   | Horno 110 ± 5 °C   |                         |   |                                  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |   |  |                         |   |                                  |
| ID  | DESCRIPCION   | Unidades   | 1                       | 2   | 3                                |
| A   | Identificación de la tara   |  | M1                      | M2  | M3                               |
| B   | Peso Tara + Muestra Húmeda  | Gr   | 571.60                  | 662.20  | 579.20                           |
| C   | Peso Tara + Muestra Seca  | Gr   | 479.30                  | 558.70  | 481.30                           |
| D   | Peso de la Tara   | Gr   | 72.60                   | 72.90   | 73.20                            |
| E   | Peso de la Muestra Seca   | Gr   | 406.70                  | 485.80  | 408.10                           |
| F   | Peso del Agua(B-D-E)  | Gr   | 92.30                   | 103.50  | 97.90                            |
| W%  | Contenido de Humedad  | %  | 22.69                   | 21.31   | 23.99                            |
| G   | Promedio  |  | 22.66                   |   |                                  |
| OBSERVACIONES:  |   |  |                         |   |                                  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |   | COORDINADOR DE LABORATORIO   |                         | ASESOR  |                                  |
|  |   |  |                         |  |                                  |
| NOMBRE:   | VILLANUEVA DURAND MARIBEL   | NOMBRE:  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:  | 15/05/2023  | FECHA:   | 15/05/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                     |                                      |   |                         |   |                                  |
|---|--------------------------------------|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| PROTOCOLO   |                                      |   |                         |   |                                  |
| ENSAYO:   |                                      | CONTENIDO DE HUMEDAD  |                         |   |                                  |
| NORMA:  |                                      | MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127  |                         |   |                                  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                         |   |                                  |
| CALICATA:   | C3                                   | ESTRATO:  | E1                      | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilla ,arenosa ,gravosa        |
| UBICACION:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                         | COLOR DE MATERIAL:  | Marrón                           |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |                         | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand,Maribel        |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/05/2023                           |   |                         | REVISADO POR:   |                                  |
| Temperatura de Secado   |                                      | Método  |                         |   |                                  |
| 60 °C / 110 °C /Ambiente  |                                      | Horno 110 ± 5 °C  |                         |   |                                  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |                                      |   |                         |   |                                  |
| ID  | DESCRIPCION                          | Unidades  | 1                       | 2   | 3                                |
| A   | Identificación de la tara            |   | M1                      | M2  | M3                               |
| B   | Peso Tara + Muestra Húmeda           | Gr  | 2018.60                 | 600.30  | 583.55                           |
| C   | Peso Tara + Muestra Seca             | Gr  | 1877.10                 | 516.06  | 509.54                           |
| D   | Peso de la Tara                      | Gr  | 239.70                  | 100.30  | 83.55                            |
| E   | Peso de la Muestra Seca              | Gr  | 1637.40                 | 415.76  | 425.99                           |
| F   | Peso del Agua(B-D-E)                 | Gr  | 141.50                  | 84.24   | 74.01                            |
| W%  | Contenido de Humedad                 | %   | 8.64                    | 20.26   | 17.37                            |
| G   | Promedio                             |   | 15.43                   |   |                                  |
| OBSERVACIONES:  |                                      |   |                         |   |                                  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |                                      | COORDINADOR DE LABORATORIO  |                         | ASESOR  |                                  |
|  |                                      |                     |                         |  |                                  |
| NOMBRE:   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND            | NOMBRE:   | JORGÉ L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:  | 15/05/2023                           | FECHA:  | 15/05/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |  |  |                           |   |                               |
|--|--|--|---------------------------|---|-------------------------------|
| <br>UNIVERSIDAD<br>PRIVADA<br>DEL NORTE | PROTOCOLO                                      |  |                           |   |                               |
|  | ENSAYO:  | PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS  |                           |   |                               |
|  | NORMA:   | MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131  |                           |   |                               |
|  | TESIS :  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando ceniza de carbón y cal ,Cajamarca 2023 |                           |   |                               |
| CALICATA:  | C1   | ESTRATO:   | E1                        | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACIÓN:   | Calle Ucrania-Urbanizacion la Molina           |  | COLOR DE MATERIAL:        | Negro   |                               |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023                                     | RESPONSABLE:   | Maribel Villanueva Durand |   |                               |
| FECHA DE ENSAYO:   | 26/06/2023                                     | REVISADO POR:  |                           |   |                               |
| <b>NORMA: MTC E 113 – 1999, ASTM D854, NTP 339 – 131</b>   |  |  |                           |   |                               |
| PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL FINO  |  |  |                           |   |                               |
| ID   | DESCRIPCIÓN                                    | UND  | 1                         | 2   |                               |
| A  | Identificación de la Muestra                   |  | M1                        | M2  |                               |
| B  | Peso de la Muestra Seca                        | gr   | 100.00                    | 100.00  |                               |
| C  | Peso de Fiola + Agua (500ml)                   | cm3  | 709.20                    | 669.80  |                               |
| D  | Peso de Fiola + Agua (500 ml) - Aire           | cm3  | 771.20                    | 731.60  |                               |
| E  | Peso específico $\gamma_s = (B / (B + C - D))$ | gr/cm <sup>3</sup>   | 2.63                      | 2.62  |                               |
| F  | Promedio del Peso Especifico <sup>3</sup>      | gr/cm <sup>3</sup>   | 2.62                      |   |                               |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |  |  |                           |   |                               |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO   |  | COORDINADOR DE LABORATORIO   |                           | ASESOR  |                               |
|                                       |  |                     |                           |  |                               |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND  |  | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ  |                           | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO  |                               |
| FECHA: 29/06/2023  |  | FECHA: 29/05/2023  |                           | FECHA: 07/08/2023   |                               |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA   |                                      |          |    |                    |                             |  |  |
|---|--------------------------------------|----------|----|--------------------|-----------------------------|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |          |    |                    |                             |  |  |
| LÍMITES DE PLASTICIDAD  |                                      |          |    |                    |                             |  |  |
| ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |                                      |          |    |                    |                             |  |  |
| Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                      |          |    |                    |                             |  |  |
| CALICATA:   | C1                                   | ESTRATO: | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |          |    | COLOR DE MATERIAL: | Negro                       |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13.05.2023                           |          |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel   |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 27.05.2023                           |          |    | REVISADO POR:      |                             |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                            |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|----------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad ( % ) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E1C1 | M2-E1C1 | M3-E1C1 |                  |                            |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 52.30   | 55.60   | 57.30   | 12               | 67.40                      |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 40.10   | 44.00   | 46.10   | 17               | 65.91                      |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 22.00   | 26.40   | 28.60   | 28               | 64.00                      |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 12.20   | 11.60   | 11.20   |                  |                            |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 18.10   | 17.60   | 17.50   |                  |                            |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 12.00   | 17.00   | 28.00   |                  |                            |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 67.40   | 65.91   | 64.00   | 25               | 64.43                      |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E1C1 | P2-E1C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 32.60   | 34.20   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 31.30   | 32.70   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 26.70   | 27.40   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.30    | 1.50    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.60    | 5.30    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 28.26   | 28.30   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 28.28   |         |

|                         |                  |        |
|-------------------------|------------------|--------|
| Limite Líquido:         | LL =             | 64.43% |
| Limite Plástico:        | LP =             | 28.28% |
| Índice de Plasticidad : | IP =             | 36.15% |
| Contenido de Humedad :  | W <sub>n</sub> = | 43.67% |
| Grado de Consistencia : | K <sub>w</sub> = | 0.57   |

Gráfico N°1  
Limite Líquido del suelo

$y = -4.003 \ln(x) + 77.315$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR         |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------------|
| <i>[Firma]</i>         |                           | <i>[Firma]</i>             |                         | <i>[Firma]</i> |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:        | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 30/05/2023                | FECHA:                     | 30/05/2023              | FECHA:         | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |          |    |                                      |                             |  |  |
|--|--------------------------------------|----------|----|--------------------------------------|-----------------------------|--|--|
| PROTOCOLO  |                                      |          |    |                                      |                             |  |  |
| ENSAYO:  |                                      |          |    | LÍMITES DE PLASTICIDAD               |                             |  |  |
| NORMA:   |                                      |          |    | ASTM D4318 / NTP E339.150 – NTP E111 |                             |  |  |
| TESIS: Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                      |          |    |                                      |                             |  |  |
| CALICATA:  | C2                                   | ESTRATO: | E1 | TIPO DE MATERIAL:                    | Arcilla de alta plasticidad |  |  |
| UBICACION:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |          |    | COLOR DE MATERIAL:                   | Marrón                      |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023                           |          |    | RESPONSABLE:                         | Villanueva Durand,Maribel   |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 27/05/2023                           |          |    | REVISADO POR:                        |                             |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E2C1 | M2-E2C1 | M3-E2C1 |                  |                          |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 50.20   | 56.90   | 51.30   |                  |                          |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 41.00   | 45.60   | 42.00   | 11               | 65.25                    |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 26.90   | 28.20   | 27.11   | 21               | 64.94                    |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 9.20    | 11.30   | 9.30    | 33               | 62.46                    |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 14.10   | 17.40   | 14.89   |                  |                          |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 11.00   | 21.00   | 33.00   |                  |                          |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 65.25   | 64.94   | 62.46   | 25               | 63.64                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E2C1 | P2-E2C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 35.30   | 33.80   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 33.60   | 32.40   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 27.40   | 27.10   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.70    | 1.40    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 6.20    | 5.30    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 27.42   | 26.42   |
| H                                  | Promedio Límite Plástico     |     | 26.92   |         |

|                        |                  |        |
|------------------------|------------------|--------|
| Límite Líquido:        | LL =             | 63.64% |
| Límite Plástico:       | LP =             | 26.92% |
| Índice de Plasticidad: | IP =             | 36.73% |
| Contenido de Humedad:  | W <sub>n</sub> = | 26.67% |
| Grado de Consistencia: | K <sub>w</sub> = | 1.01   |

Gráfico N° 2  
Límite Líquido del suelo C2-E1

$y = -2.398 \ln(x) + 71.36$

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 30/05/2023                | FECHA:                     |                         | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |          |    |                    |                            |  |  |
|--|--------------------------------------|----------|----|--------------------|----------------------------|--|--|
| PROTOCOLO  |                                      |          |    |                    |                            |  |  |
| LÍMITES DE PLASTICIDAD   |                                      |          |    |                    |                            |  |  |
| NORMA: ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |                                      |          |    |                    |                            |  |  |
| TESIS: Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                      |          |    |                    |                            |  |  |
| CALCATA:   | C2                                   | ESTRATO: | E2 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla arenosa            |  |  |
| UBICACION:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |          |    | COLOR DE MATERIAL: | Marrón                     |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023                           |          |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand, Maribel |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 27/05/2023                           |          |    | REVISADO POR:      |                            |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                  | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                   | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E2C2 | M2-E2C2 | M3-E2C2 |                  |                          |
| B                                   | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 43.17   | 40.45   | 45.00   |                  |                          |
| C                                   | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 38.52   | 37.00   | 40.00   | 15               | 42.58                    |
| D                                   | Peso de Recipiente           | gr  | 27.60   | 27.70   | 26.30   | 23               | 37.10                    |
| E                                   | Peso del Agua                | gr  | 4.65    | 3.45    | 5.00    | 31               | 36.50                    |
| F                                   | Peso Suelo Seco              | gr  | 10.92   | 9.30    | 13.70   |                  |                          |
| G                                   | Número de Golpes             | N   | 15.00   | 23.00   | 31.00   |                  |                          |
| H                                   | Contenido de Humedad         | %   | 42.58   | 37.10   | 36.50   | 25               | 37.63                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) |                              |     |         |         |
|--------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                   | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                    | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E2C2 | P2-E2C2 |
| B                                    | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 34.10   | 31.90   |
| C                                    | Suelo Seco + Tara            | gr  | 32.40   | 30.10   |
| D                                    | Peso de Tara                 | gr  | 27.00   | 23.40   |
| E                                    | Peso del Agua                | gr  | 1.70    | 1.80    |
| F                                    | Peso Suelo Seco              | gr  | 5.40    | 6.70    |
| G                                    | Contenido de Humedad         | %   | 31.48   | 26.87   |
| H                                    | Promedio Limite Plastico     |     | 29.17   |         |

|                        |                  |        |
|------------------------|------------------|--------|
| Limite Liquido:        | LL =             | 37.63% |
| Limite Plastico:       | LP =             | 29.17% |
| Indice de Plasticidad: | IP =             | 8.45%  |
| Contenido de Humedad:  | W <sub>n</sub> = | 24.14% |
| Grado de Consistencia: | K <sub>w</sub> = | 1.60   |

Gráfico N° 3  
Limite Liquido del suelo

$y = -8.6911(x) + 65.602$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 30/05/2023                | FECHA:                     | 30/05/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |  |    |                                      |                                      |    |                    |  |                            |
|---|--|----|--------------------------------------|--------------------------------------|----|--------------------|--|----------------------------|
| ENSAYO:   |  |    |                                      | PROTOCOLO                            |    |                    |  |                            |
| NORMA:  |  |    |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD               |    |                    |  |                            |
| TESIS:  |  |    |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111 |    |                    |  |                            |
| CALCATA:  |  | C3 | ESTRATO:                             |                                      | E1 | TIPO DE MATERIAL:  |  | Arcilla arenosa gravosa    |
| UBICACION:  |  |    | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |                                      |    | COLOR DE MATERIAL: |  | Marrón                     |
| FECHA DE MUESTREO:  |  |    | 13/05/2023                           |                                      |    | RESPONSABLE:       |  | Villanueva Durand, Maribel |
| FECHA DE ENSAYO:  |  |    | 29/05/2023                           |                                      |    | REVISADO POR:      |  |                            |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (L.L.) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                  | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                   | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E3C1 | M2-E3C1 | M3-E3C1 |                  |                          |
| B                                   | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 44.86   | 57.99   | 118.30  |                  |                          |
| C                                   | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 39.84   | 52.26   | 113.30  | 15               | 38.85                    |
| D                                   | Peso de Recipiente           | gr  | 26.92   | 37.10   | 99.84   | 23               | 37.80                    |
| E                                   | Peso del Agua                | gr  | 5.02    | 5.73    | 5.00    | 31               | 37.15                    |
| F                                   | Peso Suelo Seco              | gr  | 12.92   | 15.16   | 13.46   |                  |                          |
| G                                   | Número de Golpes             | N   | 15.00   | 23.00   | 31.00   |                  |                          |
| H                                   | Contenido de Humedad         | %   | 38.85   | 37.80   | 37.15   | 25               | 37.63                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) |                              |     |         |         |
|--------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                   | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                    | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E3C1 | P2-E3C1 |
| B                                    | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 51.67   | 57.13   |
| C                                    | Suelo Seco + Tara            | gr  | 48.60   | 53.86   |
| D                                    | Peso de Tara                 | gr  | 38.28   | 43.00   |
| E                                    | Peso del Agua                | gr  | 3.07    | 3.27    |
| F                                    | Peso Suelo Seco              | gr  | 10.32   | 10.86   |
| G                                    | Contenido de Humedad         | %   | 29.75   | 30.11   |
| H                                    | Promedio Límite Plástico     |     | 29.93   |         |


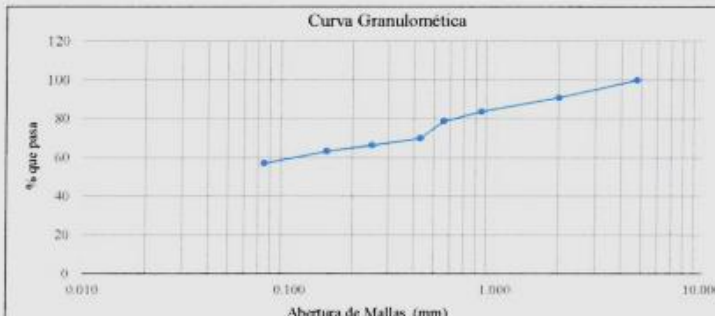
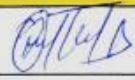
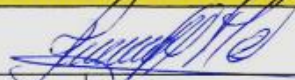
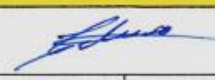
  

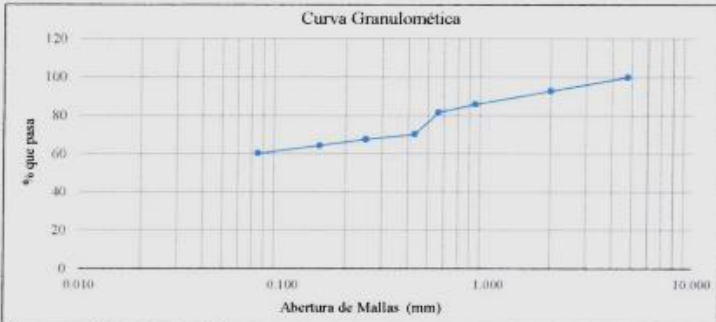


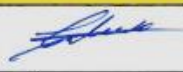
|                        |                  |        |
|------------------------|------------------|--------|
| Limite Líquido:        | LL =             | 37.63% |
| Limite Plástico:       | LP =             | 29.93% |
| Índice de Plasticidad: | IP =             | 7.71%  |
| Contenido de Humedad:  | W <sub>n</sub> = | 10.58% |
| Grado de Consistencia: | K <sub>w</sub> = | 3.51   |

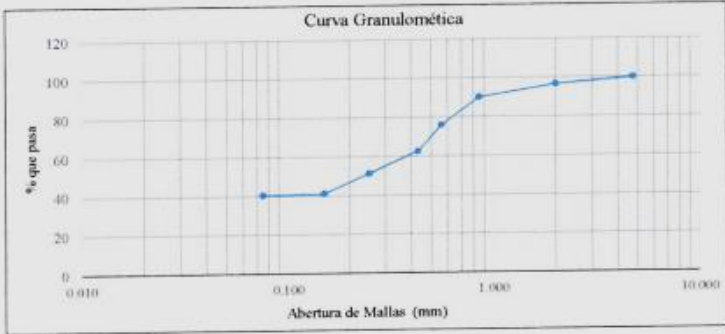
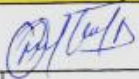


  

**Gráfico N° 4**  
Limite Líquido del suelo

$y = -2.36\ln(x) + 45.232$

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |   |   |                         |   |                                  |
|--|---|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| <br>UNIVERSIDAD<br>PRIVADA<br>DEL NORTE | PROTOCOLO   |   |                         |   |                                  |
|  | ENSAYO:   | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO                                |                         |   |                                  |
|  | NORMA:  | ASTM D421   |                         |   |                                  |
| TESIS:   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |   |                         |   |                                  |
| CALICATA:  | C1  | ESTRATO:  | E1                      | TIPO DE MATERIAL:   | Arcilla de alta plasticidad      |
| UBICACIÓN:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |   |                         | COLOR DE MATERIAL:  | Negro                            |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13-05/2023  |   |                         | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand, Maribel       |
| FECHA DE ENSAYO:   | 25-05/2023  |   |                         | REVISADO POR:   |                                  |
| Peso de la muestra seca + recipiente =   |   |   |                         | 573.00 gr   |                                  |
| Peso del recipiente =  |   |   |                         | 73.00 gr  |                                  |
| Peso de la muestra seca, Ws =  |   |   |                         | 500.00 gr   |                                  |
| TAMIZ  | DIAMETRO (mm)   | Peso retenido (gr)  | % retenido              | % retenido acumulado  | % que pasa                       |
| Nº 4   | 4.750   | 0.000   | 0.000                   | 0.000   | 100.000                          |
| Nº 10  | 2.000   | 45.500  | 9.100                   | 9.100   | 90.900                           |
| Nº 20  | 0.850   | 35.200  | 7.040                   | 16.140  | 83.860                           |
| Nº 30  | 0.560   | 25.100  | 5.020                   | 21.160  | 78.840                           |
| Nº 40  | 0.430   | 43.800  | 8.760                   | 29.920  | 70.080                           |
| Nº 60  | 0.250   | 18.500  | 3.700                   | 33.620  | 66.380                           |
| Nº 100   | 0.150   | 15.000  | 3.000                   | 36.620  | 63.380                           |
| Nº 200   | 0.075   | 31.200  | 6.240                   | 42.860  | 57.140                           |
| Perdida Lavado   |   | 285.700   | 57.140                  | 100.000   | 0.000                            |
| Total  |   | 500.000   | 100.000                 |   |                                  |
| Cu =   | 0.73  | D10 =   | 90.900                  |   |                                  |
| Cc =   | 1.03  | D30 =   | 78.840                  |   |                                  |
|  |   | D60 =   | 66.380                  |   |                                  |
|                                       |   |   |                         |   |                                  |
| OBSERVACIONES:   |   |   |                         |   |                                  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO   |   | COORDINADOR DE LABORATORIO  |                         | ASESOR  |                                  |
|                                       |   |  |                         |  |                                  |
| NOMBRE:  | MARIBEL VILLANUEVA DURAND   | NOMBRE:   | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:   | 30/05/2023  | FECHA:  | 30/05/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                     |                                      |   |                         |   |                                  |
|---|--------------------------------------|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| PROTOCOLO   |                                      |   |                         |   |                                  |
| <b>ENSAYO:</b>  |                                      | ANALISIS GRANULOMETRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO  |                         |   |                                  |
| <b>NORMA:</b>   |                                      | ASTM D421   |                         |   |                                  |
| <b>TESIS:</b>   |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                         |   |                                  |
| <b>CALICATA:</b>  | C2                                   | <b>ESTRATO:</b>   | E1                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla de alta plasticidad      |
| <b>UBICACION:</b>   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b>   | Marrón                           |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>   | 13/05/2023                           |   |                         | <b>RESPONSABLE:</b>   | Maribel Villanueva Durand        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>   | 29/05/2023                           |   |                         | <b>REVISADO POR:</b>  |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b>                                       |                                      | 617.40 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Peso del recipiente =</b>  |                                      | 117.40 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca , Ws =</b>   |                                      | 500.00 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Tamaño nominal del tamiz</b>   |                                      |   |                         |   |                                  |
| TAMIZ   | DIAMETRO (mm)                        | Peso retenido (gr)  | % retenido              | % retenido acumulado  | % que pasa                       |
| Nº 4  | 4.750                                | 0.000   | 0.000                   | 0.000   | 100.000                          |
| Nº 10   | 2.000                                | 35.200  | 7.040                   | 7.040   | 92.960                           |
| Nº 20   | 0.850                                | 35.100  | 7.020                   | 14.060  | 85.940                           |
| Nº 30   | 0.560                                | 20.800  | 4.160                   | 18.220  | 81.780                           |
| Nº 40   | 0.430                                | 57.600  | 11.520                  | 29.740  | 70.260                           |
| Nº 60   | 0.250                                | 13.100  | 2.620                   | 32.360  | 67.640                           |
| Nº 100  | 0.150                                | 16.200  | 3.240                   | 35.600  | 64.400                           |
| Nº 200  | 0.075                                | 20.200  | 4.040                   | 39.640  | 60.360                           |
| <b>Perdida</b>  | Lavado                               | 301.800   | 60.360                  | 100.000   | 0.000                            |
| <b>Total</b>  |                                      | <b>500.0</b>  | <b>100.000</b>          |   |                                  |
| <b>Cu =</b>   | <b>0.73</b>                          | <b>D10 =</b>  | <b>92.96</b>            |   |                                  |
| <b>Cc =</b>   | <b>1.06</b>                          | <b>D30 =</b>  | <b>81.78</b>            |   |                                  |
|   |                                      | <b>D60 =</b>  | <b>67.64</b>            |   |                                  |
|  |                                      |   |                         |   |                                  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |                                      |   |                         |   |                                  |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>   |                                      | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>   |                         | <b>ASESOR</b>   |                                  |
|  |                                      |                      |                         |  |                                  |
| <b>NOMBRE:</b>  | MARIBEL VILLANUEVA DURAND            | <b>NOMBRE:</b>  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b>  | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA:</b>   | 01/06/2023                           | <b>FECHA:</b>   | 01/06/2023              | <b>FECHA:</b>   | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA   |   |   |                         |   |                                  |
|---|---|---|-------------------------|---|----------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |   |                         |   |                                  |
| <b>ENSAYO:</b>  | ANALISIS GRANULOMETRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO  |   |                         |   |                                  |
| <b>NORMA:</b>   | ASTM D421   |   |                         |   |                                  |
| <b>TESIS:</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |   |                         |   |                                  |
| <b>CALICATA:</b>  | C2  | <b>ESTRATO:</b>   | E2                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla arenosa                  |
| <b>UBICACIÓN:</b>   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b>   | Marrón                           |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>   | 13/05/2023  |   |                         | <b>RESPONSABLE:</b>   | Maribel Villanueva Durand        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>   | 25/05/2023  |   |                         | <b>REVISADO POR:</b>  |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b>   |   | 434.80 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Peso del recipiente =</b>  |   | 100.10 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca , Ws =</b>   |   | 500.00 gr   |                         |   |                                  |
| <b>Tamaño nominal del tamiz</b>   |   |   |                         |   |                                  |
| <b>TAMIZ</b>  | <b>DIAMETRO (mm)</b>  | <b>Peso retenido (gr)</b>   | <b>% retenido</b>       | <b>% retenido acumulado</b>   | <b>% que pasa</b>                |
| Nº 4  | 4.750   | 0   | 0.000                   | 0.000   | 100.000                          |
| Nº 10   | 2.000   | 16.300  | 3.260                   | 3.260   | 96.740                           |
| Nº 20   | 0.850   | 32.400  | 6.480                   | 9.740   | 90.260                           |
| Nº 30   | 0.560   | 71.300  | 14.260                  | 24.000  | 76.000                           |
| Nº 40   | 0.43  | 66.100  | 13.220                  | 37.220  | 62.780                           |
| Nº 60   | 0.25  | 56.400  | 11.280                  | 48.500  | 51.500                           |
| Nº 100  | 0.15  | 51.400  | 10.280                  | 58.780  | 41.220                           |
| Nº 200  | 0.075   | 2.900   | 0.580                   | 59.360  | 40.640                           |
| <b>Perdida</b>  | Lavado  | 203.20  | 40.640                  | 100.000   | 0.000                            |
| <b>Total</b>  |   | <b>500.000</b>  | <b>100.000</b>          |   |                                  |
| <b>Cu =</b>   | <b>0.532354765</b>  | <b>D10 =</b>  | 96.740                  |   |                                  |
| <b>Cc =</b>   | <b>1.159348148</b>  | <b>D30 =</b>  | 76.000                  |   |                                  |
|   |   | <b>D60 =</b>  | 51.500                  |   |                                  |
|  <p>Curva Granulométrica</p> |   |   |                         |   |                                  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |   |                         |   |                                  |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>   |   | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>   |                         | <b>ASESOR</b>   |                                  |
|                              |   |  |                         |  |                                  |
| <b>NOMBRE:</b>  | MARIBEL VILLANUEVA DURAND   | <b>NOMBRE:</b>  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b>  | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA:</b>   | 30/05/2023  | <b>FECHA:</b>   | 30/05/2023              | <b>FECHA:</b>   | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, CAJAMARCA |   |                                   |                         |                           |                                  |
|--|---|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| PROTOCOLO  |   |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>ENSAYO:</b>   | ANALISIS GRANULOMETRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO  |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>NORMA:</b>  | ASTM D421   |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>TESIS:</b>  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>CALICATA:</b>   | C3  | <b>ESTRATO:</b>                   | E1                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla .arenosa .gravosa        |
| <b>UBICACIÓN:</b>  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |                                   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Marrón                           |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>  | 13-05-2023  |                                   |                         | <b>RESPONSABLE:</b>       | Maribel Villanueva Durand        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>  | 29-05-2023  |                                   |                         | <b>REVISADO POR:</b>      |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente =</b>                    |   | 617.40 gr                         |                         |                           |                                  |
| <b>Peso del recipiente =</b>                                     |   | 117.40 gr                         |                         |                           |                                  |
| <b>Peso de la muestra seca , Ws =</b>                            |   | 500.00 gr                         |                         |                           |                                  |
| <b>Tamaño nominal del tamiz</b>                                  |   |                                   |                         |                           |                                  |
| TAMIZ  | DIAMETRO (mm)   | Peso retenido (gr)                | % retenido              | % retenido acumulado      | % que pasa                       |
| Nº 4   | 4.750   | 0                                 | 0.000                   | 0.000                     | 100.000                          |
| Nº 10  | 2.000   | 65.4                              | 13.080                  | 13.080                    | 86.920                           |
| Nº 20  | 0.850   | 75.6                              | 15.120                  | 28.200                    | 71.800                           |
| Nº 30  | 0.560   | 39.8                              | 7.960                   | 36.160                    | 63.840                           |
| Nº 40  | 0.43  | 42.4                              | 8.480                   | 44.640                    | 55.360                           |
| Nº 60  | 0.25  | 80.7                              | 16.140                  | 60.780                    | 39.220                           |
| Nº 100   | 0.15  | 58.5                              | 11.700                  | 72.480                    | 27.520                           |
| Nº 200   | 0.075   | 44.3                              | 8.860                   | 81.340                    | 18.660                           |
| <b>Perdida</b>   | Lavado  | 93.3                              | 18.660                  | 100.000                   | 0.000                            |
| <b>Total</b>   |   | <b>500</b>                        | <b>100.000</b>          |                           |                                  |
| <b>Cu =</b>  | 0.451219512   | <b>D10 =</b>                      | 86.920                  |                           |                                  |
| <b>Cc =</b>  | 1.195524415   | <b>D30 =</b>                      | 63.840                  |                           |                                  |
|  |   | <b>D60 =</b>                      | 39.220                  |                           |                                  |
| <p>Curva Granulométrica</p>                                      |   |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>                                    |   | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b> |                         | <b>ASESOR</b>             |                                  |
|  |   |                                   |                         |                           |                                  |
| <b>NOMBRE:</b>   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND   | <b>NOMBRE:</b>                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b>            | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA:</b>  | 01/06/2023  | <b>FECHA:</b>                     | 01/06/2023              | <b>FECHA:</b>             | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |                    |               |                           |                 |
|--|--------------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|-----------------|
| PROTOCOLO  |                                      |                    |               |                           |                 |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO EN SECO  |                                      |                    |               |                           |                 |
| MTC E107/ASTM D421   |                                      |                    |               |                           |                 |
| TESIS: Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                      |                    |               |                           |                 |
| CALICATA:  | C2                                   | ESTRATO:           | E2            | TIPO DE MATERIAL:         | Arcilla arenosa |
| UBICACION:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |                    |               | COLOR DE MATERIAL:        | Marrón          |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13-05-2023                           |                    | RESPONSABLE:  | Maribel Villanueva Durand |                 |
| FECHA DE ENSAYO:   | 25-05-2023                           |                    | REVISADO POR: |                           |                 |
| Peso de la muestra seca + recipiente =   |                                      |                    |               | 2672.10 gr                |                 |
| Peso del recipiente =  |                                      |                    |               | 100.10 gr                 |                 |
| Peso de la muestra seca, Ws =  |                                      |                    |               | 2572.00 gr                |                 |
| Tamaño nominal del tamiz   | DIAMETRO (mm)                        | Peso retenido (gr) | % retenido    | % retenido acumulado      | % que pasa      |
| 3"   | 75                                   | 0                  | 0             | 0                         | 100             |
| 2"   | 63                                   | 0                  | 0.000         | 0.000                     | 100.000         |
| 1 1/2"   | 50                                   | 631                | 24.533        | 24.533                    | 75.467          |
| 1"   | 38.1                                 | 399                | 15.513        | 40.047                    | 59.953          |
| 3/4"   | 25                                   | 364                | 14.152        | 54.199                    | 45.801          |
| 1/2"   | 19                                   | 353                | 13.725        | 67.924                    | 32.076          |
| 3/8"   | 12.5                                 | 195                | 7.582         | 75.505                    | 24.495          |
| Nº 4   | 9.5                                  | 479                | 18.624        | 94.129                    | 5.871           |
| CAZOLETA   |                                      | 151                | 5.871         | 100.000                   | 0.000           |
| Σ PRP  |                                      | 2572               | 100.000       |                           |                 |

Curva Granulométrica

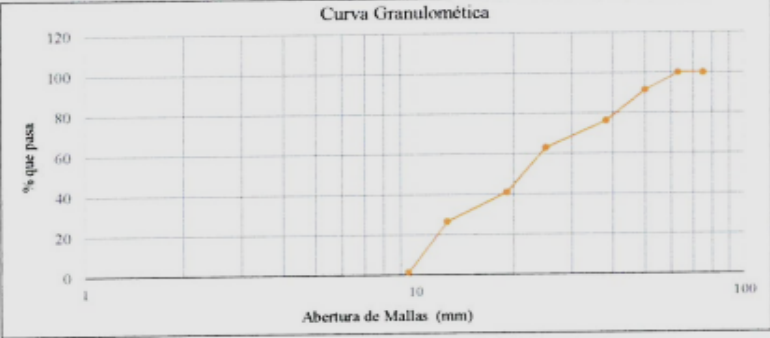
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR         |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------------|
| <i>[Firma]</i>         |                           | <i>[Firma]</i>             |                         | <i>[Firma]</i> |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:        | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 01/06/2023                | FECHA:                     | 01/06/2023              | FECHA:         | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                         |                           |            |
|---|---|--------------------|-------------------------|---------------------------|------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                         |                           |            |
| <b>ENSAYO:</b>  | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO EN SECO   |                    |                         |                           |            |
| <b>NORMA:</b>   | MTC E107/ASTM D421  |                    |                         |                           |            |
| <b>TESIS:</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                         |                           |            |
| CALCATA: C3   | ESTRATO: E1   | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla arenosa gravosa |                           |            |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |                    | COLOR DE MATERIAL:      | Marrón                    |            |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  |                    | RESPONSABLE:            | Maribel Villanueva Durand |            |
| FECHA DE ENSAYO:  | 29/05/2023  |                    | REVISADO POR:           |                           |            |
| Peso de la muestra seca + recipiente =                          |   |                    | 2316.00 gr              |                           |            |
| Peso del recipiente =   |   |                    | 100.30 gr               |                           |            |
| Peso de la muestra seca, Ws =                                   |   |                    | 2215.70 gr              |                           |            |
| Tamaño nominal del tamiz  | DIAMETRO (mm)   | Peso retenido (gr) | % retenido              | % retenido acumulado      | % que pasa |
| 3"  | 75  | 0                  | 0.000                   | 0.000                     | 100.00     |
| 2"  | 63  | 0                  | 0.000                   | 0.000                     | 100.00     |
| 1 1/2"  | 50  | 189.5              | 8.553                   | 8.553                     | 91.45      |
| 1"  | 38.1  | 337.2              | 15.219                  | 23.771                    | 76.23      |
| 3/4"  | 25  | 293                | 13.224                  | 36.995                    | 63.00      |
| 1/2"  | 19  | 486.6              | 21.961                  | 58.957                    | 41.04      |
| 3/8"  | 12.5  | 321.2              | 14.497                  | 73.453                    | 26.55      |
| Nº 4  | 9.5   | 559.5              | 25.252                  | 98.705                    | 1.30       |
| cazoleta  |   | 28.7               | 1.295                   | 100.000                   | 0.00       |
| Σ PRP   |   | 2215.7             | 100.000                 |                           |            |

Curva Granulométrica



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 01/06/2023                | FECHA:                     | 01/06/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |   |                         |                           |                                  |
|--|--------------------------------------|---|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| PROTOCOLO  |                                      |   |                         |                           |                                  |
| <b>ENSAYO :</b>  |                                      | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |                         |                           |                                  |
| <b>NORMA :</b>   |                                      | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |                         |                           |                                  |
| <b>TESIS :</b>   |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                         |                           |                                  |
| <b>CALICATA:</b>   | C1                                   | <b>ESTRATO:</b>   | E1                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla de alta plasticidad      |
| <b>UBICACIÓN:</b>  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Negro                            |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>  | 13/05/2023                           |   |                         | <b>RESPONSABLE:</b>       | Villanueva Durand,Maribel        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>  | 25/05/2023                           |   |                         | <b>REVISADO POR:</b>      |                                  |
| Volumen molde  | 948.22                               |   |                         |                           |                                  |
| Peso molde   | 4019.80                              |   |                         |                           |                                  |
| Altura de caída  | 18 plg                               |   |                         |                           |                                  |
| Peso martillo  | 4.5 Kg                               |   |                         |                           |                                  |
| <b>Golpes:</b>   |                                      | 25  | <b># de capas:</b>      |                           | 5                                |
| <b>Muestra #</b>   |                                      | <b>1</b>  | <b>2</b>                | <b>3</b>                  | <b>4</b>                         |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g                                    | 5753.60   | 5800.00                 | 5835.00                   | 5820.00                          |
| Peso del suelo húmedo  | g                                    | 1733.80   | 1780.20                 | 1815.20                   | 1800.20                          |
| Humedad calculada  | %                                    | 18.41   | 19.35                   | 21.03                     | 24.60                            |
| Densidad Húmeda  | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.83  | 1.88                    | 1.91                      | 1.90                             |
| Densidad seca  | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.54  | 1.57                    | 1.58                      | 1.52                             |
| <b>Contenidos de humedad</b>   |                                      |   |                         |                           |                                  |
| <b>Muestra #</b>   |                                      | <b>1</b>  | <b>2</b>                | <b>3</b>                  | <b>4</b>                         |
| <b>Recipiente #</b>  |                                      |   |                         |                           |                                  |
| Rec + suelo húmedo   | g                                    | 124.60  | 154.90                  | 166.54                    | 165.06                           |
| Rec + suelo seco   | g                                    | 109.60  | 135.00                  | 143.46                    | 143.41                           |
| Peso del recipiente  | g                                    | 27.60   | 27.60                   | 27.35                     | 28.33                            |
| Peso del suelo seco  | g                                    | 82.00   | 107.40                  | 116.11                    | 115.08                           |
| Peso del agua  | g                                    | 15.00   | 19.90                   | 23.08                     | 21.65                            |
| Contenido de Humedad   | %                                    | 18.29   | 18.53                   | 19.88                     | 18.81                            |
| Humedad promedio   | %                                    | 18.41   | 19.35                   | 21.03                     | 24.60                            |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES C1-E1</b></p> <p><math>y = -0.0051x^2 + 0.2143x - 0.6799</math></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Densidad Máxima</b><br/>1.585 Kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Humedad óptima</b><br/>21.50 %</p> </div> </div> |                                      |   |                         |                           |                                  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |                                      |   |                         |                           |                                  |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>  |                                      | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>   |                         | <b>ASESOR</b>             |                                  |
|  |                                      |   |                         |                           |                                  |
| <b>NOMBRE:</b>   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND            | <b>NOMBRE:</b>  | JORGE L. HOYOS MARTÍNEZ | <b>NOMBRE:</b>            | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA</b>   | 01/06/2023                           | <b>FECHA:</b>   | 01/06/2023              | <b>FECHA:</b>             | 02/08/2023                       |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
|--|---|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------|
| PROTOCOLO  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>ENSAYO :</b>  | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>NORMA :</b>   | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>TESIS :</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>CALICATA:</b>   | C2  | <b>ESTRATO:</b>                   | E1                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla de alta plasticidad      |                        |                         |                       |         |
| <b>UBICACIÓN:</b>  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |                                   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Marrón                           |                        |                         |                       |         |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>  | 13/05/2023  |                                   | <b>RESPONSABLE:</b>     | Villanueva Durand,Maribel |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>  | 01/06/2023  |                                   | <b>REVISADO POR:</b>    |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| Volumen molde 948.22<br>Peso molde 4264.00<br>Altura de caída 18 plg<br>Peso martillo 4.5 Kg   |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| Golpes:  |   | 25                                | # de capas:             |                           | 5                                |                        |                         |                       |         |
| <b>Muestra #</b>   |   | 1                                 | 2                       | 3                         | 4                                |                        |                         |                       |         |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g   | 5955.50                           | 6022.50                 | 6089.00                   | 6094.00                          |                        |                         |                       |         |
| Peso del suelo húmedo  | g   | 1691.50                           | 1758.50                 | 1825.00                   | 1830.00                          |                        |                         |                       |         |
| Humedad calculada  | %   | 14.37                             | 16.63                   | 21.17                     | 23.42                            |                        |                         |                       |         |
| Densidad Húmeda  | kg/m <sup>3</sup>   | 1.78                              | 1.85                    | 1.92                      | 1.93                             |                        |                         |                       |         |
| Densidad seca  | kg/m <sup>3</sup>   | 1.56                              | 1.59                    | 1.59                      | 1.56                             |                        |                         |                       |         |
| <b>Contenidos de humedad</b>   |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>Muestra #</b>   |   | 1                                 | 2                       | 3                         | 4                                |                        |                         |                       |         |
| <b>Recipiente #</b>  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| Rec + suelo húmedo   | g   | 425.30                            | 385.20                  | 360.40                    | 378.00                           | 393.70                 | 165.06                  | 567.40                | 423.30  |
| Rec + suelo seco   | g   | 381.10                            | 344.80                  | 318.20                    | 342.50                           | 337.00                 | 148.20                  | 484.40                | 355.00  |
| Peso del recipiente  | g   | 69.10                             | 67.40                   | 69.20                     | 124.90                           | 67.40                  | 69.10                   | 124.90                | 67.40   |
| Peso del suelo seco  | g   | 312.00                            | 277.40                  | 249.00                    | 217.60                           | 269.60                 | 79.10                   | 359.50                | 287.60  |
| Peso del agua  | g   | 44.20                             | 40.40                   | 42.20                     | 35.50                            | 56.70                  | 16.86                   | 83.00                 | 68.30   |
| Contenido de Humedad   | %   | 14.17                             | 14.56                   | 16.95                     | 16.31                            | 21.03                  | 21.31                   | 23.09                 | 23.75   |
| Humedad promedio   | %   | 14.37                             |                         | 16.63                     |                                  | 21.17                  |                         | 23.42                 |         |
| <b>GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES C2-E1</b><br>$y = -0.0018x^2 + 0.0679x + 0.954$   |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
|  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Densidad Máxima</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.600 Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Humedad óptima</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">19.50 %</td> </tr> </table> |   |                                   |                         |                           |                                  | <b>Densidad Máxima</b> | 1.600 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Humedad óptima</b> | 19.50 % |
| <b>Densidad Máxima</b>   |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| 1.600 Kg/m <sup>3</sup>  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>Humedad óptima</b>  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| 19.50 %  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>  |   | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b> |                         | <b>ASESOR</b>             |                                  |                        |                         |                       |         |
|  |   |                                   |                         |                           |                                  |                        |                         |                       |         |
| <b>NOMBRE:</b>   |   | <b>NOMBRE:</b>                    | JORGE L. HOYOS MARTÍNEZ | <b>NOMBRE:</b>            | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |                        |                         |                       |         |
| <b>FECHA:</b>  | 15/06/2023  | <b>FECHA:</b>                     | 15/06/2023              | <b>FECHA:</b>             | 07/08/2023                       |                        |                         |                       |         |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
|--|--------------------------------------|---|----------------------------|-------------------------|-------------|---------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| PROTOCOLO  |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| ENSAYO :   |                                      | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| NORMA :  |                                      | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| TESIS:   |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| CALICATA:  | C3                                   | ESTRATO:  | E1                         | TIPO DE MATERIAL:       |             |         | Arcilla ,arenosa ,gravosa        |        |        |        |        |
| UBICACIÓN:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                            | COLOR DE MATERIAL:      |             |         | Marrón                           |        |        |        |        |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023                           |   |                            | RESPONSABLE:            |             |         | Villanueva Durand,Maribel        |        |        |        |        |
| FECHA DE ENSAYO:   | 01/06/2023                           |   |                            | REVISADO POR:           |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Volumen molde  | 933.98                               |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Peso molde   | 4036.90                              |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Altura de caída  | 18 plg                               |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Peso martillo  | 4.5 Kg                               |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Golpes:  |                                      | 25  |                            |                         | # de capas: |         | 5                                |        |        |        |        |
| Muestra #  |                                      | 1   | 2                          | 3                       | 4           | 5       |                                  |        |        |        |        |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g                                    | 5814.80   | 5888.50                    | 6160.00                 | 6137.00     | 6100.00 |                                  |        |        |        |        |
| Peso del suelo húmedo  | g                                    | 1777.90   | 1851.60                    | 2123.10                 | 2100.10     | 2063.10 |                                  |        |        |        |        |
| Humedad calculada  | %                                    | 6.58  | 7.40                       | 9.91                    | 11.46       | 12.53   |                                  |        |        |        |        |
| Densidad Húmeda  | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.90  | 1.98                       | 2.27                    | 2.25        | 2.21    |                                  |        |        |        |        |
| Densidad seca  | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.79  | 1.85                       | 2.07                    | 2.02        | 1.96    |                                  |        |        |        |        |
| <b>Contenidos de humedad</b>   |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Muestra #  |                                      | 1   | 2                          | 3                       | 4           | 5       |                                  |        |        |        |        |
| Recipiente #   |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo   | g                                    | 222.10  | 259.70                     | 261.60                  | 240.80      | 229.40  | 206.60                           | 246.70 | 223.90 | 172.10 | 183.00 |
| Rec + suelo seco   | g                                    | 210.00  | 245.40                     | 245.90                  | 225.70      | 211.10  | 190.50                           | 223.60 | 204.20 | 156.30 | 165.40 |
| Peso del recipiente  | g                                    | 27.10   | 26.80                      | 27.40                   | 27.40       | 27.30   | 27.30                            | 26.80  | 28.10  | 28.30  | 26.90  |
| Peso del suelo seco  | g                                    | 182.90  | 218.60                     | 218.50                  | 198.30      | 183.80  | 163.20                           | 196.80 | 176.10 | 128.00 | 138.50 |
| Peso del agua  | g                                    | 12.10   | 14.30                      | 15.70                   | 15.10       | 18.30   | 16.10                            | 23.10  | 19.70  | 15.80  | 17.60  |
| Contenido de Humedad   | %                                    | 6.62  | 6.54                       | 7.19                    | 7.61        | 9.96    | 9.87                             | 11.74  | 11.19  | 12.34  | 12.71  |
| Humedad promedio   | %                                    | 6.58  |                            | 7.40                    |             | 9.91    |                                  | 11.46  |        | 12.53  |        |
| <p><b>GRÁFICO DE DENSIDADES VS HUMEDADES C3-E1</b></p> <p>Densidad Máxima: 2.030 Kg/m<sup>3</sup></p> <p>Humedad óptima: 11.00 %</p> |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| OBSERVACIONES:   |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO   |                                      |   | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         |             | ASESOR  |                                  |        |        |        |        |
|  |                                      |   |                            |                         |             |         |                                  |        |        |        |        |
| NOMBRE:  | MARIBEL VILLANUEVA DURAND            |   | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTÍNEZ |             | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |        |        |        |        |
| FECHA:   | 15/06/2023                           |   | FECHA:                     | 15/06/2023              |             | FECHA:  | 07/08/2023                       |        |        |        |        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                       |   |  |  |                               |  |  |  |  |
|---|---------------------------------------|---|--|--|-------------------------------|--|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                                       |   |  |  |                               |  |  |  |  |
| ENSAYO:   |                                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |  |                               |  |  |  |  |
| NORMA:  |                                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D429  |  |  |                               |  |  |  |  |
| TESIS:  |                                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |  |  |                               |  |  |  |  |
| CALICATA:   | CI Estrato : E I                      | TIPO DE MATERIAL:   |  |  | Arcilloso de alta plasticidad |  |  |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania -Urbanización la Molina | COLOR DE MATERIAL:  |  |  | Negro                         |  |  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                            | RESPONSABLE:  |  |  | Maribel Villanueva Durand     |  |  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 20/06/2023-24/06/2023                 | REVISADO POR:   |  |  |                               |  |  |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- CI-EI |                    |        |        |        |        |        |        |       |        |
|---------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| DESCRIPCIÓN                           | UND                | 1      |        |        | 2      |        |        | 3     |        |
| Nº Golpes                             |                    | 5      |        |        | 5      |        |        | 5     |        |
| Nº Golpes por capa                    |                    | 13     |        |        | 27     |        |        | 56    |        |
| Condición de muestra                  |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes | Despu. |
| Peso Molde                            | gr                 | 7737   | 7737   | 8292   | 8292   | 7840   | 7840   |       |        |
| Peso Muestra húmeda + Molde           | gr                 | 11471  | 11758  | 12346  | 12516  | 12026  | 12211  |       |        |
| Peso Muestra húmeda                   | gr                 | 3734   | 4021   | 4054   | 4224   | 4186   | 4371   |       |        |
| Volumen Muestra húmeda                | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2291.0 | 2114.0 | 2238.4 | 2120.0 | 2269.3 |       |        |
| Densidad húmeda: Dh                   | gr/cm <sup>3</sup> | 1.718  | 1.8    | 1.918  | 1.9    | 1.975  | 1.9    |       |        |

| CONTENIDO DE HUMEDAD             |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ensayo                           | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                  | gr                 | 27.90  | 26.00  | 28.88  | 27.30  | 26.90  | 28.75  | 26.90  | 28.90  | 27.11  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr                 | 153.00 | 167.00 | 220.75 | 151.10 | 138.40 | 189.43 | 144.50 | 137.80 | 204.22 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr                 | 126.80 | 136.80 | 159.89 | 126.20 | 116.30 | 139.57 | 121.90 | 116.70 | 147.86 |
| Peso del Agua                    | gr                 | 26.20  | 30.20  | 60.86  | 24.90  | 22.10  | 49.86  | 22.60  | 21.10  | 56.36  |
| Peso Muestra Seca                | gr                 | 98.90  | 110.80 | 131.01 | 98.90  | 89.40  | 110.82 | 95.00  | 87.80  | 120.75 |
| Contenido de Humedad : W%        | %                  | 26.87  |        | 46.45  | 24.95  | 44.99  |        | 23.91  |        | 46.67  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %                  | 36.66  |        |        | 34.97  |        |        | 35.29  |        |        |
| Densidad Máxima Seca: Ds         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.354  |        |        | 1.535  |        |        | 1.594  |        |        |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       | MOLDE Nº01 |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
|                        | Lectura    | Hinchamiento | %     | Lectura    | Hinchamiento | %     | Lectura    | Hinchamiento | %     |
| Días                   | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0.00                   | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 1.00                   | 0.135      | 3.429        | 2.716 | 0.129      | 3.2766       | 2.783 | 0.124      | 3.1496       | 2.518 |
| 2.00                   | 0.2        | 5.08         | 4.024 | 0.19       | 4.826        | 4.099 | 0.256      | 6.5024       | 5.199 |
| 3.00                   | 0.236      | 5.9944       | 4.748 | 0.242      | 6.1468       | 5.221 | 0.296      | 7.5184       | 6.012 |
| 4.00                   | 0.256      | 6.5024       | 5.150 | 0.27       | 6.858        | 5.825 | 0.324      | 8.2296       | 6.580 |

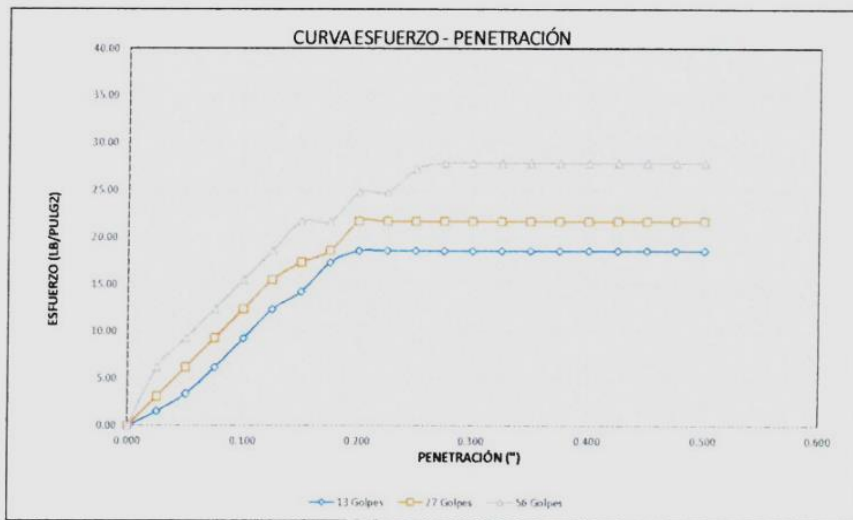
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO   | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
|                                   |                              |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: ANGEL HIGOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 28/06/2023                 | FECHA: 28/06/2023            | FECHA: 07/08/2023                        |

|  |   |                    |                               |
|--|---|--------------------|-------------------------------|
| <b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b> |   |                    |                               |
| <b>PROTOCOLO</b>   |   |                    |                               |
| <b>ENSAYO:</b>   | CBR   |                    |                               |
| <b>NORMA:</b>  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                               |
| <b>TESIS :</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                               |
| CALICATA   | C1 Estrato : E 1  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACION:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Negro                         |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023  | RESPONSABLE        | Maribel Villanueva Durand     |
| FECHA DE ENSAYO:   | 24/06/2023  | REVISADO POR:      |                               |

| PENETRACIÓN |       | CARGA - PENETRACIÓN CI-E1 |                                |                                |             |                                |                                |             |                                |                                |
|-------------|-------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|
|             |       | MOLDE Nº 01               |                                |                                | MOLDE Nº 02 |                                |                                | MOLDE Nº 03 |                                |                                |
| mm          | Pulg  | Carga<br>kg               | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00        | 0.000 | 0.00                      | 0.00                           | 0.00                           | 0.00        | 0.00                           | 0.00                           | 0.00        | 0.00                           | 0.00                           |
| 0.64        | 0.025 | 6.35                      | 0.33                           | 1.55                           | 12.70       | 0.65                           | 3.10                           | 25.40       | 1.31                           | 6.19                           |
| 1.27        | 0.050 | 13.97                     | 0.72                           | 3.41                           | 25.40       | 1.31                           | 6.19                           | 38.10       | 1.96                           | 9.29                           |
| 1.91        | 0.075 | 25.40                     | 1.31                           | 6.19                           | 38.10       | 1.96                           | 9.29                           | 50.80       | 2.62                           | 12.39                          |
| 2.54        | 0.10  | 38.10                     | 1.96                           | 9.29                           | 50.80       | 2.62                           | 12.39                          | 63.50       | 3.27                           | 15.48                          |
| 3.18        | 0.125 | 50.80                     | 2.62                           | 12.39                          | 63.50       | 3.27                           | 15.48                          | 76.20       | 3.93                           | 18.58                          |
| 3.81        | 0.150 | 58.42                     | 3.01                           | 14.24                          | 71.12       | 3.67                           | 17.34                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          |
| 4.45        | 0.175 | 71.12                     | 3.67                           | 17.34                          | 76.20       | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          |
| 5.08        | 0.20  | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 101.60      | 5.24                           | 24.77                          |
| 5.72        | 0.225 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 101.60      | 5.24                           | 24.77                          |
| 6.35        | 0.250 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 111.76      | 5.76                           | 27.25                          |
| 6.99        | 0.275 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 7.62        | 0.300 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 8.26        | 0.325 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 8.89        | 0.350 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 9.53        | 0.375 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 10.16       | 0.400 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 10.80       | 0.425 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 11.43       | 0.450 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 12.07       | 0.475 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |
| 12.70       | 0.500 | 76.20                     | 3.93                           | 18.58                          | 88.90       | 4.58                           | 21.68                          | 114.30      | 5.89                           | 27.87                          |



OBSERVACIONES:

|                               |                           |                                   |                         |               |                                  |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------|
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b> |                           | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b> |                         | <b>ASESOR</b> |                                  |
|                               |                           |                                   |                         |               |                                  |
| NOMBRE:                       | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                           | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:       | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                        | 28/06/2023                | FECHA:                            | 28/06/2023              | FECHA:        | 07/08/2023                       |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                       |   |                   |                    |  |                               |                           |  |  |
|---|---------------------------------------|---|-------------------|--------------------|--|-------------------------------|---------------------------|--|--|
| PROTOCOLO   |                                       |   |                   |                    |  |                               |                           |  |  |
| ENSAYO:   |                                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |                   |                    |  |                               |                           |  |  |
| NORMA:  |                                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |                   |                    |  |                               |                           |  |  |
| TESIS:  |                                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |                   |                    |  |                               |                           |  |  |
| CALICATA:   | C2                                    | Estrato : E1  | TIPO DE MATERIAL: |                    |  | Arcilloso de alta plasticidad |                           |  |  |
| UBICACION:  | Calle Ucrania -Urbanización la Molina |   |                   | COLOR DE MATERIAL: |  |                               | Marron                    |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                            |   |                   | RESPONSABLE:       |  |                               | Maribel Villanueva Durand |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 15/06/2023-19/06/2023                 |   |                   | REVISADO POR:      |  |                               |                           |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR-C2-E1 |                    |        |  |        |        |  |        |        |  |        |
|--------------------------------------|--------------------|--------|--|--------|--------|--|--------|--------|--|--------|
| DESCRIPCIÓN                          | UND                | 1      |  |        | 2      |  |        | 3      |  |        |
| Nº Golpes                            |                    | 5      |  |        | 5      |  |        | 5      |  |        |
| Nº Golpes por capa                   |                    | 13     |  |        | 27     |  |        | 56     |  |        |
| Condición de muestra                 |                    | Antes  |  | Despu. | Antes  |  | Despu. | Antes  |  | Despu. |
| Peso Molde                           | gr                 | 8513   |  | 8513   | 8537   |  | 8537   | 8601   |  | 8601   |
| Peso Muestra húmeda + Molde          | gr                 | 11870  |  | 12679  | 12109  |  | 12721  | 12474  |  | 12999  |
| Peso Muestra húmeda                  | gr                 | 3357   |  | 4166   | 3572   |  | 4184   | 3873   |  | 4399   |
| Volumen Muestra húmeda               | cm <sup>3</sup>    | 2139.9 |  | 2198.0 | 2152.0 |  | 2136.3 | 2047.1 |  | 2140.0 |
| Densidad húmeda: Dh                  | gr/cm <sup>3</sup> | 1.569  |  | 1.9    | 1.660  |  | 2.0    | 1.892  |  | 2.1    |

| CONTENIDO DE HUMEDAD             |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ensayo                           | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                  | gr                 | 150.20 | 102.10 | 28.50  | 143.00 | 37.30  | 32.40  | 102.10 | 143.00 | 31.40  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr                 | 545.70 | 485.50 | 240.20 | 604.60 | 168.20 | 301.00 | 530.30 | 250.00 | 283.60 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr                 | 482.60 | 424.50 | 168.80 | 532.50 | 147.70 | 214.70 | 463.20 | 235.00 | 210.20 |
| Peso del Agua                    | gr                 | 63.10  | 61.00  | 71.40  | 72.10  | 20.50  | 86.30  | 67.10  | 15.00  | 73.40  |
| Peso Muestra Seca                | gr                 | 332.40 | 322.40 | 140.30 | 389.50 | 110.40 | 182.30 | 361.10 | 92.00  | 178.80 |
| Contenido de Humedad : W%        | %                  | 18.95  |        | 50.89  | 18.54  |        | 47.34  | 17.44  |        | 41.05  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %                  | 34.92  |        |        | 32.94  |        |        | 29.25  |        |        |
| Densidad Máxima Seca: Ds         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.319  |        |        | 1.400  |        |        | 1.611  |        |        |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |      |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       |      | MOLDE Nº01 |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
| Horas                  | Días | Lectura    | Hinchamiento | %     | Lectura    | Hinchamiento | %     | Lectura    | Hinchamiento | %     |
| 0.00                   | 0.00 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 24.00                  | 1.00 | 0.0495     | 1.2375       | 1.022 | 0.0441     | 1.12014      | 0.951 | 0.041      | 1.025        | 0.869 |
| 48.00                  | 2.00 | 0.0521     | 1.3025       | 1.075 | 0.0462     | 1.17348      | 0.997 | 0.0435     | 1.0875       | 0.922 |
| 72.00                  | 3.00 | 0.0545     | 1.3625       | 1.125 | 0.0481     | 1.22174      | 1.038 | 0.044      | 1.1          | 0.933 |
| 96.00                  | 4.00 | 0.055      | 1.375        | 1.135 | 0.0483     | 1.22682      | 1.042 | 0.044      | 1.1          | 0.933 |

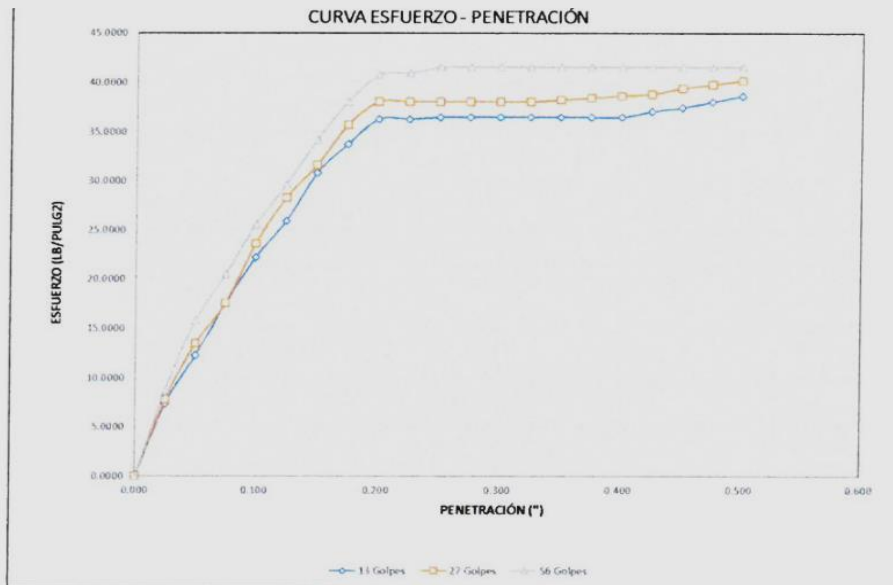
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DEL LABORATORIO     | ANESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. RAMOS MARTÍNEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 22/06/2023                 | FECHA: 22/06/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                               |
|---|---|--------------------|-------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                               |
| <b>ENSAYO:</b>  | CBR   |                    |                               |
| <b>NORMA:</b>   | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                               |
| <b>PROYECTO:</b>  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                               |
| CALICATA:   | C2 Estrato : E1   | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACION:  | Calle Ucrania-Urbanizacion la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo                         |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand     |
| FECHA DE ENSAYO:  | 19/06/2023  | REVISADO POR:      |                               |

| CARGA - PENETRACIÓN C2-E1 |       |             |                                      |                |             |                                      |                |             |                                      |                |
|---------------------------|-------|-------------|--------------------------------------|----------------|-------------|--------------------------------------|----------------|-------------|--------------------------------------|----------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE N° 01 |                                      |                | MOLDE N° 02 |                                      |                | MOLDE N° 03 |                                      |                |
| mm                        | Pulg  | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pf |                | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pf |                | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pf |                |
| 0.000                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000                               | 0.0000         | 0.0000      | 0.0000                               | 0.0000         | 0.0000      | 0.0000                               | 0.0000         |
| 0.635                     | 0.025 | 30.4000     | 1.5670                               | 7.4120         | 32.0000     | 1.6495                               | 7.8022         | 36.0000     | 1.8557                               | 8.7774         |
| 1.270                     | 0.050 | 50.4000     | 2.5979                               | 12.2884        | 55.2000     | 2.8454                               | 13.4587        | 64.8000     | 3.3402                               | 15.7994        |
| 1.905                     | 0.075 | 72.0000     | 3.7113                               | 17.5548        | 72.0000     | 3.7113                               | 17.5548        | 84.0000     | 4.3299                               | 20.4806        |
| 2.540                     | 0.100 | 91.2000     | 4.7010                               | <b>22.2361</b> | 96.8000     | 4.9897                               | <b>23.6015</b> | 104.8000    | 5.4021                               | <b>25.5520</b> |
| 3.175                     | 0.125 | 106.4000    | 5.4845                               | 25.9422        | 116.0000    | 5.9794                               | 28.2828        | 121.6000    | 6.2680                               | 29.6482        |
| 3.810                     | 0.150 | 126.4000    | 6.5155                               | 30.8185        | 129.6000    | 6.6804                               | 31.5987        | 140.0000    | 7.2165                               | 34.1344        |
| 4.445                     | 0.175 | 138.4000    | 7.1340                               | 33.7443        | 146.4000    | 7.5464                               | 35.6948        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        |
| 5.080                     | 0.200 | 148.8000    | 7.6701                               | <b>36.280</b>  | 156.0000    | 8.0412                               | <b>38.0355</b> | 167.2000    | 8.6186                               | <b>40.7662</b> |
| 5.715                     | 0.225 | 148.8000    | 7.6701                               | 36.2800        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 168.0000    | 8.6598                               | 40.9613        |
| 6.350                     | 0.250 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 6.985                     | 0.275 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 7.620                     | 0.300 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 8.255                     | 0.325 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 8.890                     | 0.350 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 156.8000    | 8.0825                               | 38.2305        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 9.525                     | 0.375 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 157.6000    | 8.1237                               | 38.4256        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 10.160                    | 0.400 | 149.6000    | 7.7113                               | 36.4751        | 158.4000    | 8.1649                               | 38.6206        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 10.795                    | 0.425 | 152.0000    | 7.8351                               | 37.0602        | 159.2000    | 8.2062                               | 38.8157        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 11.430                    | 0.450 | 153.6000    | 7.9175                               | 37.4503        | 161.6000    | 8.3299                               | 39.4009        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 12.065                    | 0.475 | 156.0000    | 8.0412                               | 38.0355        | 163.2000    | 8.4124                               | 39.7910        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |
| 12.700                    | 0.500 | 158.4000    | 8.1649                               | 38.6206        | 164.8000    | 8.4948                               | 40.1811        | 170.4000    | 8.7835                               | 41.5465        |



|                               |                           |                                   |                         |               |                                  |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------------|
| OBSERVACIONES                 |                           |                                   |                         |               |                                  |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b> |                           | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b> |                         | <b>ASESOR</b> |                                  |
|                               |                           |                                   |                         |               |                                  |
| NOMBRE:                       | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                           | JORGE L. HOYOS MARTÍNEZ | NOMBRE:       | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                        | 22/06/2023                | FECHA:                            | 22/06/2023              | FECHA:        | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                               |
|---|---|--------------------|-------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                               |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |                               |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                               |
| PROYECTO:   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                               |
| CALICATA:   | C2 Estrato : E 1  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Marron                        |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand     |
| FECHA DE ENSAYO:  | 19/06/2023  | REVISADO POR:      |                               |

| DEFORMACIÓN |          |           |         |           |         |            |  |
|-------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|------------|--|
|             |          | 13 GOLPES |         | 27 GOLPES |         | 56 GOPLPES |  |
|             |          | PULGADAS  |         | PULGADAS  |         | PULGADAS   |  |
| 0           | 0        | 0         | 0.00000 | 0.00000   | 0.00000 | -0.00400   |  |
| 0.006858    | 0.017145 | 0.025908  | 0.00270 | 0.00675   | 0.01020 | 0.00275    |  |
| 0.01905     | 0.031242 | 0.040894  | 0.00750 | 0.01230   | 0.01610 | 0.00830    |  |
| 0.025908    | 0.043688 | 0.05334   | 0.01020 | 0.01720   | 0.02100 | 0.01320    |  |
| 0.031242    | 0.051816 | 0.062992  | 0.01230 | 0.02040   | 0.02480 | 0.01640    |  |
| 0.036068    | 0.057912 | 0.070358  | 0.01420 | 0.02280   | 0.02770 | 0.01880    |  |
| 0.039624    | 0.064516 | 0.076454  | 0.01560 | 0.02540   | 0.03010 | 0.02140    |  |
| 0.04318     | 0.06985  | 0.08255   | 0.01700 | 0.02750   | 0.03250 | 0.02350    |  |
| 0.046228    | 0.07366  | 0.087884  | 0.01820 | 0.02900   | 0.03460 | 0.02500    |  |
| 0.047752    | 0.0762   | 0.093218  | 0.01880 | 0.03000   | 0.03670 | 0.02600    |  |
| 0.049276    | 0.078994 | 0.09779   | 0.01940 | 0.03110   | 0.03850 | 0.02710    |  |
| 0.050546    | 0.081534 | 0.102362  | 0.01990 | 0.03210   | 0.04030 | 0.02810    |  |
| 0.051054    | 0.08382  | 0.10668   | 0.02010 | 0.03300   | 0.04200 | 0.02900    |  |
| 0.052324    | 0.086614 | 0.110744  | 0.02060 | 0.03410   | 0.04360 | 0.03010    |  |
| 0.05334     | 0.089662 | 0.114808  | 0.02100 | 0.03530   | 0.04520 | 0.03130    |  |
| 0.054356    | 0.093218 | 0.118872  | 0.02140 | 0.03670   | 0.04680 | 0.03270    |  |
| 0.055372    | 0.096012 | 0.122936  | 0.02180 | 0.03780   | 0.04840 | 0.03380    |  |
| 0.056642    | 0.09779  | 0.126492  | 0.02230 | 0.03850   | 0.04980 | 0.03450    |  |
| 0.05715     | 0.100076 | 0.130048  | 0.02250 | 0.03940   | 0.05120 | 0.03540    |  |
| 0.057658    | 0.101854 | 0.134239  | 0.02270 | 0.04010   | 0.05285 | 0.03610    |  |
| 0.05842     | 0.10541  | 0.138684  | 0.02300 | 0.04150   | 0.05460 | 0.03750    |  |

AREA DEL PISÓN (cm²) 19.4 cm²  
19.4

AREA DEL PISÓN (Pulg²) 3.007006

1 kg = 1000 gr

1 libra = 0.45359237 kg

0.4535924

PULGADA ENTÍMETROS

1 2.54

CARGA DE LA MAQUINA

10000 lbs

ECUACION DE AJUSTE DE MAQUINA

Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351

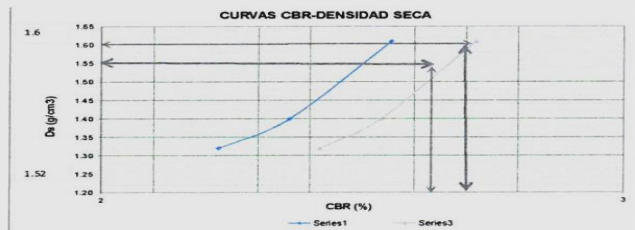
| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE Nº                                | MOLDE Nº 1 |         | MOLDE Nº 2 |         | MOLDE Nº 3 |         |
| Penetracion (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf Terreno (Lb/pF)                     | 22 2361    | 36 2800 | 23 6015    | 38 0355 | 25 5520    | 40 7662 |
| Esf Patron (Lb/pF)                      | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 2.2236     | 2.4187  | 2.3602     | 2.5357  | 2.5552     | 2.7177  |

| C.B.R. Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE Nº               | MOLDE Nº 1 |        | MOLDE Nº 2 |        | MOLDE Nº 3 |        |
| Penetracion (")        | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)                | 2.2236     | 2.4187 | 2.3602     | 2.5357 | 2.5552     | 2.7177 |
| Ds (gr/cm3)            | 1          | 1.32   | 1.40       | 1.40   | 1.61       | 1.61   |

Densidad seca maxima de proctor Kg/m3 1.6

Densidad seca maxima de proctor Kg/m3 1.6

| GRAFICO   |      |      |           |      |     |
|-----------|------|------|-----------|------|-----|
| PARA 0.1" |      |      | PARA 0.2" |      |     |
| CBR       | Ds   | CBR  | CBR       | Ds   | CBR |
| 2.22      | 1.32 | 2.42 | 2.32      | 1.32 |     |
| 2.36      | 1.40 | 2.54 | 1.40      |      |     |
| 2.56      | 1.61 | 2.72 | 1.61      |      |     |



95%DSM  
1.52

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                       |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm3):           | Kg/m3 |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm3):            | 1.52  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                | 19.50 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 2.55% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 2.46% |

| OBSERVACIONES          |                           |                            |                         |         |                                 |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|---------------------------------|
| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                 |
|                        |                           |                            |                         |         |                                 |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 22/06/2023                | FECHA:                     | 22/06/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                      |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                       |   |  |  |  |                               |  |  |  |
|---|---------------------------------------|---|--|--|--|-------------------------------|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                                       |   |  |  |  |                               |  |  |  |
| ENSAYO:   |                                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |  |  |                               |  |  |  |
| NORMA:  |                                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |  |  |  |                               |  |  |  |
| TESIS :   |                                       | “Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023” |  |  |  |                               |  |  |  |
| CALICATA:   | C3 Estrato : E 1                      | TIPO DE MATERIAL:   |  |  |  | Arcilloso de alta plasticidad |  |  |  |
| UBICACION:  | Calle Ucrania -Urbanización la Molina | COLOR DE MATERIAL:  |  |  |  | Marron                        |  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                            | RESPONSABLE:  |  |  |  | Maribel Villanueva Durand     |  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 26/06/2023;30/06/2023                 | REVISADO POR:   |  |  |  |                               |  |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- C3-E1 |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DESCRIPCIÓN                           | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |
| Nº Golpes                             |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |
| Nº Golpes por capa                    |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |
| Condición de muestra                  |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. |
| Peso Molde                            | gr                 | 7244   | 7244   | 7219   | 7219   | 7253   | 7253   | 7253   | 7253   |
| Peso Muestra húmeda + Molde           | gr                 | 11880  | 12010  | 12110  | 12175  | 12245  | 12280  | 12245  | 12280  |
| Peso Muestra húmeda                   | gr                 | 4637   | 4767   | 4891   | 4956   | 4992   | 5027   | 4992   | 5027   |
| Volumen Muestra húmeda                | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2187.7 | 2114.0 | 2123.7 | 2120.0 | 2126.9 | 2120.0 | 2126.9 |
| Densidad húmeda: Dh                   | gr/cm <sup>3</sup> | 2.134  | 2.2    | 2.313  | 2.3    | 2.355  | 2.4    | 2.355  | 2.4    |

| CONTENIDO DE HUMEDAD             |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ensayo                           | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                  | gr                 | 27.90  | 27.00  | 38.50  | 38.6   | 27.3   | 38.00  | 38.90  | 38.70  | 38.70  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr                 | 297.30 | 358.70 | 199.80 | 275.70 | 240.90 | 244.00 | 333.00 | 336.90 | 211.60 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr                 | 264.80 | 318.40 | 179.50 | 246.50 | 217.10 | 219.20 | 295.00 | 306.10 | 191.00 |
| Peso del Agua                    | gr                 | 32.50  | 40.30  | 20.30  | 29.20  | 23.80  | 24.80  | 38.00  | 30.80  | 20.60  |
| Peso Muestra Seca                | gr                 | 236.90 | 291.40 | 141.00 | 207.90 | 189.80 | 181.20 | 256.10 | 267.40 | 152.30 |
| Contenido de Humedad : W %       | %                  | 13.77  |        | 14.40  | 13.29  |        | 13.69  | 13.18  |        | 13.53  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %                  |        |        | 14.09  |        |        | 13.49  |        |        | 13     |
| Densidad Máxima Seca: Ds         | gr/cm <sup>3</sup> |        |        | 1.875  |        |        | 2.042  |        |        | 2.080  |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| MOLDE Nº01             |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
| Lectura                | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       |
| Deforma.               | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0                      | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 0.023                  | 0.5842       | 0.482 | 0.01       | 0.254        | 0.217 | 0.05       | 1.27         | 1.084 |
| 0.025                  | 0.635        | 0.524 | 0.013      | 0.3302       | 0.282 | 0.01       | 0.254        | 0.217 |
| 0.03                   | 0.762        | 0.629 | 0.017      | 0.4318       | 0.369 | 0.012      | 0.3048       | 0.260 |
| 0.032                  | 0.8128       | 0.671 | 0.021      | 0.5334       | 0.456 | 0.015      | 0.381        | 0.325 |

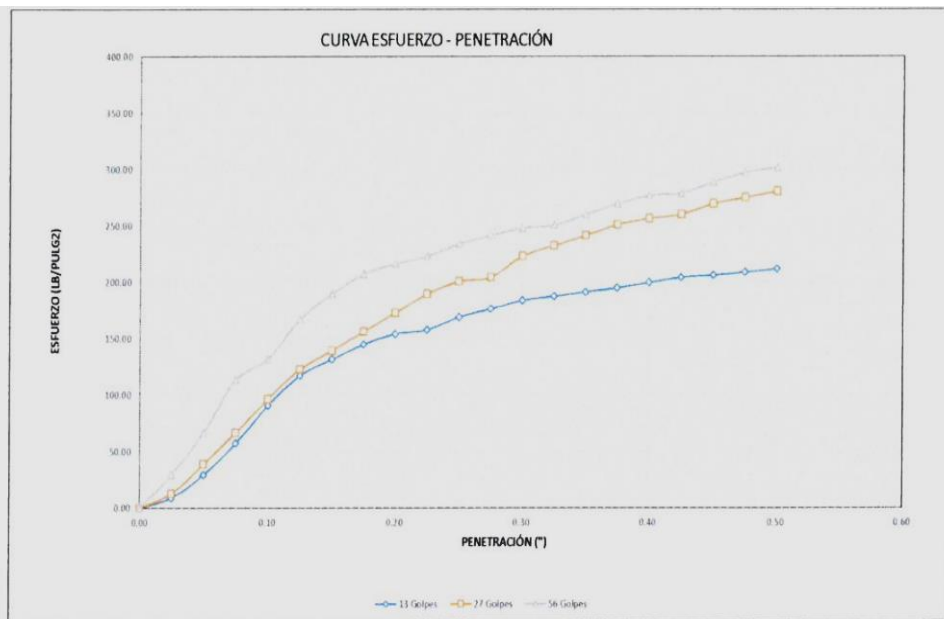
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. MOYOS MARTÍNEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 05/07/2023                 | FECHA: 05/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                               |
|---|---|--------------------|-------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                               |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |                               |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                               |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbon y cal, Cajamarca 2023 |                    |                               |
| CALICATA:   | C3 Estrato : E 1  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACION:  | Calle Ucrania-Urbanizacion la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Marron                        |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand     |
| FECHA DE ENSAYO:  | 30/06/2023  | REVISADO POR:      |                               |

| CARGA - PENETRACIÓN 5% CAL |      |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |  |
|----------------------------|------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|--|
| PENETRACIÓN                |      | MOLDE Nº 01 |                    |                    | MOLDE Nº 02 |                    |                    | MOLDE Nº 03 |                    |                    |  |
| mm                         | Pulg | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm² | Esfuerzo<br>Lb/pl² | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm² | Esfuerzo<br>Lb/pl² | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm² | Esfuerzo<br>Lb/pl² |  |
| 0.00                       | 0.00 | 0.00        | 0.00               | 0.00               | 0.00        | 0.00               | 0.00               | 0.00        | 0.00               | 0.00               |  |
| 0.64                       | 0.03 | 38.10       | 1.96               | 9.29               | 53.34       | 2.75               | 13.01              | 121.92      | 6.28               | 29.73              |  |
| 1.27                       | 0.05 | 121.92      | 6.28               | 29.73              | 160.02      | 8.25               | 39.02              | 274.32      | 14.14              | 66.88              |  |
| 1.91                       | 0.08 | 236.22      | 12.18              | 57.59              | 274.32      | 14.14              | 66.88              | 464.82      | 23.96              | 113.33             |  |
| 2.54                       | 0.10 | 373.38      | 19.25              | <b>91.04</b>       | 396.24      | 20.42              | <b>96.61</b>       | 541.02      | 27.89              | <b>131.91</b>      |  |
| 3.18                       | 0.13 | 480.06      | 24.75              | 117.05             | 502.92      | 25.92              | 122.62             | 685.80      | 35.35              | 167.21             |  |
| 3.81                       | 0.15 | 541.02      | 27.89              | 131.91             | 571.50      | 29.46              | 139.34             | 777.24      | 40.06              | 189.50             |  |
| 4.45                       | 0.18 | 594.36      | 30.64              | 144.92             | 640.08      | 32.99              | 156.06             | 849.63      | 43.80              | 207.15             |  |
| 5.08                       | 0.20 | 632.46      | 32.60              | <b>154.20</b>      | 708.66      | 36.53              | <b>172.78</b>      | 887.73      | 45.76              | <b>216.44</b>      |  |
| 5.72                       | 0.23 | 647.70      | 33.39              | 157.92             | 777.24      | 40.06              | 189.50             | 914.40      | 47.13              | 222.95             |  |
| 6.35                       | 0.25 | 693.42      | 35.74              | 169.07             | 822.96      | 42.42              | 200.65             | 960.12      | 49.49              | 234.09             |  |
| 6.99                       | 0.28 | 723.90      | 37.31              | 176.50             | 838.20      | 43.21              | 204.37             | 990.60      | 51.06              | 241.53             |  |
| 7.62                       | 0.30 | 754.38      | 38.89              | 183.93             | 914.40      | 47.13              | 222.95             | 1017.27     | 52.44              | 248.03             |  |
| 8.26                       | 0.33 | 769.62      | 39.67              | 187.65             | 952.50      | 49.10              | 232.24             | 1028.70     | 53.03              | 250.81             |  |
| 8.89                       | 0.35 | 784.86      | 40.46              | 191.36             | 990.60      | 51.06              | 241.53             | 1066.80     | 54.99              | 260.10             |  |
| 9.53                       | 0.38 | 800.10      | 41.24              | 195.08             | 1028.70     | 53.03              | 250.81             | 1104.90     | 56.95              | 269.39             |  |
| 10.16                      | 0.40 | 819.15      | 42.22              | 199.72             | 1051.56     | 54.20              | 256.39             | 1135.38     | 58.52              | 276.83             |  |
| 10.80                      | 0.43 | 838.20      | 43.21              | 204.37             | 1066.80     | 54.99              | 260.10             | 1143.00     | 58.92              | 278.68             |  |
| 11.43                      | 0.45 | 845.82      | 43.60              | 206.23             | 1104.90     | 56.95              | 269.39             | 1184.91     | 61.08              | 288.90             |  |
| 12.07                      | 0.48 | 857.25      | 44.19              | 209.01             | 1127.76     | 58.13              | 274.97             | 1219.20     | 62.85              | 297.26             |  |
| 12.70                      | 0.50 | 868.68      | 44.78              | 211.80             | 1150.62     | 59.31              | 280.54             | 1238.25     | 63.83              | 301.91             |  |



| OBSERVACIONES:         |                           |                            |                             |         |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|----------------------------------|
| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                             | ASESOR  |                                  |
|                        |                           |                            |                             |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | CARLOS ELDER CALUA CARRASCO | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 05/07/2023                | FECHA:                     | 05/07/2023                  | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |               |   |
|---|---|---------------|---|
| PROTOCOLO   |   |               |   |
| ENSAYO:   | CBR   |               |   |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |               |   |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |               |   |
| CALICATA:   | C3  | Estrato : E 1 | TIPO DE MATERIAL: Arcilloso de alta plasticidad |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  |               | Marrón  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:  | Maribel Villanueva Durand                       |
| FECHA DE ENSAYO:  | 30/06/2023  | REVISADO POR: |   |

| DEFORMACIÓN |         |           |         |           |         |          |
|-------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|----------|
| 13 GOLPES   |         | 27 GOLPES |         | 56 GOLPES |         |          |
| PULGADAS    |         | PULGADAS  |         | PULGADAS  |         |          |
| 0           | 0       | 0         | 0.0000  | 0.0000    | 0.0000  | -0.00400 |
| 0.0127      | 0.01778 | 0.04064   | 0.00500 | 0.00700   | 0.01600 | 0.00300  |
| 0.04064     | 0.05334 | 0.09144   | 0.01600 | 0.02100   | 0.03600 | 0.01700  |
| 0.07874     | 0.09144 | 0.15494   | 0.03100 | 0.03600   | 0.06100 | 0.03200  |
| 0.12446     | 0.13208 | 0.18034   | 0.04900 | 0.05200   | 0.07100 | 0.04800  |
| 0.16002     | 0.16764 | 0.2286    | 0.06300 | 0.06600   | 0.09000 | 0.06200  |
| 0.18034     | 0.1905  | 0.25908   | 0.07100 | 0.07500   | 0.10200 | 0.07100  |
| 0.19812     | 0.21336 | 0.28321   | 0.07800 | 0.08400   | 0.11150 | 0.08000  |
| 0.21082     | 0.23622 | 0.29591   | 0.08300 | 0.09300   | 0.11650 | 0.08900  |
| 0.2159      | 0.25908 | 0.3048    | 0.08500 | 0.10200   | 0.12000 | 0.09800  |
| 0.23114     | 0.27432 | 0.32004   | 0.09100 | 0.10800   | 0.12600 | 0.10400  |
| 0.2413      | 0.2794  | 0.3302    | 0.09500 | 0.11000   | 0.13000 | 0.10600  |
| 0.25146     | 0.3048  | 0.33909   | 0.09900 | 0.12000   | 0.13350 | 0.11600  |
| 0.25654     | 0.3175  | 0.3429    | 0.10100 | 0.12500   | 0.13500 | 0.12100  |
| 0.26162     | 0.3302  | 0.3556    | 0.10300 | 0.13000   | 0.14000 | 0.12600  |
| 0.2667      | 0.3429  | 0.3683    | 0.10500 | 0.13500   | 0.14500 | 0.13100  |
| 0.27305     | 0.35052 | 0.37846   | 0.10750 | 0.13800   | 0.14900 | 0.13400  |
| 0.2794      | 0.3556  | 0.381     | 0.11000 | 0.14000   | 0.15000 | 0.13600  |
| 0.28194     | 0.3683  | 0.39497   | 0.11100 | 0.14500   | 0.15550 | 0.14100  |
| 0.28375     | 0.37592 | 0.4064    | 0.11250 | 0.14800   | 0.16000 | 0.14400  |
| 0.28956     | 0.38354 | 0.41275   | 0.11400 | 0.15100   | 0.16250 | 0.14700  |

|                      |          |
|----------------------|----------|
| AREA DEL PISÓN (cm²) | 19.4 cm² |
|                      | 19.4     |

|                        |          |
|------------------------|----------|
| AREA DEL PISÓN (Pulg²) | 3.007006 |
|------------------------|----------|

|        |         |
|--------|---------|
| 1 kg = | 1000 gr |
|--------|---------|

|           |               |
|-----------|---------------|
| 1 libra = | 0.45359237 kg |
|           | 0.45359237    |

|         |             |
|---------|-------------|
| PULGADA | CENTIMETROS |
| 1       | 2.54        |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| CARGA DE LA MAQUINA |     |
| 10000               | lbs |

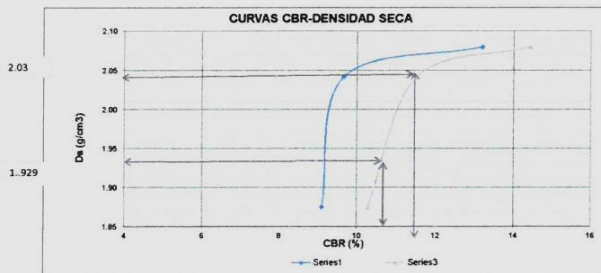
|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| ECUACION DE AJUSTE DE MAQUINA       |  |
| Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351 |  |

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |          |            |          |            |          |
|---|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |          | MOLDE N° 2 |          | MOLDE N° 3 |          |
|   | 0.1"       | 0.2"     | 0.1"       | 0.2"     | 0.1"       | 0.2"     |
| Penetración (*)                         |            |          |            |          |            |          |
| Esf. Terreno (Lb/pF)                    | 91.0365    | 154.2046 | 96.6101    | 172.7835 | 131.9100   | 216.4438 |
| Esf. Patron (Lb/pF)                     | 1000       | 1500     | 1000       | 1500     | 1000       | 1500     |
| CBR %                                   | 9.1036     | 10.2803  | 9.6610     | 11.5189  | 13.1910    | 14.4296  |

| C.B.R. Y DENSIDAD SECA |            |       |            |       |            |       |
|------------------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| MOLDE N°               | MOLDE N° 1 |       | MOLDE N° 2 |       | MOLDE N° 3 |       |
|                        | 0.1"       | 0.2"  | 0.1"       | 0.2"  | 0.1"       | 0.2"  |
| Penetración (*)        |            |       |            |       |            |       |
| CBR (%)                | 9.10       | 10.28 | 9.66       | 11.52 | 13.19      | 14.43 |
| Ds (gr/cm³)            | 1.88       | 1.88  | 2.04       | 2.04  | 2.08       | 2.08  |

|                                 |       |      |
|---------------------------------|-------|------|
| Densidad seca maxima de proctor | Kg/m³ | 2.03 |
|---------------------------------|-------|------|

| GRAFICO   |      |           |      |
|-----------|------|-----------|------|
| PARA 0.1" |      | PARA 0.2" |      |
| CBR       | Ds   | CBR       | Ds   |
| 9.10      | 1.88 | 10.28     | 1.88 |
| 9.66      | 2.04 | 11.52     | 2.04 |
| 13.19     | 2.08 | 14.43     | 2.08 |



|        |  |
|--------|--|
| 95%DSM |  |
| 1.929  |  |

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO             |       |
|---------------------------------------|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm³): | 2.03  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm³):  | 1.93  |
| Contenido óptimo de humedad (%):      | 11.00 |

| C.B.R.   |       |
|--|-------|
| C.B.R. al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 9.70% |
| C.B.R. al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 9.2%  |

| OBSERVACIONES:         |                           |                            |                         |        |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|--------|----------------------------------|
| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR |                                  |
|                        |                           |                            |                         |        |                                  |
| NOMBRE                 | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE                     | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA                  | 05/07/2023                | FECHA                      | 05/07/2023              | FECHA  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |    |                    |  |  |  |
|---|--------------------------------------|---|----|--------------------|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |    |                    |  |  |  |
| ENSAYO:   |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD  |    |                    |  |  |  |
| NORMA:  |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |    |                    |  |  |  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |    |                    |  |  |  |
| CALICATA:   | C1                                   | ESTRATO:  | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Limo arcilloso de alta plasticidad + 3%cal |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |    | COLOR DE MATERIAL: | Marrón                                     |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel                  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 06/07/2023                           |   |    | REVISADO POR:      |  |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                            |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|----------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad ( % ) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E3C1 | M2-E3C1 | M3-E3C1 |                  |                            |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 42.30   | 45.31   | 43.37   | 17               | 83.99                      |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 35.40   | 37.30   | 36.50   | 24               | 86.97                      |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 27.20   | 28.09   | 28.32   | 33               | 84.15                      |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 6.90    | 8.01    | 6.87    |                  |                            |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 8.20    | 9.21    | 8.18    |                  |                            |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 33.00   | 24.00   | 17.00   |                  |                            |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 84.15   | 86.97   | 83.99   | 25               | 85.05                      |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E3C1 | P2-E3C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 35.80   | 41.15   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 33.40   | 38.00   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 27.16   | 28.06   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 2.40    | 3.15    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 6.24    | 9.94    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 38.46   | 31.69   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 35.08   |         |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Limite Liquido: LL =  | 85.05% |
| Limite Plástico: LP = | 35.08% |

Gráfico N°  
Limite Líquido del suelo

$$y = -2.36 \ln(x) + 45.232$$

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                | ASESOR  |                    |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|---------|--------------------|
|                        |                           |                            |                |         |                    |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS | NOMBRE: | CARLOS ELDER CALUA |
| FECHA:                 | 12/07/2023                | FECHA:                     | 12/07/2023     | FECHA:  | 07/08/2023         |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                      |          |    |                    |                                   |  |  |
|--|--------------------------------------|----------|----|--------------------|-----------------------------------|--|--|
| PROTOCOLO  |                                      |          |    |                    |                                   |  |  |
| LIMITES DE PLASTICIDAD   |                                      |          |    |                    |                                   |  |  |
| NORMA: ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |                                      |          |    |                    |                                   |  |  |
| TESIS: Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                                      |          |    |                    |                                   |  |  |
| CALICATA:  | CI                                   | ESTRATO: | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad+5%cal |  |  |
| UBICACIÓN:   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |          |    | COLOR DE MATERIAL: | Marrón                            |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023                           |          |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel         |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 06/07/2023                           |          |    | REVISADO POR:      |                                   |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E2C1 | M2-E2C1 | M3-E2C1 |                  |                          |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 43.90   | 38.62   | 40.34   | 12               | 81.84                    |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 36.60   | 33.30   | 34.90   | 19               | 79.88                    |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 27.68   | 26.64   | 27.34   | 29               | 71.96                    |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 7.30    | 5.32    | 5.44    |                  |                          |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 8.92    | 6.66    | 7.56    |                  |                          |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 12.00   | 19.00   | 29.00   |                  |                          |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 81.84   | 79.88   | 71.96   | 25               | 74.71                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E2C1 | P2-E2C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 26.13   | 28.13   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 24.68   | 26.16   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 20.34   | 20.21   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.45    | 1.97    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.34    | 5.95    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 33.41   | 33.11   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 33.26   |         |

|                        |      |        |
|------------------------|------|--------|
| Limite Líquido:        | LI = | 74.71% |
| Limite Plástico:       | LP = | 33.26% |
| Índice de Plasticidad: | IP = | 41.45% |

Gráfico N°  
Límite Líquido del suelo

$$y = -11.16(x) + 110.43$$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                | ASESOR  |                    |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|---------|--------------------|
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS | NOMBRE: | CARLOS ELDER CALUA |
| FECHA:                 | 12/07/2023                | FECHA:                     | 12/07/2023     | FECHA:  | 07/08/2023         |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |    |                    |                                   |  |  |
|---|--------------------------------------|---|----|--------------------|-----------------------------------|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |    |                    |                                   |  |  |
| ENSAYO:   |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD  |    |                    |                                   |  |  |
| NORMA:  |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111  |    |                    |                                   |  |  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |    |                    |                                   |  |  |
| CALICATA:   | C1                                   | ESTRATO:  | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad+7%cal |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |    | COLOR DE MATERIAL: | Plomo                             |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel         |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 06/07/2023                           |   |    | REVISADO POR:      |                                   |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                            |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|----------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad ( % ) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | Nº  | M1-E1C1 | M2-E1C1 | M3-E1C1 |                  |                            |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 44.17   | 42.70   | 44.30   | 18               | 70.40                      |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 37.20   | 36.50   | 38.00   | 24               | 66.45                      |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 27.3    | 27.17   | 27.33   | 34               | 59.04                      |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 6.97    | 6.20    | 6.30    |                  |                            |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 9.90    | 9.33    | 10.67   |                  |                            |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 18.00   | 24.00   | 34.00   |                  |                            |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 70.40   | 66.45   | 59.04   | 25               | 64.93                      |

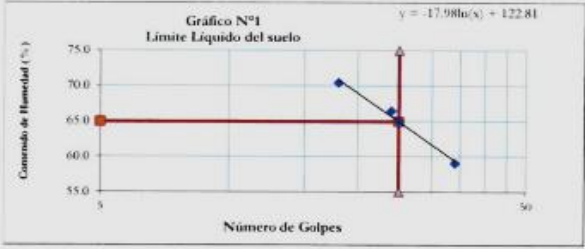
| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | Nº  | P1-E1C1 | P2-E1C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 36.20   | 32.90   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 34.40   | 32.00   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 27.60   | 28.90   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.80    | 0.90    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 6.80    | 3.10    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 26.47   | 29.03   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 27.75   |         |

|                         |      |        |
|-------------------------|------|--------|
| Límite Líquido:         | LL = | 64.93% |
| Límite Plástico:        | LP = | 27.75% |
| Indice de Plasticidad : | IP = | 37.18% |

Gráfico N°1  
Límite Líquido del suelo






Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes

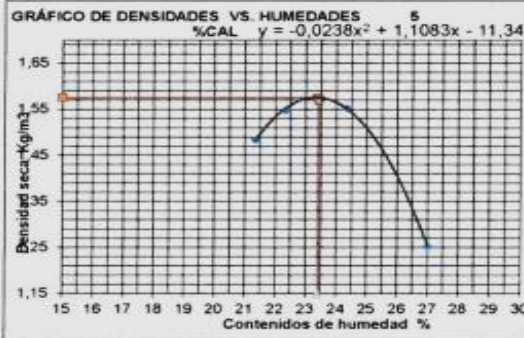
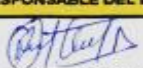

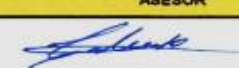
$y = -17.98\ln(x) + 122.81$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO   |                         | ASESOR  |                    |
|---|---------------------------|--|-------------------------|---|--------------------|
|  |                           |  |                         |  |                    |
| NOMBRE:   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | CARLOS ELDER CALUA |
| FECHA:  | 12/07/2023                | FECHA:   | 12/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023         |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA                                      |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
|--|---|-----------------|-----------------------------------|--|---------|----------------|----------------------------------|--------|--------|
| <b>PROTOCOLO</b>   |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>ENSAYO :</b>  | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>NORMA :</b>   | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>TESIS :</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal. Cajamarca 2023 |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>CALICATA:</b>   | C1  | <b>ESTRATO:</b> | E1                                | <b>TIPO DE MATERIAL:</b><br>Arcilla de alta plasticidad +3%cal |         |                |                                  |        |        |
| <b>UBICACIÓN:</b>  | Calle Ucrania -Urbanización la Molina   |                 | <b>COLOR DE MATERIAL:</b>         | Plomo  |         |                |                                  |        |        |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>  | 13/05/2023  |                 | <b>RESPONSABLE:</b>               | Villanueva Durand,Maribel                                      |         |                |                                  |        |        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>  | 29/06/2023  |                 | <b>REVISADO POR:</b>              |  |         |                |                                  |        |        |
| Volumen molde : 933.98<br>Peso molde : 4052.70<br>Altura de caída : 18 plg<br>Peso martillo : 4.5 Kg |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| Golpes:  |   | 25              | # de capas: 5                     |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>Muestra #</b>   |   | 1               | 2                                 | 3  | 4       |                |                                  |        |        |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g   | 5600.00         | 5871.90                           | 5893.20  | 5821.40 |                |                                  |        |        |
| Peso del suelo húmedo  | g   | 1747.30         | 1819.20                           | 1840.50  | 1766.70 |                |                                  |        |        |
| Humedad calculada  | %   | 23.33           | 24.98                             | 26.81  | 28.50   |                |                                  |        |        |
| Densidad Húmeda  | kg/m <sup>3</sup>   | 1.87            | 1.95                              | 1.97   | 1.89    |                |                                  |        |        |
| Densidad seca  | kg/m <sup>3</sup>   | 1.52            | 1.56                              | 1.55   | 1.47    |                |                                  |        |        |
| <b>Contenidos de humedad</b>   |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>Muestra #</b>   |   | 1               | 2                                 | 3  | 4       |                |                                  |        |        |
| <b>Recipiente #</b>  |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| Roc + suelo húmedo   | g   | 135.80          | 137.20                            | 146.10   | 154.10  | 154.30         | 148.80                           | 171.70 | 193.10 |
| Roc + suelo seco   | g   | 115.70          | 116.20                            | 122.60   | 128.80  | 127.20         | 123.60                           | 139.90 | 156.40 |
| Peso del recipiente  | g   | 27.40           | 28.30                             | 27.50  | 28.80   | 27.70          | 28.10                            | 27.90  | 28.10  |
| Peso del suelo seco  | g   | 88.30           | 87.90                             | 95.10  | 100.20  | 99.50          | 95.50                            | 112.00 | 128.30 |
| Peso del agua  | g   | 20.10           | 21.00                             | 23.50  | 25.30   | 27.10          | 25.20                            | 31.80  | 36.70  |
| Contenido de Humedad   | %   | 22.76           | 23.89                             | 24.71  | 25.25   | 27.24          | 26.39                            | 28.39  | 28.60  |
| Humedad promedio   | %   | 23.33           |                                   | 24.98  |         | 26.81          |                                  | 28.50  |        |
| <b>GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES ADICIONADO 3%CAL</b><br>$y = -0,0104x^2 + 0,5311x - 5,2154$   |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
|  |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>Densidad Máxima</b><br>1.565 Kg/m <sup>3</sup>  |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>Humedad óptima</b><br>25,50 %   |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>  |   |                 | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b> |  |         | <b>ASESOR</b>  |                                  |        |        |
|  |   |                 |                                   |  |         |                |                                  |        |        |
| <b>NOMBRE:</b>   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND   |                 | <b>NOMBRE:</b>                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ  |         | <b>NOMBRE:</b> | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |        |        |
| <b>FECHA:</b>  | 04/07/2023  |                 | <b>FECHA:</b>                     | 04/07/2023   |         | <b>FECHA:</b>  | 07/08/2023                       |        |        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
|--|---|----------|---|----------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|--|
| PROTOCOLO  |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| ENSAYO :   | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| NORMA :  | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| TESIS :  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| CALICATA:  | C-1   | ESTRATO: | E1  | TIPO DE MATERIAL:          | Arcilla de alta plasticidad+5%cal |   |                                  |  |
| UBICACION:   | Calle Ucrania-Urbanización La Molina  |          | COLOR DE MATERIAL:  | Plomo                      |                                   |   |                                  |  |
| FECHA DE MUESTREO:   | 30/05/2023  |          | RESPONSABLE:  | Villanueva Durand, Maribel |                                   |   |                                  |  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 30/06/2023  |          | REVISADO POR:   |                            |                                   |   |                                  |  |
| Volumen molde : 933.98<br>Peso molde : 4177.80<br>Altura de caída : 18 plg<br>Peso martillo : 4.5 Kg   |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| Golpes   |   | 25       |   | # de capas                 |                                   | 5   |                                  |  |
| Muestra #  | 1   |          | 2   |                            | 3                                 |   | 4                                |  |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g   |          | 5859.00   |                            | 5946.80                           |   | 5980.90                          |  |
| Peso del suelo húmedo  | g   |          | 1681.20   |                            | 1769.00                           |   | 1803.10                          |  |
| Humedad calculada  | %   |          | 21.33   |                            | 22.33                             |   | 24.35                            |  |
| Densidad Humeda  | kg/m3   |          | 1.80  |                            | 1.89                              |   | 1.93                             |  |
| Densidad seca  | kg/m3   |          | 1.48  |                            | 1.55                              |   | 1.55                             |  |
| Contenidos de humedad  |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| Muestra #  | 1   |          | 2   |                            | 3                                 |   | 4                                |  |
| Recipiente #   |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| Rec + suelo húmedo   | g   |          | 130.50  |                            | 133.40                            |   | 146.70                           |  |
| Rec + suelo seco   | g   |          | 112.54  |                            | 114.86                            |   | 124.96                           |  |
| Peso del recipiente  | g   |          | 27.50   |                            | 28.80                             |   | 27.90                            |  |
| Peso del suelo seco  | g   |          | 85.04   |                            | 86.06                             |   | 97.06                            |  |
| Peso del agua  | g   |          | 17.96   |                            | 18.54                             |   | 21.74                            |  |
| Contenido de Humedad   | %   |          | 21.12   |                            | 21.54                             |   | 22.40                            |  |
| Humedad promedio   | %   |          | 21.33   |                            | 22.33                             |   | 24.35                            |  |
| <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES 5<br/>%CAL <math>y = -0,0238x^2 + 1,1083x - 11,347</math></p>  </div> <div style="flex: 0.5;"> <p>Densidad Máxima<br/>1.575 Kg/m3</p> <p>Humedad óptima<br/>23.40 %</p> </div> </div> |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| OBSERVACIONES:   |   |          |   |                            |                                   |   |                                  |  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO   |   |          | COORDINADOR DE LABORATORIO  |                            |                                   | ASESOR  |                                  |  |
|   |   |          |  |                            |                                   |  |                                  |  |
| NOMBRE:  | MARIBEL VILLANUEVA DURAND   |          | NOMBRE:   | JORGE L. HOYOS MARTINEZ    |                                   | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |  |
| FECHA:   |   |          | FECHA:  |                            |                                   | FECHA:  | 07/08/2023                       |  |



|   |                   | LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA   |            |                   |                                     |
|---|-------------------|---|------------|-------------------|-------------------------------------|
| <b>ENSAYO :</b><br><b>NORMA :</b><br><b>TESIS :</b> |                   | <b>PROTOCOLO</b><br>COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO<br>MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141<br>Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |            |                   |                                     |
| CALICATA:   | C1                | ESTRATO:  | E1         | TIPO DE MATERIAL: | Arcilla de alta plasticidad + 7%cal |
| UBICACIÓN:  |                   | FECHA DE MUESTREO:  | 08/05/2023 | RESPONSABLE:      | Villanueva Durand,Maribel           |
| FECHA DE ENSAYO:                                    | 04/07/2023        | REVISADO POR:   |            |                   |                                     |
| Volumen molde                                       | 933,98            |   |            |                   |                                     |
| Peso molde  | 4055,20           |   |            |                   |                                     |
| Altura de caída                                     | 18 pig            |   |            |                   |                                     |
| Peso martillo                                       | 4,5 Kg            |   |            |                   |                                     |
| Golpes  |                   | 25  |            | # de capas        |                                     |
|   |                   |   |            | 5                 |                                     |
| Muestra #   |                   | 1   | 2          | 3                 | 4                                   |
| Peso del molde + suelo humedo                       | g                 | 5755,00   | 5856,50    | 5850,50           | 5849,80                             |
| Peso del suelo humedo                               | g                 | 1699,80   | 1803,30    | 1795,30           | 1794,60                             |
| Humedad calculada                                   | %                 | 16,88   | 20,72      | 27,00             | 27,15                               |
| Densidad Húmeda                                     | kg/m <sup>3</sup> | 1,62  | 1,93       | 1,92              | 1,92                                |
| Densidad seca                                       | kg/m <sup>3</sup> | 1,56  | 1,60       | 1,51              | 1,51                                |
| Contenidos de humedad                               |                   |   |            |                   |                                     |
| Muestra #   |                   | 1   | 2          | 3                 | 4                                   |
| Recipiente #  |                   |   |            |                   |                                     |
| Rec + suelo humedo                                  | g                 | 169,10  | 125,00     | 171,70            | 164,60                              |
| Rec + suelo seco                                    | g                 | 147,00  | 112,00     | 146,40            | 141,50                              |
| Peso del recipiente                                 | g                 | 27,50   | 26,90      | 26,40             | 28,00                               |
| Peso del suelo seco                                 | g                 | 119,50  | 85,10      | 120,00            | 113,50                              |
| Peso del agua                                       | g                 | 22,10   | 13,00      | 25,30             | 23,10                               |
| Contenido de Humedad                                | %                 | 18,49   | 15,28      | 21,08             | 20,35                               |
| Humedad promedio                                    | %                 | 16,88   | 20,72      | 27,00             | 27,15                               |

**GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES ADICIONADO**  
7%CAL

$$y = -0,0024x^2 + 0,1022x + 0,5226$$

**Densidad Máxima**  
1.600 Kg/m<sup>3</sup>

**Humedad óptima**  
21,60 %

OBSERVACIONES

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 04/07/2023                | FECHA:                     | 04/07/2023              | FECHA:  | 07/08/23                         |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                     |   |  |                    |                   |  |                           |                                     |  |  |
|---|---------------------|---|--|--------------------|-------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|--|--|
| PROTOCOLO   |                     |   |  |                    |                   |  |                           |                                     |  |  |
| ENSAYO:   |                     | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |                    |                   |  |                           |                                     |  |  |
| NORMA:  |                     | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |  |                    |                   |  |                           |                                     |  |  |
| TESIS:  |                     | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |  |                    |                   |  |                           |                                     |  |  |
| CALICATA:   | CI                  | Estrato : E 1   |  |                    | TIPO DE MATERIAL: |  |                           | Arcilloso de alta plasticidad+3%cal |  |  |
| UBICACION:  |                     |   |  | COLOR DE MATERIAL: |                   |  | Plomo                     |                                     |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023          |   |  | RESPONSABLE:       |                   |  | Maribel Villanueva Durand |                                     |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 18/07/2023-22/07/23 |   |  | REVISADO POR:      |                   |  |                           |                                     |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 3% CAL |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DESCRIPCIÓN                            | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |        |
| Nº Golpes                              |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |        |
| Nº Golpes por capa                     |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |        |
| Condición de muestra                   |                    | Antes  |        | Despu. |        | Antes  |        | Despu. |        |        |
| Peso Molde                             | gr                 | 8220   | 8220   | 7843   | 7843   | 7185   | 7185   | 7185   | 7185   |        |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 | 12199  | 12455  | 12307  | 12412  | 12200  | 12342  | 12342  | 12342  |        |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 | 3979   | 4235   | 4235   | 4569   | 5015   | 5157   | 5157   | 5157   |        |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2313.1 | 2114.0 | 2255.5 | 2120.0 | 2274.9 | 2274.9 | 2274.9 |        |
| Densidad húmeda; Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.831  | 1.8    | 2.003  | 2.0    | 2.366  | 2.3    | 2.3    | 2.3    |        |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>            |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ensayo                                 | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                        | gr                 | 27.90  | 27.60  | 28.34  | 28.90  | 27.20  | 26.45  | 26.70  | 27.40  | 28.68  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente       | gr                 | 136.30 | 176.00 | 137.01 | 172.10 | 160.40 | 183.35 | 163.50 | 156.60 | 201.82 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente         | gr                 | 113.60 | 146.30 | 101.19 | 140.40 | 130.20 | 133.69 | 132.10 | 127.50 | 147.50 |
| Peso del Agua                          | gr                 | 22.70  | 29.70  | 35.82  | 31.70  | 30.20  | 49.66  | 31.40  | 29.10  | 54.32  |
| Peso Muestra Seca                      | gr                 | 85.70  | 118.70 | 72.85  | 111.50 | 103.00 | 107.24 | 105.40 | 100.10 | 118.82 |
| Contenido de Humedad ; W%              | %                  | 25.75  |        | 49.17  | 28.88  | 46.31  | 29.43  | 45.72  | 45.72  | 45.72  |
| Promedio Contenido de Humedad          | %                  | 37.46  |        |        | 37.59  | 37.59  | 37.59  | 37.59  | 37.59  | 37.59  |
| Densidad Máxima Seca; Ds               | gr/cm <sup>3</sup> | 1.456  |        |        | 1.554  | 1.554  | 1.554  | 1.554  | 1.554  | 1.554  |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |      |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       |      | MOLDE Nº01 |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
|                        |      | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       |
| Horas                  | Días | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0.00                   | 0.00 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 24.00                  | 1.00 | 0.2570866  | 6.53         | 5.144 | 0.267      | 6.7818       | 5.613 | 0.291      | 7.3914       | 6.109 |
| 48.00                  | 2.00 | 0.287      | 7.2898       | 5.743 | 0.292      | 7.4168       | 6.139 | 0.3213     | 8.16102      | 6.745 |
| 72.00                  | 3.00 | 0.2928     | 7.43712      | 5.859 | 0.3        | 7.62         | 6.307 | 0.33       | 8.382        | 6.927 |
| 96.00                  | 4.00 | 0.304      | 7.7216       | 6.083 | 0.307      | 7.7978       | 6.454 | 0.336      | 8.5344       | 7.053 |

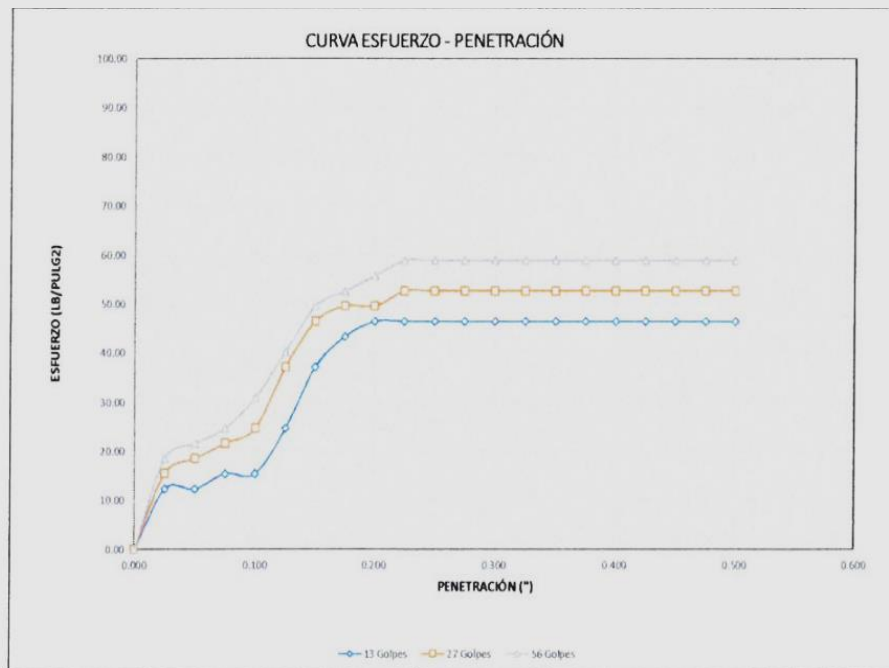
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                      | ASESOR  |                                   |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|---------|-----------------------------------|
|                        |                           |                            |                      |         |                                   |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ULBER CALUZA CARRASCO |
| FECHA:                 | 26/07/2023                | FECHA:                     | 26/07/2023           | FECHA:  | 07/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                                       |
|---|---|--------------------|---------------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                                       |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |                                       |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                                       |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                                       |
| CALCATA:  | C1 Estrato : E 1  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad+ 3% cal |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo                                 |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand             |
| FECHA DE ENSAYO:  | 22/07/2023  | REVISADO POR:      |                                       |

| CARGA - PENETRACIÓN C1-E1 |       |             |                             |                    |             |                             |                    |             |                             |                    |
|---------------------------|-------|-------------|-----------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE Nº 01 |                             |                    | MOLDE Nº 02 |                             |                    | MOLDE Nº 03 |                             |                    |
| mm                        | Pulg  | Carga kg    | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | Carga kg    | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | Carga kg    | Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00                      | 0.000 | 0.00        | 0.00                        | 0.00               | 0.00        | 0.00                        | 0.00               | 0.00        | 0.00                        | 0.00               |
| 0.64                      | 0.025 | 50.80       | 2.62                        | 12.39              | 63.50       | 3.27                        | 15.48              | 76.20       | 3.93                        | 18.58              |
| 1.27                      | 0.050 | 50.80       | 2.62                        | 12.39              | 76.20       | 3.93                        | 18.58              | 88.90       | 4.58                        | 21.68              |
| 1.91                      | 0.075 | 63.50       | 3.27                        | 15.48              | 88.90       | 4.58                        | 21.68              | 101.60      | 5.24                        | 24.77              |
| 2.54                      | 0.10  | 63.50       | 3.27                        | 15.48              | 101.60      | 5.24                        | 24.77              | 127.00      | 6.55                        | 30.96              |
| 3.18                      | 0.125 | 101.60      | 5.24                        | 24.77              | 152.40      | 7.86                        | 37.16              | 165.10      | 8.51                        | 40.25              |
| 3.81                      | 0.150 | 152.40      | 7.86                        | 37.16              | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 203.20      | 10.47                       | 49.54              |
| 4.45                      | 0.175 | 177.80      | 9.16                        | 43.35              | 203.20      | 10.47                       | 49.54              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              |
| 5.08                      | 0.20  | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 203.20      | 10.47                       | 49.54              | 228.60      | 11.78                       | 55.74              |
| 5.72                      | 0.225 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 6.35                      | 0.250 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 6.99                      | 0.275 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 7.62                      | 0.300 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 8.26                      | 0.325 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 8.89                      | 0.350 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 9.53                      | 0.375 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 10.16                     | 0.400 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 10.80                     | 0.425 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 11.43                     | 0.450 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 12.07                     | 0.475 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |
| 12.70                     | 0.500 | 190.50      | 9.82                        | 46.45              | 215.90      | 11.13                       | 52.64              | 241.30      | 12.44                       | 58.83              |



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 26/07/2023                 | FECHA: 26/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                       |   |  |  |                                     |  |  |  |  |
|---|-----------------------|---|--|--|-------------------------------------|--|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                       |   |  |  |                                     |  |  |  |  |
| ENSAYO:   |                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |  |                                     |  |  |  |  |
| NORMA:  |                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |  |  |                                     |  |  |  |  |
| TESIS:  |                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |  |  |                                     |  |  |  |  |
| CALICATA:   | C1 Estrato : E I      | TIPO DE MATERIAL:   |  |  | Arcilloso de alta plasticidad+5%cal |  |  |  |  |
| UBICACIÓN:  |                       | COLOR DE MATERIAL:  |  |  | Plomo                               |  |  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023            | RESPONSABLE:  |  |  | Maribel Villanueva Durand           |  |  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 17/07/2023-21/07/2023 | REVISADO POR:   |  |  |                                     |  |  |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL |                    |        |  |        |  |        |  |        |  |
|--|--------------------|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|
| DESCRIPCIÓN                            | UND                | 1      |  | 2      |  | 3      |  |        |  |
| Nº Golpes                              |                    | 5      |  | 5      |  | 5      |  |        |  |
| Nº Golpes por capa                     |                    | 13     |  | 27     |  | 56     |  |        |  |
| Condición de muestra                   |                    | Antes  |  | Despu. |  | Antes  |  | Despu. |  |
| Peso Molde                             | gr                 | 8220   |  | 8220   |  | 7842   |  | 7810   |  |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 | 11900  |  | 12322  |  | 11671  |  | 11836  |  |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 | 3680   |  | 4102   |  | 3829   |  | 3994   |  |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    | 2139.9 |  | 2303.4 |  | 2152.0 |  | 2192.4 |  |
| Densidad húmeda: Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.720  |  | 1.8    |  | 1.779  |  | 1.8    |  |

| CONTENIDO DE HUMEDAD             |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ensayo                           | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                  | gr                 | 27.40  | 27.70  | 28.73  | 28.00  | 27.70  | 28.42  | 28.20  | 27.40  | 26.41  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente | gr                 | 113.20 | 104.00 | 179.66 | 115.80 | 104.00 | 134.22 | 136.70 | 120.40 | 155.44 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente   | gr                 | 98.20  | 90.00  | 138.10 | 98.50  | 88.90  | 103.30 | 113.80 | 101.30 | 116.70 |
| Peso del Agua                    | gr                 | 15.00  | 14.00  | 41.56  | 17.30  | 15.10  | 30.92  | 22.90  | 19.10  | 38.74  |
| Peso Muestra Seca                | gr                 | 70.80  | 62.30  | 109.37 | 70.50  | 61.20  | 74.88  | 85.60  | 73.90  | 90.29  |
| Contenido de Humedad : W%        | %                  | 21.83  |        | 38.00  | 24.61  |        | 41.29  | 25.00  |        | 42.91  |
| Promedio Contenido de Humedad    | %                  | 29.91  |        |        | 32.95  |        |        | 33.95  |        |        |
| Densidad Máxima Seca: Ds         | gr/cm <sup>3</sup> | 1.412  |        |        | 1.428  |        |        | 1.708  |        |        |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |      |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       |      | MOLDE Nº01 |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
| Horas                  | Dias | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       |
|                        |      | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0.00                   | 0.00 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 | 0          | 0            | 0.000 |
| 24.00                  | 1.00 | 0.159      | 4.0386       | 3.182 | 0.099      | 2.5146       | 2.081 | 0.092      | 2.3368       | 1.931 |
| 48.00                  | 2.00 | 0.205      | 5.207        | 4.102 | 0.144      | 3.6576       | 3.027 | 0.132      | 3.3528       | 2.771 |
| 72.00                  | 3.00 | 0.25       | 6.35         | 5.002 | 0.156      | 3.9624       | 3.280 | 0.143      | 3.6322       | 3.002 |
| 96.00                  | 4.00 | 0.283      | 7.1882       | 5.663 | 0.17       | 4.318        | 3.574 | 0.164      | 4.1656       | 3.443 |

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                 |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|---------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                 |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 27/07/2023                | FECHA:                     | 27/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                      |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |                   |  |                    |  |                                     |  |                           |  |
|---|--------------------------------------|---|-------------------|--|--------------------|--|-------------------------------------|--|---------------------------|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |                   |  |                    |  |                                     |  |                           |  |
| ENSAYO:   |                                      | CBR   |                   |  |                    |  |                                     |  |                           |  |
| NORMA:  |                                      | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                   |  |                    |  |                                     |  |                           |  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                   |  |                    |  |                                     |  |                           |  |
| CALCATA:  | C2                                   | Estrato : E 1   | TIPO DE MATERIAL: |  |                    |  | Arcilloso de alta plasticidad+5%cal |  |                           |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |                   |  | COLOR DE MATERIAL: |  |                                     |  | Plomo                     |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |                   |  | RESPONSABLE:       |  |                                     |  | Maribel Villanueva Durand |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 21/07/2023                           |   |                   |  | REVISADO POR:      |  |                                     |  |                           |  |

| CARGA - PENETRACIÓN C2-E1 |       |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---------------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|                           |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm                        | Pulg  | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.000                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             | 0.0000      | 0.0000             | 0.0000             |
| 0.635                     | 0.025 | 76.2000     | 3.9278             | 18.5789            | 101.6000    | 5.2371             | 24.7718            | 127.0000    | 6.5464             | 30.9648            |
| 1.270                     | 0.050 | 101.6000    | 5.2371             | 24.7718            | 152.4000    | 7.8557             | 37.1577            | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            |
| 1.905                     | 0.075 | 127.0000    | 6.5464             | 30.9648            | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            | 177.8000    | 9.1649             | 43.3507            |
| 2.54                      | 0.10  | 152.40      | 7.86               | <b>37.16</b>       | 165.10      | 8.51               | <b>40.25</b>       | 177.80      | 9.16               | <b>43.35</b>       |
| 3.175                     | 0.125 | 165.1000    | 8.5103             | 40.2542            | 177.8000    | 9.1649             | 43.3507            | 190.5000    | 9.8196             | 46.4472            |
| 3.810                     | 0.150 | 190.5000    | 9.8196             | 46.4472            | 203.2000    | 10.4742            | 49.5437            | 215.9000    | 11.1289            | 52.6401            |
| 4.445                     | 0.175 | 203.2000    | 10.4742            | 49.5437            | 228.6000    | 11.7835            | 55.7366            | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            |
| 5.08                      | 0.20  | 241.30      | 12.44              | <b>58.83</b>       | 254.00      | 13.09              | <b>61.93</b>       | 292.10      | 15.06              | <b>71.22</b>       |
| 5.715                     | 0.225 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 6.350                     | 0.250 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 6.985                     | 0.275 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 7.620                     | 0.300 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 8.255                     | 0.325 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 8.890                     | 0.350 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 9.525                     | 0.375 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 10.160                    | 0.400 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 10.795                    | 0.425 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 11.430                    | 0.450 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 12.065                    | 0.475 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |
| 12.700                    | 0.500 | 241.3000    | 12.4381            | 58.8331            | 254.0000    | 13.0928            | 61.9296            | 304.8000    | 15.7113            | 74.3155            |

CURVA ESFUERZO - PENETRACIÓN

ESFUERZO (LB/PULG2)

PENETRACIÓN (")

— 13 Golpes — 27 Golpes — 56 Golpes

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 27/07/2023                | FECHA:                     | 27/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                           |                                     |
|---|---|---------------------------|-------------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                           |                                     |
| <b>ENSAYO:</b>  | CBR   |                           |                                     |
| <b>NORMA:</b>   | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                           |                                     |
| <b>TESIS:</b>   | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                           |                                     |
| <b>CALICATA:</b>  | C2 Estrato : E 1  | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilloso de alta plasticidad+5%cal |
| <b>UBICACIÓN:</b>   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Plomo                               |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>                                       | 13/05/2023  | <b>RESPONSABLE:</b>       | Maribel Villanueva Durand           |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>   | 21/07/2023  | <b>REVISADO POR:</b>      |                                     |

| DEFORMACIÓN |         |           |         |           |         |          |
|-------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|----------|
| 13 GOLPES   |         | 27 GOLPES |         | 56 GOLPES |         |          |
| PULGADAS    |         | PULGADAS  |         | PULGADAS  |         |          |
| 0           | 0       | 0         | 0.0000  | 0.0000    | 0.0000  | -0.00400 |
| 0.00762     | 0.01016 | 0.0127    | 0.00300 | 0.00400   | 0.00500 | 0.00000  |
| 0.01016     | 0.01524 | 0.01651   | 0.00400 | 0.00600   | 0.00650 | 0.00200  |
| 0.0127      | 0.01651 | 0.01778   | 0.00500 | 0.00650   | 0.00700 | 0.00250  |
| 0.01524     | 0.01651 | 0.01778   | 0.00600 | 0.00650   | 0.00700 | 0.00250  |
| 0.01651     | 0.01778 | 0.01905   | 0.00650 | 0.00700   | 0.00750 | 0.00300  |
| 0.01905     | 0.02032 | 0.02159   | 0.00750 | 0.00800   | 0.00850 | 0.00400  |
| 0.02032     | 0.02286 | 0.02413   | 0.00800 | 0.00900   | 0.00950 | 0.00500  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.02921   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01150 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |
| 0.02413     | 0.0254  | 0.03048   | 0.00950 | 0.01000   | 0.01200 | 0.00600  |

ÁREA DEL PISÓN (cm²) 19.4 cm²  
19.4

ÁREA DEL PISÓN (Pulg²) 3.007006

1 kg = 1000 gr

1 libra = 0.45359237 kg  
0.4535924

PULGADA ENTIMETROS

1 2.54

CARGA DE LA MAQUINA  
10000 lbs

ECUACION DE AJUSTE DE MAQUINA  
Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351

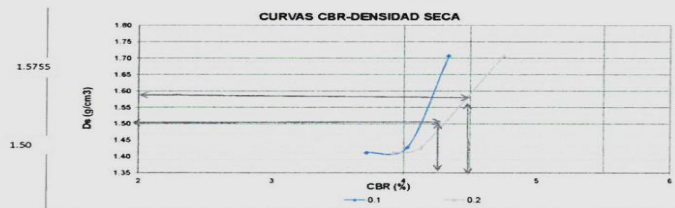
| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
|   | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Penetracion (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf Terreno (Lb/pl²)                    | 37.1577    | 58.8331 | 40.2542    | 61.9296 | 43.3507    | 71.2190 |
| Esf Patron (Lb/pl²)                     | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 3.7158     | 3.9222  | 4.0254     | 4.1286  | 4.3351     | 4.7479  |

| C B R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
|                       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| Penetracion (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 3.7158     | 3.9222 | 4.0254     | 4.1286 | 4.3351     | 4.7479 |
| Ds (gr/cm3)           | 1.41       | 1.41   | 1.43       | 1.43   | 1.71       | 1.71   |

Densidad seca maxima de proctor 1.575

| GRAFICO   |      |           |      |
|-----------|------|-----------|------|
| PARA 0.1" |      | PARA 0.2" |      |
| CBR       | Ds   | CBR       | Ds   |
| 3.72      | 1.41 | 3.92      | 1.41 |
| 4.03      | 1.43 | 4.13      | 1.43 |
| 4.34      | 1.71 | 4.75      | 1.71 |



95%DSM  
1.50

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                          |       |
|--|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm³):              | 1.58  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm³):               | 1.50  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                   | 23.40 |
| C. B. R.   |       |
| C. B. R. al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 4.40% |
| C. B. R. al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 4.2%  |

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                              |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|                                   |                                 |                                     |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. ROYOS MARTINEZ | NOMBRE: CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 27/07/2023                 | FECHA: 27/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                   |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                       |   |  |                    |                   |  |                           |                                      |  |  |
|---|-----------------------|---|--|--------------------|-------------------|--|---------------------------|--------------------------------------|--|--|
| PROTOCOLO   |                       |   |  |                    |                   |  |                           |                                      |  |  |
| ENSAYO:   |                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |                    |                   |  |                           |                                      |  |  |
| NORMA:  |                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |  |                    |                   |  |                           |                                      |  |  |
| TESIS:  |                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |  |                    |                   |  |                           |                                      |  |  |
| CALICATA:   | CI                    | Estrato : E.1   |  |                    | TIPO DE MATERIAL: |  |                           | Arcilloso de alta plasticidad 7% cal |  |  |
| UBICACIÓN:  |                       |   |  | COLOR DE MATERIAL: |                   |  | Plomo                     |                                      |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023            |   |  | RESPONSABLE:       |                   |  | Maribel Villanueva Durand |                                      |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/07/2023-17/07/2023 |   |  | REVISADO POR:      |                   |  |                           |                                      |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 7% CAL |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| DESCRIPCIÓN                            | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |        |       |
| Nº Golpes                              |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |        |       |
| Nº Golpes por capa                     |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |        |       |
| Condición de muestra                   |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. |        |        |        |       |
| Peso Molde                             | gr                 | 7592   | 7592   | 7498   | 7498   | 7231   | 7231   |        |        |        |       |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 | 11140  | 11791  | 11560  | 11820  | 12140  | 12381  |        |        |        |       |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 | 3548   | 4199   | 4062   | 4322   | 4909   | 5150   |        |        |        |       |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2175.4 | 2114.0 | 2115.1 | 2120.0 | 2126.2 |        |        |        |       |
| Densidad húmeda; Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.633  | 1.9    | 1.922  | 2.0    | 2.316  | 2.4    |        |        |        |       |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                   |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| Ensayo                                 | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |       |
| Peso Recipiente                        | gr                 | 28.31  | 27.42  | 26.87  | 27.72  | 26.87  | 27.42  | 26.40  | 27.97  | 28.31  |       |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente       | gr                 | 131.24 | 171.29 | 147.41 | 162.02 | 144.50 | 149.68 | 134.67 | 167.07 | 158.42 |       |
| Peso Muestra Seca + Recipiente         | gr                 | 113.77 | 139.87 | 113.00 | 112.64 | 139.93 | 113.50 | 118.00 | 136.84 | 118.20 |       |
| Peso del Agua                          | gr                 | 17.47  | 31.42  | 34.41  | 49.38  | 4.57   | 36.18  | 16.67  | 30.23  | 40.22  |       |
| Peso Muestra Seca                      | gr                 | 85.46  | 112.45 | 86.13  | 84.92  | 113.06 | 86.08  | 91.60  | 108.87 | 89.89  |       |
| Contenido de Humedad ; W%              | %                  | 24.19  |        | 39.95  |        | 31.10  |        | 42.03  |        | 32.00  | 44.74 |
| Promedio Contenido de Humedad          | %                  | 32.07  |        | 36.56  |        | 38.37  |        |        |        |        |       |
| Densidad Maxima Seca; Ds               | gr/cm <sup>3</sup> | 1.315  |        | 1.466  |        | 1.754  |        |        |        |        |       |


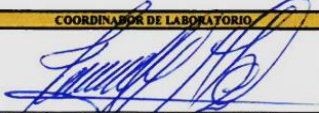
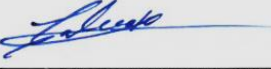
  

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |            |              |       |          |              |       |          |              |       |  |
|------------------------|------------|--------------|-------|----------|--------------|-------|----------|--------------|-------|--|
| TIE                    | MOLDE Nº01 |              |       |          | MOLDE Nº02   |       |          | MOLDE Nº03   |       |  |
| MPO                    | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura  | Hinchamiento |       | Lectura  | Hinchamiento |       |  |
| Dias                   | Deforma.   | mm           | %     | Deforma. | mm           | %     | Deforma. | mm           | %     |  |
| 0.00                   | 0          | 0            | 0.000 | 0        | 0            | 0.000 | 0        | 0            | 0.000 |  |
| 1.00                   | 0.499      | 0.1016       | 0.080 | 0.184    | 0.0381       | 0.032 | 0.175    | 0.175        | 0.145 |  |
| 2.00                   | 0.541      | 0.127        | 0.100 | 0.283    | 0.05588      | 0.046 | 0.23     | 0.23         | 0.190 |  |
| 3.00                   | 0.547      | 0.13208      | 0.104 | 0.392    | 0.05842      | 0.048 | 0.2935   | 0.2935       | 0.243 |  |
| 4.00                   | 0.55       | 0.13462      | 0.106 | 0.437    | 0.05842      | 0.048 | 0.34     | 0.34         | 0.281 |  |

OBSERVACIONES:

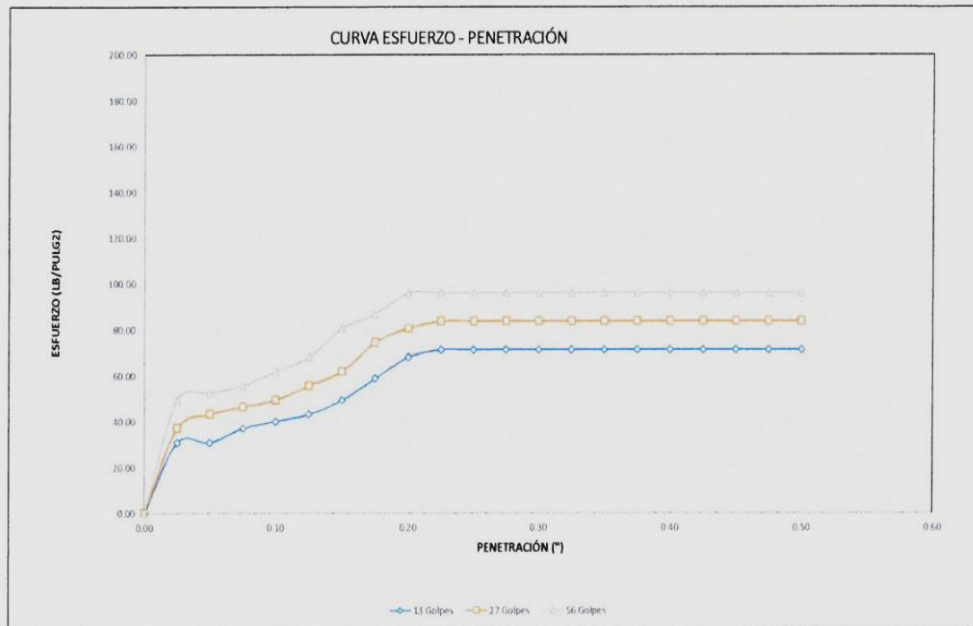
  

| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO   |                      | ASESOR  |                                  |
|---|---------------------------|--|----------------------|---|----------------------------------|
|  |                           |  |                      |  |                                  |
| NOMBRE:   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:  | JORGE HOYOS MARTINEZ | NOMBRE:   | ING. CARLOS ELDER CALLA CARRASCO |
| FECHA:  | 27/07/2023                | FECHA:   | 27/07/2023           | FECHA:  | 07/08/2023                       |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |                                       |
|---|---|--------------------|---------------------------------------|
| PROTOCOLO   |   |                    |                                       |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |                                       |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |                                       |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |                                       |
| CALICATA:   | CI Estrato E I  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad+ 7% cal |
| UBICACION:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo                                 |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand             |
| FECHA DE ENSAYO:  | 17/07/2023  | REVISADO POR:      |                                       |

| CARGA - PENETRACIÓN 5% CAL |      |             |   |       |             |   |       |             |   |       |
|----------------------------|------|-------------|---|-------|-------------|---|-------|-------------|---|-------|
| PENETRACIÓN                |      | MOLDE N° 01 |   |       | MOLDE N° 02 |   |       | MOLDE N° 03 |   |       |
| mm                         | Pulg | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pl <sup>2</sup> |       | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pl <sup>2</sup> |       | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> Lb/pl <sup>2</sup> |       |
| 0.00                       | 0.00 | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 0.00        | 0.00  | 0.00  | 0.00        | 0.00  | 0.00  |
| 0.64                       | 0.03 | 127.00      | 6.55  | 30.96 | 152.40      | 7.86  | 37.16 | 203.20      | 10.47   | 49.54 |
| 1.27                       | 0.05 | 127.00      | 6.55  | 30.96 | 177.80      | 9.16  | 43.35 | 215.90      | 11.13   | 52.64 |
| 1.91                       | 0.08 | 152.40      | 7.86  | 37.16 | 190.50      | 9.82  | 46.45 | 228.60      | 11.78   | 55.74 |
| 2.54                       | 0.10 | 165.10      | 8.51  | 40.25 | 203.20      | 10.47   | 49.54 | 254.00      | 13.09   | 61.93 |
| 3.18                       | 0.13 | 177.80      | 9.16  | 43.35 | 228.60      | 11.78   | 55.74 | 279.40      | 14.40   | 68.12 |
| 3.81                       | 0.15 | 203.20      | 10.47   | 49.54 | 254.00      | 13.09   | 61.93 | 330.20      | 17.02   | 80.51 |
| 4.45                       | 0.18 | 241.30      | 12.44   | 58.83 | 304.80      | 15.71   | 74.32 | 355.60      | 18.33   | 86.70 |
| 5.08                       | 0.20 | 279.40      | 14.40   | 68.12 | 330.20      | 17.02   | 80.51 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 5.72                       | 0.23 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 6.35                       | 0.25 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 6.99                       | 0.28 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 7.62                       | 0.30 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 8.26                       | 0.33 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 8.89                       | 0.35 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 9.53                       | 0.38 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 10.16                      | 0.40 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 10.80                      | 0.43 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 11.43                      | 0.45 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 12.07                      | 0.48 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |
| 12.70                      | 0.50 | 292.10      | 15.06   | 71.22 | 342.90      | 17.68   | 83.60 | 393.70      | 20.29   | 95.99 |



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO   | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|------------------------------|--|
|                                   |                              |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE HOYOS MARTÍNEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALÚA CARRASCO |
| FECHA: 27/07/2023                 | FECHA: 27/07/2023            | FECHA: 07/08/2023                        |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |    |                    |   |  |  |
|---|--------------------------------------|---|----|--------------------|---|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |    |                    |   |  |  |
| ENSAYO:   |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD  |    |                    |   |  |  |
| NORMA:  |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |    |                    |   |  |  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |    |                    |   |  |  |
| CALICATA:   | C1                                   | ESTRATO:  | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad=25%ceniza de carbon |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |    | COLOR DE MATERIAL: | Plomo   |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel                       |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 18/07/2023                           |   |    | REVISADO POR:      |   |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | N°  | M1-E1C1 | M2-E1C1 | M3-E1C1 |                  |                          |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 27.96   | 30.60   | 30.24   |                  |                          |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 25.60   | 26.78   | 26.97   | 18               | 54.76                    |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 21.29   | 19.65   | 20.57   | 24               | 53.58                    |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 2.36    | 3.82    | 3.27    | 34               | 51.09                    |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.31    | 7.13    | 6.40    |                  |                          |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 18.00   | 24.00   | 34.00   |                  |                          |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 54.76   | 53.58   | 51.09   | 25               | 53.02                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | N°  | P1-E1C1 | P2-E1C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 27.47   | 28.76   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 26.03   | 26.73   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 22.09   | 21.13   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.44    | 2.03    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 3.94    | 5.60    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 36.55   | 36.25   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 36.40   |         |

|                         |      |        |
|-------------------------|------|--------|
| Límite Líquido:         | LL = | 53.02% |
| Límite Plástico:        | LP = | 36.40% |
| Índice de Plasticidad : | IP = | 16.62% |

Gráfico N°1  
Límite Líquido del suelo

$y = -5.806\ln(x) + 71.713$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 21/07/2023                | FECHA:                     | 21/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |    |                    |  |  |  |
|---|--------------------------------------|---|----|--------------------|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |    |                    |  |  |  |
| ENSAYO:   |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD  |    |                    |  |  |  |
| NORMA:  |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |    |                    |  |  |  |
| TESIS:  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |    |                    |  |  |  |
| CALICATA:   | C2                                   | ESTRATO:  | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad+27% ceniza de carbón |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |    | COLOR DE MATERIAL: | Marrón   |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel                        |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 18/07/2023                           |   |    | REVISADO POR:      |  |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | N°  | M1-E2C1 | M2-E2C1 | M3-E2C1 |                  |                          |
| B                                 | Suelo Húmedo + Recipiente    | gr  | 29.40   | 27.73   | 29.48   | 18               | 54.15                    |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 26.01   | 24.79   | 26.54   | 21               | 50.34                    |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 19.75   | 18.95   | 20.35   | 34               | 47.50                    |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 3.39    | 2.94    | 2.94    |                  |                          |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 6.26    | 5.84    | 6.19    |                  |                          |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 18.00   | 21.00   | 34.00   |                  |                          |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 54.15   | 50.34   | 47.50   | 25               | 50.05                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | N°  | P1-E2C1 | P2-E2C1 |
| B                                  | Suelo Húmedo + Tara          | gr  | 27.11   | 29.13   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 25.69   | 26.78   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 21.64   | 20.10   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.42    | 2.35    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.05    | 6.68    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 35.06   | 35.18   |
| H                                  | Promedio Limite Plastico     |     | 35.12   |         |

|                       |      |        |
|-----------------------|------|--------|
| Limite Líquido        | LL = | 50.05% |
| Limite Plástico       | LP = | 35.12% |
| Indice de Plasticidad | IP = | 14.93% |

Gráfico N°  
Limite Líquido del suelo

$y = -0.3780(x) + 80.258$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 21/07/2023                | FECHA:                     | 21/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |    |                    |   |  |  |
|---|--------------------------------------|---|----|--------------------|---|--|--|
| PROTOCOLO   |                                      |   |    |                    |   |  |  |
| <b>ENSAYO:</b>  |                                      | LÍMITES DE PLASTICIDAD  |    |                    |   |  |  |
| <b>NORMA:</b>   |                                      | ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111  |    |                    |   |  |  |
| <b>TESIS:</b>   |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |    |                    |   |  |  |
| CALICATA:   | CI                                   | ESTRATO:  | E1 | TIPO DE MATERIAL:  | Limo arcilloso de alta plasticidad + 30% ceniza de carbon |  |  |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |    | COLOR DE MATERIAL: | Marrón  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023                           |   |    | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel                                 |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 18/07/2023                           |   |    | REVISADO POR:      |   |  |  |

| DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL) |                              |     |         |         |         |                  |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|---------|------------------|--------------------------|
| ID                                | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       | 3       | Número de Golpes | Contenido de Humedad (%) |
| A                                 | Identificación de Recipiente | N°  | M1-E3C1 | M2-E3C1 | M3-E3C1 |                  |                          |
| B                                 | Suelo Humedo + Recipiente    | gr  | 26.96   | 35.40   | 28.53   | 17               | 50.98                    |
| C                                 | Suelo Seco + Recipiente      | gr  | 24.85   | 30.25   | 26.19   | 24               | 48.58                    |
| D                                 | Peso de Recipiente           | gr  | 20.27   | 19.65   | 21.60   | 33               | 46.07                    |
| E                                 | Peso del Agua                | gr  | 2.11    | 5.15    | 2.34    |                  |                          |
| F                                 | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.58    | 10.60   | 4.59    |                  |                          |
| G                                 | Número de Golpes             | N   | 33.00   | 24.00   | 17.00   |                  |                          |
| H                                 | Contenido de Humedad         | %   | 46.07   | 48.58   | 50.98   | 25               | 48.18                    |

| DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP) |                              |     |         |         |
|------------------------------------|------------------------------|-----|---------|---------|
| ID                                 | DESCRIPCIÓN                  | UND | 1       | 2       |
| A                                  | Identificación de Recipiente | N°  | P1-E3C1 | P2-E3C1 |
| B                                  | Suelo Humedo + Tara          | gr  | 26.13   | 28.13   |
| C                                  | Suelo Seco + Tara            | gr  | 24.68   | 26.16   |
| D                                  | Peso de Tara                 | gr  | 20.34   | 20.21   |
| E                                  | Peso del Agua                | gr  | 1.45    | 1.97    |
| F                                  | Peso Suelo Seco              | gr  | 4.34    | 5.95    |
| G                                  | Contenido de Humedad         | %   | 33.41   | 33.11   |
| H                                  | Promedio Limite Plástico     |     | 33.26   |         |

|                       |      |        |
|-----------------------|------|--------|
| Limite Líquido        | LL = | 48.18% |
| Limite Plástico       | LP = | 33.26% |
| Indice de Plasticidad | IP = | 14.92% |

Gráfico N°  
Límite Líquido del suelo

$y = -2.36\ln(x) + 45.232$

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 21/07/2023                | FECHA:                     | 21/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA  |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
|--|---------------------------------------|---|-------------------------|---------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| PROTOCOLO  |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>ENSAYO :</b>  |                                       | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>NORMA :</b>   |                                       | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>TESIS :</b>   |                                       | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>CALICATA:</b>   | C1                                    | <b>ESTRATO:</b>   | E1                      | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla de alta plasticidad + 25% ceniza de carbon |        |        |        |        |
| <b>UBICACIÓN:</b>  | Calle Ucrania -Urbanización la Molina |   |                         | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Plomo  |        |        |        |        |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>  | 13/05/2023                            |   |                         | <b>RESPONSABLE:</b>       | Villanueva Durand,Maribel                          |        |        |        |        |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>  | 01/07/2023                            |   |                         | <b>REVISADO POR:</b>      |  |        |        |        |        |
| Volumen molde 948.22<br>Peso molde 4264.00<br>Altura de caída 18 plg<br>Peso martillo 4.5 Kg   |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| Golpes:  |                                       | 25  |                         | # de capas: 5             |  |        |        |        |        |
| <b>Muestra #</b>   |                                       | <b>1</b>  | <b>2</b>                | <b>3</b>                  | <b>4</b>   |        |        |        |        |
| Peso del molde + suelo húmedo  | g                                     | 5996.00   | 6090.50                 | 6126.50                   | 6113.00  |        |        |        |        |
| Peso del suelo húmedo  | g                                     | 1732.00   | 1826.50                 | 1862.50                   | 1849.00  |        |        |        |        |
| Humedad calculada  | %                                     | 22.59   | 23.78                   | 25.37                     | 26.35  |        |        |        |        |
| Densidad Húmeda  | kg/m <sup>3</sup>                     | 1.83  | 1.93                    | 1.96                      | 1.95   |        |        |        |        |
| Densidad seca  | kg/m <sup>3</sup>                     | 1.49  | 1.56                    | 1.57                      | 1.54   |        |        |        |        |
| <b>Contenidos de humedad</b>   |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>Muestra #</b>   |                                       | <b>1</b>  | <b>2</b>                | <b>3</b>                  | <b>4</b>   |        |        |        |        |
| <b>Recipiente #</b>  |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo   | g                                     | 165.60  | 160.70                  | 164.30                    | 145.00   | 145.20 | 148.50 | 129.60 | 132.60 |
| Rec + suelo seco   | g                                     | 140.20  | 136.30                  | 138.10                    | 122.70   | 121.50 | 123.90 | 108.40 | 110.80 |
| Peso del recipiente  | g                                     | 28.10   | 28.00                   | 28.10                     | 28.80  | 27.80  | 27.20  | 27.20  | 28.80  |
| Peso del suelo seco  | g                                     | 112.10  | 108.30                  | 110.00                    | 93.90  | 93.70  | 96.70  | 81.20  | 82.00  |
| Peso del agua  | g                                     | 25.40   | 24.40                   | 26.20                     | 22.30  | 23.70  | 24.60  | 21.20  | 21.80  |
| Contenido de Humedad   | %                                     | 22.66   | 22.53                   | 23.82                     | 23.75  | 25.29  | 25.44  | 26.11  | 26.59  |
| Humedad promedio   | %                                     | 22.59   |                         | 23.78                     |  | 25.37  |        | 26.35  |        |
| <p align="center"><b>GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES ADICIONADO 25<br/>%CENIZA DE CARBON</b></p> <p align="center"><math>y = -0.0152x^2 + 0.7558x - 7.844</math></p> <p><b>Densidad Máxima</b><br/>1.575 Kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Humedad óptima</b><br/>24.80 %</p> |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>  |                                       | <b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>   |                         | <b>ASESOR</b>             |  |        |        |        |        |
|  |                                       |   |                         |                           |  |        |        |        |        |
| <b>NOMBRE:</b>   | MARIBEL VILLANUEVA DURAND             | <b>NOMBRE:</b>  | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b>            | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO                   |        |        |        |        |
| <b>FECHA</b>   | 5/07/2023                             | <b>FECHA:</b>   | 5/07/2023               | <b>FECHA:</b>             | 07/08/2023   |        |        |        |        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                                      |   |          |                           |  |        |        |       |       |
|---|--------------------------------------|---|----------|---------------------------|--|--------|--------|-------|-------|
| PROTOCOLO   |                                      |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| <b>ENSAYO :</b>   |                                      | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |          |                           |  |        |        |       |       |
| <b>NORMA :</b>  |                                      | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |          |                           |  |        |        |       |       |
| <b>TESIS :</b>  |                                      | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |          |                           |  |        |        |       |       |
| <b>CALICATA:</b>  | C1                                   | <b>ESTRATO:</b>   | E1       | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilla de alta plasticidad+27% ceniza de carbon |        |        |       |       |
| <b>UBICACIÓN:</b>   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina |   |          | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Plomo  |        |        |       |       |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>                                       | 13/05/2023                           |   |          | <b>RESPONSABLE:</b>       | Villanueva Durand, Maribel                       |        |        |       |       |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>   | 03/07/2023                           |   |          | <b>REVISADO POR:</b>      |  |        |        |       |       |
| Volumen molde   | 948.22                               |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| Peso molde  | 4264.00                              |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| Altura de caída   | 18 plg                               |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| Peso martillo   | 4.5 Kg                               |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| Golpes:   |                                      | 25  |          | # de capas:               |  |        |        |       |       |
|   |                                      |   |          | 5                         |  |        |        |       |       |
| <b>Muestra #</b>  |                                      | <b>1</b>  | <b>2</b> | <b>3</b>                  | <b>4</b>   |        |        |       |       |
| Peso del molde + suelo húmedo                                   | g                                    | 5980.00   | 6067.00  | 6116.50                   | 6114.50  |        |        |       |       |
| Peso del suelo húmedo   | g                                    | 1716.00   | 1803.00  | 1852.50                   | 1850.50  |        |        |       |       |
| Humedad calculada   | %                                    | 18.77   | 19.87    | 22.38                     | 23.50  |        |        |       |       |
| Densidad Húmeda   | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.81  | 1.90     | 1.95                      | 1.95   |        |        |       |       |
| Densidad seca   | kg/m <sup>3</sup>                    | 1.52  | 1.59     | 1.60                      | 1.58   |        |        |       |       |
| <b>Contenidos de humedad</b>                                    |                                      |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| <b>Muestra #</b>  |                                      | <b>1</b>  | <b>2</b> | <b>3</b>                  | <b>4</b>   |        |        |       |       |
| <b>Recipiente #</b>   |                                      |   |          |                           |  |        |        |       |       |
| Rec + suelo húmedo  | g                                    | 130.50  | 133.40   | 146.70                    | 149.70   | 125.60 | 121.10 | 83.00 | 80.40 |
| Rec + suelo seco  | g                                    | 114.10  | 117.00   | 127.10                    | 129.30   | 108.00 | 103.90 | 72.70 | 70.30 |
| Peso del recipiente   | g                                    | 27.50   | 28.80    | 27.90                     | 27.20  | 28.00  | 28.30  | 28.80 | 27.40 |
| Peso del suelo seco   | g                                    | 86.60   | 88.20    | 99.20                     | 102.10   | 80.00  | 75.60  | 43.90 | 42.90 |
| Peso del agua   | g                                    | 16.40   | 16.40    | 19.60                     | 20.40  | 17.60  | 17.20  | 10.30 | 10.10 |
| Contenido de Humedad  | %                                    | 18.94   | 18.59    | 19.76                     | 19.98  | 22.00  | 22.75  | 23.46 | 23.54 |
| Humedad promedio  | %                                    | 18.77   |          | 19.87                     |  | 22.38  |        | 23.50 |       |

**GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES ADICIONADO 27  
%CENIZA DE CARBON**

$$y = -0.0098x^2 + 0.4225x - 2.9649$$

**Densidad Máxima**  
1.610 Kg/m<sup>3</sup>

**Humedad óptima**  
22.00 %

**OBSERVACIONES:**

| RESPONSABLE DEL ENSAYO                   | COORDINADOR DE LABORATORIO             | ASESOR                                     |
|--|--|--|
|  |  |  |
| <b>NOMBRE:</b> MARIBEL VILLANUEVA DURAND | <b>NOMBRE:</b> JORGE L. HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b> CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA:</b> 7/07/2023                  | <b>FECHA:</b> 7/07/2023                | <b>FECHA:</b> 07/08/2023                   |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |            |   |         |                    |  |        |        |        |        |
|---|------------|---|---------|--------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| PROTOCOLO   |            |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| ENSAYO :  |            | COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO   |         |                    |  |        |        |        |        |
| NORMA :   |            | MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141   |         |                    |  |        |        |        |        |
| TESIS :   |            | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |         |                    |  |        |        |        |        |
| CALICATA:   | C1         | ESTRATO:  | E1      | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilla de alta plasticidad + 30% ceniza de carbon |        |        |        |        |
| UBICACIÓN:  |            |   |         | COLOR DE MATERIAL: | Plomo  |        |        |        |        |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023 |   |         | RESPONSABLE:       | Villanueva Durand,Maribel                          |        |        |        |        |
| FECHA DE ENSAYO:  | 04/07/2023 |   |         | REVISADO POR:      |  |        |        |        |        |
| Volumen molde   | 938.22     |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Peso molde  | 4264.00    |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Altura de caída   | 18 plg     |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Peso martillo   | 4.5 Kg     |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Golpes:   | 25         | # de capas:   | 5       |                    |  |        |        |        |        |
| Muestra #   |            | 1   | 2       | 3                  | 4  |        |        |        |        |
| Peso del molde + suelo húmedo                                   | g          | 6012.00   | 6081.50 | 6135.50            | 6090.50  |        |        |        |        |
| Peso del suelo húmedo   | g          | 1748.00   | 1817.50 | 1871.50            | 1826.50  |        |        |        |        |
| Humedad calculada   | %          | 11.70   | 14.18   | 17.78              | 21.62  |        |        |        |        |
| Densidad Húmeda   | kg/m3      | 1.86  | 1.94    | 1.99               | 1.95   |        |        |        |        |
| Densidad seca   | kg/m3      | 1.67  | 1.70    | 1.69               | 1.60   |        |        |        |        |
| <b>Contenidos de humedad</b>                                    |            |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Muestra #   |            | 1   | 2       | 3                  | 4  |        |        |        |        |
| Recipiente #  |            |   |         |                    |  |        |        |        |        |
| Rec + suelo húmedo  | g          | 169.10  | 125.00  | 171.70             | 164.60   | 160.70 | 152.40 | 165.00 | 146.30 |
| Rec + suelo seco  | g          | 154.30  | 114.70  | 153.70             | 147.60   | 140.70 | 133.60 | 141.00 | 125.00 |
| Peso del recipiente   | g          | 27.50   | 26.90   | 26.40              | 28.00  | 28.40  | 27.70  | 28.10  | 28.10  |
| Peso del suelo seco   | g          | 126.80  | 87.80   | 127.30             | 119.60   | 112.30 | 105.90 | 112.90 | 96.90  |
| Peso del agua   | g          | 14.80   | 10.30   | 18.00              | 17.00  | 20.00  | 18.80  | 24.00  | 21.30  |
| Contenido de Humedad  | %          | 11.67   | 11.73   | 14.14              | 14.21  | 17.81  | 17.75  | 21.26  | 21.98  |
| Humedad promedio  | %          | 11.70   |         | 14.18              |  | 17.78  |        | 21.62  |        |

GRÁFICO DE DENSIDADES VS. HUMEDADES ADICIONADO  
30% CENIZA DE CARBON

$$y = -0.0027x^2 + 0.0847x + 1.0495$$

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| <b>Densidad Máxima</b> | 1.707 Kg/m3 |
| <b>Humedad óptima</b>  | 15.80 %     |

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                             |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|-----------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                             |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 7/07/2023                 | FECHA:                     | 7/07/2023               | FECHA:  | 07/08/2023                  |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                       |   |                    |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----------------------|---|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| PROTOCOLO   |                       |   |                    |  |  |  |  |  |  |  |
| ENSAYO:   |                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |                    |  |  |  |  |  |  |  |
| NORMA:  |                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |                    |  |  |  |  |  |  |  |
| TESIS:  |                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |                    |  |  |  |  |  |  |  |
| CALICATA:   | C1                    | Estrato : E I   | TIPO DE MATERIAL:  |  |  |  | Arcilloso de alta plasticidad + 25% ceniza de carbon |  |  |  |
| UBICACION:  |                       |   | COLOR DE MATERIAL: |  |  |  | Plomo  |  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023            |   | RESPONSABLE:       |  |  |  | Maribel Villanueva Durand                            |  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 11/07/2023-15/07/2023 |   | REVISADO POR:      |  |  |  |  |  |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 25% Ceniza de Carbón |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| DESCRIPCIÓN  | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |        |
| Nº Golpes  |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |        |
| Nº Golpes por capa                                   |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |        |
| Condición de muestra                                 |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. |        |
| Peso Molde   | gr                 | 8601   | 8601   | 8513   | 8513   | 8537   | 8537   |        |        |        |
| Peso Muestra húmeda + Molde                          | gr                 | 12418  | 12941  | 12469  | 13058  | 12508  | 12508  | 13104  |        |        |
| Peso Muestra húmeda                                  | gr                 | 3818   | 4341   | 3956   | 4545   | 3971   | 3971   | 4567   |        |        |
| Volumen Muestra húmeda                               | cm <sup>3</sup>    | 2173.0 | 2690.2 | 2173.0 | 2658.4 | 2120.0 | 2120.0 | 2726.1 |        |        |
| Densidad húmeda, Dh                                  | gr/cm <sup>3</sup> | 1.757  | 1.6    | 1.821  | 1.7    | 1.873  | 1.873  | 1.7    |        |        |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                                 |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ensayo   | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |
| Peso Recipiente                                      | gr                 | 69.10  | 124.90 | 34.70  | 67.40  | 125.50 | 37.70  | 125.50 | 67.40  | 34.70  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente                     | gr                 | 524.80 | 342.10 | 307.90 | 447.30 | 407.00 | 326.20 | 455.00 | 435.20 | 307.90 |
| Peso Muestra Seca + Recipiente                       | gr                 | 455.30 | 310.30 | 223.20 | 389.10 | 363.90 | 232.00 | 404.40 | 378.30 | 223.20 |
| Peso del Agua  | gr                 | 69.50  | 31.80  | 84.70  | 58.20  | 43.10  | 94.20  | 50.60  | 56.90  | 84.70  |
| Peso Muestra Seca                                    | gr                 | 386.20 | 185.40 | 188.50 | 321.70 | 238.40 | 194.30 | 278.90 | 310.90 | 188.50 |
| Contenido de Humedad ; W%                            | %                  | 17.57  |        | 44.93  | 18.09  |        | 48.48  | 18.22  |        | 50.00  |
| Promedio Contenido de Humedad                        | %                  |        |        | 31.25  |        |        | 33.28  |        |        | 34.11  |
| Densidad Máxima Seca; Ds                             | gr/cm <sup>3</sup> |        |        | 1.494  |        |        | 1.542  |        |        | 1.584  |


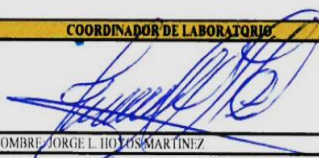

  

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |      |            |              |       |            |              |       |            |              |       |
|------------------------|------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|------------|--------------|-------|
| TIEMPO ACUMULADO       |      | MOLDE Nº01 |              |       | MOLDE Nº02 |              |       | MOLDE Nº03 |              |       |
| Horas                  | Dias | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       | Lectura    | Hinchamiento |       |
|                        |      | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     | Deforma.   | mm           | %     |
| 0.00                   | 0.00 | 0.00       | 0.00         | 0.00  | 0.00       | 0.00         | 0.00  | 0.00       | 0.00         | 0.00  |
| 24.00                  | 1.00 | 1.11       | 28.10        | 19.73 | 1.17       | 29.70        | 21.14 | 1.30       | 33.10        | 23.03 |
| 48.00                  | 2.00 | 1.12       | 28.40        | 19.94 | 1.17       | 29.80        | 21.21 | 1.31       | 33.30        | 23.17 |
| 72.00                  | 3.00 | 1.12       | 28.50        | 20.01 | 1.18       | 30.00        | 21.35 | 1.31       | 33.40        | 23.24 |
| 96.00                  | 4.00 | 1.12       | 28.50        | 20.01 | 1.18       | 30.00        | 21.35 | 1.31       | 33.40        | 23.24 |

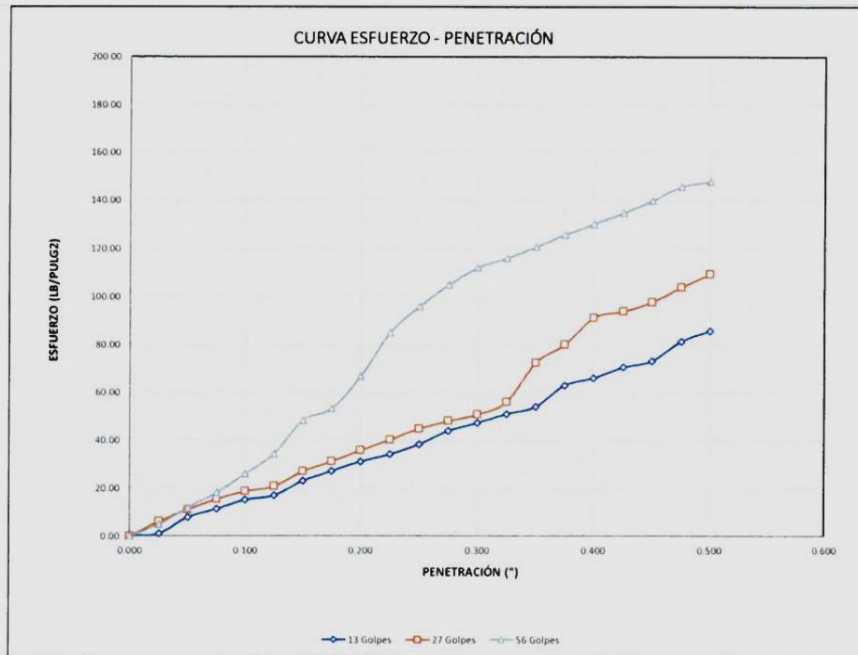
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO  | COORDINADOR DE LABORATORIO  | ASESOR  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND   | NOMBRE: JORGE L. TIO LOSMARTINEZ  | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO  |
| FECHA: 20/07/2023   | FECHA: 20/07/2023   | FECHA: 07/08/2023   |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |   |
|---|---|--------------------|---|
| PROTOCOLO   |   |                    |   |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |   |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |   |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |   |
| CALICATA:   | C1 Estrato : E 1  | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad+25%ceniza de carbón |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo   |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand                         |
| FECHA DE ENSAYO:  | 15/07/2023  | REVISADO POR:      |   |

| CARGA - PENETRACIÓN C1-E1 |       |             |                    |                    |             |                    |                    |             |                    |                    |
|---------------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE N° 01 |                    |                    | MOLDE N° 02 |                    |                    | MOLDE N° 03 |                    |                    |
|                           |       | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    | Carga       | Esfuerzo           |                    |
| mm                        | Pulg  | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> | kg          | kg/cm <sup>2</sup> | Lb/pl <sup>2</sup> |
| 0.00                      | 0.000 | 0.0         | 0.00               | 0.00               | 0.00        | 0.00               | 0.00               | 0.0         | 0.00               | 0.00               |
| 0.64                      | 0.025 | 4.1         | 0.21               | 1.00               | 25.60       | 1.32               | 6.24               | 20.0        | 1.03               | 4.88               |
| 1.27                      | 0.050 | 32.0        | 1.65               | 7.80               | 45.20       | 2.33               | 11.02              | 48.4        | 2.49               | 11.80              |
| 1.91                      | 0.075 | 46.4        | 2.39               | 11.31              | 63.60       | 3.28               | 15.51              | 74.4        | 3.84               | 18.14              |
| 2.54                      | 0.100 | 62.0        | 3.20               | 15.12              | 76.80       | 3.96               | 18.73              | 106.4       | 5.48               | 25.94              |
| 3.18                      | 0.125 | 69.6        | 3.59               | 16.97              | 85.60       | 4.41               | 20.87              | 140.8       | 7.26               | 34.33              |
| 3.81                      | 0.150 | 94.4        | 4.87               | 23.02              | 111.20      | 5.73               | 27.11              | 198.0       | 10.21              | 48.28              |
| 4.45                      | 0.175 | 111.2       | 5.73               | 27.11              | 128.00      | 6.60               | 31.21              | 218.0       | 11.24              | 53.15              |
| 5.08                      | 0.200 | 127.6       | 6.58               | 31.11              | 146.80      | 7.57               | 35.79              | 273.6       | 14.10              | 66.71              |
| 5.72                      | 0.225 | 140.0       | 7.22               | 34.13              | 165.20      | 8.52               | 40.28              | 348.0       | 17.94              | 84.85              |
| 6.35                      | 0.250 | 157.2       | 8.10               | 38.33              | 183.60      | 9.46               | 44.76              | 392.8       | 20.25              | 95.77              |
| 6.99                      | 0.275 | 180.0       | 9.28               | 43.89              | 197.20      | 10.16              | 48.08              | 430.0       | 22.16              | 104.84             |
| 7.62                      | 0.300 | 194.0       | 10.00              | 47.30              | 208.40      | 10.74              | 50.81              | 459.6       | 23.69              | 112.06             |
| 8.26                      | 0.325 | 209.2       | 10.78              | 51.01              | 230.00      | 11.86              | 56.08              | 475.6       | 24.52              | 115.96             |
| 8.89                      | 0.350 | 221.6       | 11.42              | 54.03              | 296.80      | 15.30              | 72.36              | 494.8       | 25.51              | 120.64             |
| 9.53                      | 0.375 | 258.4       | 13.32              | 63.00              | 328.00      | 16.91              | 79.97              | 516.0       | 26.60              | 125.81             |
| 10.16                     | 0.400 | 270.8       | 13.96              | 66.03              | 374.00      | 19.28              | 91.19              | 533.6       | 27.51              | 130.10             |
| 10.80                     | 0.425 | 289.2       | 14.91              | 70.51              | 384.80      | 19.84              | 93.82              | 552.0       | 28.45              | 134.59             |
| 11.43                     | 0.450 | 300.0       | 15.46              | 73.15              | 400.48      | 20.64              | 97.64              | 572.8       | 29.53              | 139.66             |
| 12.07                     | 0.475 | 333.6       | 17.20              | 81.34              | 426.00      | 21.96              | 103.87             | 596.8       | 30.76              | 145.51             |
| 12.70                     | 0.500 | 351.6       | 18.00              | 85.73              | 448.40      | 23.11              | 109.33             | 605.6       | 31.22              | 147.66             |



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 20/07/2023                | FECHA:                     | 20/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA   |   |               |                           |
|---|---|---------------|---------------------------|
| PROTOCOLO   |   |               |                           |
| CBR   |   |               |                           |
| MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |   |               |                           |
| Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |   |               |                           |
| ENSAYO:   | C1 Estrato : E 1  |               |                           |
| NORMA:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina                                |               |                           |
| TESES:  | TIPO DE MATERIAL: Arcilloso de alta plasticidad+25%ceniza de carbón |               |                           |
| CALICATA:   | UBICACION: Calle Ucrania-Urbanización la Molina                     |               |                           |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:  | Plomo                     |
| FECHA DE ENSAYO:  | 15/07/2023  | REVISADO POR: | Maribel Villanueva Durand |

| DEFORMACIÓN |          |           |          |           |          |          |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| 13 GOLPES   |          | 27 GOLPES |          | 56 GOLPES |          |          |
| PULGADAS    | PULGADAS | PULGADAS  | PULGADAS | PULGADAS  | PULGADAS |          |
| 0           | 0        | 0         | 0        | 0         | 0        | -0.00400 |
| 0.00256     | 0.00200  | 0.00200   | 0.00101  | 0.00079   | 0.00079  | -0.00321 |
| 0.00452     | 0.00484  | 0.00484   | 0.00178  | 0.00191   | 0.00191  | -0.00209 |
| 0.00636     | 0.00744  | 0.00744   | 0.00250  | 0.00293   | 0.00293  | -0.00107 |
| 0.00768     | 0.01064  | 0.01064   | 0.00302  | 0.00419   | 0.00419  | 0.00019  |
| 0.00856     | 0.01408  | 0.01408   | 0.00337  | 0.00554   | 0.00554  | 0.00154  |
| 0.01112     | 0.01980  | 0.01980   | 0.00438  | 0.00780   | 0.00780  | 0.00380  |
| 0.01280     | 0.02180  | 0.02180   | 0.00504  | 0.00858   | 0.00858  | 0.00458  |
| 0.01468     | 0.02736  | 0.02736   | 0.00578  | 0.01077   | 0.01077  | 0.00677  |
| 0.01652     | 0.03480  | 0.03480   | 0.00650  | 0.01370   | 0.01370  | 0.00970  |
| 0.01836     | 0.03928  | 0.03928   | 0.00723  | 0.01546   | 0.01546  | 0.01146  |
| 0.01972     | 0.04300  | 0.04300   | 0.00776  | 0.01693   | 0.01693  | 0.01293  |
| 0.02084     | 0.04596  | 0.04596   | 0.00820  | 0.01809   | 0.01809  | 0.01409  |
| 0.02300     | 0.04756  | 0.04756   | 0.00906  | 0.01872   | 0.01872  | 0.01472  |
| 0.02968     | 0.04948  | 0.04948   | 0.01169  | 0.01948   | 0.01948  | 0.01548  |
| 0.03280     | 0.05160  | 0.05160   | 0.01291  | 0.02031   | 0.02031  | 0.01631  |
| 0.03740     | 0.05336  | 0.05336   | 0.01472  | 0.02101   | 0.02101  | 0.01701  |
| 0.03848     | 0.05520  | 0.05520   | 0.01515  | 0.02173   | 0.02173  | 0.01773  |
| 0.04005     | 0.05728  | 0.05728   | 0.01577  | 0.02255   | 0.02255  | 0.01855  |
| 0.04260     | 0.05968  | 0.05968   | 0.01677  | 0.02350   | 0.02350  | 0.01950  |
| 0.04484     | 0.06056  | 0.06056   | 0.01765  | 0.02384   | 0.02384  | 0.01984  |

|                                     |               |
|-------------------------------------|---------------|
| ÁREA DEL PISÓN (cm²)                | 19.4 cm²      |
| ÁREA DEL PISÓN (Pulg²)              | 19.4          |
| 1 kg =                              | 1000 gr       |
| 1 libra =                           | 0.45359237 kg |
|                                     | 0.45359237    |
| Pulgada                             | cm            |
| 1                                   | 2.54          |
| CARGA DE LA MAQUINA                 | 10000 lbs     |
| Ecuación de ajuste de maquina       |               |
| Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351 |               |

| ESFUERZOS PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                  | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
|   | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Penetración (")                           | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/p²)                      | 15.12      | 31.11   | 18.73      | 35.79   | 25.94      | 66.71   |
| Esf. Patron (Lb/p²)                       | 1000.00    | 1500.00 | 1000.00    | 1500.00 | 1000.00    | 1500.00 |
| CBR %                                     | 1.51       | 2.07    | 1.87       | 2.39    | 2.59       | 4.45    |

| C B R Y DENSIDAD SECA           |            |      |            |      |            |       |
|---------------------------------|------------|------|------------|------|------------|-------|
| MOLDE N°                        | MOLDE N° 1 |      | MOLDE N° 2 |      | MOLDE N° 3 |       |
|                                 | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2"  |
| Penetración (")                 | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2" | 0.1"       | 0.2"  |
| CBR (%)                         | 1.51       | 2.07 | 1.87       | 2.39 | 2.59       | 4.45  |
| Ds (gr/cm3)                     | 1.49       | 1.49 | 1.54       | 1.54 | 1.58       | 1.58  |
| Densidad seca máxima de proctor |            |      |            |      |            | 1.575 |

| GRAFICO   |      |           |      |
|-----------|------|-----------|------|
| PARA 0.1" |      | PARA 0.2" |      |
| CBR       | Ds   | CBR       | Ds   |
| 1.51      | 1.49 | 2.07      | 1.49 |
| 1.87      | 1.54 | 2.39      | 1.54 |
| 2.59      | 1.58 | 4.45      | 1.58 |

95%DSM  
1.49625

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                       |         |
|---|---------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm3):           | 1.575   |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm3):            | 1.49625 |
| Contenido óptimo de humedad (%):                | 24.80   |
| C.B.R   |         |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 2.46%   |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 1.5%    |

OBSERVACIONES:

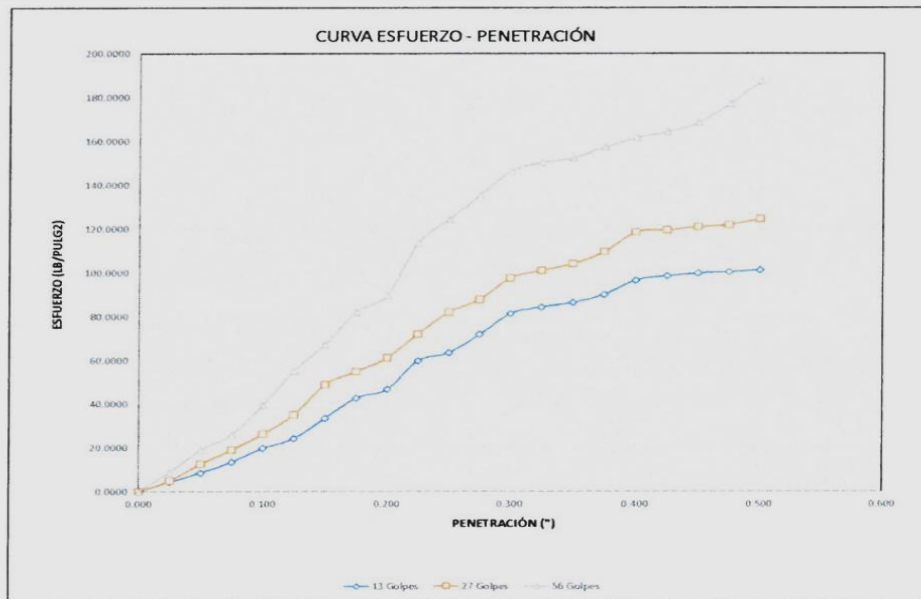
  

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 20/07/2023                 | FECHA: 20/07/2023               | FECHA: 02/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
|---|-----------------------|-------------------------------------|---|--------------|--------|----------------------------------|--------------|--------|--------|--------|--|
| PROTOCOLO   |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| ENSAYO:   |                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR      |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| NORMA:  |                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429 |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| TESIS:  |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| CALICATA:   | Cl Estrato : E I      | TIPO DE MATERIAL:                   | Arcilloso de alta plasticidad +27% ceniza de carbon |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| UBICACIÓN:  |                       | COLOR DE MATERIAL:                  |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023            | RESPONSABLE:                        | Maribel Villanueva Durand                           |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| FECHA DE ENSAYO:  | 09/07/2023-13/07/2023 | REVISADO POR:                       |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 7% CAL                          |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| DESCRIPCIÓN   | UND                   | 1                                   |   | 2            |        | 3                                |              |        |        |        |  |
| Nº Golpes   |                       | 5                                   |   | 5            |        | 5                                |              |        |        |        |  |
| Nº Golpes por capa  |                       | 13                                  |   | 27           |        | 56                               |              |        |        |        |  |
| Condición de muestra  |                       | Antes                               | Despu.  | Antes        | Despu. | Antes                            | Despu.       |        |        |        |  |
| Peso Molde  | gr                    | 8791                                | 8791  | 8638         | 8638   | 8388                             | 8388         |        |        |        |  |
| Peso Muestra húmeda + Molde                                     | gr                    | 12541                               | 12956   | 12630        | 13055  | 12521                            | 13126        |        |        |        |  |
| Peso Muestra húmeda   | gr                    | 3750                                | 4165  | 3993         | 4418   | 4133                             | 4738         |        |        |        |  |
| Volumen Muestra húmeda  | cm <sup>3</sup>       | 2173.0                              | 2465.1  | 2114.0       | 2400.7 | 2120.0                           | 2383.1       |        |        |        |  |
| Densidad húmeda: Dh   | gr/cm <sup>3</sup>    | 1.726                               | 1.7   | 1.889        | 1.8    | 1.950                            | 2.0          |        |        |        |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD  |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| Ensayo  | Nº                    | 1 - A                               | 1 - B   | 1 - C        | 2 - A  | 2 - B                            | 2 - C        | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |  |
| Peso Recipiente   | gr                    | 33.10                               | 67.50   | 27.90        | 34.8   | 67.50                            | 28.80        | 33.60  | 67.50  | 28.30  |  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente                                | gr                    | 351.90                              | 440.12  | 140.00       | 362.1  | 225.30                           | 128.70       | 341.40 | 300.10 | 134.30 |  |
| Peso Muestra Seca + Recipiente                                  | gr                    | 311.50                              | 392.10  | 105.00       | 309.00 | 205.00                           | 93.00        | 285.00 | 271.50 | 95.00  |  |
| Peso del Agua   | gr                    | 40.40                               | 48.02   | 35.00        | 53.10  | 20.30                            | 35.70        | 56.40  | 28.60  | 39.30  |  |
| Peso Muestra Seca   | gr                    | 278.40                              | 324.60  | 77.10        | 274.20 | 137.50                           | 64.20        | 251.40 | 204.00 | 66.70  |  |
| Contenido de Humedad ; W%                                       | %                     | 15.00                               |   | 45.40        |        | 17.06                            |              | 55.61  |        | 18.23  |  |
| Promedio Contenido de Humedad                                   | %                     | 30.20                               |   | 36.34        |        | 38.57                            |              |        |        |        |  |
| Densidad Máxima Seca: Ds  | gr/cm <sup>3</sup>    | 1.501                               |   | 1.613        |        | 1.649                            |              |        |        |        |  |
| ENSAYO DE HINCHAMIENTO  |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| MOLDE Nº01  |                       |                                     | MOLDE Nº02  |              |        | MOLDE Nº03                       |              |        |        |        |  |
| Lectura   | Hinchamiento          |                                     | Lectura   | Hinchamiento |        | Lectura                          | Hinchamiento |        |        |        |  |
| Deforma.  | mm                    | %                                   | Deforma.  | mm           | %      | Deforma.                         | mm           | %      |        |        |  |
| 0"  | 0                     | 0.000                               | 0"  | 0            | 0.000  | 0                                | 0            | 0.000  |        |        |  |
| 0.004"  | 16.1                  | 11.302                              | 0.0015"   | 15.7         | 11.174 | 16.1                             | 14.4         | 10.019 |        |        |  |
| 0.005"  | 16.1                  | 11.302                              | 0.0022"   | 15.8         | 11.246 | 16.1                             | 14.4         | 10.019 |        |        |  |
| 0.0052"   | 16.1                  | 11.302                              | 0.0023"   | 15.8         | 11.246 | 16.1                             | 14.5         | 10.088 |        |        |  |
| 0.0053"   | 16.1                  | 11.302                              | 0.0023"   | 15.8         | 11.246 | 16.1                             | 14.5         | 10.088 |        |        |  |
| OBSERVACIONES   |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| RESPONSABLE DEL ENSAYO  |                       |                                     | COORDINADOR DE LABORATORIO                          |              |        | ASESOR                           |              |        |        |        |  |
|   |                       |                                     |   |              |        |                                  |              |        |        |        |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND                               |                       |                                     | NOMBRE: JORGE L. ROYOS MARTINEZ                     |              |        | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |              |        |        |        |  |
| FECHA: 27/07/2023   |                       |                                     | FECHA: 27/07/2023                                   |              |        | FECHA: 07/08/2023                |              |        |        |        |  |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |  |
|---|---|--------------------|--|
| PROTOCOLO   |   |                    |  |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |  |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |  |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |  |
| CALICATA  | C2 Estrato : E1   | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad+27% ceniza de carbon |
| UBICACIÓN   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand                          |
| FECHA DE ENSAYO:  | 13/07/2023  | REVISADO POR:      |  |

| CARGA - PENETRACIÓN C2-E1 |       |             |         |          |             |         |          |             |         |          |
|---------------------------|-------|-------------|---------|----------|-------------|---------|----------|-------------|---------|----------|
| PENETRACIÓN               |       | MOLDE Nº 01 |         |          | MOLDE Nº 02 |         |          | MOLDE Nº 03 |         |          |
| mm                        | Pulg  | Esfuerzo    |         |          | Esfuerzo    |         |          | Esfuerzo    |         |          |
|                           |       | Carga       | kg/cm²  | Lb/pf    | Carga       | kg/cm²  | Lb/pf    | Carga       | kg/cm²  | Lb/pf    |
| 0.000                     | 0.000 | 0.0000      | 0.0000  | 0.0000   | 0.0000      | 0.0000  | 0.0000   | 0.0000      | 0.0000  | 0.0000   |
| 0.635                     | 0.025 | 18.0000     | 0.9278  | 4.3887   | 20.5000     | 1.0567  | 4.9983   | 36.5000     | 1.8814  | 8.8993   |
| 1.270                     | 0.050 | 35.5000     | 1.8299  | 8.6555   | 51.5000     | 2.6546  | 12.5566  | 78.0000     | 4.0206  | 19.0177  |
| 1.905                     | 0.075 | 56.0000     | 2.8866  | 13.6538  | 78.0000     | 4.0206  | 19.0177  | 106.5000    | 5.4897  | 25.9665  |
| 2.540                     | 0.100 | 81.5000     | 4.2000  | 19.8700  | 108.0000    | 5.5700  | 26.3300  | 162.5000    | 8.3800  | 39.6200  |
| 3.175                     | 0.125 | 100.0000    | 5.1546  | 24.3817  | 144.0000    | 7.4227  | 35.1097  | 226.5000    | 11.6753 | 55.2246  |
| 3.810                     | 0.150 | 138.0000    | 7.1134  | 33.6468  | 200.5000    | 10.3351 | 48.8853  | 276.0000    | 14.2268 | 67.2935  |
| 4.445                     | 0.175 | 175.5000    | 9.0464  | 42.7899  | 225.0000    | 11.5979 | 54.8589  | 336.5000    | 17.3454 | 82.0445  |
| 5.080                     | 0.200 | 192.0000    | 9.9000  | 46.8100  | 251.0000    | 12.9400 | 61.2000  | 368.0000    | 18.9700 | 89.7200  |
| 5.715                     | 0.225 | 245.5000    | 12.6546 | 59.8571  | 295.0000    | 15.2062 | 71.9261  | 466.0000    | 24.0206 | 113.6188 |
| 6.350                     | 0.250 | 260.5000    | 13.4278 | 63.5144  | 336.5000    | 17.3454 | 82.0445  | 510.5000    | 26.3144 | 124.4687 |
| 6.985                     | 0.275 | 295.0000    | 15.2062 | 71.9261  | 360.0000    | 18.5567 | 87.7742  | 556.0000    | 28.6598 | 135.5624 |
| 7.620                     | 0.300 | 334.0000    | 17.2165 | 81.4349  | 400.5000    | 20.6443 | 97.6488  | 600.5000    | 30.9536 | 146.4122 |
| 8.255                     | 0.325 | 346.5000    | 17.8608 | 84.4827  | 415.0000    | 21.3918 | 101.1841 | 617.5000    | 31.8299 | 150.5571 |
| 8.890                     | 0.350 | 355.0000    | 18.2990 | 86.5551  | 427.5000    | 22.0361 | 104.2319 | 626.0000    | 32.2680 | 152.6296 |
| 9.525                     | 0.375 | 370.0000    | 19.0722 | 90.2124  | 450.0000    | 23.1959 | 109.7177 | 645.5000    | 33.2732 | 157.3840 |
| 10.160                    | 0.400 | 396.5000    | 20.4381 | 96.6735  | 486.5000    | 25.0773 | 118.6171 | 663.0000    | 34.1753 | 161.6508 |
| 10.795                    | 0.425 | 405.0000    | 20.8763 | 98.7460  | 490.5000    | 25.2835 | 119.5923 | 674.0000    | 34.7423 | 164.3328 |
| 11.430                    | 0.450 | 410.0000    | 21.1340 | 99.9651  | 496.5000    | 25.5928 | 121.0552 | 691.5000    | 35.6443 | 168.5996 |
| 12.065                    | 0.475 | 412.5000    | 21.2629 | 100.5746 | 500.0000    | 25.7732 | 121.9086 | 726.5000    | 37.4485 | 177.1332 |
| 12.700                    | 0.500 | 416.0000    | 21.4433 | 101.4280 | 511.5000    | 26.3660 | 124.7125 | 769.5000    | 39.6649 | 187.6173 |



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 27/07/2023                 | FECHA: 27/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |  |                           |  |  |  |
|---|--|---------------------------|--|--|--|
| PROTOCOLO   |  |                           |  |  |  |
| <b>ENSAYO:</b>  | <b>CBR</b>   |                           |  |  |  |
| <b>NORMA:</b>   | <b>MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141</b>   |                           |  |  |  |
| <b>TESIS:</b>   | <b>Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023</b> |                           |  |  |  |
| <b>CALICATA:</b>  | C2 Estrato : E 1   | <b>TIPO DE MATERIAL:</b>  | Arcilloso de alta plasticidad+27% ceniza de carbon |  |  |
| <b>UBICACIÓN:</b>   | Calle Ucrania-Urbanización la Molina   | <b>COLOR DE MATERIAL:</b> | Plomo  |  |  |
| <b>FECHA DE MUESTREO:</b>                                       | 13/05/2023   | <b>RESPONSABLE:</b>       | Maribel Villanueva Durand                          |  |  |
| <b>FECHA DE ENSAYO:</b>   | 13/07/2023   | <b>REVISADO POR:</b>      |  |  |  |

| DEFORMACIÓN |        |           |        |           |        |            |                                     |
|-------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|------------|-------------------------------------|
|             |        | 13 GOLPES |        | 27 GOLPES |        | 56 GOPLPES |                                     |
|             |        | PULGADAS  |        | PULGADAS  |        | PULGADAS   |                                     |
| 0.0000      | 0.0000 | 0.0000    | 0.0000 | 0.0000    | 0.0000 | -0.0040    |                                     |
| 0.0018      | 0.0021 | 0.0037    | 0.0007 | 0.0008    | 0.0014 | -0.0032    | ÁREA DEL PISÓN (cm²) 19.4 cm²       |
| 0.0036      | 0.0052 | 0.0078    | 0.0014 | 0.0020    | 0.0031 | -0.0020    | 19.4                                |
| 0.0056      | 0.0078 | 0.0107    | 0.0022 | 0.0031    | 0.0042 | -0.0009    | AREA DEL PISON (Pulg²) 3.007006     |
| 0.0082      | 0.0108 | 0.0163    | 0.0032 | 0.0043    | 0.0064 | 0.0003     |                                     |
| 0.0100      | 0.0144 | 0.0227    | 0.0039 | 0.0057    | 0.0089 | 0.0017     | 1 kg = 1000 gr                      |
| 0.0138      | 0.0201 | 0.0276    | 0.0054 | 0.0079    | 0.0109 | 0.0039     | 1 libra = 0.45359237 kg             |
| 0.0176      | 0.0225 | 0.0337    | 0.0069 | 0.0089    | 0.0132 | 0.0049     | 0.4535924                           |
| 0.0192      | 0.0251 | 0.0368    | 0.0076 | 0.0099    | 0.0145 | 0.0059     | PULGADA ENTIMETROS                  |
| 0.0246      | 0.0295 | 0.0466    | 0.0097 | 0.0116    | 0.0183 | 0.0076     | 1 2.54                              |
| 0.0261      | 0.0337 | 0.0511    | 0.0103 | 0.0132    | 0.0201 | 0.0092     | CARGA DE LA MAQUINA                 |
| 0.0295      | 0.0360 | 0.0556    | 0.0116 | 0.0142    | 0.0219 | 0.0102     | 10000 lbs                           |
| 0.0334      | 0.0401 | 0.0601    | 0.0131 | 0.0158    | 0.0236 | 0.0118     | EUCACION DE AJUSTE DE MAQUINA       |
| 0.0347      | 0.0415 | 0.0618    | 0.0136 | 0.0163    | 0.0243 | 0.0123     | Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351 |
| 0.0355      | 0.0428 | 0.0626    | 0.0140 | 0.0168    | 0.0246 | 0.0128     |                                     |
| 0.0370      | 0.0450 | 0.0646    | 0.0146 | 0.0177    | 0.0254 | 0.0137     |                                     |
| 0.0397      | 0.0487 | 0.0663    | 0.0156 | 0.0192    | 0.0261 | 0.0152     |                                     |
| 0.0405      | 0.0491 | 0.0674    | 0.0159 | 0.0193    | 0.0265 | 0.0153     |                                     |
| 0.0410      | 0.0497 | 0.0692    | 0.0161 | 0.0195    | 0.0272 | 0.0155     |                                     |
| 0.0413      | 0.0500 | 0.0727    | 0.0162 | 0.0197    | 0.0286 | 0.0157     |                                     |
| 0.0416      | 0.0512 | 0.0770    | 0.0164 | 0.0201    | 0.0303 | 0.0161     |                                     |

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
|   | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Penetracion (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb.pf)                    | 19.8711    | 46.8129 | 26.3323    | 61.1981 | 39.6203    | 89.7247 |
| Esf. Patron (Lb.pf)                     | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 1.9871     | 3.1209  | 2.6332     | 4.0799  | 3.9620     | 5.9816  |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
|                       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| Penetracion (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 1.9871     | 3.1209 | 2.6332     | 4.0799 | 3.9620     | 5.9816 |
| Ds ( gr/cm³)          | 1.41       | 1.41   | 1.52       | 1.52   | 1.71       | 1.71   |

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Densidad seca maxima de proctor | 1.61 |
|---------------------------------|------|

| GRAFICO   |      |           |      |
|-----------|------|-----------|------|
| PARA 0.1" |      | PARA 0.2" |      |
| CBR       | Ds   | CBR       | Ds   |
| 1.99      | 1.41 | 3.12      | 1.41 |
| 2.63      | 1.52 | 4.08      | 1.52 |
| 3.96      | 1.71 | 5.98      | 1.71 |

95%DSM  
1.53

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                       |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm3) :          | 1.61  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm3) :           | 1.53  |
| Contenido óptimo de humedad (%) :               | 22.00 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 3.20% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 2.6 % |

OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO                   | COORDINADOR DE LABORATORIO          | ASESOR  |
|--|-------------------------------------|---|
|  |                                     |   |
| <b>NOMBRE:</b> MARIBEL VILLANUEVA DURAND | <b>NOMBRE:</b> JORGE HOYOS MARTINEZ | <b>NOMBRE:</b> ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| <b>FECHA:</b> 20/07/2023                 | <b>FECHA:</b> 20/07/2023            | <b>FECHA:</b> 07/08/2023                        |

|  |                       |   |  |  |  |   |  |  |  |
|--|-----------------------|---|--|--|--|---|--|--|--|
| <b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b> |                       |   |  |  |  |   |  |  |  |
| <b>PROTOCOLO</b>   |                       |   |  |  |  |   |  |  |  |
| <b>ENSAYO:</b>   |                       | CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR  |  |  |  |   |  |  |  |
| <b>NORMA:</b>  |                       | MTC E 132 / ASTM D1883 / ASTM D4429   |  |  |  |   |  |  |  |
| <b>TESIS:</b>  |                       | "Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023" |  |  |  |   |  |  |  |
| CALCATA:   | C1 Estrato : E 1      | TIPO DE MATERIAL:   |  |  |  | Arcilloso de alta plasticidad+30%ceniza de carbon |  |  |  |
| UBICACIÓN:   |                       | COLOR DE MATERIAL:  |  |  |  | Plomo   |  |  |  |
| FECHA DE MUESTREO:   | 13/05/2023            | RESPONSABLE:  |  |  |  | Maribel Villanueva Durand                         |  |  |  |
| FECHA DE ENSAYO:   | 17/07/2023-21/07/2023 | REVISADO POR:   |  |  |  |   |  |  |  |

| CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR- 5% CAL |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| DESCRIPCIÓN                            | UND                | 1      |        | 2      |        | 3      |        |        |        |        |  |
| Nº Golpes                              |                    | 5      |        | 5      |        | 5      |        |        |        |        |  |
| Nº Golpes por capa                     |                    | 13     |        | 27     |        | 56     |        |        |        |        |  |
| Condición de muestra                   |                    | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. | Antes  | Despu. |        |        |        |  |
| Peso Molde                             | gr                 | 8601   | 8601   | 8513   | 8513   | 8537   | 8537   |        |        |        |  |
| Peso Muestra húmeda + Molde            | gr                 | 12103  | 13055  | 12320  | 13228  | 12622  | 13457  |        |        |        |  |
| Peso Muestra húmeda                    | gr                 | 3503   | 4455   | 3807   | 4715   | 4085   | 4920   |        |        |        |  |
| Volumen Muestra húmeda                 | cm <sup>3</sup>    | 2139.9 | 2584.9 | 2152.0 | 2549.5 | 2047.1 | 2608.1 |        |        |        |  |
| Densidad húmeda; Dh                    | gr/cm <sup>3</sup> | 1.637  | 1.7    | 1.769  | 1.8    | 1.995  | 1.9    |        |        |        |  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD                   |                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Ensayo                                 | Nº                 | 1 - A  | 1 - B  | 1 - C  | 2 - A  | 2 - B  | 2 - C  | 3 - A  | 3 - B  | 3 - C  |  |
| Peso Recipiente                        | gr                 | 124.90 | 32.40  | 124.90 | 143.60 | 67.40  | 143.10 | 67.50  | 69.10  | 147.70 |  |
| Peso Muestra húmeda + Recipiente       | gr                 | 478.40 | 302.80 | 342.10 | 421.70 | 445.20 | 369.20 | 331.80 | 512.30 | 419.70 |  |
| Peso Muestra Seca + Recipiente         | gr                 | 429.50 | 265.00 | 256.50 | 383.00 | 391.20 | 278.80 | 295.10 | 448.50 | 310.70 |  |
| Peso del Agua                          | gr                 | 48.90  | 37.80  | 85.60  | 38.70  | 54.00  | 90.40  | 36.70  | 63.80  | 109.00 |  |
| Peso Muestra Seca                      | gr                 | 304.60 | 232.60 | 131.60 | 239.40 | 323.80 | 135.70 | 227.60 | 379.40 | 163.00 |  |
| Contenido de Humedad ; W%              | %                  | 16.15  |        | 65.05  |        | 16.42  |        | 66.62  |        | 16.47  |  |
| Promedio Contenido de Humedad          | %                  | 40.60  |        |        |        | 41.52  |        |        | 41.67  |        |  |
| Densidad Máxima Seca; Ds               | gr/cm <sup>3</sup> | 1.409  |        |        |        | 1.519  |        |        | 1.713  |        |  |

| ENSAYO DE HINCHAMIENTO |      |            |              |        |            |              |        |            |              |        |
|------------------------|------|------------|--------------|--------|------------|--------------|--------|------------|--------------|--------|
| TIEMPO ACUMULADO       |      | MOLDE Nº01 |              |        | MOLDE Nº02 |              |        | MOLDE Nº03 |              |        |
|                        |      | Lectura    | Hinchamiento | %      | Lectura    | Hinchamiento | %      | Lectura    | Hinchamiento | %      |
| Horas                  | Días | Deforma.   | mm           | %      | Deforma.   | mm           | %      | Deforma.   | mm           | %      |
| 0.00                   | 0.00 | 0"         | 0            | 0.000  | 0"         | 0            | 0.000  | 0          | 0            | 0.000  |
| 24.00                  | 1.00 | 0.8897638  | 22.6         | 15.865 | 0.0015"    | 23.8         | 16.939 | 0.01       | 26.7         | 18.576 |
| 48.00                  | 2.00 | 0.908      | 22.7         | 15.935 | 0.0022"    | 28.9         | 20.569 | 0.02       | 26.8         | 18.646 |
| 72.00                  | 3.00 | 0.8937008  | 22.7         | 15.935 | 0.0023"    | 23.9         | 17.011 | 0.022      | 26.9         | 18.716 |
| 96.00                  | 4.00 | 0.8937008  | 22.7         | 15.935 | 0.0023"    | 24           | 17.082 | 0.022      | 26.9         | 18.716 |

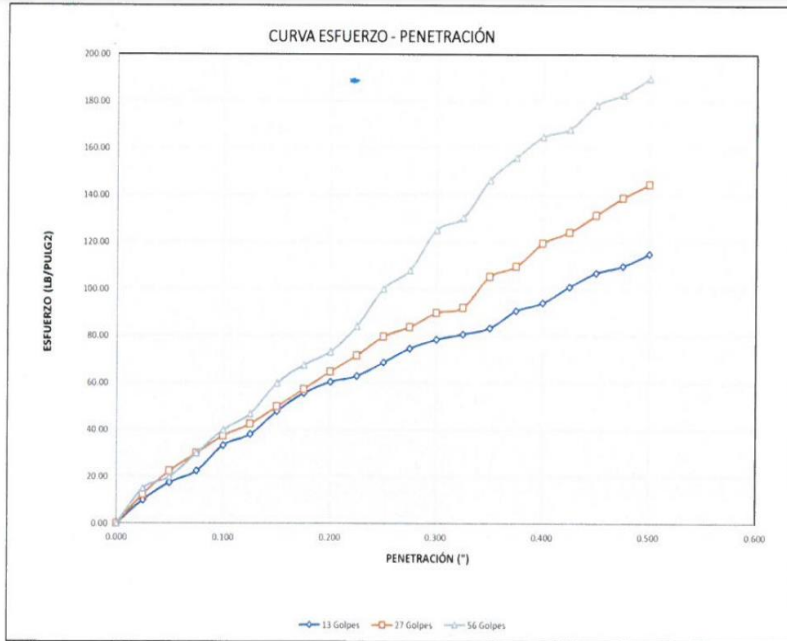
OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 29/07/2023                 | FECHA: 29/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |

| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |  |
|---|---|--------------------|--|
| PROTOCOLO   |   |                    |  |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |  |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |  |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |  |
| CALICATA:   | C1 Estrato : E1   | TIPO DE MATERIAL:  | Arcilloso de alta plasticidad+30% ceniza de carbon |
| UBICACIÓN:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand                          |
| FECHA DE ENSAYO:  | 28/07/2023  | REVISADO POR:      |  |

| CARGA - PENETRACIÓN 5% CAL |       |             |                                |                   |             |                                |                   |             |                                |                   |
|----------------------------|-------|-------------|--------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------------|-------------------|
| PENETRACIÓN                |       | MOLDE Nº 01 |                                |                   | MOLDE Nº 02 |                                |                   | MOLDE Nº 03 |                                |                   |
| mm                         | Pulg  | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pf | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pf | Carga<br>kg | Esfuerzo<br>kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo<br>Lb/pf |
| 0.00                       | 0.000 | 0.00        | 0.00                           | 0.00              | 0.00        | 0.00                           | 0.00              | 0.00        | 0.00                           | 0.00              |
| 0.64                       | 0.025 | 40.80       | 2.10                           | 9.95              | 51.00       | 2.63                           | 12.43             | 61.20       | 3.15                           | 14.92             |
| 1.27                       | 0.050 | 71.40       | 3.68                           | 17.41             | 91.80       | 4.73                           | 22.38             | 81.60       | 4.21                           | 19.90             |
| 1.91                       | 0.075 | 91.80       | 4.73                           | 22.38             | 123.00      | 6.34                           | 29.99             | 123.00      | 6.34                           | 29.99             |
| 2.54                       | 0.100 | 136.80      | 7.05                           | <b>33.35</b>      | 153.60      | 7.92                           | <b>37.45</b>      | 163.80      | 8.44                           | <b>39.94</b>      |
| 3.18                       | 0.125 | 156.00      | 8.04                           | 38.04             | 174.00      | 8.97                           | 42.42             | 192.00      | 9.90                           | 46.81             |
| 3.81                       | 0.150 | 196.20      | 10.11                          | 47.84             | 204.60      | 10.55                          | 49.88             | 245.40      | 12.65                          | 59.83             |
| 4.45                       | 0.175 | 228.00      | 11.75                          | 55.59             | 235.20      | 12.12                          | 57.35             | 277.20      | 14.29                          | 67.59             |
| 5.08                       | 0.200 | 247.80      | 12.77                          | <b>60.42</b>      | 265.80      | 13.70                          | <b>64.81</b>      | 300.60      | 15.49                          | <b>73.29</b>      |
| 5.72                       | 0.225 | 258.00      | 13.30                          | 62.90             | 294.00      | 15.15                          | 71.68             | 345.00      | 17.78                          | 84.12             |
| 6.35                       | 0.250 | 282.00      | 14.54                          | 68.76             | 327.00      | 16.86                          | 79.73             | 410.40      | 21.15                          | 100.06            |
| 6.99                       | 0.275 | 306.00      | 15.77                          | 74.61             | 348.80      | 17.72                          | 83.82             | 442.80      | 22.82                          | 107.96            |
| 7.62                       | 0.300 | 321.60      | 16.58                          | 78.41             | 368.40      | 18.99                          | 89.82             | 513.00      | 26.44                          | 125.08            |
| 8.26                       | 0.325 | 331.20      | 17.07                          | 80.75             | 378.00      | 19.48                          | 92.16             | 534.60      | 27.56                          | 130.34            |
| 8.89                       | 0.350 | 342.00      | 17.63                          | 83.39             | 432.00      | 22.27                          | 105.33            | 600.60      | 30.96                          | 146.44            |
| 9.53                       | 0.375 | 372.00      | 19.18                          | 90.70             | 450.00      | 23.20                          | 109.72            | 640.20      | 33.00                          | 156.09            |
| 10.16                      | 0.400 | 385.80      | 19.89                          | 94.06             | 490.80      | 25.30                          | 119.67            | 676.20      | 34.86                          | 164.87            |
| 10.80                      | 0.425 | 414.00      | 21.34                          | 100.94            | 510.00      | 26.29                          | 124.35            | 690.00      | 35.57                          | 168.23            |
| 11.43                      | 0.450 | 438.00      | 22.58                          | 106.79            | 540.00      | 27.84                          | 131.66            | 732.00      | 37.73                          | 178.47            |
| 12.07                      | 0.475 | 450.00      | 23.20                          | 109.72            | 570.00      | 29.38                          | 138.98            | 750.00      | 38.66                          | 182.86            |
| 12.70                      | 0.500 | 471.60      | 24.31                          | 114.98            | 593.40      | 30.59                          | 144.68            | 778.80      | 40.14                          | 189.88            |



OBSERVACIONES:

| RESPONSABLE DEL ENSAYO            | COORDINADOR DE LABORATORIO      | ASESOR                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|
|                                   |                                 |  |
| NOMBRE: MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE: JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA: 29/07/2023                 | FECHA: 29/07/2023               | FECHA: 07/08/2023                        |



| LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA |   |                    |  |
|---|---|--------------------|--|
| PROTOCOLO   |   |                    |  |
| ENSAYO:   | CBR   |                    |  |
| NORMA:  | MTC E 115 / ASTM D421 / NTP 339.141   |                    |  |
| TESIS:  | Estabilización de la subrasante de la calle Ucrania adicionando cenizas de carbón y cal, Cajamarca 2023 |                    |  |
| CALICATA:   | C1 Estrato : E1   | TIPO DE MATERIAL:  | Acilioso de alta plasticidad+30%ceniza de carbon |
| UBICACION:  | Calle Ucrania-Urbanización la Molina  | COLOR DE MATERIAL: | Plomo  |
| FECHA DE MUESTREO:  | 13/05/2023  | RESPONSABLE:       | Maribel Villanueva Durand                        |
| FECHA DE ENSAYO:  | 21/07/2023  | REVISADO POR:      |  |

| DEFORMACIÓN |        |           |        |            |        |          |
|-------------|--------|-----------|--------|------------|--------|----------|
| 13 GOLPES   |        | 27 GOLPES |        | 56 GOPLPES |        |          |
| PULGADAS    |        | PULGADAS  |        | PULGADAS   |        |          |
| 0.0000      | 0.0000 | 0.0000    | 0.0000 | 0.0000     | 0.0000 | -0.00400 |
| 0.0041      | 0.0051 | 0.0061    | 0.0016 | 0.0020     | 0.0024 | -0.00199 |
| 0.0071      | 0.0092 | 0.0082    | 0.0028 | 0.0036     | 0.0032 | -0.00039 |
| 0.0092      | 0.0123 | 0.0123    | 0.0036 | 0.0048     | 0.0048 | 0.00084  |
| 0.0137      | 0.0154 | 0.0164    | 0.0054 | 0.0060     | 0.0064 | 0.00205  |
| 0.0156      | 0.0174 | 0.0192    | 0.0061 | 0.0069     | 0.0076 | 0.00285  |
| 0.0196      | 0.0205 | 0.0245    | 0.0077 | 0.0081     | 0.0097 | 0.00406  |
| 0.0228      | 0.0235 | 0.0277    | 0.0090 | 0.0093     | 0.0109 | 0.00526  |
| 0.0248      | 0.0266 | 0.0301    | 0.0098 | 0.0105     | 0.0118 | 0.00646  |
| 0.0258      | 0.0294 | 0.0345    | 0.0102 | 0.0116     | 0.0136 | 0.00757  |
| 0.0282      | 0.0327 | 0.0410    | 0.0111 | 0.0129     | 0.0162 | 0.00887  |
| 0.0306      | 0.0344 | 0.0443    | 0.0120 | 0.0135     | 0.0174 | 0.00954  |
| 0.0322      | 0.0368 | 0.0513    | 0.0127 | 0.0145     | 0.0202 | 0.01050  |
| 0.0331      | 0.0378 | 0.0535    | 0.0130 | 0.0149     | 0.0210 | 0.01088  |
| 0.0342      | 0.0432 | 0.0601    | 0.0135 | 0.0170     | 0.0236 | 0.01301  |
| 0.0372      | 0.0450 | 0.0640    | 0.0146 | 0.0177     | 0.0252 | 0.01372  |
| 0.0386      | 0.0491 | 0.0676    | 0.0152 | 0.0193     | 0.0266 | 0.01532  |
| 0.0414      | 0.0510 | 0.0690    | 0.0163 | 0.0201     | 0.0272 | 0.01608  |
| 0.0438      | 0.0540 | 0.0732    | 0.0172 | 0.0213     | 0.0288 | 0.01726  |
| 0.0450      | 0.0570 | 0.0750    | 0.0177 | 0.0224     | 0.0295 | 0.01844  |
| 0.0472      | 0.0593 | 0.0779    | 0.0186 | 0.0234     | 0.0307 | 0.01936  |

ÁREA DEL PISÓN (cm²) 19.4 cm²  
19.4

ÁREA DEL PISÓN (Pulg²) 3.007006

1 kg = 1000 gr  
1 libra = 0.45359237 kg  
0.4535924

PULGADA ENTIMITROS  
1 2.54

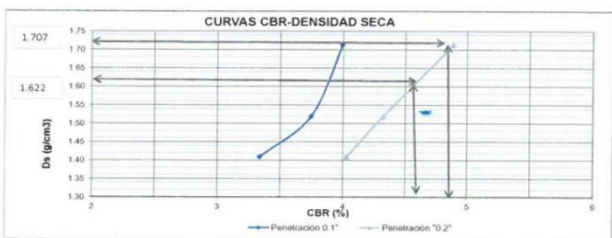
CARGA DE LA MAQUINA  
10000 lbs

ECUACION DE AJUSTE DE MAQUINA  
Y = -0.0001147 X² + 4.671 X + 1.351

| ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACIÓN |            |         |            |         |            |         |
|---|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| MOLDE N°                                | MOLDE N° 1 |         | MOLDE N° 2 |         | MOLDE N° 3 |         |
|   | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Penetración (")                         | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    | 0.1"       | 0.2"    |
| Esf. Terreno (Lb/pf)                    | 33.3542    | 60.4179 | 37.4503    | 64.8066 | 39.9373    | 73.2915 |
| Esf. Patron (Lb/pf)                     | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    | 1000       | 1500    |
| CBR %                                   | 3.3354     | 4.0279  | 3.7450     | 4.3204  | 3.9937     | 4.8861  |

| C.B.R Y DENSIDAD SECA |            |        |            |        |            |        |
|-----------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| MOLDE N°              | MOLDE N° 1 |        | MOLDE N° 2 |        | MOLDE N° 3 |        |
|                       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| Penetración (")       | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   | 0.1"       | 0.2"   |
| CBR (%)               | 3.3354     | 4.0279 | 3.7450     | 4.3204 | 3.9937     | 4.8861 |
| Ds (g/cm³)            | 1.41       | 1.41   | 1.52       | 1.52   | 1.71       | 1.71   |

| GRAFICO   |      |           |      |
|-----------|------|-----------|------|
| PARA 0.1" |      | PARA 0.2" |      |
| CBR       | Ds   | CBR       | Ds   |
| 3.34      | 1.41 | 4.03      | 1.41 |
| 3.75      | 1.52 | 4.32      | 1.52 |
| 3.99      | 1.71 | 4.89      | 1.71 |



95%DSM  
1.622

| ENSAYO PROCTOR MODIFICADO                       |       |
|---|-------|
| Densidad seca máxima al 100% (g/cm³):           | 1.71  |
| Densidad seca máxima al 95% (g/cm³):            | 1.62  |
| Contenido óptimo de humedad (%):                | 15.80 |
| C.B.R   |       |
| C.B.R al 100% de la densidad seca máxima (0.1") | 4.00% |
| C.B.R al 95% de la densidad seca máxima (0.1")  | 3.7%  |


| OBSERVACIONES:         |                           |                            |                         |         |                                  |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------|----------------------------------|
| RESPONSABLE DEL ENSAYO |                           | COORDINADOR DE LABORATORIO |                         | ASESOR  |                                  |
|                        |                           |                            |                         |         |                                  |
| NOMBRE:                | MARIBEL VILLANUEVA DURAND | NOMBRE:                    | JORGE L. HOYOS MARTINEZ | NOMBRE: | ING. CARLOS ELDER CALUA CARRASCO |
| FECHA:                 | 29/07/2023                | FECHA:                     | 29/07/2023              | FECHA:  | 07/08/2023                       |

SERFOR

**AUTORIZACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CENTROS DE TRANSFORMACION PRIMARIA**

N°14-LAM-AUT-CTP-2022-000026

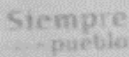

| ATFFS:   | LAMBAYEQUE                        | Sede                  | CHICLAYO      |
|--|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| Fecha de expedición:   | 17 DE NOVIEMBRE DEL 2022          | Fecha de vencimiento: | INDETERMINADO |
| Titular del establecimiento de centro de transformación primaria:                                  | PABLO ACUÑA DELGADO               |                       |               |
| N° DNI/ N° RUC:  | 45885969/10458859693              |                       |               |
| Ubicación del establecimiento del centro de transformación primaria/ domicilio legal y/o procesal: | CASERIO CALERA SANTA ROSA S/N     |                       |               |
| Distrito, Provincia y Departamento:  | OLMOS, LAMBAYEQUE, LAMBAYEQUE     |                       |               |
| Tipo de establecimiento:   | CENTRO DE TRANSFORMACIÓN PRIMARIA |                       |               |
| Coordenadas UTM WGS 84:  | 625610 E – 9355162 N, ZONA 17S    |                       |               |
| N° de teléfono:  | 922-828-757/963-890-021           |                       |               |
| Correo electrónico:  | pabloacuñadelgado271@gmail.com    |                       |               |



 Firmado digitalmente por ALFARO Apolonio Jorge Navarro  
 DN: cn=Alfonso Apolonio, o=SERFOR, ou=SERFOR, email=alfarod@serfor.gob.pe, c=PE  
 Fecha: 18.11.2022 07:48:12 -05'00'

**Ing. Jorge Apolonio Alfaro Navarro**  
 Administrador Técnico Forestal y de Fauna Silvestre Lambayeque

De conformidad con la Ley N° 29783 - Ley Forestal y de Fauna Silvestre, y el Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI - Reglamento para la Gestión Forestal Según Artículo 175° del D.S. N° 016-2015-MINAGRI - Son obligaciones de los centros de transformación primaria, lugares de acopio, depósitos y centros comercialización de especímenes, productos y subproductos forestales, las siguientes: a) Ingresar y procesar productos que sustenten su origen legal; b) Mantener los documentos que sustenten los datos consignados, en el Libro de Operaciones o Registro de Ingresos y Salidas, por un período de cuatro años; c) Brindar a la autoridad competente la información y documentación que le sea solicitada; d) Facilitar el desarrollo de las acciones de control e inspección; y, e) Cumplir con lo señalado respecto a la acreditación del origen legal y el Anexo N° 1 y N° 2 de la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 0090-2021-MINAGRI-SERFOR-DE.

La información del tipo de establecimiento se da acuerdo a lo declarado en el FIC  
 Calle Juan Pardo y Miguel N° 391-393  
 Urb. Patasca, Chiclayo - Lambayeque 14  
 T. (074) 27-40-54

|   |   |        |                        |         |
|---|---|--------|------------------------|---------|
|  <p><b>ISDAN</b><br/>INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN</p> |   |        | CODIGO: IC-01-2022-003 |         |
|   | Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y aguas subterráneas |        | Fecha                  | Versión |
|   |   |        | 01/11/2022             | 1       |
| Norma Técnica Peruana 339.178   |   | Página | 2 de 3                 |         |

Proyecto (\*) : Estabilización de la Subrasante de la Calle Ucrania Adicionando Cenizas de Carbón y Ca, Cajamarca 2023  
 Localización (\*) : Norte : ----- Este : ----- Cota : -----  
 Ubicación (\*) :  
 Cliente (\*) : Bachiller, Maribel Villanueva Durand Fecha de Muestreo: 2023-11-22  
 Muestra (\*) : Ceniza de Carbón vegetal ( Algarrobo) Fecha de Recepción: 2023-11-22  
 Código de cliente : ESCUCC-C-M01-2023 Fecha de Ensayo : 2023-11-22  
 Código de laboratorio : IC-LMS-AQ-M01-2023 Fecha de Informe : 2023-11-25  
 Condiciones ambientales : temperatura: 19.9 °C temperatura relativa : 40 %

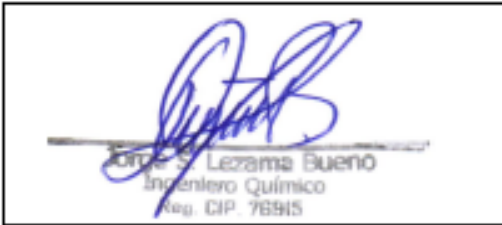
**Análisis Químico**

| Muestra | pH en Pasta<br>N.T.P 339.176 | Cantidad de<br>Muestra | Dióxido de<br>silicio | Oxido de<br>aluminio           | Oxido de<br>calcio | Oxido ferrico                  | Oxido de<br>magnesio | Dióxido de<br>carbono |
|---------|------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
|         | -                            | (g)                    | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO                  | CO <sub>2</sub>       |
| M-01    | 10.87 %                      | 20.00                  | 49.09 %               | 0.41 %                         | 6.88 %             | 1.01 %                         | 3.96 %               | 38.65                 |



**Conclusión:**

Los datos obtenidos del Análisis Químico se tiene como resultado, un PH de 10.87%, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 339.176 y Norma Técnica Peruana 339.178 se a realizado los análisis Químicos en cada uno de sus parámetros analizados.

Revisó y Aprobó



Jorge S. Lescama Bueno  
Ingeniero Químico  
Reg. CIP 76915

|  <p><b>ISDAN</b><br/>INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN</p>  | CÓDIGO: IC-01-2022-003  |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
|--|---|---------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------|--|--|-----------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|------|---------|-------|--------|-------|----------|---------|--------|--------|
|  | Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y aguas subterráneas | Fecha: 01/11/2022<br>Versión: 1 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
|  | Norma Técnica Peruana 339.178   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Proyecto (*): Estabilización de la Subrasante de la Calle Ucrania Adicionando Cenizas de Carbón y Cal, Cajamarca 2023  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Localización (*): Norte : ----- Este : ----- Cota : -----  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Ubicación (*):   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Cliente (*): Bachiller. Maribel Villanueva Durand  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Muestra (*): Cal   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Código de cliente: ESCUCCC-C-M02-2023  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Código de laboratorio: IC-LMS-AQ-M02-2023  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Condiciones ambientales: temperatura: 19.9 °C temperatura relativa: 40 %   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Fecha de Muestreo: 2023-11-22  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Fecha de Recepción: 2023-11-22   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Fecha de Ensayo: 2023-11-22  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Fecha de Informe: 2023-11-25   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| Página: 3 de 3   |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| <p><b>Análisis Químico</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>pH en Pasta N.T.P 339.176</th> <th>Cantidad de Muestra (g)</th> <th>Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub></th> <th>Oxido de aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></th> <th>Oxido de calcio CaO</th> <th>Oxido férrico Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></th> <th>Oxido de magnesio MgO</th> <th>Oxido de silicio SiO<sub>2</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M-02</td> <td>12.68 %</td> <td>20.00</td> <td>3.00 %</td> <td>0.8 %</td> <td>89.230 %</td> <td>0.089 %</td> <td>0.50 %</td> <td>6.381%</td> </tr> </tbody> </table> |   |                                 | Muestra                            | pH en Pasta N.T.P 339.176                        | Cantidad de Muestra (g) | Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>           | Oxido de aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de calcio CaO               | Oxido férrico Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de magnesio MgO | Oxido de silicio SiO <sub>2</sub> | M-02 | 12.68 % | 20.00 | 3.00 % | 0.8 % | 89.230 % | 0.089 % | 0.50 % | 6.381% |
| Muestra  | pH en Pasta N.T.P 339.176   | Cantidad de Muestra (g)         | Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> | Oxido de aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de calcio CaO     | Oxido férrico Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Oxido de magnesio MgO                            | Oxido de silicio SiO <sub>2</sub> |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| M-02   | 12.68 %   | 20.00                           | 3.00 %                             | 0.8 %  | 89.230 %                | 0.089 %                                      | 0.50 %   | 6.381%                            |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| <p><b>Conclusión:</b></p> <p>Los datos obtenidos del Análisis Químico se tiene como resultado, un PH de 12.68 %, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana 339.176 y Norma Técnica Peruana 339.178 se a realizado los análisis Químicos en cada uno de sus parámetros analizados.</p>  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| <p>Revisó y Aprobó</p> <div style="text-align: center;"> <br/>                 Jorge S. Lezama Bueno<br/>                 Ingeniero Químico<br/>                 Reg. CIP. 78915             </div>  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |
| (*) Los datos indicados han sido proporcionados por el cliente:  |   |                                 |                                    |  |                         |  |  |                                   |  |                       |                                   |      |         |       |        |       |          |         |        |        |