

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil



## **MEJORAMIENTO DEL SUELO CON AFIRMADO Y CLORURO DE CALCIO APLICADO A LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA – CHANCAY HUARAL DICIEMBRE 2020.**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Cesar Andres Canario Robles

Asesor:

MBA Ing. Alejandro Vildoso Flores

Lima - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mi familia por haberme forjado como la persona profesional que soy en la actualidad; mucho de mis logros se los debo a ellos entre los que incluye este.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por haberme dado esta gran oportunidad de vida profesional que hoy en día estoy sabiendo aprovecharla al máximo. También agradecer a mi familia por el apoyo, cariño y sacrificio que hicieron por darme una profesión y hacer de mí una persona correcta.

Agradecer a mis docentes que con su orientación profesional se podrá concluir con éxitos este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDOS

### Tabla de contenido

|   |           |
|---|-----------|
| DEDICATORIA.....  | 2         |
| AGRADECIMIENTO .....  | 3         |
| TABLA DE CONTENIDOS .....   | 4         |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | 8         |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | 9         |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | 12        |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. Descripción de la empresa .....  | 13        |
| 1.2. Misión .....   | 14        |
| 1.3. Visión .....   | 14        |
| 1.4. Valores .....  | 14        |
| 1.5. Análisis del entorno mediante la aplicación FODA de la empresa WILMAN CARLOS RAFAEL ROBLES ..... | 15        |
| 1.6. Alcance de los trabajos y ejecución de proyectos de la empresa WILMAN CARLOS RAFAEL ROBLES ..... | 16        |
| 1.7. Organigrama de la empresa WILMAN CARLOS RAFAEL ROBLES.....                                       | 18        |
| 1.8. Antecedentes.....  | 17        |
| 1.8.1. Antecedentes Internacionales .....   | 17        |
| 1.8.2. Antecedentes Nacionales.....   | 18        |
| 1.8.3. Antecedentes Locales .....   | 20        |
| 1.9. Realidad problemática.....   | 23        |
| Realidad problemática desde un enfoque nacional.....  | 23        |
| Realidad problemática desde un enfoque local .....  | 24        |
| Realidad problemática desde un enfoque internacional .....  | 25        |
| 1.10. Formulación del problema .....  | 27        |
| 1.10.1. Problema general .....  | 27        |
| 1.10.2. Problemas específicos.....  | 27        |
| 1.11. Justificación .....   | 27        |
| 1.11.1. Justificación teórica .....   | 28        |
| 1.11.2. Justificación científica .....  | 28        |
| 1.11.3. Justificación metodológica .....  | 28        |
| 1.12. Objetivos .....   | 29        |
| 1.12.1. Objetivo general .....  | 29        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1.12.2 Objetivos específicos .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>2.1 Bases TeóricasSuelo.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>Tabla 1.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>Estabilización de suelos .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Estabilización de física de suelos .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Estabilización de química de suelos.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>Requisitos de la estabilización de suelos .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Propiedades que se interesa mejorar mediante la estabilización de suelos.....</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>Problemas comunes en las carreteras del Perú.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>Material granular en capa de afirmado. ....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Cloruro de Calcio. ....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Estabilización con cloruro de calcio. ....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Ensayo CBR .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Plasticidad .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Carretera. ....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Carretera afirmada.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Calicata.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Ensayos de Laboratorio .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>Límites de ATTERBERG – Norma ASTM D4318 .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>Límites de ATTERBERG – Norma ASTM D4318 .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>3.1 Mejoramiento del suelo con afirmado y cloruro de calcio.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>Constructora Wilman Carlos Rafael Robles cuenta con las siguientes áreas donde se desarrolló el Proyecto: .....</b> | <b>56</b> |
| <b>3.2 Ubicación del trabajo realizado:.....</b>   | <b>58</b> |
| <b>3.3 Desarrollo del Mejoramiento de suelo y etapas de planificación de obra: .....</b>                               | <b>58</b> |
| <b>3.4 Caracterización del suelo a estabilizar .....</b>   | <b>59</b> |
| • <b>Contenido de humedad Natural del suelo existente. ....</b>  | <b>60</b> |
| <b>Tabla 2.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>Tabla 3.....</b>  | <b>62</b> |
| • <b>Límites de Atterberg .....</b>  | <b>63</b> |
| <b>Tabla 4.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>Tabla 5.....</b>  | <b>64</b> |
| • <b>Análisis Granulométrico .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>Tabla 6.....</b>  | <b>65</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tabla 7.</b> .....   | <b>66</b>  |
| • <b>Ensayo de Proctor Modificado Calicata N°1:</b> .....   | <b>66</b>  |
| <b>Tabla 8.</b> .....   | <b>67</b>  |
| <b>Calicata N°2:</b> .....  | <b>68</b>  |
| <b>Tabla 9.</b> .....   | <b>68</b>  |
| • <b>Valor de soporte de califonia (CBR)</b> .....  | <b>70</b>  |
| <b>Tabla 10.</b> .....  | <b>70</b>  |
| <b>Tabla 11.</b> .....  | <b>73</b>  |
| • <b>Determinación del contenido óptimo de cloruro de calcio y valor de soporte califonia (CBR)</b><br><b>75</b>        |            |
| • <b>CBR: 6.12%</b> .....   | <b>75</b>  |
| <b>3.5 Ejecución de obra de Mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio.</b> .....                           | <b>77</b>  |
| <b>Movimiento de tierra.</b> .....  | <b>78</b>  |
| <b>Colocación del nuevo material afirmado.</b> .....  | <b>79</b>  |
| <b>Aplicación del Cloruro de Calcio.</b> .....  | <b>80</b>  |
| <b>Compactación.</b> .....  | <b>80</b>  |
| <b>Tabla 12.</b> .....  | <b>82</b>  |
| <b>Curva de penetración a los 12 golpes</b> .....   | <b>83</b>  |
| <b>Resultado de la Curva de penetración a los 25 golpes.</b> .....  | <b>84</b>  |
| <b>Resultado de la Curva de penetración a los 56 golpes.</b> .....  | <b>85</b>  |
| <b>Ensayo Proctor Modificado</b> .....  | <b>86</b>  |
| <b>Tabla 13.</b> .....  | <b>86</b>  |
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS</b> .....  | <b>89</b>  |
| <b>4.1 Análisis Descriptivo – Propiedades físicas de los suelos estabilizados.</b> .....                                | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 14.</b> .....  | <b>90</b>  |
| <b>Tabla 15.</b> .....  | <b>90</b>  |
| <b>Tabla 16.</b> .....  | <b>91</b>  |
| <b>4.2 Cálculo de la cantidad de cloruro de calcio a usarse.</b> .....  | <b>92</b>  |
| <b>Tabla 17.</b> .....  | <b>92</b>  |
| <b>4.3 Resultado, evaluación y verificación de la estabilización del suelo por aplicación del cloruro de calcio.</b> 93 |            |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES</b> .....   | <b>95</b>  |
| <b>Tabla 18.</b> .....  | <b>95</b>  |
| <b>Tabla 19.</b> .....  | <b>97</b>  |
| <b>CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES</b> .....   | <b>98</b>  |
| <b>REFERENCIAS</b> .....  | <b>100</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANEXO B. CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS.....</b> | <b>108</b> |
| <b>ANEXO D. PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>          | <b>124</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Límite de tamaño de suelos separados.....  | 30 |
| Tabla 2. Contenido de Humedad perteneciente a la calicata 1. ....                               | 61 |
| Tabla 3. Contenido de Humedad perteneciente a la calicata 2. ....                               | 62 |
| Tabla 4. Límite líquido y Límite plástico Calicata 1. ....                                      | 63 |
| Tabla 5. Límite líquido y Límite plástico Calicata 2 .....                                      | 64 |
| Tabla 6. Tamizado de la muestra de la calicata N 1. ....  | 65 |
| Tabla 7. Tamizado de la muestra de la calicata N 2. ....  | 66 |
| Tabla 8. Ensayo de Proctor Modificado de la calicata N 1.....                                   | 67 |
| Tabla 9. Ensayo de Proctor Modificado de la calicata N 2.....                                   | 68 |
| Tabla 10. Cuadros de densidades de las muestras, calicata N°1.....                              | 70 |
| Tabla 11. Cuadro de densidades de las muestras, calicata N°2. ....                              | 73 |
| Tabla 12. Límite líquido y Límite plástico Calicata 1 con CaCl <sub>2</sub> al 5% .....         | 82 |
| Tabla 13. Cuadro de densidades de las muestras con 5% de cloruro de calcio. ....                | 86 |
| Tabla 14. Cuadro comparativo del suelo sin aditivo y el suelo con 5% de CaCl <sub>2</sub> ..... | 90 |
| Tabla 15. Cuadro de resumen de varianza de un factor. ....                                      | 90 |
| Tabla 16. Cuadro de análisis de varianza ANOVA .....  | 91 |
| Tabla 17. Presupuesto de aplicación de cloruro de calcio. ....                                  | 92 |
| Tabla 18. Resultado de clasificación de suelos mediante SUCS .....                              | 95 |
| Tabla 19. Presupuesto de aplicación de cloruro de calcio .....                                  | 97 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Sub Negocios de la empresa .....  | 11 |
| Figura 2.. Matriz FODA.....   | 13 |
| Figura 3. Análisis FODA .....   | 14 |
| Figura 5. Proyecto Construcción de Vestuarios para el personal de la planta Santa Elena.        | 15 |
| Figura 4. Proyecto losa de concreto para Estacionamiento de Vehículos pesados.....              | 15 |
| Figura 7. Proyecto y Ejecución de mejoramiento de camino con afirmado y CaCl <sub>2</sub> ..... | 15 |
| Figura 6. Proyecto y Ejecución de obra: Almacén de residuos Peligrosos.....                     | 15 |
| Figura 8. Vías terrestres en el Perú. ....  | 23 |
| Figura 9. Capas por niveles de la subrasante del suelo.....                                     | 31 |
| Figura 10. Superficie de carretera afirmada con presencia de baches y en mal estado. ....       | 33 |
| Figura 11. Variaciones en la densidad máxima Proctor y humedad óptima.....                      | 35 |
| Figura 12. Valores de CBR obtenidos con el mismo suelo, tratado con cloruro de calcio.          | 36 |
| Figura13. Corrección de origen físico del Ensayo CBR in situ.....                               | 37 |
| Figura14. Calicata para estudio de mecánica de suelos. ....                                     | 38 |
| Figura15. Carta de plasticidad – AASTHO .....   | 42 |
| Figura 16. Personal de la Empresa Constructora Wilman Carlos Rafael Robles. ....                | 48 |
| Figura 17. Construcción de Pisos Industriales para maquinarias pesadas. ....                    | 49 |
| Figura 18. Construcción de Losas de concreto armado en Planta de producción.....                | 49 |
| Figura 19. Construcción de Losas para almacén de residuos.....                                  | 50 |
| Figura 20. Construcción de concreto armado para Descarga de Jabas. ....                         | 50 |
| Figura 21. Construcción Almacén de insumos con cobertura metálica y paneles TR4.....            | 51 |
| Figura 22. Construcción de veredas.....   | 51 |
| Figura 23. Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 1). ....           | 52 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 24. Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 2). .....            | 52 |
| Figura 25. Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 3). .....            | 53 |
| Figura 26. Construcción de Losas de concreto y sistema de canaletas .....                         | 54 |
| Figura 27. Construcción de sistema de canaletas de concreto armado. ....                          | 54 |
| Figura 28. Suelo en mal estado por el flujo de camiones de carga .....                            | 55 |
| Figura 29. Salud, seguridad y medio ambiente .....  | 57 |
| Figura 30. Ubicación del Proyecto (Imagen Satelital de la Planta Santa Elena). ....               | 58 |
| Figura 31. Sectores dentro de la Planta Santa Elena a realizar el Mejoramiento de Suelo. ....     | 59 |
| Figura 32. Ilustración Calicata N°1; Calicata N°2.....  | 59 |
| Figura 33. Calicata #1 en la Planta Santa Elena – Chancay .....                                   | 60 |
| Figura 34. Calicata #2 en la Planta Santa Elena – Chancay .....                                   | 60 |
| Figura 35. Curva de compactación; Calicata N°1.....   | 68 |
| Figura 36. Curva de compactación; Calicata N°2.....   | 69 |
| Figura 37. Curva de compactación y curva %CBR – Calicata N°1.....                                 | 72 |
| Figura 38. Curva de compactación y curva %CBR – Calicata N°2.....                                 | 74 |
| Figura 39. Toma de datos topográficos.....  | 77 |
| Figura 40. Cargador Frontal y Motoniveladora realizando escarificación y corte .....              | 78 |
| Figura 41. Compactación y nivelación de la sub rasante.....                                       | 78 |
| Figura 42. Material de préstamo a tender. ....  | 79 |
| Figura 43. Motoniveladora y cargador frontal tendiendo el afirmado. ....                          | 79 |
| Figura 44. Aplicación del cloruro de Calcio. ....   | 80 |
| Figura 45. Rodillo compactador de 10 Toneladas. ....  | 80 |
| Figura 46. Resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y CaCl <sub>2</sub> . (Parte 1).....  | 81 |
| Figura 47. Resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y CaCl <sub>2</sub> (Parte 2).....    | 81 |
| Figura 48. Calicata al resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y CaCl <sub>2</sub> ..... | 82 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 49. Curva de penetración a los 12 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98 ....     | 83 |
| Figura 50. Curva de penetración a los 25 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98 ....     | 84 |
| Figura 51. Curva de penetración a los 56 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98 ....     | 85 |
| Figura 52. Curva de compactación y curva %CBR con 5% CaCl <sub>2</sub> .....          | 88 |
| Figura 53. Resultado final del CBR entre las muestras antes y después de Obra.....    | 93 |
| Figura 54. Resultado final del mejoramiento de suelo en la Planta Santa Elena.....    | 94 |
| Figura 55. Foto comparativa de la zona antes y después del mejoramiento de suelo..... | 94 |
| Figura 56. Cuadro de clasificación de suelos según Índice de Plasticidad .....        | 95 |
| Figura 57. Cuadro de clasificación de suelo según su %CBR.....                        | 96 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| ANEXO A. Instrumentos Resultados.....               | 102 |
| ANEXO B. Calibración de Instrumentos.....           | 108 |
| ANEXO C Autorización de trabajo de la empresa ..... | 120 |
| ANEXO D Panel Fotográfico .....                     | 124 |

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción de la empresa

Consultora y Constructora Wilman Carlos Rafael Robles es una empresa constructora de infraestructura civil laborando tanto en los sectores públicos como privados.

Con una gestión óptima y eficiente viene desarrollando durante muchos años obras civiles de muy alta calidad y eficiencia.

Dentro de la unidad de negocios del sector construcción abarcan:

| Infraestructuras Viales       | Obras Civiles         |
|-------------------------------|-----------------------|
| Construcción de carreteras    | Plantas de producción |
| Rehabilitación y mejoramiento | Viviendas             |
| Conservación y mantenimiento  | Estacionamientos      |
| Movimiento de tierras         | Plantas Industriales  |

Figura 1. Sub Negocios de la empresa

Consultora y Constructora Wilman Carlos Rafael Robles viene ejecutando varios proyectos y obras de construcción Civil, dentro de los más destacados tenemos:

- Mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio, Planta Santa Elena, distrito de Chancay – Huaral.
- Elaboración y ejecución del proyecto de Cámaras de Frío, Planta Santa Elena, distrito de Chancay – Huaral.
- Mantenimiento de las vías de acceso al circuito turístico norte de la Reserva Nacional de Paracas.
- Acondicionamiento de la Dirección de promoción y protección de los
- derechos fundamentales y de las seguridad y salud del trabajo, Ministerio

de Trabajo y Promoción del Empleo, distrito de Jesús María – Lima.

- Construcción de la Sala de Rayos X del Hospital Santa Rosa, distrito de Pueblo Libre – Lima.
- Elaboración y ejecución del proyecto: Almacén y depósito de residuos peligrosos, Planta Santa Elena, distrito de Chancay – Huaral.
- Elaboración y ejecución del proyecto del área de Estacionamiento para camiones, Planta Santa Elena, distrito de Chancay -Huaral
- Elaboración y ejecución del proyecto Cerco Perimétrico de la Planta incubadora Santa Elena, Chincha – Ica.

## 1.2. Misión

Elaborar y ejecutar proyectos de ingeniería civil cumpliendo con los objetivos de nuestros clientes comprometiéndonos a mantener nuestra calidad, puntualidad, seguridad y optimización en nuestros trabajos.

## 1.3. Visión

Ser reconocida como una de las mejores empresas constructoras líderes a nivel nacional.

## 1.4. Valores

**Integridad:** Profesionales con ética, seriedad y confiabilidad.

**Desarrollo Integral:** Comprometidos con todos los proyectos, la seguridad y garantía en nuestras obras.

**Excelencia:** Innovación y optimización constante para una mejor calidad en los trabajos realizados.

**Sostenibilidad:** Responsabilidad con nuestros recursos naturales cuidando al medio ambiente y a las comunidades en donde se ejecutan las obras.

### 1.5. Análisis del entorno mediante la aplicación FODA de la empresa WILMAN

#### CARLOS RAFAEL ROBLES

El término FODA es una sigla compuesta de las primeras letras de las palabras Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. Entre las cuatro variables, tanto fortalezas como debilidades son internas de la empresa, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas.

En cambio, las oportunidades y las amenazas son externas, por lo que en general resulta muy difícil poder modificarlas, este modelo fue desarrollado por Michael Porter (1995).

| MATRIZ DOFA                          |               |             |
|--------------------------------------|---------------|-------------|
|                                      | Positivos     | Negativos   |
| Internos<br>(factores de la empresa) | FORTALEZAS    | DEBILIDADES |
| Externos<br>(factores del ambiente)  | OPORTUNIDADES | AMENAZAS    |

Figura 2.. Matriz FODA

| <b>FORTALEZAS</b>  | <b>OPORTUNIDADES</b>   |
|--|--|
| 1. La empresa siempre se compromete y cumple a tiempo con los contratos.       | 1. Apoyo del gobierno a través de Programas para las Pequeñas y medianas Empresas. |
| 2. Equipos y Herramientas en un buen estado para una óptima ejecución de obra. | 2. Accesibilidad a créditos bancarios.   |
| 3. Innovación en los trabajos.   | 3. Crecimiento del empleo en el País.  |
| 4. La empresa cuenta con un excelente ambiente laboral.                        | 4. Proyectos del Gobierno Regional y Locales (Licitaciones abiertas).              |
| 5. Inducción y capacitación constante a todo el personal de la empresa.        | 5. Crecimiento económico del País.   |
| <b>DEBILIDADES</b>   | <b>AMENAZAS</b>  |
| 1. La capacidad logística no abarca para algunas provincias.                   | 1. Existe la desleal competencia en las licitaciones.                              |
| 2. Poca publicad empresarial.  | 2. Incremento y costos inestables de la materia prima para obras.                  |
| 3. Errores en procesos administrativos.  | 3. Mal manejo de autoridades gubernamentales en el país.                           |

Figura 3. Análisis FODA

## 1.6. Alcance de los trabajos y ejecución de proyectos de la empresa WILMAN CARLOS

### RAFAEL ROBLES

Constructora Wilman Carlos Rafael Robles realiza servicios de consultoría, elaboración y ejecución de proyectos de obras civiles. En el 2019 realizó diversas obras de gran importancia para la empresa avícola del GRUPO SANTA ELENA, aquí se ejecuta obras de mejoramiento de suelos, laboratorios, cámaras de frío, estacionamientos, losas de concreto con sistemas de drenaje; todas estas obras benefician a la Planta avícola y a la comunidad local para un mejor desarrollo económico.



*Figura 4.* Proyecto y Ejecución de losa de concreto para Estacionamiento de Vehículos pesados. Planta Santa Elena.



*Figura 5.* Proyecto y Ejecución de la obra: Construcción de Vestuarios para el personal de la planta Santa Elena.

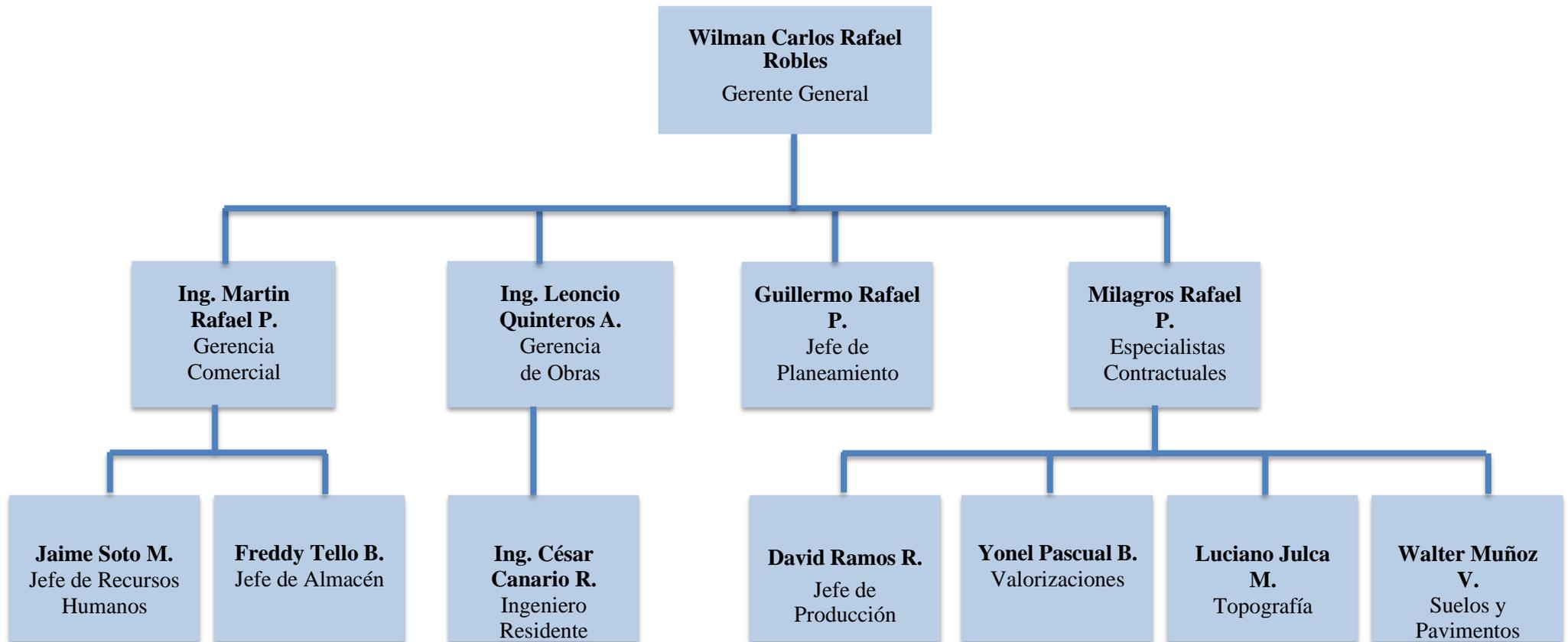


*Figura 6.* Proyecto y Ejecución de obra: Almacén de residuos Peligrosos en Planta Santa Elena.



*Figura 7.* Proyecto y Ejecución de mejoramiento de camino con afirmado y cloruro de calcio – Planta Santa Elena.

### 1.7. Organigrama de la empresa WILMAN CARLOS RAFAEL ROBLES.



## **1.8. Antecedentes.**

### **1.8.1. Antecedentes Internacionales**

Según (Parra, M., 2018) en su Tesis “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante”. Universidad Católica de Colombia. Nos presenta este trabajo evaluando en laboratorio la resistencia mecánica bajo cargas monotónicas a tracción y a compresión de varios cuerpos de prueba de Caolín, mediante adiciones de cal y ceniza volante teniendo como base el ensayo proctor estándar.

Siento el objetivo general de esta tesis el realizar la estabilización química de un suelo, mediante la adición de cal y ceniza en diferentes porcentajes para determinar la dosificación óptima de estabilizante por medio de la resistencia a la compresión y a la tracción.

Dando como conclusión mediante el análisis de los ensayos de compresión y tracción fue posible plantear comparaciones con los dos materiales estabilizantes, en donde se pudo observar que independientemente del porcentaje de adición de cal viva, fue notorio el aumento de la resistencia en dichos cuerpos de prueba, lo que permite ratificar la versatilidad de este material en la estabilización de tipo química en los suelos con altos contenidos de arcilla.

Según (Morales, E., 2019) en su publicación, “Estudio del comportamiento de una carpeta de rodado estabilizada con cloruro de calcio”, Artículo del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica del Norte – Chile. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de un camino al que se le aplica cloruro de calcio  $\text{CaCl}_2$  como agente estabilizador, comparando resultados con la Bischofita que normalmente se aplica en la zona Norte de Chile como agente estabilizador en caminos no pavimentados.

Su metodología de trabajo tuvo dos etapas, laboratorio y terreno pudiendo determinar así mejores resultados en la investigación. Obteniendo como resultados y conclusiones que la

calidad final de la superficie depende de la construcción, en particular, de la adecuada homogeneización del suelo con el producto y de la terminación superficial de la capa de rodadura.

Que, bajo condiciones de clima árido, baja humedad relativa, y un tránsito de 500 veh/día (30% tránsito pesado), el camino estabilizado con  $\text{CaCl}_2$  proyecta una duración sin mantenciones de 10 a 11 meses, con reparaciones completas cada 4 años, mientras que el camino estabilizado con Bischofita proyecta una duración sin mantenciones de 8 a 9 meses, con reparaciones completas cada 3 años. Y que la capacidad de soporte del suelo mejora con la adición de cloruro de calcio. Estos valores se incrementaron a medida que el proceso de curado del suelo se fue completando, en mayor medida con la adición de un 1% de esta sal.

### **1.8.2 Antecedentes Nacionales**

Según (Pacheco, Y., 2019) en su tesis “Aplicación del cloruro de calcio con material afirmado para mejorar la estabilización de la base en carreteras no pavimentadas.” Tesis de ingeniería Civil - Universidad César Vallejo.

Esta investigación se justifica en buscar nuevas aplicaciones y opciones para mejorar la estabilización de bases y mejora de suelos inestables en carreteras no pavimentadas.

Siendo el objetivo principal de este estudio el aplicar el cloruro de calcio con material afirmado para mejorar la estabilización de la base en carreteras no pavimentadas.

Tomando como población las Canteras de la Región Lambayeque y como muestra las canteras Tres Tomas (Mesones Muro) y La Victoria (Pátapo).

Esta investigación acorde a los resultados obtenidos de la elaboración de ensayos de CBR, se llega a concluir que el uso de 10% de cloruro de calcio, se logró incrementar en capacidad soporte CBR en la cantera Tres Tomas de 58.80% a 73.00% y la cantera La Victoria de 48.20% a 74.15%, siendo ese porcentaje apropiado para estabilizar y dando como

recomendaciones el realizar aplicación de los aditivos en condiciones secas para evitar el exceso de agua en el proceso constructivo.

Según (Ponce, D., 2018) en su tesis “Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha – Puyhuan Grande - Huancavelica” tesis en ingeniería Universidad Nacional de Huancavelica – Perú.

Aquí se menciona y se investiga cuál será la influencia del cloruro de calcio para la estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha – Puhuan Grande Huancavelica. Teniendo como objetivos específicos determinar la influencia de cloruro de calcio para incrementar el CBR de suelos arcillosos y determinar la influencia del cloruro de calcio en las propiedades físicas del suelo arcilloso de la avenida Ccoripaccha – Puyhuan Grande – Huancavelica.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la ejecución del presente proyecto de investigación se llega a concluir que el uso del cloruro de calcio no influye significativamente en la estabilización de suelos arcillosos por el bajo nivel de incremento de CBR obtenido en los ensayos de laboratorio.

En cuanto a la evaluación de costos, se determina que no es factible el uso de este aditivo por la ubicación geográfica donde se realizó la investigación, en vista que la obtención de material de préstamo, se encuentra cercana al área de investigación.

Dando como recomendación principal que para estabilizar a estabilizar la subrasante de suelos arcillosos, con el uso del cloruro de calcio se necesita utilizar 5% de  $\text{CaCl}_2$  en función del peso del suelo a estabilizar.

Según (Aguilar, G., 2013) en su tesis “Evaluación del uso de cloruro de calcio en la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas en el tramo Llochegua – Periavente

Alta, Provincia de Huanta” tesis en ingeniería Química Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho – Perú.

El objetivo de esta investigación viene a ser la evaluación del comportamiento y los efectos producidos por la adición del cloruro de calcio en la estabilización de los suelos empleados en las carreteras de la selva de nuestra región. Como objetivos específicos evalúa las densidades y la resistencia mecánica de suelos a distintas proporciones de cloruro de calcio, asimismo determina la dosificación óptima y también evalúa si el tipo de suelos de las canteras disponibles son aptas para ser usadas.

La metodología empleada en esta tesis fue descriptiva y el diseño de investigación es experimental para lo cual se necesitaron realizar distintas pruebas exigidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones basadas en las normas ASTM.

El estudio del comportamiento del cloruro de calcio en la estabilización demostró ser efectiva para ser usado en carreteras no pavimentadas, porque produce un aumento en la capacidad de soporte del material afirmado y actúa como agente mitigador de las emisiones de polvo al flocular las partículas finas. Como recomendación principal se debe realizar un tramo de prueba antes de la construcción definitiva, siendo el propósito de dicho tramo el analizar la futura efectividad de la estabilización y realizar correcciones necesarias.

### **1.8.3 Antecedentes Locales**

(Moale, A., 2019) en su tesis “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica” Tesis de ingeniería civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima – Perú.

Esta investigación se enfoca en estudiar el procedimiento de la estabilización de suelos arcillosos con cal, de esta manera determinar un óptimo contenido estabilizante para que

asegure un incremento significativo en la capacidad de soporte de la subrasante en pavimentos flexibles, todo esto teniendo como la Cal de agente estabilizante.

Siendo su objetivo principal mejorar la capacidad de soporte de la subrasante, lográndolo a través de la estabilización química del suelo en estudio con la cantidad ideal de Cal.

La investigación estudió las propiedades físicas y se comprobó que con una adición del 15% de Cal al suelo natural, el CBR aumentó en un 78,8%, esto significa que el nuevo valor de CBR al 95% de la máxima densidad seca para el suelo estudiado fue de 5.9%. En estudios antes realizados la máxima densidad seca disminuye conforme se incrementa los porcentajes de cal, pero en este estudio esta aumentó. Todo esto debido a que la gravedad específica de la cal usada fue mayor a la del suelo.

Por lo tanto, nos recomiendan que ante la condición de un suelo parcialmente saturado se debe tomar las muestras en épocas oportunas, siendo las menos favorables para este estudio las épocas de lluvia puesto que las arcillas tienen a expandirse.

Según (Gutiérrez, C., 2012) en su tesis “Estabilización Química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio” Tesis de ingeniería civil. Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú.

Esta investigación es muy importante porque nos da a conocer las ventajas técnicas, económicas ambientales de los productos químicos que funcionan como estabilizadores, de esta manera estableciendo líneas de acción a seguir al momento de optar por una u otra alternativa de estabilización en una carretera no pavimentada en la costa del Perú.

Se comprobó en los diversos ensayos de laboratorio de esta investigación que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado es una sal muy Higroscópica (H.R.= 32%) por lo cual funcionaría muy bien en regiones con climas secos; Por consiguiente, no es viable para la costa peruana.

(H.R. Mínima Promedio = 68%) ya que se sobrehidrató el suelo convirtiéndolo en muy resbaladizo.

Y que el Cloruro de Calcio con su H.R.=42% se adecua mejor a las condiciones climáticas del Perú. Además, que para el Cloruro de Magnesio se necesitan altas cantidades para tener altas concentraciones (28%) que a comparación del cloruro de calcio no sucede así (40%).

Según (Figuroa, R., 2019) en su tesis “Mejoramiento con cloruro de Calcio para la estabilización de capas granulares en el Malecón Huaycoloro – Distrito de Lurigancho – Lima - Perú” Tesis de ingeniería civil. Universidad Ricardo Palma.

Este estudio realizó la evaluación y análisis del trabajo del estabilizante químico denominado “cloruro del calcio” en la base granular de la vía metropolitana Malecón de Huaycoloro, por medio de ensayos in situ y de laboratorio, también se realizó el cálculo del diseño por el método AASHTO 93; pero principalmente se hizo énfasis en la necesidad que tiene esa vía no pavimentada. De esta manera con el cloruro de calcio se alcanzó objetivos planteados y se dio una solución factible para la transitabilidad de la zona.

El objetivo principal de esta tesis fue el de mejorar las características del Malecón Huaycoloro con el fin de optimizar el desempeño del pavimento, que se encuentra en la quebrada Huaycoloro, provincia de Lima, mediante el empleo del estabilizante químico cloruro de calcio. Se evaluó y comparó las características de la base sin estabilizar y de la base estabilizada con cloruro de calcio en el Malecón Huaycoloro.

Se determinó que el cloruro de calcio ayudó a absorber su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, esto hace de esta sal un producto muy eficaz como mitigador del polvo. Esta ejecución del proyecto benefició directamente a las Asociaciones “La Floruida” y “El Ayullu”, los comercios e industrias ubicadas cerca del malecón Huaycoloro, así mismo generando el desarrollo social y económico dando una vida útil al suelo,

proporcionándole una mayor capacidad portante frente a factores como el clima y al peso de los vehículos pesados que pasan por ese sector.

## 1.9 Realidad problemática

### Realidad problemática desde un enfoque nacional

En el Perú se incrementan todos los años las vías terrestres (Figura), en consecuencia, es de suma importancia el correcto trabajo de proyectos viales. Para esto, es necesario un óptimo estudio y estabilización de suelos.

| RED VIAL DEL SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS, POR SUPERFICIE DE RODADURA EXISTENTE, 1990-2019 |                                 |         |             |               |         |           |                |               |           |           |
|--|---------------------------------|---------|-------------|---------------|---------|-----------|----------------|---------------|-----------|-----------|
| (Kilómetros)   |                                 |         |             |               |         |           |                |               |           |           |
| AÑO  | CLASIFICADOR DE RUTAS DEL SINAC | TOTAL   | PAVIMENTADO |               |         |           | NO PAVIMENTADA |               |           |           |
|  |                                 |         | Nacional    | Departamental | Vecinal | Sub-Total | Nacional       | Departamental | Vecinal   | Sub-Total |
| 1990   | D.S. Nº 062-85-TC               | 69,942  | 5,740       | 1,058         | 766     | 7,564     | 9,952          | 13,386        | 39,040    | 62,378    |
| 1991   | D.S. Nº 062-85-TC               | 69,942  | 5,635       | 1,058         | 766     | 7,459     | 10,057         | 13,386        | 39,040    | 62,483    |
| 1992   | D.S. Nº 062-85-TC               | 69,942  | 5,800       | 1,058         | 766     | 7,624     | 9,892          | 13,386        | 39,040    | 62,318    |
| 1993   | D.S. Nº 062-85-TC               | 69,942  | 5,800       | 1,058         | 766     | 7,624     | 9,892          | 13,386        | 39,040    | 62,318    |
| 1994   | D.S. Nº 062-85-TC               | 69,942  | 5,800       | 1,058         | 766     | 7,624     | 9,892          | 13,386        | 39,040    | 62,318    |
| 1995   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 73,439  | 6,477       | 1,089         | 790     | 8,356     | 10,042         | 13,242        | 41,799    | 65,083    |
| 1996   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 73,766  | 6,761       | 1,013         | 790     | 8,564     | 9,903          | 13,300        | 41,999    | 65,202    |
| 1997   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 75,807  | 7,130       | 989           | 874     | 8,993     | 9,615          | 13,441        | 43,758    | 66,814    |
| 1998   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,112  | 8,140       | 1,106         | 942     | 10,188    | 8,812          | 13,145        | 45,967    | 67,924    |
| 1999   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,127  | 8,141       | 1,106         | 942     | 10,189    | 8,826          | 13,145        | 45,967    | 67,938    |
| 2000   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,213  | 8,522       | 1,106         | 945     | 10,573    | 8,531          | 13,145        | 45,964    | 67,640    |
| 2001   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,251  | 8,693       | 1,106         | 947     | 10,745    | 8,399          | 13,145        | 45,962    | 67,506    |
| 2002   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,319  | 8,989       | 1,105         | 950     | 11,044    | 8,169          | 13,146        | 45,960    | 67,275    |
| 2003   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,397  | 7,990.0     | 1,106.3       | 942.0   | 10,038.3  | 8,867.0        | 13,144.7      | 46,347.0  | 68,358.7  |
| 2004   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,396  | 8,521.0     | 1,106.0       | 942.0   | 10,569.0  | 8,336.0        | 13,145.0      | 46,346.0  | 67,827.0  |
| 2005   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 78,506  | 8,730.9     | 1,106.0       | 942.0   | 10,778.9  | 8,126.1        | 13,145.0      | 46,456.4  | 67,727.6  |
| 2006   | D.S. Nº 09-95-MTC               | 79,506  | 8,911.0     | 1,106.0       | 942.0   | 10,959.0  | 8,946.0        | 13,145.0      | 46,456.4  | 68,547.4  |
| 2007   | D.S. Nº 034-2007/MTC            | 80,325  | 11,177.9    | 1,507.0       | 955.0   | 13,639.9  | 12,660.1       | 12,930.0      | 41,095.0  | 66,685.1  |
| 2008   | D.S. Nº 044-2008/MTC            | 81,787  | 11,370.4    | 1,478.0       | 790.0   | 13,638.4  | 12,532.5       | 18,217.0      | 37,399.0  | 68,148.5  |
| 2009   | D.S. Nº 044-2008/MTC            | 84,026  | 11,500.0    | 1,622.3       | 809.8   | 13,932.0  | 13,000.0       | 22,768.8      | 34,325.2  | 70,094.1  |
| 2010   | D.S. Nº 044-2008/MTC            | 84,245  | 12,444.9    | 1,987.6       | 880.5   | 15,313.0  | 11,150.9       | 23,786.6      | 33,994.3  | 68,931.9  |
| 2011   | D.S. Nº 036-2011/MTC            | 129,162 | 13,639.7    | 2,089.7       | 1,484.3 | 17,213.7  | 9,679.7        | 23,508.5      | 78,759.7  | 111,947.9 |
| 2012   | D.S. Nº 036-2011/MTC            | 140,672 | 14,747.7    | 2,339.7       | 1,611.1 | 18,698.6  | 9,845.7        | 21,895.4      | 90,232.7  | 121,973.8 |
| 2013   | D.S. Nº 036-2011/MTC            | 156,792 | 15,905.9    | 2,517.8       | 1,933.0 | 20,356.7  | 9,099.5        | 22,474.4      | 104,861.5 | 136,435.5 |
| 2014   | D.S. Nº 012-2013/MTC            | 165,467 | 17,411.5    | 2,429.8       | 1,924.6 | 21,765.9  | 8,377.4        | 22,582.5      | 112,740.8 | 143,700.7 |
| 2015   | D.S. Nº 012-2013/MTC            | 165,372 | 18,420.1    | 3,459.0       | 1,890.1 | 23,769.2  | 8,016.0        | 20,828.4      | 112,758.3 | 141,602.7 |
| 2016   | D.S. Nº 011-2016/MTC            | 165,905 | 19,682.4    | 3,695.7       | 1,915.0 | 25,293.2  | 7,000.9        | 21,608.2      | 112,002.5 | 140,611.7 |
| 2017   | D.S. Nº 011-2016/MTC            | 166,765 | 20,367.5    | 3,714.1       | 1,883.9 | 25,965.5  | 6,424.4        | 23,766.9      | 110,608.3 | 140,799.6 |
| 2018   | D.S. Nº 011-2016/MTC            | 168,473 | 21,434.0    | 3,623.1       | 1,858.9 | 26,916.0  | 5,675.6        | 23,882.5      | 111,999.0 | 141,557.1 |
| 2019 <sup>a</sup>  | D.S. Nº 011-2016/MTC            | 168,954 | 22,172.5    | 4,261.3       | 2,335.8 | 28,769.6  | 4,881.2        | 23,378.3      | 111,924.7 | 140,184.2 |

a/. Incorpora la red vecinal no registrada, en proceso de clasificación al SINAC. Incluye la actualización del inventario vial vecinal en 03 departamentos: Piura, Huánuco y Cusco.  
En el periodo 2010 -2013 se desarrollan los procesos de actualización de datos con los inventarios viales. El año 2010 se actualizó el Inventario Vial Básico de la Red Vial Nacional, el año 2012 actualizó el Inventario Vial Básico para la Red Vial Departamental en 14 departamentos y el año 2013 para los 10 departamentos restantes.  
**Fuente:** MTC - Grupo Técnico de Trabajo (DGPPT,PVN,PVD y OGPP) desde el 2012 , mediante R.M N°232-2012/MTC  
**Elaboración:** MTC - OGPP - Oficina de Estadística

Figura 8. Vías terrestres en el Perú.

Fuente: Adaptado del MTC / 29 de mayo del 2020.

La inversión y los costos de los proyectos para la infraestructura vial en las zonas más apartadas del país es vital porque permitirá facilitar el intercambio entre las regiones y el desarrollo del comercio al unir los mercados con los centros de producción y demanda de consumo. Para analizar esta problemática es necesario mencionar las causas de la normativa peruana bajo cuyos lineamientos se llevan a cabo los proyectos viales en el Perú (Gestión, 2016, p.15).

No obstante, el hecho de contar con el presupuesto para la mejora de una carretera no pavimentada significa que se deba usar un método de estabilización con un químico sin antes haber hecho estudios y ensayos previos.

En el departamento de Piura se aplicó el cloruro a las carreteras no pavimentadas como una solución ante el problema de polvo y suelo en estado crítico.

(Artículo RPP Noticias -2017) Este reportaje nos dio a conocer que al aplicarse cloruro de calcio en los caminos no pavimentados en Piura, distrito de Castilla tuvo como consecuencias negativas muchos accidentes ya que no se realizó un estudio y ensayo previo de los suelos. Tras los cuestionamientos que esta solución (Cloruro de Calcio) haría resbalar las llantas de los vehículos, el funcionario regional indicó que pararía la obra de mejoramiento de camino.

### **Realidad problemática desde un enfoque local**

Es de suma importancia poder complementar el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional con la siguiente información local que nos indica:

(Cahuana Cabanillas, F, (2016), p. 05) Un claro ejemplo de zonas apartadas en el país es la situación problemática actual de los caminos vecinales no pavimentados a nivel de afirmado del distrito de Barranca, es muy crítica. Siendo así que desde el año 2012 en que se realizaron las rehabilitaciones de dichos caminos vecinales, no ha habido ningún tipo de mantenimiento

periódico de los mismos, existiendo un gran deterioro en la superficie de rodadura a nivel de afirmado. Asimismo, dichos caminos solo han tenido mantenimientos manuales a través del Instituto Vial Provincial de Barranca, siendo que dichos mantenimientos rutinarios manuales no son suficientes para la buena conservación de la superficie de rodadura, debido al gran desgaste de la misma y dichos mantenimientos rutinarios manuales solo contemplan bacheos en zonas críticas, ocasionando de esta manera la incomodidad durante el viaje en la mayorías de la trayectoria de los caminos vecinales, emisión de gran cantidad de polvo, mayor desgaste de los vehículos que transitan por dichos caminos vecinales y el maltrato de los productos agrícolas que se transportan, siendo muchos de ellos para exportación, generando pérdidas económicas. Por lo que se necesita estabilizadores de suelos para prolongar la vida útil de dichas vías, pudiendo tener acceso de manera gratuita al Cloruro de Calcio y la Melaza de caña, los cuales el Instituto Vial provincial a través de la municipalidad Provincial de Barranca, puede recibir como donación de las empresas Quimpac S.A. y Agro Industrial Paramonga s.a.a. (AIPSAA).

Esto nos demuestra un claro ejemplo de cómo lugares no tan apartados de la capital de Lima cuentan aún con caminos no pavimentados en estados críticos, hoy en día existiendo muchos métodos con insumos químicos para poder dar estabilidad al suelo no pavimentado, más aún si muestra un impacto ambiental negativo en un área llena de habitantes como lo es la provincia de Barranca.

### **Realidad problemática desde un enfoque internacional**

(Gómez de Santos, C., 2019) En su tesis Doctoral: “Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas” Nos hace saber de su trabajo y estudio experimental de las propiedades ingenieriles de suelos arcillosos expansivos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas y a la viabilidad del uso de materiales

granulares (arenas) como aditivo para la mejora de estas propiedades. Este suelo investigado procede de la formación Arcillas Azules del Guadalquivir, Andalucía - España.

Estos suelos serían clasificados como marginales-inadecuados para su puesta en obra por su elevada plasticidad y expansividad. En la mayoría de los trabajos ingenieriles, para la mejora de las propiedades geotécnicas problemáticas, es recomendable el uso de cal o aditivos químicos basados en las reacciones rápidas de intercambios iónicos y en las reacciones lentas puzolánicas cal-suelo. No obstante, su efectividad para algunos tipos de arcillas está limitada a la reducción del límite líquido y con ello del límite plástico, siendo insignificante para suelos arcillosos ricos en calcio debido a la baja interacción de la arcilla con estos aditivos.

Se ha descrito que el uso de material granular mejora las propiedades geotécnicas de las AAG siendo una alternativa válida para su uso en obra civil para la construcción de presas de materiales sueltos y terraplenes, entre otros. Este material inerte proporciona una opción medioambiental excelente frente al uso de aditivos químicos como método de estabilización, además de minimizar su coste económico. Por este motivo, el principal objetivo de la investigación fue compactar las AAG sin mezcla de material granular, y en segundo lugar compactar y estabilizar las AAG con diferentes proporciones de una arena silíceo bien graduada.

Con esto Observamos que los suelos fuera del País forman las mismas irregularidades, características y complejidades. Es por eso que la realidad fuera del Perú es la misma respecto a los tipos de suelos y tratamientos para estabilización que se pueda plantear de acuerdo a ensayos y estudios previos.

## **1.10 Formulación del problema**

### **1.10.1 Problema general**

¿De qué manera la aplicación del cloruro de calcio como agente estabilizador mejorará el suelo dentro de la Planta Santa Elena – Chancay Huaral?

### **1.10.2 Problemas específicos**

a) ¿De qué manera influye en las propiedades físicas y mecánicas del material afirmado el uso de cloruro de calcio en el suelo de la Planta Santa Elena Chancay –Huaral?

b) ¿Cuál es la dosificación adecuada del cloruro de calcio como agente estabilizador en los suelos de la Planta Santa Elena Chancay –Huaral?

c) ¿En qué medida se puede evaluar la estabilización del suelo por la aplicación del cloruro de calcio en el afirmado dentro de la Planta Santa Elena Chancay -Huaral?

## **1.11 Justificación**

Debido a la inestabilidad del suelo y el polvo constante que genera el pase de vehículos pesados dentro de la Planta Santa Elena se busca nuevas alternativas y aplicaciones para mejorar la estabilización de este. De tal manera justificamos esta investigación contribuyendo y aportando ensayos a los ingenieros y estudiantes de ingeniería civil o estudios afines para que puedan experimentar nuevas alternativas de solución ante este tipo de suelos.

De la misma manera se justifica este trabajo económicamente, reduciendo los altos costos que implicaría un posible trabajo de asfaltado para mejorar el tránsito dentro de la Planta Santa Elena.

Importante mencionar que este trabajo también se justifica ambientalmente porque reduce el impacto ambiental sobre los recursos naturales como son: Los recursos hídricos, la

calidad del aire, reduciendo las emisiones de polvo y condiciones de vida laboral dentro de la planta Santa Elena.

### **1.11.1 Justificación teórica**

Este trabajo de investigación parte de la aplicación de la teoría sobre el análisis de mecánica de suelos cuyo fin es de mejorar el suelo con la aplicación del cloruro de calcio y afirmado dentro de la Planta Santa Elena, este trabajo de investigación va a mejorar los problemas que existen en los diversos suelos inestables ya sea por procesos constructivos o por problemas externos como son los de geodinámica, relieve topográfico o climatología que en general alteran el sistema vial de la zona.

### **1.11.2 Justificación científica**

En esta etapa de investigación científica, el trabajo está constituido por fases a través de las cuales el investigador manipula herramientas buscando solucionar el objeto a investigar y su representación.

Para exponer esta justificación con la ciencia se desarrollan y elaboran métodos matemáticos, métodos de cálculo, teorías y fórmulas matemáticas, físicas, químicas, etc.

El fin de este trabajo de investigación nos lleva al resultado de cada ensayo de suelos que nos dará soluciones concretas a los problemas que se presentan como la inestabilidad de los suelos y la emisión de polvo dentro de la Planta Santa Elena.

### **1.11.3 Justificación metodológica**

Debido a los objetivos de este trabajo de investigación nuestro resultado de cada ensayo nos llevará a la aplicación de este método experimental a base de guías y técnicas para la evaluación correcta de la aplicación del cloruro de calcio en el afirmado para tener como resultado una estabilización del suelo dentro de la Planta Santa Elena – Chancay, Huaral.

## **1.12 Objetivos**

### **1.12.1 Objetivo general**

- Mejorar la estabilización del suelo con la aplicación del cloruro de calcio y material afirmado dentro de la Planta Santa Elena – Chancay, Huaral.

### **1.12.2 Objetivos específicos**

- Evaluar y determinar las propiedades físicas y mecánicas del material afirmado con el uso del cloruro de calcio en el suelo de la Planta Santa Elena Chancay, Huaral.
- Establecer la dosificación adecuada del cloruro de calcio en el afirmado como agente estabilizador en los suelos de la Planta Santa Elena Chancay, Huaral.
- Evaluar y verificar la estabilización del suelo por la aplicación del cloruro de calcio con el afirmado dentro de la Planta Santa Elena Chancay, Huaral.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo y elaboración de este trabajo se da a conocer la siguiente información que servirá de referencia de análisis y entendimiento para este estudio concluido.

### 2.1 Bases Teóricas

#### Suelo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan espacios vacíos entre las partículas sólidas. (Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2012)

Tamaño de partículas del suelo:

**Tabla 1.**

*Límite de tamaño de suelos separados.*

| Suelos según el tamaño. | Según AASHTO (mm) | Según SUCS (mm) |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| Grava                   | 76.2 a 2          | 76.2 a 4.75     |
| Arena                   | 2 a 0.075         | 4.75 a 0.075    |
| Limo                    | 0.075 a 0.002     | <0.075          |
| Arcilla                 | <0.002            | <0.075          |

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das



*Figura 9.* Capas por niveles de la subrasante del suelo.  
Fuente: Revista de Ingeniería de Suelos Vías Terrestres.

### **Estabilización de suelos**

La estabilización de un suelo es el procedimiento por el cual someten los suelos naturales a algún tratamiento o manipulación para de esta manera sacar ventaja de las mejores cualidades y características, obteniéndose una superficie estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Como también la corrección de las deficiencias para darle una mayor resistencia a un suelo inestable y disminuir su plasticidad. (Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)

Hay dos maneras de lograr y son las que se ven a continuación:

### **Estabilización de física de suelos**

Se emplea para mejorar el suelo ocasionando cambios físicos, es recomendable emplear la granulometría correcta, mediante la mezcla de materiales granulares y cohesivos al suelo original, que posteriormente son compactados.

Las gravas y arenas tienen alta fricción interna lo que hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable en una carretera ya que al no tener

cohesión de sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden desprender. Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. (Mateos Miguel.

Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)

### **Estabilización de química de suelos**

En las carreteras afirmadas, la estabilización de suelos busca poder utilizar suelos naturales con baja calidad de soporte, cercanas a la obra, no aptos para la construcción, para mejorarlos y hacerlos adecuados de una manera económica.

La estabilización química de suelos consiste en el empleo de sustancias químicas para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, reduciendo su plasticidad y haciéndolos más resistentes, ante la acción del tráfico y condiciones ambientales. En general el uso de aditivos químicos incrementa en los suelos la capacidad de soportar cargas sin deformación y reduce la pérdida de la capa de rodadura ocasionadas por erosión, por tráfico pesado o por lluvias fuertes. (Mateos Miguel. Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961)

Los procedimientos de estabilización química de suelos más conocidos y empleados son: suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto, con sales, polímeros, enzimas, compuestos resinosos y otros. Cada uno de estos procedimientos proporciona modificaciones diferentes a cada suelo.

### **Requisitos de la estabilización de suelos**

1. Debe ser aplicable al suelo. No todos los sistemas de estabilización se pueden aplicar a todos los tipos de suelo, los que deben ser estudiados.
2. Los efectos de la estabilización deben permanecer en el tiempo.
3. La forma de ejecución debe ser sencilla, lo que permite una correcta colocación y ayuda a disminuir los tiempos de trabajo.

4. Debe tener un costo razonable, proporcional a los beneficios.

### **Propiedades que se interesa mejorar mediante la estabilización de suelos.**

Según Mateos Miguel, en su revista Estabilización de suelos con cloruro cálcico, 1961:

- Resistencia mecánica
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Compresibilidad

### **Problemas comunes en las carreteras del Perú.**

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones), en su publicación

"Evaluación de la Aplicabilidad de estabilizadores de suelos"

- Carreteras con superficie deteriorada.
- Velocidades de circulación bajas, en promedio 20 km/h.
- Formación de excesivo polvo.
- Formación de barro en épocas de lluvia.



*Figura 10.* Superficie de carretera afirmada con presencia de baches y en mal estado.

### **Material granular en capa de afirmado.**

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y arcilla (finos). Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado es pobre. (Instituto de Construcción y Gerencia. Manual de Construcción, 2013)

El afirmado requiere un porcentaje de piedra para soportar cargas. Asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada, según tamaño, para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa y obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado.

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: Su uso como superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas o uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

Como superficie de rodadura, un afirmado sin suficientes finos está expuesto a perderse porque es inestable. En construcción de carreteras, se requiere un porcentaje limitado, pero suficiente de materiales finos y plásticos que cumplan la función de aglutinar para estabilizar la mezcla de gravas.

### **Cloruro de Calcio.**

Gutiérrez (2010, p.50) Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Su apariencia es la de un sólido de color blanquecina o en algunos casos incoloros. Se elabora mezclando caliza y ácido clorhídrico, siendo resultado de esto un compuesto versátil usado para diferentes fenómenos como es la estabilización de carreteras, su beneficio es que retiene agua en el proceso de compactación.

Para este empleo de cloruro de calcio hidratado se debe analizar los costos, incluyendo el gasto en transporte del aditivo. Ya que si el transporte es más costoso se debe de hacer un análisis económico de su empleo.

### **Estabilización con cloruro de calcio.**

Vicente M. (1998. p. 44 – 48). Efectos del cloruro cálcico en la estabilidad de las tierras, Revista Cimbra. El cloruro cálcico es una sal deliquescente. Puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores.

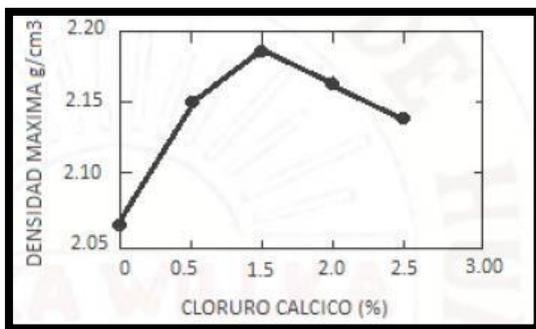


Figura 11. Variaciones en la densidad máxima Proctor y humedad óptima de un suelo bien graduado.

Pequeña porción de solución del aditivo cloruro tiene una presión de vapor mucho menor que el agua pura, por tanto, las moléculas de agua en la solución se evaporan más lentamente a diferencia de las moléculas del agua pura. Por estas propiedades se usa hoy en día el cloruro como paliativo del polvo. Esta humedad que se da al verter cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables a comparación de uno sin tratar. Y al realizarse esto da una economía importante en la conservación de suelos o caminos. Esta propiedad de retener el agua de la solución es de mucha ayuda durante el proceso de compactación. Al evaporarse el agua con mayor tiempo y dificultad, se requieren menos pasadas con la cisterna regador para mantener la humedad próxima a la óptima para el esfuerzo de compactación usado. Por ende, es de mucha ayuda y beneficia a regiones áridas, donde escasea el agua.

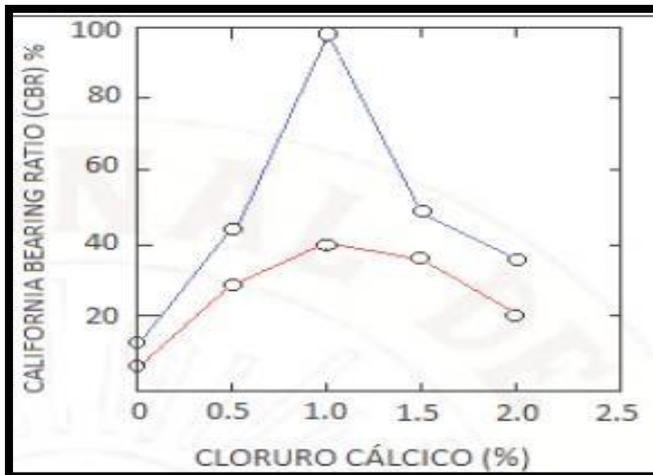


Figura 12. Valores de CBR obtenidos con el mismo suelo, tratado con cloruro de calcio.

Fuente: Vicente M. (1998)

Con la presencia del cloruro cálcico se puede lograr una densidad determinada con un número menor de pases con el equipo compactador.

El estado de floculación de las partículas de arcilla es dependiente de la concentración de sal.

En el suelo las cantidades de cloruro mayores que un 1 % modifican y altera el estado de floculación, bajando la densidad máxima para el mismo esfuerzo de compactación.

### Ensayo CBR

Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, (2013, p.39-40) Ensayos

CBR: (ensayo MTC EM 132), después que se haya clasificado los suelos por el sistema

AASHTO y SUCS, para caminos contemplados, se hará un perfil estratigráfico por sector

homogéneo o por cada tramo de estudio, a partir del cual se determinará el programa de

ensayos para establecer el CBR que no es nada más que el valor de soporte o también

llamado resistencia del suelo, que estará dado al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y

a una penetración de carga de 2.54 mm.

Para hallar el valor CBR de diseño de la subrasante, se debe de tener en cuenta lo siguiente:

a) En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.

b) En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:

1) Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.

2) Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante. Una vez definido el valor del CBR de diseño, se determina para cada sector de características homogéneas.

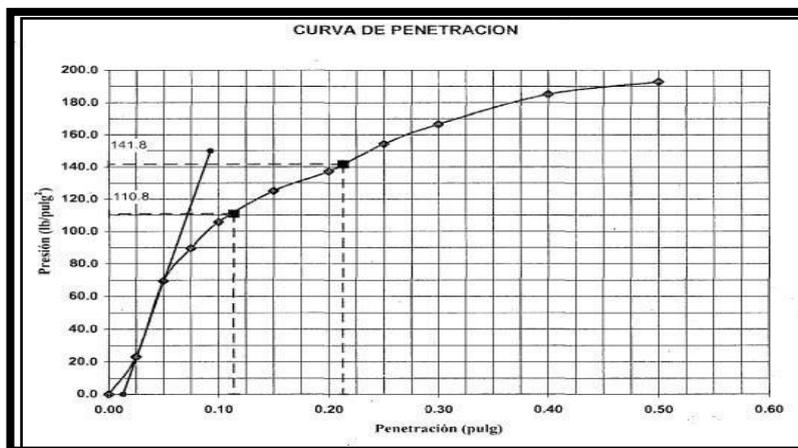


Figura 13. Corrección de origen físico del Ensayo CBR in situ.

Fuente: Tupia, C. (2001)

## **Plasticidad**

Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, (2013, p.36) La Plasticidad: es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por ende, la plasticidad del suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.

## **Carretera.**

Es una infraestructura de transporte con el propósito de permitir la circulación de vehículos de por lo menos dos ejes, que tiene características geométricas, tales como: pendiente transversal, pendiente longitudinal, superficie de rodadura, velocidades mínimas y máximas y demás elementos, todas ellas cumpliendo las especificaciones técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (MTC 2017).

## **Carretera afirmada.**

Es una carretera en donde la subrasante de la superficie de rodadura está formada de material natural selecto procesado o semiprocesado de acuerdo a su diseño (MTC 2018).

## **Calicata.**

Es la perforación que permite la inspección directa del suelo, que se desea estudiar con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo y por lo tanto es el método de exploración que entrega información más confiable y completa. (ICG, 2000).



*Figura14.* Calicata para estudio de mecánica de suelos.

## Ensayos de Laboratorio

### **Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado – Norma ASTM D422**

#### A) Descripción:

Este método fija el modo de obtener mediante el tamizado la distribución de las partículas por tamaño en cada malla, en una muestra, sirve para determinar su clasificación y según esto su uso más adecuado.

#### B) Equipos y Herramientas:

- Balanza digital de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta 110°C +- 5°C.
- Juego de tamices: 3”, 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, N° 4, N° 8, N°10, N°16, N°20, N°30, N°40, N°50, N°60, N°100, N°200, tapa y fondo de acuerdo a la norma ASTM E011.
- Bandejas metálicas
- Cuarteador mecánico
- Lona para cuarteo en campo.
- Equipo complementario: Cucharón, brocha, pico, palana, escobillas de fierro, recipientes vacíos, sacos de polietileno

#### C) Procedimiento

- Tomar la cantidad de la muestra más representativa en campo, dependiendo del tamaño máximo del suelo a ensayar de acuerdo a la Norma ASTM D75. Realizar el método del cuarteo en campo si es necesario.
- Colocar la muestra dentro de los sacos de polietileno para su traslado a laboratorio.
- Pesar la muestra con su humedad natural con una precisión de 0.1 gr.

- Colocar a secar la muestra en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  o  $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas o hasta que la muestra tenga un peso constante.
- Retirar la muestra y dejar enfriar al ambiente.
- Pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
- Lavar la muestra ejerciendo presión suave con los dedos y utilizando escobilla de fierro para liberar las partículas arcillosas adheridas a las partículas más gruesas.
- Toda el agua proveniente del lavado será colada por la malla N°200.
- Continuar con el lavado hasta que el agua sea transparente.
- Colocar a secar la muestra lavada en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm$  hasta que la muestra tenga un peso constante, incluyendo todas las partículas retenidas en la malla N° 200.
- Retirar la muestra y dejar enfriar al ambiente.
- Pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
- Colocar el juego de tamices desde el tamaño máximo del agregado hasta el tamiz N° 4 en orden descendente, colocar la tapa y fondo. Tamizar la muestra seca.
- Pesar las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- Colocar el juego desde el tamiz N° 8 hasta el tamiz N° 200 en orden descendente, colocar la tapa y fondo.
- Tamizar las partículas retenidas en el plato pasante el tamiz N° 4 del tamizado anterior. - Pesar las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- El tamizado se hará manual o mediante un equipo (tamizador eléctrico). El tamizado manual se realizará con movimientos giratorios laterales y verticales, en ningún caso se debe forzar con los dedos las partículas a pasar al tamiz siguiente, y se considerará suficiente el tamizado cuando más del 1% de la masa no pasa en un minuto al tamiz siguiente.

- Pesar las partículas retenidas en cada tamiz con una precisión de 0.1 gr.
- Registrar y procesar datos con una precisión de 0.1%.

### **Límites de ATTERBERG – Norma ASTM D4318**

#### A) Descripción:

El Límite Líquido de un suelo está definido como el contenido de agua expresado en porcentaje del peso suelo secado al horno, cuando el suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y líquidos. El contenido de agua en este límite, se define como la humedad necesaria para que el surco separador de las dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de 13mm cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1 cm. a una velocidad de dos golpes por segundo.

El Límite Plástico de un suelo está definido como el contenido de agua expresado en porcentaje del peso del suelo secado al horno, cuando en suelo se encuentra en el límite entre los estados plásticos y semisólidos. El contenido de agua en este límite, se define como el contenido más bajo de agua al cual el suelo puede ser rolando en hilos de 3.2 mm. (1/8”) y se rompe en pedazos.

#### Importante:

1. Límite líquido: contenido de humedad que hace que una ranura se cierre en 25 golpes.
2. Límite plástico: máxima humedad con la que se puede hacer un cilindro de 3 mm de diámetro.
3. Límite de encogimiento: al secar el suelo no hay pérdida de volumen, se reconoce por cambio de color. (Álvarez J. – ICPC, 2010)

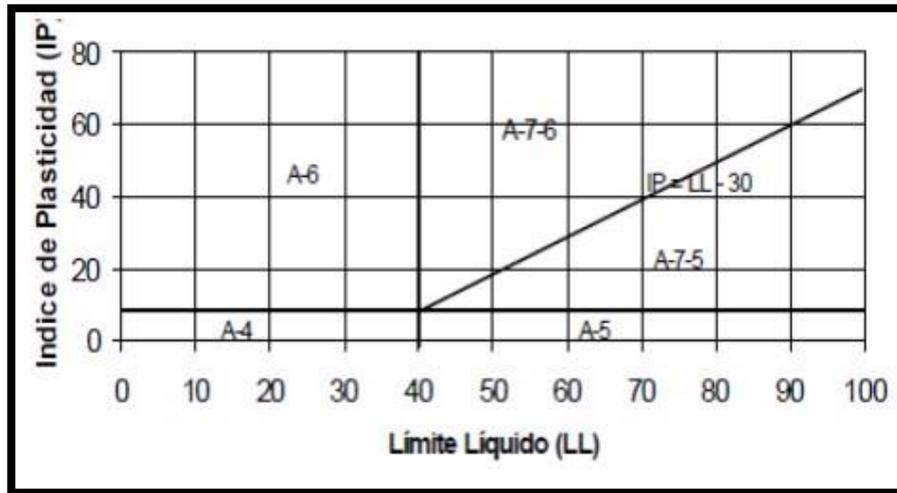


Figura15. Carta de plasticidad – AASTHO

Fuente: LMS-FIC-UNI, 2006

Este ensayo, permite conocer cualitativamente el comportamiento de un suelo en función de su humedad con lo cual se podrá trabajar un suelo de forma tal que éste sea capaz de resistir solicitaciones, deformándose sin fallar. (Hoyos, M. 2006).

#### B) Equipos y Herramientas

- Balanza digital de precisión 0.01 gr.
- Horno eléctrico de temperatura hasta 110 °C +/- 5 °C.
- Tamiz N° 40
- Para Límite Líquido: Copa de Casagrande, ranuradores, espátula.
- Para Límite Plástico: Vidrio esmerilado, espátula.
- Cápsulas de aluminio y porcelana.

#### C) Procedimiento

Para el Límite Líquido:

- El material obtenido se secará a una temperatura no mayor a 60°C o secado a temperatura ambiente según norma ASTM 4318 Sección 10.2.1.

- Cuando la muestra esté seca se tamizará por la malla N°40 y se obtendrá 200 gr. para el ensayo.
- El material se satura con agua potable en una cápsula de porcelana por un periodo mínimo de tiempo de 16 horas.
- Pasado las 16 horas se procederá al batido de material (mezclado) por un periodo de 30 minutos si es que el material es bastante arcilloso, si el material es arenoso, no necesitara de este tiempo.
- Se verificará la calibración de la Copa de Casagrande (altura de caída libre de la cazueleta), que esté de acuerdo a norma (1 cm.).
- Terminado el mezclado se procederá al ensayo del límite líquido: colocar la pasta en la cuchara de la Copa Casagrande, mezclar la muestra y pulirla utilizando la espátula. Pasar el ranurador dividiendo la pasta en dos mitades iguales.
- Dejar caer la cuchara desde una altura de 1cm a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que se cierre una distancia de 13 mm. Este proceso se repetirá para obtener los tres valores de interpolación en el gráfico Contenido de Humedad vs. N° de golpes.
- Se procederá a pesar la muestra húmeda ensayada con una precisión de 0.01 gr.
- Colocar la muestra a secar en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  por el tiempo que sea necesario, hasta obtener un peso constante.

Para el Límite Plástico:

- Se obtendrá una muestra para límite plástico de unos 20 gramos.
- Se hará perder un poco de humedad con las manos si es que la muestra está muy saturada.
- Cuando la muestra se nota aparentemente bien, se hará bolitas de unos 2 gr. cada una, luego después se procederá al rolado con los dedos sobre el vidrio esmerilado

haciendo hilos a una velocidad de 80 a 90 ciclos por minuto, este rolado se realizará hasta que el diámetro del suelo rolado tenga 1/8" de pulgada (3.2 mm.) de grosor y este se rompa en pedazos en un tiempo no mayor a 2 minutos por cada bolita ensayada.

- Se tomarán dos muestras en cápsulas de aluminio y cada una tendrá un peso como mínimo de 6 gr. de suelo húmedo, según la sección 16.1 @ 16.6 de la norma.
- Se pesará la muestra húmeda con una precisión de 0.01 gr.
- Se colocará a secar la muestra en el horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  por el tiempo que sea necesario, hasta obtener un peso constante.
- Retirar las muestras del horno: límite líquido y límite plástico, y dejar a enfriar al ambiente. Se debe de tener en cuenta de no dejar mucho tiempo en el ambiente para evitar la absorción de la humedad giroscópica.
- Pesar las muestras secas ensayadas con una precisión de 0.01 gr.
- Registrar y procesar datos con una precisión de 0.01%.

### **Límites de ATTERBERG – Norma ASTM D4318**

#### A) Descripción:

Se entiende por compactación todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un suelo. En general es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

(Montejo, F. 2001).

El Proctor Estándar y Proctor Modificado determinan la relación de densidad y humedad de un suelo en particular, aplicando un esfuerzo a través de una energía específica de compactación mediante la caída de un pisón cilíndrico de una altura de 12" y 18", dentro de un molde cilíndrico de 4" y 6" de diámetro.

B) Equipos y herramientas:

- Balanza digital de 20 Kg. con una precisión de 0.1 gr.
- Horno eléctrico capaz de mantener una temperatura hasta 110°C +- 5°C
- Molde para Proctor Modificado.

Pisón de operación manual de sección circular con un peso de 4.54 Kg. para Proctor Modificado.

- Mallas de ¾", 3/8", N° 4
- Equipo complementario: Espátulas, regla metálica, bandeja, probeta graduada de 1 litro, martillo de goma, badilejo, cucharón, bolsas plásticas, recipientes vacíos.

C) Procedimiento:

- Primero debe verificarse el análisis granulométrico para ver cuál de los métodos es aplicable.
- Dependiendo el método se procederá a tamizarse por la malla correspondiente hasta obtener un peso húmedo aproximad de 24 Kg. para Proctor estándar y 35 Kg. para Proctor Modificado.
- El material a ensayarse debe de estar por debajo del contenido óptimo de humedad. Si es necesario, secar el material al medio ambiente ó empleando un horno a una temperatura que no exceda los 60°C, hasta hacerlo manejable.
- Incrementar la cantidad de agua al material gradualmente a cada punto de 2 en 2 % hasta encontrar el contenido óptimo de humedad. En ningún caso los incrementos serán mayores al 4% según la Sección 10.2.1 de la norma ASTM D 698.
- Luego colocar el material dentro de bolsas plásticas y sellarlas.

El tiempo de saturación del material dependerá del tipo de suelo. Para este estudio será de 16h.

- Cumplido el tiempo mínimo de saturación se procederá a ensayar los especímenes.

Si se trata de Proctor Estándar el material se dividirá en tres porciones y si se trata de Proctor Modificado en cinco porciones.

- Colocar el molde seleccionado sobre una base rígida horizontal nivelada.

- Colocar el material con el cucharón dentro del molde seleccionado nivelando con la mano, colocar el pisón de compactación sobre la porción vertida en el molde (primera capa) y luego levantar el mango hasta que el pisón llegue al extremo de la guía y se deja caer sobre la porción (1 golpe). El tubo de guía debe sostenerse firme y verticalmente con una desviación máxima de 5° con la vertical. El espesor compactado será de 1" (2.54 cm.). Los golpes serán aplicados a una velocidad uniforme sobre toda la superficie de la porción en el molde no excediéndose aproximadamente de 1.4 segundos por golpe.

Retirar el pisón del molde y colocar una nueva capa, compactar de la misma manera como se indicó anteriormente, continuando de este modo hasta completar las tres o cinco capas requeridas. El número de golpes sobre cada capa está en función del método seleccionado. Es necesario que cuando se haya terminado la compactación de todas las capas la muestra no exceda de 6mm al tope del molde, esto con el fin de permitir un enrasamiento adecuado de la muestra compactada.

- Una vez retirado el collarín del molde los posibles vacíos que se forman en la superficie de enrasamiento pueden ser rellenados con material fino.

- Retirar el material suelto de los bordes del molde y pesar el espécimen con una precisión de 1 gr.

- Obtener la densidad húmeda con una precisión de 0.001 gr./cm<sup>3</sup>.

- Remover, mezclar y homogenizar el material compactado que se encuentra dentro del molde para obtener el contenido de humedad.

- Pesar el material húmedo para determinar el contenido de humedad con una precisión de 0.1 gr.
  - Colocar el material a secar en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener un peso constante.
  - Retirar el material del horno, y dejar enfriar al medio ambiente por el espacio de 25 minutos aprox.
  - Pesar la muestra seca con una precisión de 0.1 gr.
  - Repetir los pasos para los 4 especímenes.
  - Si es necesario, efectuar la corrección por sobre tamaño de acuerdo a la Tabla 5
- Resumen Ensayo Proctor Estándar y Proctor Modificado.
- Registrar y procesar datos.

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

Ingresé a la empresa Constructora Wilman Carlos Rafael Robles con R.U.C. 10156609400 se dio en el mes de mayo del año 2017, formé parte del área de proyectos, estaba a cargo de la elaboración de planos, toma de datos y levantamiento en obra. A mi cargo estaba el Ingeniero Residente Leoncio Quinteros.



*Figura 16.* Personal de la Empresa Constructora Wilman Carlos Rafael Robles.

La empresa venía ejecutando obras civiles dentro de la planta del grupo Santa Elena Chancay, tales y como muestro a continuación:



*Figura 17.* Construcción de Pisos Industriales para maquinarias pesadas.



*Figura 18.* Construcción de Losas de concreto armado en Planta de producción.



*Figura 19.* Construcción de Losas para almacén de residuos.



*Figura 20.* Construcción de concreto armado para Descarga de Jabas.



Figura 21. Construcción Almacén de insumos con cobertura metálica y paneles TR4.



Figura 22. Construcción de veredas.



Figura 23. Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 1).



Figura 24. Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 2).



*Figura 25.* Construcción de Almacén de Congelados, pórticos de ingreso (parte 3).

Gracias a mis estudios en SSOMA pude trabajar también como supervisor de seguridad y salud en el trabajo, en donde aprendía mucho más cada día ya que estaba en obra todo el día junto al personal clave.

Meses después me dieron el cargo de asistente de Ingeniero Residente, en el cual junto al ingeniero residente realizamos muchas obras pequeñas como reforzamiento de losas, construcción de canaletas, construcción de veredas. Ganándome así la confianza dentro de la empresa, incluso había servicios y requerimientos a realizar en turno noche como se muestra en las imágenes siguientes:



Figura 26. Construcción de Losas de concreto y sistema de canaletas en Planta Santa Elena.

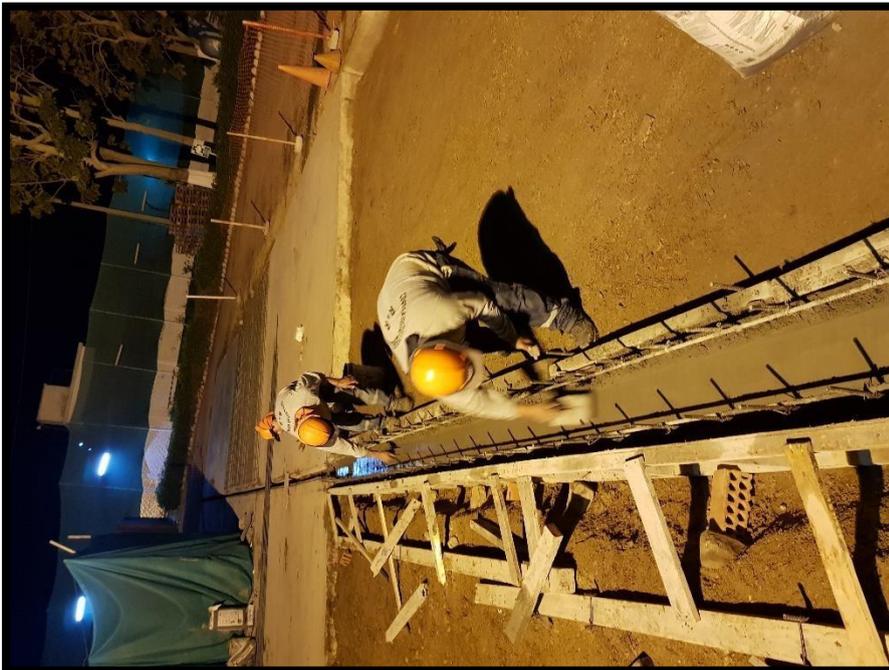


Figura 27. Construcción de sistema de canaletas de concreto armado en Planta Santa Elena.

### 3.1 Mejoramiento del suelo con afirmado y cloruro de calcio.

Para la realización del proyecto de mejoramiento del suelo con afirmado y cloruro de calcio hay que resaltar el problema inicial que había dentro de la Planta del Grupo Santa Elena.

Debido al constante flujo de camiones dentro de la Planta, el suelo existente (afirmado) estaba en muy malas condiciones, ocasionando muchos baches y sobre todo había mucho polvo. Polvo que perjudicaba al personal de Planta, incluso a su producción.



*Figura 28.* Suelo en mal estado por el flujo de camiones de carga.

Es por esa razón que se plantea la solución de mejorar el suelo con cloruro de calcio dentro de la Planta Santa Elena.

Efectos beneficiosos del cloruro de calcio:

- Mantienen estable la humedad durante el proceso de compactación.
- Aumenta la densidad máxima para un mismo esfuerzo de compactación.
- Mantiene la superficie del pavimento húmeda, reduciendo la formación de polvo con el tránsito y reteniendo los agregados en la carretera.

**Constructora Wilman Carlos Rafael Robles cuenta con las siguientes áreas donde se desarrolló el Proyecto:**

**Gerencia de Control de Proyectos:** Área encargada de realizar el control y seguimiento de los tiempos de ejecución de los expedientes, proyectos, así mismo define si los objetivos son o no viables, además de alcanzables según los planteamientos de la empresa.

**Gerencia Técnica:** Área encargada de planificar, gestionar y dirigir los diferentes proyectos de la constructora.

**Gerencia de Operaciones:** Aquí se coordina y supervisa la organización y ejecución de los procesos de construcción de las obras, seguimiento de costos, plazos y calidad estipulados en los contratos.

**Gerencia de Recursos Humanos:** Esta área es la responsable de gestionar el talento humano, garantizando la captación, el desarrollo, la estabilidad y permanencia de trabajadores idóneos para las distintas áreas de la empresa. Sustentándose en el mejoramiento integral de sus procesos y en su personal de alta eficiencia y calidad humana.

**Jefatura de Topografía:** Aquí se realiza y desarrolla toda la topografía de los proyectos de estudio y de la ubicación en los puntos de los ensayos a realizar para las muestras realizadas a través de la estimación de materiales, elaboración de planos, etc.

**SSOMA:** Es el área de soporte donde se asegura todos los cumplimientos de seguridad en el trabajo, salud ocupacional y medio ambiente para minimizar los riesgos que puedan ocasionar en los trabajadores y el impacto que pueda generar en el medio ambiente.

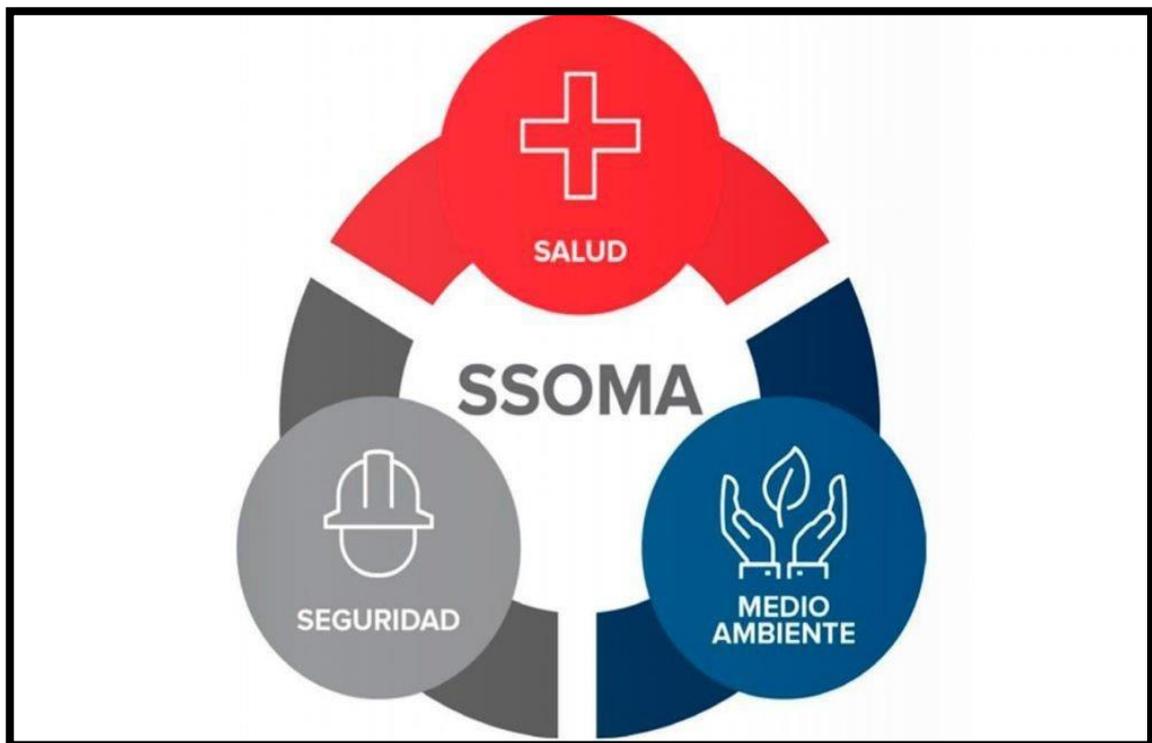


Figura 29. Salud, seguridad y medio ambiente.

### 3.2 Ubicación del trabajo realizado:

El proyecto se encuentra ubicado dentro de la Planta Santa Elena con dirección en el departamento de Lima, provincia de Huaral, distrito de Chancay. Corresponde a la Av. Panamericana Norte km 83.



Figura 30. Ubicación del Proyecto (Imagen Satelital de la Planta Santa Elena).

### 3.3 Desarrollo del Mejoramiento de suelo y etapas de planificación de obra:

Con el fin de cumplir los objetivos propuestos y no pausar la producción de la Planta Santa Elena se dividió el trabajo de mejoramiento de suelos en 4 SECTORES.

Debido al flujo constante, ingreso y salida de camiones no se podía abarcar toda el área a trabajar por lo que se tuvo que dividir en 4 sectores para de esta manera crear un cronograma de trabajo el cual no involucre el flujo y producción de la Planta Santa Elena.





Figura 33. Calicata #1 en la Planta Santa Elena – Chancay.



Figura 34. Calicata #2 en la Planta Santa Elena – Chancay.

- **Contenido de humedad Natural del suelo existente.**

Una vez realizado la excavación para la calicata, se extrajo el muestreo obteniendo así los siguientes datos:

Calicata N° 1: 16.33% de contenido de humedad.

Calicata N° 2: 29.12% de contenido de humedad.

**Tabla 2.**

*Contenido de Humedad perteneciente a la calicata 1.*

| CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA N° 1 |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Tara                               | 3     | 4     | 5     |
| Suelo húmedo + tara                | 85.1  | 82.1  | 82.5  |
| Suelo seco + tara                  | 78.4  | 76.4  | 75.2  |
| Peso del agua (w)                  | 6.7   | 5.7   | 7.2   |
| Peso de la tara                    | 36.6  | 36.8  | 36.4  |
| Peso suelo seco (ws)               | 41.8  | 39.6  | 38.8  |
| %Humedad (%H)                      | 16.04 | 14.39 | 18.55 |
| %Humedad promedio                  | 16.33 |       |       |

**Tabla 3.**

*Contenido de Humedad perteneciente a la calicata 2.*

| CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA N° 2 |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Tara                               | 4     | 5     | 6     |
| Suelo húmedo + tara                | 86.3  | 87.8  | 75.4  |
| Suelo seco + tara                  | 75.4  | 76.2  | 66.9  |
| Peso del agua (w)                  | 11.5  | 11.8  | 8.5   |
| Peso de la tara                    | 36.8  | 36.4  | 36.4  |
| Peso suelo seco (ws)               | 38.5  | 39.6  | 30    |
| %Humedad (%H)                      | 29.87 | 29.15 | 28.33 |
| %Humedad promedio                  | 29.12 |       |       |

- **Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, en este caso se procede analizar en la muestra de la calicata. Estos datos sirven para darle clasificación de suelos AASHTO.

A) Calicata N° 01: Tipo de suelo A-6(8)

- Límite líquido: 20
- Límite Plástico: 9.3
- Índice de plasticidad 10.7

**Tabla 4.**

*Límite líquido y Límite plástico Calicata 1.*

| DESCRIPCION                      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|----------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| N° de ensayo                     | 1              | 3     | 4     | 1               | 2     |
| N° de tara                       | T-a            | T-b   | T-c   | T-1             | T-2   |
| Peso de tara (gr)                | 15.81          | 15.72 | 15.8  | 15.74           | 15.8  |
| Peso de tara (gr)+M.Humedad (gr) | 33.21          | 31.28 | 34.45 | 29.71           | 27.12 |
| Peso de tara (gr)+M.seca (gr)    | 30             | 28.8  | 31.95 | 28.84           | 25.91 |
| Peso del agua                    | 3.2            | 2.38  | 2.5   | 0.87            | 1.21  |
| Peso de la muestra seca          | 14.2           | 13.17 | 16.13 | 13.11           | 10.12 |
| Contenido de humedad             | 22.54          | 18.15 | 15.5  | 6.63            | 11.95 |
| N° de golpes                     | 16             | 31    | 38    |                 |       |
| Promedio C. de humedad (%)       |                | 55.84 |       | 20.34           |       |

B) Calicata N° 02: Tipo de suelo A-7-6(13)

\_Límite líquido: 50  
\_Límite Plástico: 25.48  
\_Índice de plasticidad 24.44

**Tabla 5.**

*Límite líquido y Límite plástico Calicata 2*

| DESCRIPCION                      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|----------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
|                                  | 1              | 2     | 3     | 1               | 2     |
| N° de ensayo                     | 1              | 2     | 3     | 1               | 2     |
| N° de tara                       | T-1            | T-2   | T-3   | T-A             | T-B   |
| Peso de tara (gr)                | 15.85          | 15.72 | 30.8  | 15.82           | 15.8  |
| Peso de tara (gr)+M.Humedad (gr) | 31.5           | 28.75 | 26.71 | 22.2            | 27.12 |
| Peso de tara (gr)+M.seca (gr)    | 25.26          | 25.1  | 4.09  | 20.92           | 25.31 |
| Peso del agua                    | 6.24           | 3.62  | 10.91 | 1.4             | 1.81  |
| Peso de la muestra seca          | 9.43           | 9.33  | 37.48 | 5.08            | 9.5   |
| Contenido de humedad             | 66.32          | 38.95 | 36    | 25.53           | 19.03 |
| N° de golpes                     | 15             | 28    | 38    |                 |       |
| Promedio C. de humedad (%)       |                | 50.00 |       | 22.29           |       |

- **Análisis Granulométrico**

En este análisis se hace el cuarteo a la muestra del suelo y con el lavado de esta llevarlo a la máquina que se encarga del tamizado pesando el contenido retenido en cada malla.

Aquí se muestran los resultados:

**Tabla 6.**

*Tamizado de la muestra de la calicata N 1.*

| Número de Tamiz | Diametro (mm) | Masa de suelos retenido (g) | Porcentaje retenido | Porcentaje retenido Acumulado | Porcentaje que pasa Acumulado |
|-----------------|---------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3"              | 76.200        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 2"              | 50.300        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 1 1/2"          | 38.100        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 1"              | 25.400        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 3/4"            | 19.050        | 81.40                       | 4.07                | 4.07                          | 95.93                         |
| 1/2"            | 12.700        | 45.80                       | 2.29                | 6.36                          | 93.64                         |
| 3/8"            | 9.525         | 42.30                       | 2.11                | 8.48                          | 91.53                         |
| 1/4"            | 6.350         | 73.30                       | 3.68                | 12.14                         | 87.56                         |
| 4               | 4.750         | 49.00                       | 2.45                | 14.59                         | 85.42                         |
| 10              | 2.000         | 116.30                      | 5.82                | 20.41                         | 79.60                         |
| 20              | 0.850         | 60.20                       | 3.01                | 23.40                         | 76.58                         |
| 30              | 0.590         | 20.30                       | 1.01                | 24.43                         | 75.50                         |
| 40              | 0.426         | 31.20                       | 1.60                | 26.03                         | 73.97                         |
| 60              | 0.250         | 82.40                       | 4.12                | 30.16                         | 69.85                         |
| 100             | 0.150         | 89.60                       | 4.49                | 34.64                         | 65.35                         |
| 200             | 0.075         | 202.30                      | 10.11               | 44.78                         | 55.25                         |
| FONDO           |               | 1,104.90                    | 55.25               | 100.00                        | 0.00                          |

**Tabla 7.**

*Tamizado de la muestra de la calicata N 2.*

| Número de Tamiz | Diametro (mm) | Masa de suelos retenido (g) | Porcentaje retenido | Porcentaje retenido Acumulado | Porcentaje que pasa Acumulado |
|-----------------|---------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3"              | 76.200        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 2"              | 50.300        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 1 1/2"          | 38.100        | 0.00                        | 0.00                | 0.00                          | 100.00                        |
| 1"              | 25.400        | 113.20                      | 5.66                | 5.66                          | 94.34                         |
| 3/4"            | 19.050        | 9.80                        | 0.49                | 6.15                          | 93.85                         |
| 1/2"            | 12.700        | 36.28                       | 1.86                | 8.00                          | 92.00                         |
| 3/8"            | 9.525         | 29.20                       | 1.46                | 9.46                          | 90.55                         |
| 1/4"            | 6.350         | 29.30                       | 1.47                | 10.92                         | 89.06                         |
| 4               | 4.750         | 23.40                       | 1.17                | 12.09                         | 87.92                         |
| 10              | 2.000         | 61.20                       | 3.08                | 15.15                         | 84.82                         |
| 20              | 0.850         | 46.70                       | 2.42                | 17.49                         | 82.52                         |
| 30              | 0.590         | 21.20                       | 1.08                | 18.55                         | 81.46                         |
| 40              | 0.426         | 45.60                       | 2.29                | 20.83                         | 79.12                         |
| 60              | 0.250         | 128.40                      | 6.42                | 27.25                         | 72.18                         |
| 100             | 0.150         | 107.00                      | 5.35                | 32.60                         | 67.42                         |
| 200             | 0.075         | 161.40                      | 8.08                | 40.67                         | 59.37                         |
| FONDO           |               | 1,186.40                    | 59.33               | 100.00                        | 0.00                          |

- **Ensayo de Proctor Modificado**

**Calicata N°1:**

Densidad máxima seca: 1.74g/cm<sup>3</sup>; Humedad óptima: 15.00%

**Tabla 8.**  
*Ensayo de Proctor Modificado de la calicata N 1.*

| Volumen (cm <sup>3</sup> ): 2120               |       | Peso (g.): 28.64         |       |       |
|--|-------|--------------------------|-------|-------|
| Número de capas                                | 5     | 5                        | 5     | 5     |
| Número de golpes/capa                          | 25    | 25                       | 25    | 25    |
| Peso suelo húmedo + molde (g).                 | 6112  | 6112                     | 6112  | 6112  |
| Peso de molde (g.)                             | 4172  | 4172                     | 4172  | 4172  |
| Peso de suelo húmedo (g.)                      | 1940  | 1988                     | 2007  | 1940  |
| Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> .)      | 982   | 982                      | 982   | 982   |
| Densidad de suelo húmedo (g/cm <sup>3</sup> .) | 1.974 | 2.023                    | 2.042 | 1.974 |
| Tara No.                                       | 3     | 4                        | 3     | 3     |
| Peso suelo húmedo + molde (g).                 | 124.2 | 134.6                    | 108.4 | 124.2 |
| Peso Suelo seco + molde (g.)                   | 114   | 121.6                    | 98.1  | 114   |
| Peso del agua (g.)                             | 10.1  | 12.9                     | 10.3  | 10.2  |
| Peso del molde (g.)                            | 36.8  | 36.8                     | 36.4  | 36.5  |
| Peso del suelo seco (g.)                       | 77.5  | 84.8                     | 61.4  | 77.5  |
| Contenido de humedad (%)                       | 13.2  | 15.2                     | 16.7  | 13.2  |
| Densidad de suelo seco (g/cm <sup>3</sup> )    | 1.742 | 1.756                    | 1.75  | 1.743 |
| DENSIDAD MAX. SECA (g/cm <sup>3</sup> ): 1.756 |       | HUMEDAD OPTIMA (%): 15.0 |       |       |

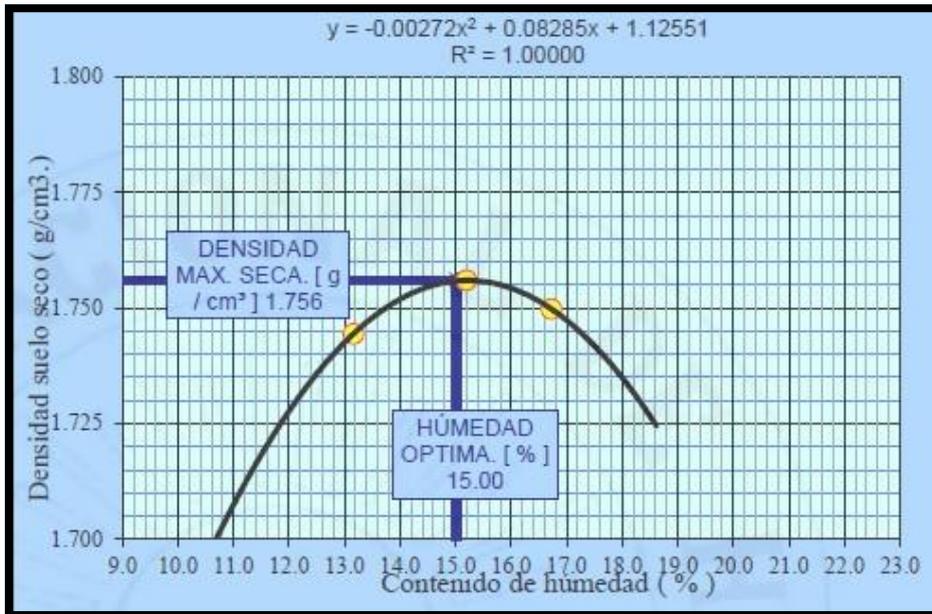


Figura 35. Curva de compactación; Calicata N°1.

### Calicata N°2:

Densidad máxima seca: 1.681g/cm<sup>3</sup>; Humedad óptima: 15.70%

### Tabla 9.

Ensayo de Proctor Modificado de la calicata N 2.

| Volumen (cm <sup>3</sup> ): 2120              |       | Peso (g.): 28.64 |       |       |
|---|-------|------------------|-------|-------|
| Número de capas                               | 5     | 5                | 5     | 5     |
| Número de golpes/capa                         | 25    | 25               | 25    | 25    |
| Peso suelo húmedo + molde (g.)                | 5775  | 5892             | 6002  | 5961  |
| Peso de molde (g.)                            | 4172  | 4172             | 4172  | 4172  |
| Peso de suelo húmedo (g.)                     | 1602  | 1720             | 2007  | 1940  |
| Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )      | 982   | 982              | 982   | 982   |
| Densidad de suelo húmedo (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.632 | 1750             | 2.042 | 1.974 |
| Tara No.                                      | 4     | 5                | 4     | 5     |

|                                   |       |                          |       |       |
|-----------------------------------|-------|--------------------------|-------|-------|
| Peso suelo húmedo + molde (g.)    | 91.8  | 122.2                    | 108.4 | 134.6 |
| Peso Suelo seco + molde (g.)      | 86.2  | 112.6                    | 98.1  | 119.2 |
| Peso del agua (g.)                | 5.8   | 9.8                      | 10.3  | 15.3  |
| Peso del molde (g.)               | 36.8  | 36.8                     | 36.4  | 36.8  |
| Peso del suelo seco (g.)          | 49.2  | 76                       | 61.4  | 82.6  |
| Contenido de humedad (%)          | 11.6  | 12.6                     | 16.7  | 18.5  |
| Densidad de suelo seco (g/cm3)    | 1.462 | 1.554                    | 1.635 | 1.537 |
| DENSIDAD MAX. SECA (g/cm3): 1.671 |       | HUMEDAD OPTIMA (%): 15.6 |       |       |

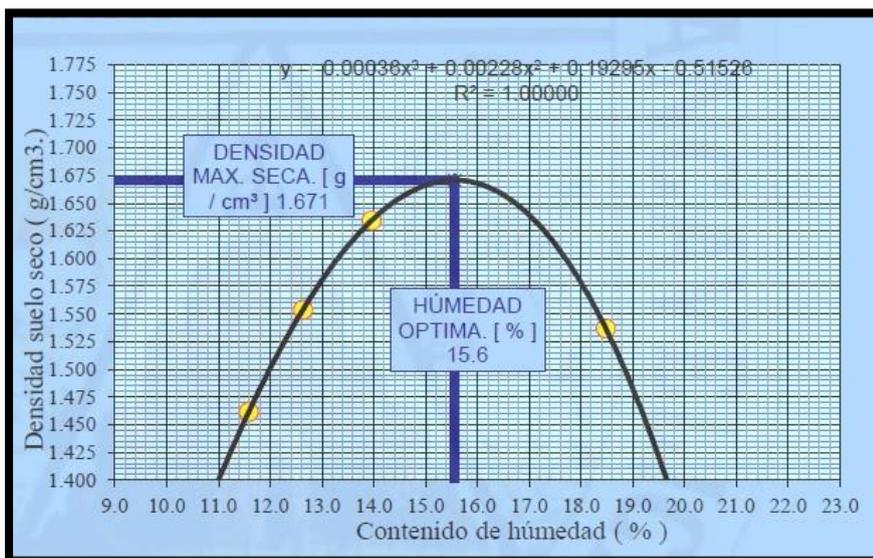


Figura 36. Curva de compactación; Calicata N°2.

- **Valor de soporte de california (CBR)**

Aquí los valores obtenidos son expuestos si adicionar aún el cloruro de calcio.

Calicata N°1: CBR: 11.80%

**Tabla 10.**

*Cuadros de densidades de las muestras, calicata N°1.*

**COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA**

| Condición de la muestra                             | 1            |                | 2            |                | 3            |                |
|---|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|   | Antes embeb. | Después embeb. | Antes embeb. | Después embeb. | Antes embeb. | Después embeb. |
| Molde N°  |              |                |              |                |              |                |
| N° de capas   |              |                |              |                |              |                |
| N° de golpes por capa                               |              |                |              |                |              |                |
| Peso hum. Muestra + molde (gr)                      | 11.066       | 11.202         | 10.923       | 11.031         | 10.795       | 10.927         |
| Peso del molde (gr)                                 | 6.725        | 6.725          | 6.76         | 6.762          | 6.725        | 6.725          |
| Peso húmedo de la muestra (gr)                      | 4.341        | 4.477          | 4.161        | 4.269          | 4.341        | 4.477          |
| Volúmen de la muestra (cm <sup>3</sup> )            | 2.133        | 2.133          | 2.127        | 2.129          | 2.133        | 2.148          |
| Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.035        | 2.099          | 1.956        | 2.007          | 1.884        | 1.946          |

### HUMEDADES DE COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

| HÚMEDAD                                     | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. |
|---|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|
|   | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       |
| Recipiente N°                               | 1               | 2        | 29             | 58              | 59       | 24             | 50              | 51       | 48             |
| Peso recipiente + suelo húm(gr)             | 143.1           | 122.6    | 336.8          | 104.1           | 115.6    | 310.2          | 125             | 346.1    | 346.5          |
| Peso recipiente + suelo seco(gr)            | 128.6           | 111.6    | 300            | 95.4            | 105.1    | 272.4          | 112.2           | 315      | 302            |
| Peso del agua (gr)                          | 14.5            | 11.2     | 36.8           | 8.6             | 11.2     | 36.7           | 13.6            | 33.1     | 43.8           |
| Peso del recipiente (gr)                    | 36.7            | 36.6     | 92.1           | 36.7            | 36.8     | 92.9           | 36.8            | 37       | 115.3          |
| Peso del suelo seco (gr)                    | 91.9            | 75.1     | 206.8          | 58.6            | 65.9     | 180.1          | 75.5            | 278      | 187.5          |
| % Húmedad                                   | 15.8            | 14.8     | 18.3           | 14.6            | 16.5     | 20.8           | 18.2            | 11.9     | 23.4           |
| Promedio % Húmedad                          | 15.3            |          | 18.3           | 16.7            |          | 20.9           | 15              |          | 23.4           |
| Densidad seca probeta (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.766           |          | 1.775          | 1.69            |          | 1.65           | 1.638           |          | 1.567          |
| Densidad máxima lab. (gr/cm <sup>3</sup> )  | 1.756           |          | 1.756          | 1.765           |          | 1.765          | 1.765           |          | 1.765          |
| %Densidad Máxima                            | 100.5           |          | 101.1          | 96.3            |          | 94.5           | 93.2            |          | 89.8           |

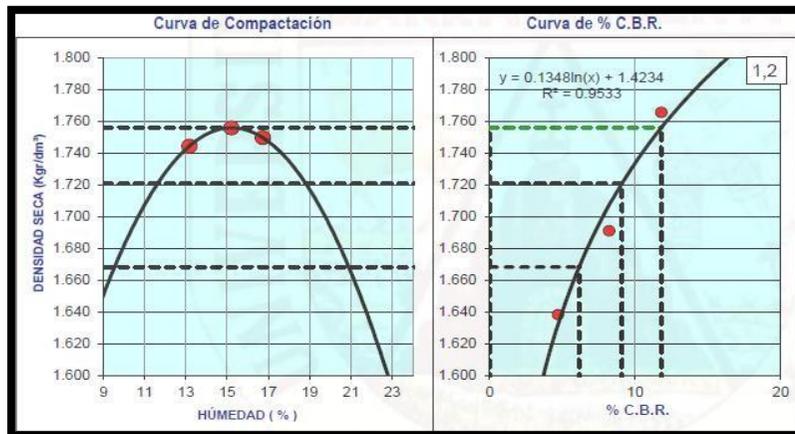


Figura 37. Curva de compactación y curva %CBR – Calicata N°1.

D. Máx. 90%: 3.21  
 D. Máx. 95%: 6.15  
 D. Máx. 98%: 9.09  
**D. Máx. 100%: 11.80**  
 %Exp.: 0.85

Por lo tanto, se tomará la densidad máxima al 100%.  
**Calicata N°1: CBR: 11.80%**

Calicata N°2: CBR: 06.12%

**Tabla 11.**

*Cuadro de densidades de las muestras, calicata N°2.*

### COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA

| Molde N°  | 1            |                | 2                     |                | 3                       |                |
|---|--------------|----------------|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------|
|   | N° de capas  |                | N° de golpes por capa |                | Condición de la muestra |                |
|   | Antes embeb. | Después embeb. | Antes embeb.          | Después embeb. | Antes embeb.            | Después embeb. |
| N° de capas   | 5            |                | 5                     |                | 5                       |                |
| N° de golpes por capa                               | 56           |                | 25                    |                | 12                      |                |
| Peso hum. Muestra + molde (gr)                      | 11.066       | 11.202         | 10.923                | 11.031         | 10.795                  | 10.927         |
| Peso del molde (gr)                                 | 6.725        | 6.725          | 6.76                  | 6.762          | 6.725                   | 6.725          |
| Peso húmedo de la muestra (gr)                      | 4.341        | 4.477          | 4.161                 | 4.269          | 4.341                   | 4.477          |
| Volúmen de la muestra (cm <sup>3</sup> )            | 2.133        | 2.133          | 2.127                 | 2.129          | 2.133                   | 2.148          |
| Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.035        | 2.099          | 1.956                 | 2.007          | 1.884                   | 1.946          |

### HUMEDADES DE COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

| HÚMEDAD                          | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. |
|----------------------------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|
|                                  | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       |
| Recipiente N°                    | 1               | 2        | 29             | 58              | 59       | 24             | 50              | 51       | 48             |
| Peso recipiente + suelo húm(gr)  | 143.1           | 122.6    | 336.8          | 104.1           | 115.6    | 310.2          | 125             | 346.1    | 346.5          |
| Peso recipiente + suelo seco(gr) | 128.6           | 111.6    | 300            | 95.4            | 105.1    | 272.4          | 112.2           | 315      | 302            |
| Peso del agua (gr)               | 14.5            | 11.2     | 36.8           | 8.6             | 11.2     | 36.7           | 13.6            | 33.1     | 43.8           |
| Peso del recipiente (gr)         | 36.7            | 36.6     | 92.1           | 36.7            | 36.8     | 92.9           | 36.8            | 37       | 115.3          |
| Peso del suelo seco (gr)         | 91.9            | 75.1     | 206.8          | 58.6            | 65.9     | 180.1          | 75.5            | 278      | 187.5          |

|   |       |      |       |       |      |       |       |      |       |
|---|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| % Húmedad                                   | 15.8  | 14.8 | 18.3  | 14.6  | 16.5 | 20.8  | 18.2  | 11.9 | 23.4  |
| Promedio % Húmedad                          | 15.3  |      | 18.3  | 16.7  |      | 20.9  | 15    |      | 23.4  |
| Densidad seca probeta (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.766 |      | 1.775 | 1.69  |      | 1.65  | 1.638 |      | 1.567 |
| Densidad máxima lab. (gr/cm <sup>3</sup> )  | 1.756 |      | 1.756 | 1.765 |      | 1.765 | 1.765 |      | 1.765 |
| %Densidad Máxima                            | 100.5 |      | 101.1 | 96.3  |      | 94.5  | 93.2  |      | 89.8  |

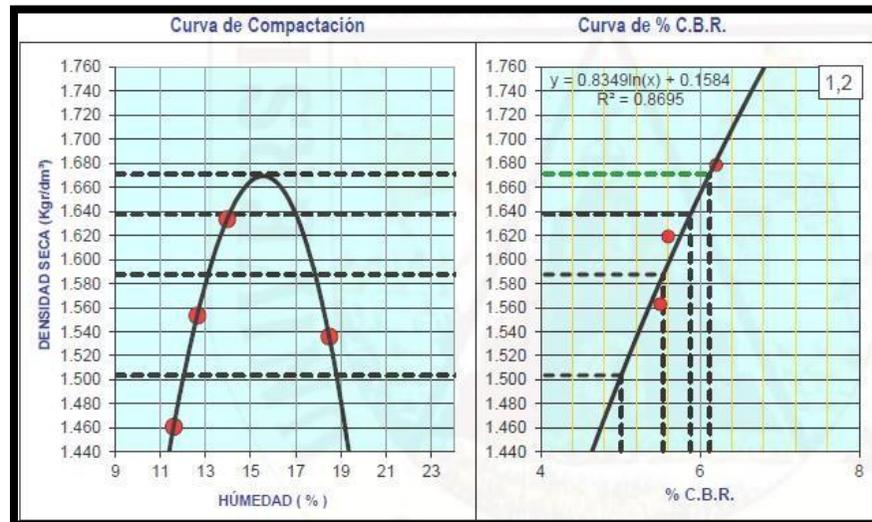


Figura 38. Curva de compactación y curva %CBR – Calicata N°2.

D. Máx. 90%: 5.01  
 D. Máx. 95%: 5.54  
 D. Máx. 98%: 5.88  
**D. Máx. 100%: 6.12**  
 %Exp.: 0.74

Por lo tanto, se tomará la densidad máxima al 100%.  
**Calicata N°1: CBR: 06.12%**

- **Determinación del contenido óptimo de cloruro de calcio y valor de soporte califonia (CBR)**

Para esta etapa de hallar el contenido óptimo de cloruro de calcio nos basamos en la experiencia del Ingeniero Leoncio Quinteros (Ingeniero Supervisor a cargo de la obra), así como también en la experiencia de trabajos y estudios realizados que arrojaron resultados similares ante los ensayos realizados:

Basándonos en los resultados hallados a la calicata de terreno existente tenemos:

- Contenido de humedad: 16.33%
- Límite líquido: 20
- Límite Plástico: 9.3
- Índice de plasticidad 10.7
- **CBR: 6.12%**

**Se determinó usar el 5% de cloruro de calcio.**

Por lo tanto, se usará el mismo porcentaje del 5% de cloruro de calcio en todo el suelo de la Planta Santa Elena.

Un punto muy importante que también se tomó en cuenta para esta determinación del 5% de cloruro de calcio fue el tema económico.

Así mismo el resultado de establecer la dosificación adecuada del cloruro de calcio en el afirmado como agente estabilizador en los suelos de la Planta Santa Elena Chancay se dio de la siguiente manera:

Para calcular la cantidad necesaria que necesitamos de cloruro de calcio se utilizaremos la densidad máxima seca:

Densidad máxima 1756 kg/m<sup>3</sup>, multiplicado por el volumen en donde aplicaremos: 0.2 m<sup>3</sup>

- $Peso\ del\ suelo = 0.2\ m^3 * 1756\ kg/m^3 \Rightarrow Peso\ del\ suelo = 351.2\ kg$

Al resultado calculado lo multiplicamos el 5%, de esa manera calculamos el peso del cloruro de calcio y este va en función al peso del suelo a usarse.

Entonces:

- $Peso\ del\ CaCl_2 = 351.2\ kg * 0.05 \Rightarrow Peso\ del\ ca\ cl_2 = 13.56\ kg$

Entonces con este resultado ya tenemos un estimado del precio por m<sup>2</sup> de suelo a mejorar, esto lo observamos mejor en el siguiente cuadro estimado:

### 3.5 Ejecución de obra de Mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio.

Aquí se empieza con la ejecución de obra: Mejoramiento del suelo con afirmado y cloruro de calcio en el sector 2 de la planta Santa Elena.

Trazando niveles y haciendo replanteos topográficos.



*Figura 39.* Toma de datos topográficos.

En esta etapa yo, el asistente del ingeniero supervisor a cargo reviso las cotas y los niveles topográficos que se replantearon en la etapa de diseño.

### **Movimiento de tierra.**

En esta etapa los operarios proceden a realizar cortes en el terreno y a eliminar material excedente. (Se da un corte de 0.20m de profundidad a N.T.N)



*Figura 40.* Cargador Frontal y Motoniveladora realizando escarificación y corte de 0.20m al terreno.

Luego se procede a regar y compactar la sub base para que posteriormente pueda recibir la aplicación del nuevo afirmado con el cloruro de calcio.



*Figura 41.* Compactación y nivelación de la sub rasante.

### **Colocación del nuevo material afirmado.**

Se tiende el material de préstamo (en este caso el afirmado en capa de 0.20m).



*Figura 42.* Material de préstamo a tender.

Este procedimiento se da con ayuda de una Motoniveladora. Se escarifica el material de préstamo para posteriormente aplicar el cloruro de calcio.



*Figura 43.* Motoniveladora y cargador frontal tendiendo el afirmado.

### **Aplicación del Cloruro de Calcio.**

El siguiente paso es colocar el cloruro de calcio para posteriormente batir con el afirmado.



*Figura 44.* Aplicación del cloruro de Calcio.

### **Compactación.**

El proceso de compactación se da al día siguiente, luego de que el cloruro de calcio haya penetrado por completo en el material afirmado y esté seco.



*Figura 45.* Rodillo compactador de 10 Toneladas.

Obteniendo como resultado a nuestro trabajo de mejoramiento de camino un suelo muy bien compactado y transitable. Manteniendo un nivel de humedad óptimo de tal manera que no existe levantamiento de polvo ni de partículas.



*Figura 46.* Resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio. (Parte 1)



*Figura 47.* Resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio. (Parte 2)

Para evaluar y determinar las propiedades físicas y mecánicas del material afirmado con el uso del cloruro de calcio en el suelo de la Planta Santa Elena Chancay se hizo lo siguiente:



Figura 48. Calicata al resultado del mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de calcio.

**Tabla 12.**

*Límite líquido y Límite plástico Calicata 1 con aditivo de cloruro de calcio al 5%.*

| DESCRIPCION                      | LIMITE LIQUIDO |       |       | LIMITE PLASTICO |       |
|----------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|
| N° de ensayo                     | 1              | 2     | 3     | 1               | 2     |
| N° de tara                       | T-1            | T-2   | T-3   | T-A             | T-B   |
| Peso de tara (gr)                | 15.42          | 15.72 | 30.8  | 16.00           | 15.7  |
| Peso de tara (gr)+M.Humedad (gr) | 32.2           | 28.75 | 26.71 | 30.1            | 27.12 |
| Peso de tara (gr)+M.seca (gr)    | 27.25          | 25.1  | 4.09  | 27.22           | 25.31 |
| Peso del agua                    | 4.6            | 3.62  | 10.91 | 2.88            | 2.30  |
| Peso de la muestra seca          | 12.20          | 9.33  | 37.48 | 11.2            | 9.5   |
| Contenido de humedad             | 38.02          | 38.95 | 36    | 25.88           | 22.94 |
| N° de golpes                     | 17             | 28    | 38    |                 |       |

Promedio C. de humedad (%)

35.02

24.40

Mediante el ensayo de CBR con el 5% de cloruro de calcio:

### Curva de penetración a los 12 golpes

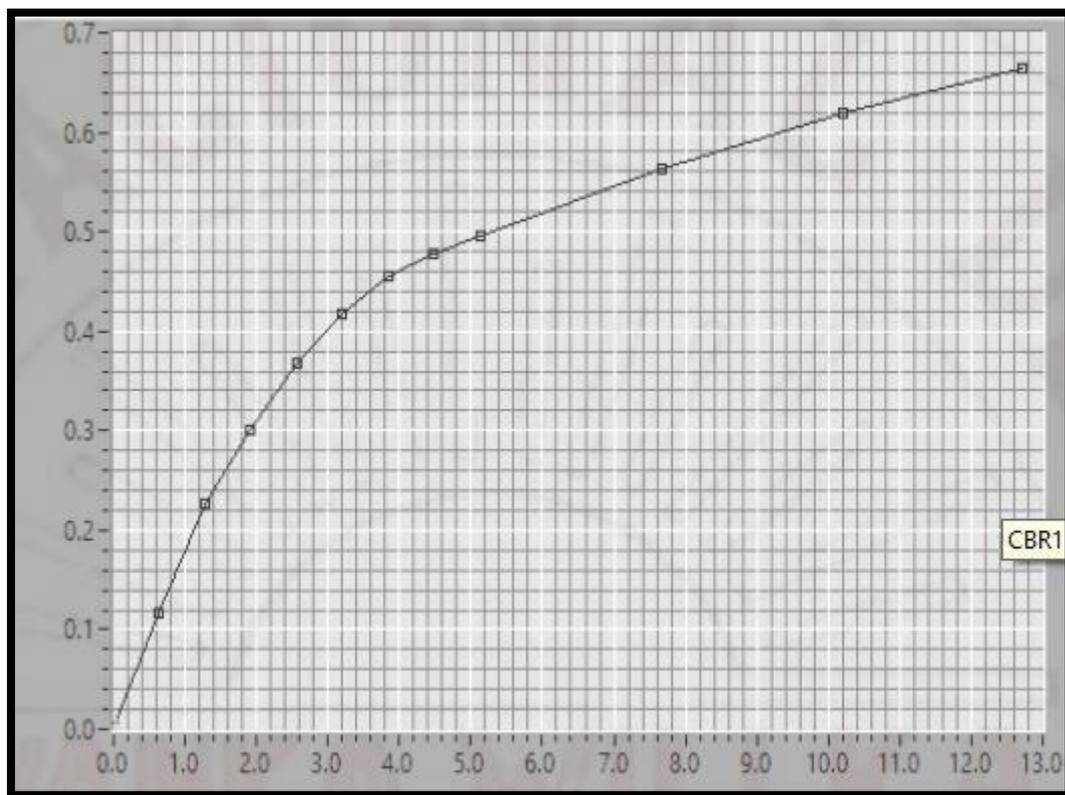


Figura 49. Curva de penetración a los 12 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98

|                  |              |              |
|------------------|--------------|--------------|
| Penetration:     | 2.54m        | 5.08m        |
| Stress:          | 0.4Mpa       | 0.7MP        |
| Standard Stress: | 6.9Mpa       | 10.3MP       |
| <b>CBR:</b>      | <b>5.30%</b> | <b>4.80%</b> |

**Resultado de la Curva de penetración a los 25 golpes.**

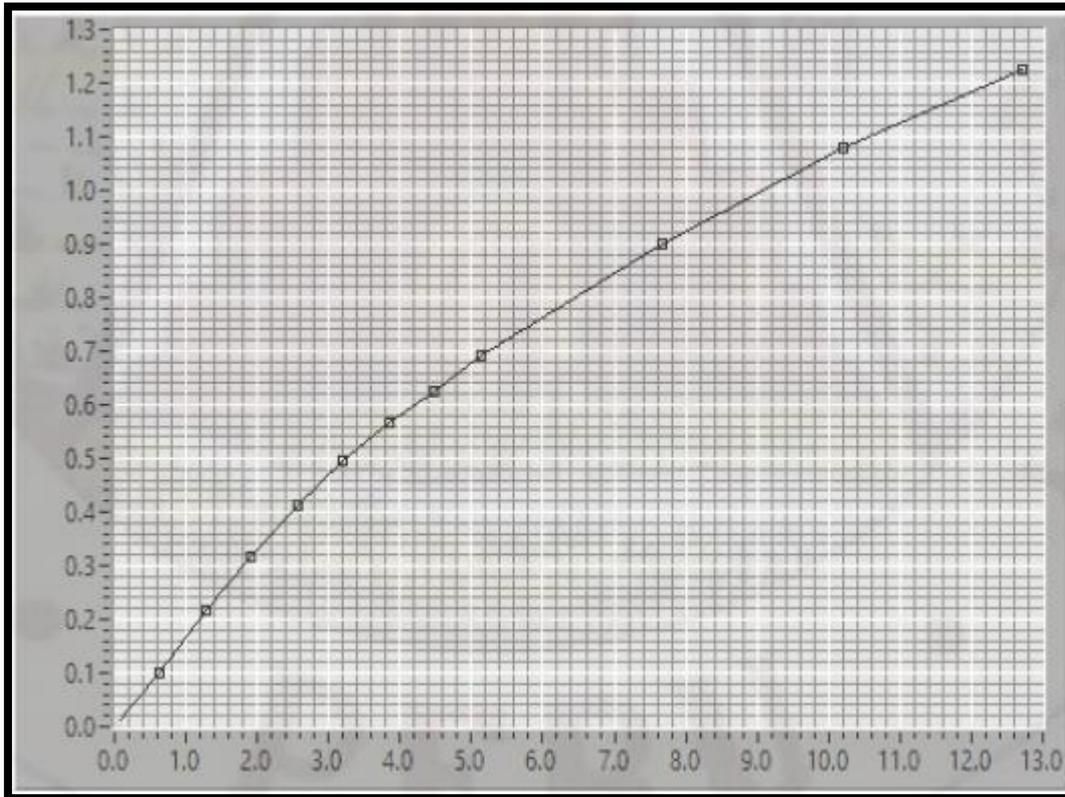


Figura 50. Curva de penetración a los 25 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98

|                  |              |              |
|------------------|--------------|--------------|
| Penetration:     | 2.54m        | 5.08m        |
| Stress:          | 0.4Mpa       | 0.7MP        |
| Standard Stress: | 6.9Mpa       | 10.3MP       |
| <b>CBR:</b>      | <b>5.90%</b> | <b>6.70%</b> |

**Resultado de la Curva de penetración a los 56 golpes.**

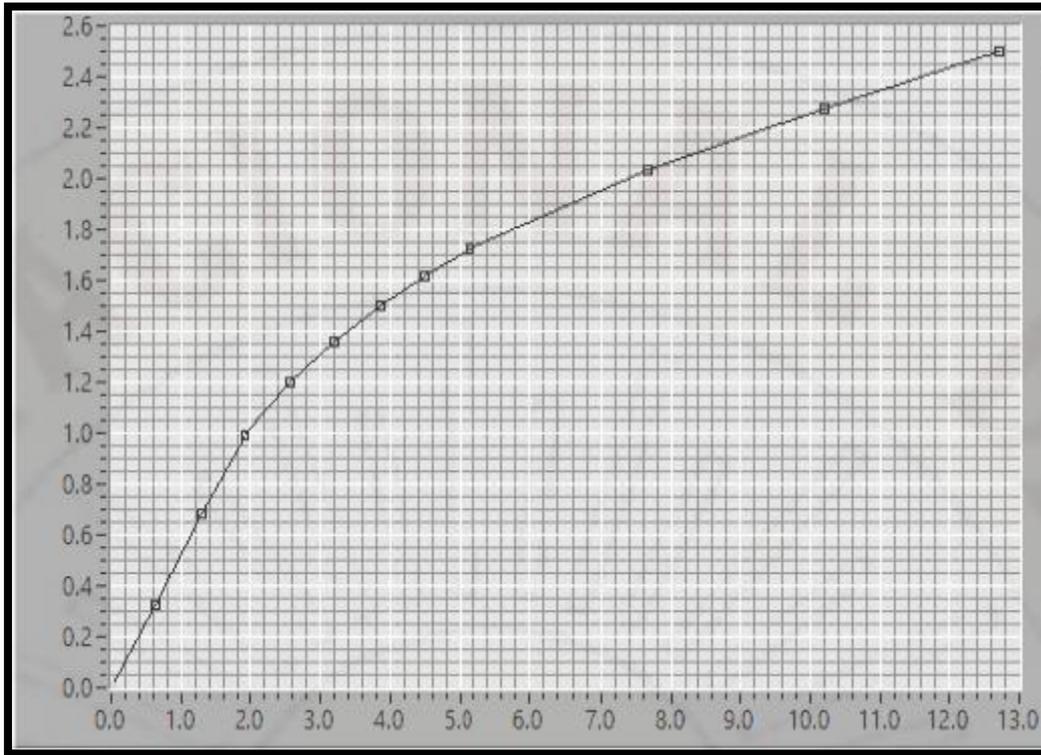


Figura 51. Curva de penetración a los 56 golpes. ASTM-D1883 / AASHTO-T193-98

|                  |               |               |
|------------------|---------------|---------------|
| Penetration:     | 2.54m         | 5.08m         |
| Stress:          | 1.2Mpa        | 1.7MP         |
| Standard Stress: | 6.9Mpa        | 10.3MP        |
| <b>CBR:</b>      | <b>17.30%</b> | <b>16.60%</b> |

### Ensayo Proctor Modificado

Dens. Máx (Gr/cm<sup>3</sup>) = 1.756  
 Humedad óptima (%) = 15.00

**Tabla 13.**

*Cuadro de densidades de las muestras con 5% de cloruro de calcio.*

#### COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA

| Condición de la muestra                             | A            |                | B            |                | C            |                |
|---|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|   | Antes embeb. | Después embeb. | Antes embeb. | Después embeb. | Antes embeb. | Después embeb. |
| Molde N°  |              |                |              |                |              |                |
| N° de capas   |              |                |              |                |              |                |
| N° de golpes por capa                               |              |                |              |                |              |                |
| Peso hum. Muestra + molde (gr)                      | 11.30        | 11.362         | 11.080       | 11.198         | 10.795       | 10.927         |
| Peso del molde (gr)                                 | 6.775        | 6.775          | 6.772        | 6.762          | 6.725        | 6.732          |
| Peso húmedo de la muestra (gr)                      | 4.541        | 4.105          | 4.342        | 4.465          | 4.341        | 4.242          |
| Volúmen de la muestra (cm <sup>3</sup> )            | 2.103        | 2.06           | 2.105        | 2.105          | 2.133        | 2.102          |
| Densidad húmeda de la muestra (gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.155        | 2.180          | 2.062        | 2.120          | 1.883        | 2.016          |

### HUMEDADES DE COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

| HÚMEDAD                                     | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. | De compactación |          | Después embeb. |
|---|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|----------|----------------|
|   | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       | Inferior        | Superior | Superior       |
| Recipiente N°                               | 1               | 2        | 29             | 58              | 59       | 24             | 50              | 51       | 48             |
| Peso recipiente + suelo húm(gr)             | 143.1           | 122.6    | 336.8          | 104.1           | 115.6    | 310.2          | 125             | 346.1    | 346.5          |
| Peso recipiente + suelo seco(gr)            | 128.6           | 111.6    | 300            | 95.4            | 105.1    | 272.4          | 112.2           | 315      | 302            |
| Peso del agua (gr)                          | 14.5            | 11.2     | 36.8           | 8.6             | 11.2     | 36.7           | 13.6            | 33.1     | 43.8           |
| Peso del recipiente (gr)                    | 36.7            | 36.6     | 92.1           | 36.7            | 36.8     | 92.9           | 36.8            | 37       | 115.3          |
| Peso del suelo seco (gr)                    | 91.9            | 75.1     | 206.8          | 58.6            | 65.9     | 180.1          | 75.5            | 278      | 187.5          |
| % Húmedad                                   | 15.8            | 14.8     | 18.3           | 14.6            | 16.5     | 20.8           | 18.2            | 11.9     | 23.4           |
| Promedio % Húmedad                          | 15.3            |          | 18.3           | 16.7            |          | 20.9           | 15              |          | 23.4           |
| Densidad seca probeta (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.766           |          | 1.775          | 1.69            |          | 1.65           | 1.638           |          | 1.567          |
| Densidad máxima lab. (gr/cm <sup>3</sup> )  | 1.756           |          | 1.756          | 1.765           |          | 1.765          | 1.765           |          | 1.765          |
| %Densidad Máxima                            | 106.6           |          | 105.6          | 102.21          |          | 101.0          | 93.2            |          | 93.5           |

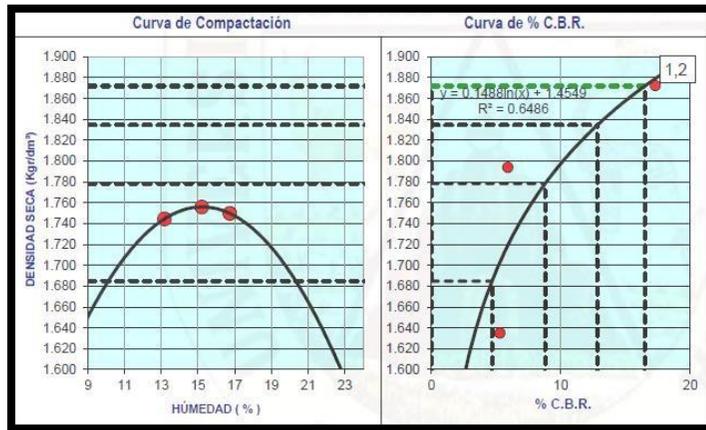


Figura 52. Curva de compactación y curva %CBR con 5% CaCl<sub>2</sub>.

D. Máx. 90%: 469  
 D. Máx. 95%: 8.79  
 D. Máx. 98%: 12.83  
**D. Máx. 100%: 16.65**  
 %Exp.: 0.70

Por lo tanto, se tomará la densidad máxima al 100%.

**Calicata N°1: CBR: 16.65%**

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

El resultado de evaluar y determinar las propiedades físicas y mecánicas del material afirmado con el uso del cloruro de calcio en el suelo de la Planta Santa Elena Chancay fue el siguiente:

### **4.1 Análisis Descriptivo – Propiedades físicas de los suelos estabilizados.**

Se observa los resultados del muestreo de la calicata 1 con el aditivo de cloruro de calcio al 5%:

- Limite Liquido: 35.00
- Limite plástico: 24.40
- Índice de plasticidad: 10.60

Se observa los resultados del muestreo de la calicata 1 sin aditivo:

- Limite Liquido: 20.00
- Limite plástico: 9.30
- Índice de plasticidad: 10.70

Una vez dado los resultados es importante resaltar este cuadro que compara el suelo sin aditivo y el suelo tratado con la muestra óptima de cloruro de calcio que sabemos que está al 5%.

**Tabla 14.**

*Cuadro comparativo del suelo sin aditivo y el suelo con 5% de cloruro de calcio CaCl<sub>2</sub>.*

| Límites de Atterberg  | Suelo natural sin CaCl <sub>2</sub> | Suelo con 5% de CaCl <sub>2</sub> |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Límite Líquido        | 20.00                               | 35.00                             |
| Límite Plástico       | 9.30                                | 24.40                             |
| Índice de plasticidad | 10.70                               | 10.60                             |

Este cuadro estadístico se hizo con el análisis de varianza y se usa el cuadro de ANOVA y estadística de prueba F con 5% de significancia y un nivel de confianza de 95%.

**Tabla 15.**

*Cuadro de resumen de varianza de un factor.*

| Porcentaje de CaCl <sub>2</sub> | N | Suma | Promedio | Varianza |
|---------------------------------|---|------|----------|----------|
| 0%                              | 3 | 40   | 13.33    | 33.82    |
| 5%                              | 3 | 70   | 23.33    | 149.69   |
| TOTAL                           | 6 | 110  | 10.7     | 10.6     |

**Tabla 16.**

*Cuadro de análisis de varianza ANOVA.*

| Origen de las variaciones       | Suma de cuadrados | GL | Promedio de los cuadrados | F           | Promedio | Varianza    |
|---------------------------------|-------------------|----|---------------------------|-------------|----------|-------------|
| Porcentaje de CaCl <sub>2</sub> | 150               | 1  | 150                       | <b>1.63</b> | 0.27     | <b>7.71</b> |
| Error                           | 367.03            | 4  | 91.76                     |             |          |             |
| <b>Total</b>                    | 517.03            | 5  |                           |             |          |             |

En este cuadro se muestra que F:1.63 es menos que el F<sub>crítico</sub>: 7.71 se determina que no existe influencia mayor o significativa entre los resultados de los Límites de Atterberg.

De la misma manera la probabilidad es mayor a 0.05 por lo tanto nos dice que no existe diferencia significativa para los valores de los Límites de Atterberg.

Este cuadro muestra como es el incremento de los resultados del Límite Líquido y Límite Plástico, ya que las arcillas que llevan cloruro de calcio aumentaron la capacidad de retención de líquidos producto de una reacción química que se da entre el agua y el cloruro de calcio.

También se muestra que no se modifica el índice de plasticidad.

#### 4.2 Cálculo de la cantidad de cloruro de calcio a usarse.

Así mismo el resultado de establecer la dosificación adecuada del cloruro de calcio en el afirmado como agente estabilizador en los suelos de la Planta Santa Elena Chancay se dio de la siguiente manera:

Para calcular la cantidad necesaria que necesitamos de cloruro de calcio se utilizaremos la densidad máxima seca:

Densidad máxima 1756 kg/m<sup>3</sup>, multiplicado por el volumen en donde aplicaremos: 0.2 m<sup>3</sup>

- $Peso\ del\ suelo = 0.2m^3 * 1756kg/m^3 \Rightarrow Peso\ del\ suelo = 351.2\ kg$

Al resultado calculado lo multiplicamos el 5%, de esa manera calculamos el peso del cloruro de calcio y este va en función al peso del suelo a usarse.

Entonces:

- $Peso\ del\ CaCl_2 = 351.2\ kg * 0.05 \Rightarrow Peso\ del\ ca\ cl_2 = 13.56\ kg$

Entonces con este resultado ya tenemos un estimado del precio por m<sup>2</sup> de suelo a mejorar, esto lo observamos mejor en el siguiente cuadro estimado:

**Tabla 17.**

*Presupuesto de aplicación de cloruro de calcio.*

| CLORURO DE CALCIO                  | Unid           | Metrado | Precio S/. | Parcial S/. |
|------------------------------------|----------------|---------|------------|-------------|
| Perfilado y compactado de sub base | m <sup>2</sup> | 1       | 4.52       | 4.52        |
| Riego de afirmado                  | m <sup>3</sup> | 0.2     | 15.16      | 3.03        |
| Transporte                         | Kg.            | 13.56   | 0.64       | 8.68        |
| Cloruro de calcio                  | Kg.            | 13.56   | 1.5        | 20.34       |

### 4.3 Resultado, evaluación y verificación de la estabilización del suelo por aplicación del cloruro de calcio.

Por último, el resultado de la evaluación y verificación de la estabilización del suelo por la aplicación del cloruro de calcio con el afirmado dentro de la Planta Santa Elena Chancay, Huaral fue el siguiente:

Este trabajo elaborado en la planta Santa Elena de Chancay Huaral, da como resultado que al usar 5% de cloruro de calcio con respecto al peso del suelo, se logra obtener un mejor incremento en capacidad de soporte CBR, sobre todo en este tipo de suelo arcilloso arrojando la diferencia de un 11.80% a 16.50%. De esta manera obtuvimos una mejoría de 4.7% y todo gracias a la aplicación correcta del Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

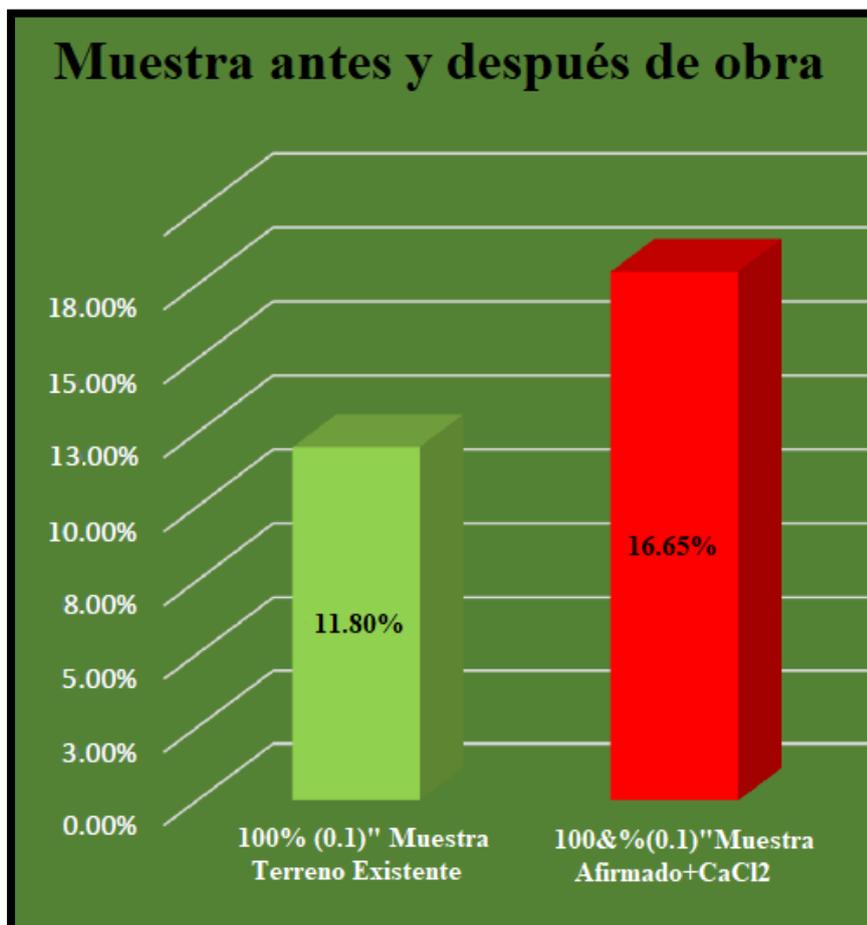


Figura 53. Resultado final del CBR entre las muestras antes y después de Obra.

Además, cabe mencionar que gracias a los ensayos realizados se determina que la subrasante del suelo (Calicata N°1) presenta un CBR de 11.80% la cual nos indica que se encuentra clasificada como S3, es decir una Subrasante óptima y buena según los datos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.



Figura 54. Resultado final del mejoramiento de suelo en la Planta Santa Elena.



Figura 55. Foto comparativa de la zona antes y después del trabajo de mejoramiento de suelo.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- Al evaluar y determinar las propiedades físicas del material afirmado con el uso del cloruro de calcio hemos determinado y concluido que el suelo se ha mejorado ya que presenta unos mejores resultados tanto en su Límite Líquido, Límite Plástico y en el índice de plasticidad tal y como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 18.**

*Resultado de clasificación de suelos mediante SUCS.*

| MATERIAL AFIRMADO            | LÍMITES DE CONSISTENCIA (%) |                 |                       |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|
|                              | LÍMITE LÍQUIDO              | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
| Terreno - Afirmado Existente | 20.00                       | 9.30            | 10.70                 |
| Afirmado + CaCl <sub>2</sub> | 35.00                       | 24.40           | 10.60                 |

Además, observamos que nuestro suelo se encuentra con un índice de plasticidad media y se caracteriza por ser un suelo arcilloso según la clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad que nos brinda el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

| Índice de Plasticidad | Plasticidad      | Característica                     |
|-----------------------|------------------|------------------------------------|
| IP > 20               | Alta             | suelos muy arcillosos              |
| IP ≤ 20<br>IP > 7     | Media            | suelos arcillosos                  |
| IP < 7                | Baja             | suelos poco arcillosos plasticidad |
| IP = 0                | No Plástico (NP) | suelos exentos de arcilla          |

*Figura 56.* Cuadro de clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Como conclusión en el resultado de la evaluación y verificación de la estabilización del suelo por la aplicación del cloruro de calcio logramos obtener un mejor incremento en capacidad de soporte CBR, sobre todo en este tipo de suelo arcilloso arrojando la diferencia de un 11.80% a 16.50%. De esta manera obtuvimos una mejoría de 4.7%.

Además, se concluye que tenemos una Sub rasante Buena según el cuadro de clasificación de Categorías de Sub rasante según su %CBR elaborado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

| Categorías de Sub rasante                 | CBR                      |
|---|--------------------------|
| S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada   | CBR < 3%                 |
| S <sub>1</sub> : Sub rasante insuficiente | De CBR ≥ 3% A CBR < 6%   |
| S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular      | De CBR ≥ 6% A CBR < 10%  |
| S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena        | De CBR ≥ 10% A CBR < 20% |
| S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena    | De CBR ≥ 20% A CBR < 30% |
| S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente    | CBR ≥ 30%                |

Figura 57. Cuadro de clasificación de suelo según su %CBR.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- Al establecer la dosificación adecuada del 5% de cloruro de calcio en el afirmado concluimos que con los resultados obtenidos el cloruro de calcio no muestra una gran incidencia en las propiedades de los límites de Atterberg porque no observamos una gran influencia en sus valores, no obstante, proporciona al suelo la propiedad de retener líquido, eso nos fue de mucha utilidad ya que reduce considerablemente el despliegue de polvo con el tránsito que se presenta dentro de la planta. De esta manera mejoramos la estabilidad del suelo ante la presencia líquidos.
- Entrando al tema de costos podemos observar que es muy factible usar este aditivo cloruro de calcio si es que comparamos a otras opciones como por ejemplo el asfaltado.

**Tabla 19.**

*Presupuesto de aplicación de cloruro de calcio*

| <b>COLORURO DE CALCIO</b>          | <b>Unid</b> | <b>Metrado</b> | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
|------------------------------------|-------------|----------------|-------------------|--------------------|
| Perfilado y compactado de sub base | m2          | 1              | 4.52              | 4.52               |
| Riego de afirmado                  | m3          | 0.2            | 15.16             | 3.03               |
| Transporte                         | Kg.         | 13.56          | 0.64              | 8.68               |
| Cloruro de calcio                  | Kg.         | 13.56          | 1.5               | 20.34              |

Además, debemos considerar que usamos en parte el material afirmado que ya se encontraba en planta.

## CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

Para realizar un trabajo como este es esencial abarcar el tema de seguridad, educación ambiental y gestión de riesgos laborales para la correcta elaboración de planes de acción que nos sirva para prevenir imprevistos en salud ocupacional y de esa manera garantizar la seguridad laboral durante la obra.

En cuanto a este trabajo e investigación se hace las siguientes recomendaciones:

- Podríamos seguir haciendo pruebas en campo a largo plazo para poder observar más a detalle los efectos que causa el cloruro de calcio y así mismo con esas referencias determinar las ventajas para poder estabilizar el suelo con este insumo químico.
- Optar por realizar ensayos químicos de laboratorio. Realizarlo antes y después del mejoramiento de suelo para poder comparar las propiedades químicas de este.
- Se debería realizar un trabajo más amplio con respecto a este insumo que es el cloruro de calcio usado como estabilizador del suelo ya que vimos que en la calicata 2 nos arrojó otro valor de CBR, por ende, los resultados varían y podrían cambiar la dosificación de este insumo.
- Debemos tener en cuenta la parte económica, ya que este insumo de cloruro de calcio lo proveen muy pocas empresas privadas, por lo tanto, no debería ser factible usarlo en regiones muy alejadas a esta.

- Se debe optar por indagar e investigar nuevas opciones para estabilizar el suelo, lo más recomendable es que sea con aditivos (químicos) que sean factibles de obtener en la región donde se realizará la Obra, ya que hoy en día el uso de productos importados es mayor al uso de productos nacionales.
- Durante Obra debemos tener mucho cuidado al manipular este insumo (cloruro de calcio). No está demás decir que si usamos el equipo de protección personal además de estar atentos a las indicaciones y sugerencias que nos dan en las capacitaciones podemos trabajar correctamente con este aditivo.

## REFERENCIAS

- ASTM - D4944. Método De Ensayo Para Determinar El Contenido De Humedad De Un Suelo.
- ASTM - D423. Método De Análisis Del Tamaño De Las Partículas De Suelo.
- ASTM - D423. Método de Determinación de límite líquido.
- ASTM - D424. Método de Determinación de Límite Plástico.
- ASTM - D4318. Método de Determinación de Índice Plástico
- AASHTO T 193-13. (2017). Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.
- Ministerio de transporte y comunicaciones (Perú). 2013. Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013. Perú. 2013. 1285 pp.
- Requiz, J. (2018) “Aplicación de la Metodología MCT en estudio de suelos Tropicales con fines de Pavimentación en la Selva baja del Perú” Caso: Caminos vecinales de Madre de Dios.
- García, G. (2015), “Determinación de la resistencia de la Subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca, 2015.
- Galindo J. y Avellaneda E. (2016). “Análisis Técnico Del Uso De Silicato De Sodio Para Estabilización Química De Suelos”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

- Velarde A. (2015). “Aplicación De La Metodología De Superficie De Respuesta En La Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple De Suelos Arcillosos Estabilizados Con Cal Y Cemento”, Universidad Nacional de Altiplano, Puno, Perú.
- Briones, Alejandra. 2018. Influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados. Tesis (Título de ingeniería civil). Cajamarca: Universidad Privada Del Norte, Facultad de Ingeniería, 2018. 90 pp.
- E. Mutas, Moshle A. Shamrani, Anand J. Puppala y Muawia A. Dafalla. Evaluation of Chemical Stabilization of a Highly Expansive Clayey Soil. The national academies of science, engineering and medicine. Vol. (2204): Número 1. 01-2011.
- Martinelli, M. y Humajalso, A, (2019), Artículo de sistema de construcción en suelos, consultores de M y M, Perú constructivo. Actualidad Minera & Construcción, Tecnología para la construcción. Pág. 18
- Sotelo, H. (2017), Gerente técnico de Sotelo & Asociados, Estudios de suelos asegurando la Inversión de una Obra (Revista Perú Construye 2017).

## **ANEXO A. INSTRUMENTOS RESULTADOS**

# GEOMG S.A.C.

Geotecnia en Proyectos de Edificaciones, Eléctricas, Hidráulicas y Pavimentos. Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto

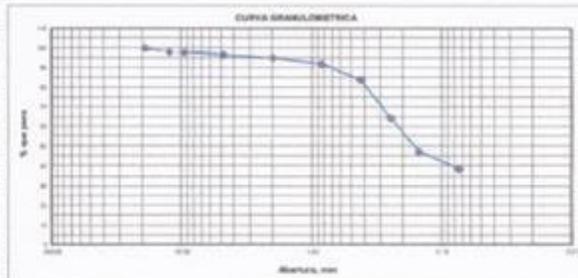
Claro: 943355197 / Entel: 998185953 / E-mail: geomg17@yahoo.es - informes@geomsac.com  
www.geomsac.com

## INFORME N° S19-542-9

**Proyecto:** MEJORAMIENTO DE SUELOS EN LA VÍA DE LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA, CHANCAY HUARAL, LIMA 2020.  
**Solicita:** ING. LEONCIO QUINTERO CASTILLO **Fecha:** :08/12/2020  
**Depto.:** **Provincia:** HUARAL **Distrito:** CHANCAY  
**Calicata:** :C-1 **Muestra:** :M-1

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

| Mallas   | Apertura (mm) | Peso Retenido (gr) | % Pasa |
|----------|---------------|--------------------|--------|
| 3"       | 76.2          |                    |        |
| 2"       | 50.8          |                    |        |
| 1 1/2"   | 38.1          |                    |        |
| 1"       | 25.4          |                    |        |
| 3/4"     | 19.0          | 0.00               | 100.00 |
| 1/2"     | 12.5          | 8.90               | 98.20  |
| 3/8"     | 9.5           | 1.30               | 97.83  |
| N° 4     | 4.75          | 8.00               | 96.89  |
| N° 10    | 1.9           | 7.80               | 96.01  |
| N° 20    | 0.85          | 14.80              | 90.01  |
| N° 40    | 0.425         | 40.20              | 83.86  |
| N° 80    | 0.25          | 95.90              | 64.42  |
| N° 100   | 0.15          | 83.50              | 47.80  |
| N° 200   | 0.075         | 43.10              | 38.76  |
| < N° 200 |               | 181.20             |        |



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

#### A. LIMITE LIQUIDO

| Procedimiento                     | Fórmula  | 1      | 2      | Tara No |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|---------|
| 1. No de Golpes                   |          | 18     | 26     | 27      |
| 2. Peso Tara, [gr]                |          | 21.670 | 20.370 | 26.130  |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |          | 65.240 | 53.770 | 46.310  |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |          | 60.990 | 48.840 | 45.360  |
| 5. Peso Agua, [gr]                | (26)     | 5.130  | 4.830  | 2.950   |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | (26)     | 28.410 | 28.470 | 17.250  |
| 7. Contenido de Humedad, (%)      | (26/210) | 18.06  | 17.32  | 16.89   |

#### B. LIMITE PLASTICO

| Procedimiento                     | Fórmula  | 11     | 12     | Tara No |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |          | 10.450 | 15.930 | 21.480  |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |          | 18.860 | 18.410 | 21.090  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |          | 16.910 | 17.440 | 26.310  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (26)     | 0.850  | 0.970  | 5.720   |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (26)     | 5.810  | 6.510  | 4.860   |
| 6. Contenido de Humedad, (%)      | (26/210) | 14.81  | 14.90  | 14.81   |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Fórmula  | Tara No |
|-----------------------------------|----------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |          | 17      |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |          | 196.60  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |          | 192.40  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (26)     | 6.20    |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (26)     | 196.80  |
| 6. Contenido de Humedad, (%)      | (26/210) | 3.72    |



### RESUMEN

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Grava (No. 4 + Diam. > 2")            | 3.45%  |
| Grava Gruesa (3/4" + Diam. > 2")      | 0.00%  |
| Grava Fina (No. 4 + Diam. > 3/4")     | 3.45%  |
| Arena (No. 200 + Diam. > No. 4)       | 87.80% |
| Arena Gruesa (No. 10 + Diam. > No. 4) | 1.58%  |
| Arena Media (No. 40 + Diam. > No. 10) | 11.15% |
| Arena Fina (No. 200 + Diam. > No. 40) | 45.10% |
| Fines (Diam. < No. 200)               | 38.76% |
| Límite Líquido                        | 18.06% |
| Límite Plástico                       | 14.81% |
| Índice de Plasticidad                 | 3.25%  |
| Contenido de Humedad                  | 16.89% |
| Clasificación SUCS                    | SM     |
| Clasificación AASHTO                  | A-4    |



Realizado por: R.L.D.  
Revisado por: M.T.J.

GEOMG S.A.C.

Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

# GEOMG S.A.C.

Geotecnia en Proyectos de Edificaciones, Eléctricas, Hidráulicas y Pavimentos. Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

Claro: 943355197 / Entel: 998185953 / E-mail: geomg17@yahoo.es - informes@geomsac.com  
www.geomgsac.com

## INFORME N° S19-542-9

**Proyecto** MEJORAMIENTO DE SUELOS EN LA VÍA DE LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA,  
CHANCAY HUARAL, LIMA 2020.

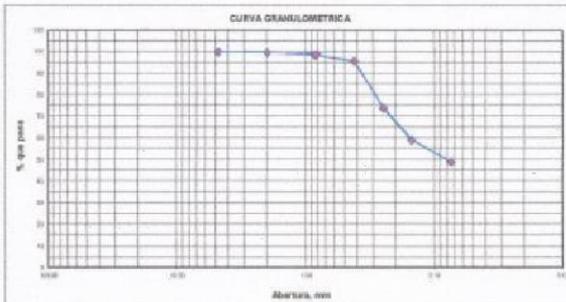
**Solicita** ING. LEONCIO QUINTERO CASTILLO **Fecha** :08/12/2020

**Depto.** :LIMA **Provincia** :HUARAL **Distrito** :CHANCAY

**Calicata** :C-2 **Muestra** :M-1

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 3"       | 76.200        |                     |        |
| 2"       | 50.800        |                     |        |
| 1 1/2"   | 38.100        |                     |        |
| 1"       | 25.400        |                     |        |
| 3/4"     | 19.050        | 0.00                | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 8.90                | 98.20  |
| 3/8"     | 9.525         | 1.30                | 97.93  |
| N° 4     | 4.750         | 6.80                | 96.59  |
| N° 10    | 2.000         | 7.80                | 96.01  |
| N° 20    | 0.840         | 14.80               | 92.01  |
| N° 40    | 0.420         | 40.20               | 83.96  |
| N° 60    | 0.250         | 95.90               | 84.42  |
| N° 100   | 0.150         | 83.60               | 47.60  |
| N° 200   | 0.075         | 43.10               | 38.76  |
| < N° 200 |               | 191.20              |        |



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

#### A. LIMITE LIQUIDO

| Procedimiento                     | Fórmula     | Tara No | 3      | 5      | 27     |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|
| 1. No de Golpes                   |             |         | 18     | 26     | 30     |
| 2. Peso Tara, [gr]                |             |         | 31.670 | 20.370 | 28.130 |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             |         | 65.210 | 53.770 | 48.310 |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             |         | 63.080 | 48.840 | 45.380 |
| 5. Peso Agua, [gr]                | (3)-(4)     |         | 5.130  | 4.930  | 2.930  |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | (4)-(2)     |         | 28.410 | 28.470 | 17.250 |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | (5)/(6)*100 |         | 18.06  | 17.32  | 16.99  |

#### B. LIMITE PLASTICO

| Procedimiento                     | Fórmula     | Tara No | 41     | 47     | 18     |
|-----------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |             |         | 10.400 | 10.930 | 21.450 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             |         | 16.860 | 18.410 | 27.030 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             |         | 16.010 | 17.440 | 26.310 |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (2)-(3)     |         | 0.850  | 0.970  | 0.720  |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (3)-(1)     |         | 5.610  | 6.510  | 4.860  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | (4)/(5)*100 |         | 15.16  | 14.90  | 14.81  |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Fórmula     | Tara No |
|-----------------------------------|-------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |             | 17      |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             | 198.60  |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             | 192.40  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (2)-(3)     | 6.20    |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (3)-(1)     | 166.80  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | (4)/(5)*100 | 3.72    |



### RESUMEN

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Grava (No.4 < Diam < 3")           | 3.41%  |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")    | 0.00%  |
| Grava Fina (No.4" < Diam < 3/4")   | 3.41%  |
| Arena (No.200 < Diam < No.4)       | 57.83% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.58%  |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 11.15% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 45.10% |
| Finos (Diam < No.200)              | 38.76% |
| Límite Líquido                     | 50.00% |
| Límite Plástico                    | 35.48% |
| Índice Plasticidad                 | 24.44% |
| Contenido de Humedad               | 28.12% |
| Clasificación SUCS                 | SM     |
| Clasificación AASHTO               | A-4    |



Realizado por: H.L.D.  
Revisado por: M.T.J.

GEOMG S.A.C.

Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

# GEOMG S.A.C.

Geotecnia en Proyectos de Edificaciones, Eléctricas, Hidráulicas y Pavimentos. Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

Claro: 943355197 / Entel: 998185953 / E-mail: geomg17@yahoo.es - informes@geomsac.com

www.geomsac.com

INFORME N° SI9-549-I

## RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D-1883

Proyecto: MEJORAMIENTO DE SUELOS EN LA VIA DE LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA, CHANCAY HUARAL, LIMA 2020.

Solicita: ING. LEONCIO QUINTERO CASTILLO

Fecha: 22/12/2020

Depto.: LIMA

Provincia: HUARAL

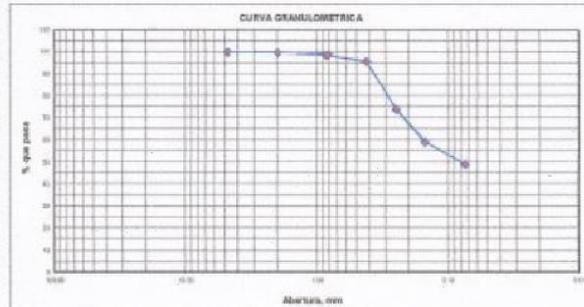
Distrito: CHANCAY

Calicata: C-1

Muestra: M-2

### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

| Mallas   | Abertura [mm] | Peso Retenido [grs] | % Pasa |
|----------|---------------|---------------------|--------|
| 3"       | 75.000        |                     |        |
| 2"       | 50.800        |                     |        |
| 1 1/2"   | 38.100        |                     |        |
| 1"       | 25.400        |                     |        |
| 3/4"     | 19.050        | 0.00                | 100.00 |
| 1/2"     | 12.500        | 8.90                | 98.20  |
| 3/8"     | 9.525         | 1.30                | 97.93  |
| N° 4     | 4.750         | 5.80                | 96.59  |
| N° 10    | 2.000         | 7.80                | 96.01  |
| N° 20    | 0.848         | 14.80               | 92.01  |
| N° 40    | 0.425         | 40.20               | 83.88  |
| N° 60    | 0.250         | 95.90               | 84.42  |
| N° 100   | 0.150         | 83.50               | 47.60  |
| N° 200   | 0.075         | 43.10               | 38.78  |
| < N° 200 |               | 191.20              |        |



### 2. LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM - D4318)

#### A. LIMITE LIQUIDO

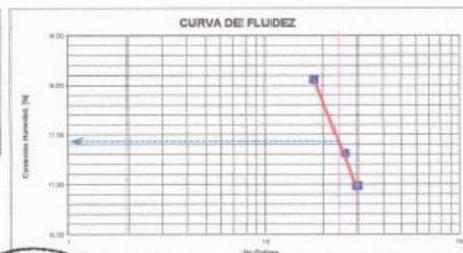
| Procedimiento                     | Fórmula     | 3      | 5      | 27     | Tara No |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| 1. No de Golpes                   |             | 18     | 26     | 30     |         |
| 2. Peso Tara, [gr]                |             | 31.670 | 20.370 | 28.130 |         |
| 3. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             | 65.210 | 53.770 | 48.310 |         |
| 4. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             | 60.080 | 48.840 | 45.360 |         |
| 5. Peso Agua, [gr]                | (7)-(4)     | 5.130  | 4.930  | 2.950  |         |
| 6. Peso Suelo Seco, [gr]          | (6)-(2)     | 28.410 | 28.470 | 17.250 |         |
| 7. Contenido de Humedad, [%]      | (5)/(6)x100 | 18.06  | 17.32  | 16.99  |         |

#### B. LIMITE PLASTICO

| Procedimiento                     | Fórmula     | 44     | 47     | 18     |
|-----------------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |             | 10.400 | 10.930 | 21.450 |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             | 18.860 | 18.410 | 27.030 |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             | 16.010 | 17.440 | 26.310 |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (2)-(3)     | 0.850  | 0.970  | 0.720  |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (3)-(1)     | 5.610  | 6.510  | 4.860  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | (4)/(5)x100 | 15.15  | 14.90  | 14.81  |

### 3. CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM - D2216)

| Procedimiento                     | Fórmula     | Tara No |
|-----------------------------------|-------------|---------|
| 1. Peso Tara, [gr]                |             | 17      |
| 2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr] |             | 25.60   |
| 3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]   |             | 196.60  |
| 4. Peso Agua, [gr]                | (2)-(1)     | 6.20    |
| 5. Peso Suelo Seco, [gr]          | (3)-(1)     | 166.80  |
| 6. Contenido de Humedad, [%]      | (4)/(5)x100 | 3.72    |



### RESUMEN

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Grava (No.4 < Diam < 3")           | 3.41%  |
| Grava Gruesa (3/4" < Diam < 3")    | 0.00%  |
| Grava Fina (3/4" < Diam < 3/4")    | 3.41%  |
| Arena (No.200 < Diam < No.4)       | 57.83% |
| Arena Gruesa (No.10 < Diam < No.4) | 1.58%  |
| Arena Media (No.40 < Diam < No.10) | 11.15% |
| Arena Fina (No.200 < Diam < No.40) | 45.10% |
| Finos (Diam < No.200)              | 38.78% |
| Límite Líquido                     | 35.11% |
| Límite Plástico                    | 24.41% |
| Índice de Plasticidad              | 10.50% |
| Contenido de Humedad               | 28.12% |
| Clasificación SUCS                 | SM     |
| Clasificación AASHTO               | A-4    |



Realizado por: H.L.D.  
Revisado por: M.T.J.

**GEOMG S.A.C.**  
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo  
CIP N° 68738

# GEOMG S.A.C.

Geotecnia en Proyectos de Edificaciones, Eléctricas, Hidráulicas y Pavimentos. Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

Claro: 943355197 / Entel: 998185953 / E-mail: geomg17@yahoo.es - informes@geomsac.com  
www.geomsac.com

## INFORME N° 819-549-1

### RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D-1883

Proyecto: MEJORAMIENTO DE SUELOS EN LA VIA DE LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA, CHANCAY HUARAL, LIMA 2020.  
Solicita: ING. LEONCIO QUINTERO CASTILLO Fecha: 22/12/2020  
Depto.: LIMA Provincia: HUARAL Distrito: CHANCAY  
Calicata: C-1 Muestra: M-2

#### COMPACTACION

| Molde N°                             | 1           |          | 2           |          | 3           |          |
|--------------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                                      | 5           |          | 5           |          | 5           |          |
| Capas N°                             | 56          |          | 25          |          | 10          |          |
| Golpes por capa N°                   | 56          |          | 25          |          | 10          |          |
| Condición de la muestra              | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)     | 11470.00    | 11573.00 | 11469.00    | 11625.00 | 11257.00    | 11449.00 |
| Peso de molde (g)                    | 7550.00     | 7550.00  | 7610.00     | 7610.00  | 7693.00     | 7693.00  |
| Peso del suelo húmedo (g)            | 3920.00     | 4023.00  | 3859.00     | 4015.00  | 3564.00     | 3756.00  |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) | 2084.48     | 2101.57  | 2166.35     | 2197.76  | 2112.18     | 2158.69  |
| Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.881       | 1.914    | 1.781       | 1.827    | 1.687       | 1.740    |
| Tara (N°)                            | 48          |          | 37          |          | 29          |          |
| Peso suelo húmedo + tara (g)         | 142.50      | 4023.00  | 136.80      | 4015.00  | 149.20      | 3756.00  |
| Peso suelo seco + tara (g)           | 131.50      | 3527.64  | 126.80      | 3473.49  | 137.70      | 3206.98  |
| Peso de tara (g)                     | 32.60       | 0.00     | 36.70       | 0.00     | 34.40       | 0.00     |
| Peso de agua (g)                     | 11.00       | 495.36   | 10.00       | 541.51   | 11.50       | 549.02   |
| Peso de suelo seco (g)               | 98.90       | 3527.64  | 90.10       | 3473.49  | 103.30      | 3206.98  |
| Contenido de humedad (%)             | 11.12       | 14.04    | 11.10       | 15.59    | 11.13       | 17.12    |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.692       | 1.679    | 1.603       | 1.580    | 1.518       | 1.486    |

#### EXPANSION

| FECHA      | HORA  | TIEMPO | DIAL   | EXPANSION |      | DIAL   | EXPANSION |      | DIAL   | EXPANSION |      |
|------------|-------|--------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|-----------|------|
|            |       |        |        | mm        | %    |        | mm        | %    |        | mm        | %    |
| 13/09/2019 | 11:30 | 00 Hrs | 0.0000 | 0.000     | 0.00 | 0.0000 | 0.000     | 0.00 | 0.0000 | 0.000     | 0.00 |
| 14/09/2019 | 11:30 | 24 Hrs | 0.0296 | 0.752     | 0.59 | 0.0384 | 0.975     | 0.77 | 0.0512 | 1.300     | 1.02 |
| 15/09/2019 | 11:30 | 48 Hrs | 0.0367 | 0.932     | 0.73 | 0.0582 | 1.478     | 1.16 | 0.0899 | 2.283     | 1.80 |
| 16/09/2019 | 11:30 | 72 Hrs | 0.0410 | 1.041     | 0.82 | 0.0725 | 1.842     | 1.45 | 0.1101 | 2.797     | 2.20 |

#### PENETRACION

| PENETRACION<br>Pulgadas | CARGA<br>STAND.<br>Lbs/pulg <sup>2</sup> | MOLDE N° 01 |     |            | MOLDE N° 02 |     |            | MOLDE N° 03 |     |            |
|-------------------------|--|-------------|-----|------------|-------------|-----|------------|-------------|-----|------------|
|                         |  | CARGA       |     | CORRECCION | CARGA       |     | CORRECCION | CARGA       |     | CORRECCION |
|                         |  | lb          | lb  | %          | lb          | lb  | %          | lb          | lb  | %          |
| 0.000                   |  | 0           |     |            | 0           |     |            | 0           |     |            |
| 0.025                   |  | 47          |     |            | 18          |     |            | -9          |     |            |
| 0.050                   |  | 96          |     |            | 40          |     |            | 1           |     |            |
| 0.075                   |  | 141         |     |            | 61          |     |            | 16          |     |            |
| 0.100                   | 1000                                     | 203         | 272 | 9.0        | 128         | 172 | 5.7        | 61          | 95  | 3.2        |
| 0.125                   |  | 378         |     |            | 225         |     |            | 148         |     |            |
| 0.150                   |  | 493         |     |            | 332         |     |            | 202         |     |            |
| 0.175                   |  | 629         |     |            | 405         |     |            | 270         |     |            |
| 0.200                   | 1500                                     | 764         | 719 | 15.9       | 492         | 451 | 10.0       | 320         | 298 | 6.6        |
| 0.250                   |  | 948         |     |            | 607         |     |            | 415         |     |            |
| 0.300                   |  | 1196        |     |            | 752         |     |            | 527         |     |            |
| 0.400                   |  | 1421        |     |            | 967         |     |            | 668         |     |            |
| 0.500                   |  | 1520        |     |            | 1208        |     |            | 814         |     |            |

Ejecutado: H.L.D.



Responsable C.T.J.  
Ing. Jorge B. Morillo Trujillo  
CIP N° 68736

# GEOMG S.A.C.

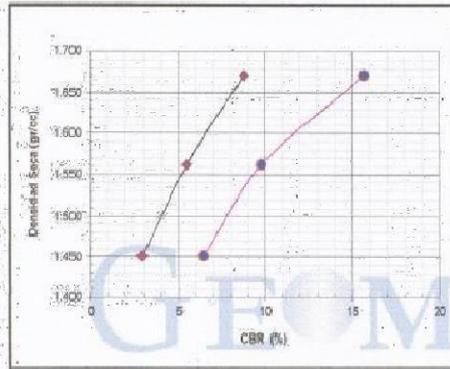
Geotecnia en Proyectos de Edificaciones, Eléctricas, Hidráulicas y Pavimentos. Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

Claro: 943355197 / Entel: 998185953 / E-mail: geomg17@yahoo.es - informes@geomsac.com  
www.geomsac.com

INFORME N° SI9-549-1

## RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D-1883

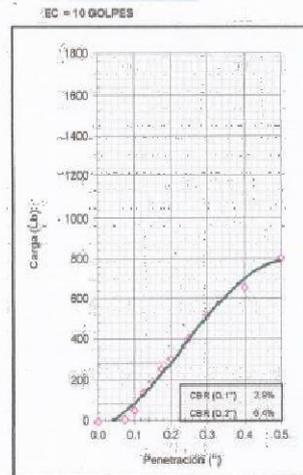
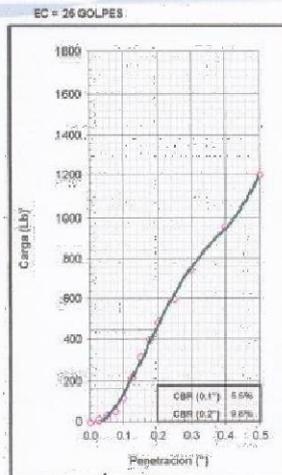
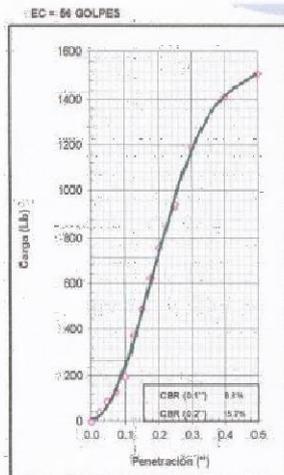
**Proyecto** MEJORAMIENTO DE SUELOS EN LA VIA DE LA PLANTA DEL GRUPO SANTA ELENA, CHANCAY HUARAL, LIMA 2020.  
**Solicita** ING. LEONCIO QUINTERO CASTILLO **Fecha** :22/12/2020  
**Depto.** :LIMA **Provincia** :HUARAL **Distrito** :CHANCAY  
**Calicata** :C-1 **Muestra** :M-2



METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
MAXIMA DENSIDAD SEGA (g/cm³) : 1.694  
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.22

|                           |      |       |      |       |
|---------------------------|------|-------|------|-------|
| CBR AL 100% DE M.O.S. (%) | 0.1" | 16.54 | 0.2" | 17.19 |
| CBR AL 95% DE M.O.S. (%)  | 0.1" | 16.78 | 0.2" | 12.01 |

OBSERVACIONES:



Ejecutado: H.L.D.



Responsable: A.T.J.  
**Ing. Jorge E. Morillo Trujillo**  
CIP N° 64731

## **ANEXO B. CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS**



**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 008 - 2019**

Página : 1 de 4

Expediente : T 004-2019  
Fecha de emisión : 2019-01-14

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : ESTUFA  
Indicación : DIGITAL  
Marca del Equipo : QL  
Modelo del Equipo : 21-250-1  
Serie del Equipo : B221-0040  
Capacidad del Equipo : 216 L  
Marca de indicador : AUTONICS  
Modelo de indicador : T2N48  
Temperatura calibrada : 80 °C  
Código de identificación : NO INDICA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
LABORATORIO DE GEOMG S.A.C.  
11 - ENERO - 2019

4. Método de Calibración  
La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO        | MARCA     | CERTIFICADO      | TRAZABILIDAD |
|--------------------|-----------|------------------|--------------|
| TERMOMETRO DIGITAL | DELTA OHM | LT - 075 - 2018  | INACAL - DM  |
| TERMOMETRO DIGITAL | FLUKE     | LT - 0747 - 2017 | INACAL - DM  |

6. Condiciones Ambientales

|                | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 27,5    | 26,7  |
| Humedad %      | 67      | 68    |

7. Conclusiones

La estufa se encuentra dentro de los rangos 80 °C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152831

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 008 - 2019

Página : 2 de 4

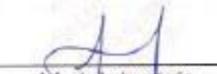
**CALIBRACIÓN PARA 80 °C**

| Tiempo (min.) | Ind. (°C)<br>Temperatura del equipo | TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C) |      |      |      |      |                |      |      |      |      | T. prom. (°C) | ΔTMax. - TMin. (°C) |
|---------------|-------------------------------------|--|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|---------------|---------------------|
|               |                                     | NIVEL INFERIOR                                 |      |      |      |      | NIVEL SUPERIOR |      |      |      |      |               |                     |
|               |                                     | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6              | 7    | 8    | 9    | 10   |               |                     |
| 0             | 80,2                                | 77,8   | 77,2 | 78,4 | 77,1 | 75,9 | 77,1           | 77,0 | 78,9 | 76,5 | 79,2 | 77,5          | 3,3                 |
| 2             | 80,2                                | 77,8   | 77,1 | 78,3 | 77,2 | 75,1 | 77,1           | 77,0 | 78,9 | 76,5 | 79,2 | 77,4          | 4,1                 |
| 4             | 80,3                                | 77,3   | 77,3 | 78,3 | 77,3 | 75,4 | 77,3           | 77,1 | 78,3 | 76,1 | 79,4 | 77,4          | 4,0                 |
| 6             | 80,6                                | 77,8   | 77,3 | 78,4 | 77,2 | 75,2 | 77,4           | 77,6 | 78,4 | 76,4 | 79,5 | 77,5          | 4,3                 |
| 8             | 80,8                                | 77,4   | 77,4 | 78,9 | 77,1 | 75,3 | 77,3           | 77,5 | 78,2 | 76,3 | 79,4 | 77,5          | 4,1                 |
| 10            | 80,4                                | 77,3   | 77,8 | 78,5 | 77,5 | 75,4 | 77,3           | 77,1 | 78,5 | 76,8 | 79,8 | 77,6          | 4,4                 |
| 12            | 80,4                                | 77,8   | 77,9 | 78,6 | 77,9 | 75,8 | 77,2           | 77,3 | 78,5 | 76,3 | 79,6 | 77,7          | 4,0                 |
| 14            | 80,1                                | 77,9   | 77,6 | 78,1 | 77,6 | 75,9 | 77,4           | 77,2 | 78,6 | 76,4 | 79,1 | 77,6          | 3,2                 |
| 16            | 80,2                                | 77,5   | 77,3 | 78,4 | 77,8 | 75,4 | 77,4           | 77,6 | 78,4 | 76,4 | 79,8 | 77,6          | 4,4                 |
| 18            | 80,4                                | 77,4   | 77,8 | 78,2 | 77,9 | 75,3 | 77,5           | 77,9 | 78,4 | 76,8 | 79,3 | 77,7          | 4,0                 |
| 20            | 80,6                                | 77,1   | 77,9 | 78,9 | 77,3 | 75,1 | 77,5           | 77,8 | 78,3 | 76,9 | 79,1 | 77,8          | 4,0                 |
| 22            | 80,7                                | 77,3   | 77,4 | 78,6 | 77,1 | 75,2 | 77,8           | 77,9 | 78,6 | 76,4 | 79,8 | 77,6          | 4,6                 |
| 24            | 80,6                                | 77,9   | 77,2 | 78,9 | 77,6 | 75,9 | 77,9           | 77,2 | 78,4 | 76,2 | 79,6 | 77,7          | 3,7                 |
| 26            | 80,4                                | 77,9   | 77,3 | 78,6 | 77,8 | 75,4 | 77,3           | 77,1 | 78,2 | 76,2 | 79,1 | 77,5          | 3,7                 |
| 28            | 80,7                                | 77,3   | 77,6 | 78,4 | 77,3 | 75,8 | 77,8           | 77,3 | 78,1 | 76,1 | 79,8 | 77,5          | 4,2                 |
| 30            | 80,6                                | 77,5   | 77,4 | 78,1 | 77,9 | 75,9 | 77,5           | 77,3 | 78,4 | 76,4 | 79,3 | 77,6          | 3,4                 |
| 32            | 80,9                                | 77,4   | 77,1 | 78,6 | 77,4 | 75,3 | 77,6           | 77,3 | 78,6 | 76,3 | 79,4 | 77,5          | 4,1                 |
| 34            | 80,3                                | 77,3   | 77,9 | 78,9 | 77,2 | 75,8 | 77,3           | 77,6 | 78,9 | 76,9 | 79,4 | 77,7          | 3,6                 |
| 36            | 80,2                                | 77,6   | 77,6 | 78,3 | 77,1 | 75,9 | 77,1           | 77,8 | 78,9 | 78,1 | 79,6 | 77,6          | 3,7                 |
| 38            | 80,3                                | 77,9   | 77,4 | 78,1 | 77,9 | 75,4 | 77,6           | 77,9 | 78,4 | 76,4 | 79,8 | 77,7          | 4,4                 |
| 40            | 80,1                                | 77,8   | 77,8 | 78,5 | 77,3 | 75,4 | 77,6           | 77,4 | 78,2 | 76,8 | 79,4 | 77,8          | 4,0                 |
| 42            | 80,2                                | 77,3   | 77,9 | 78,6 | 77,9 | 75,6 | 77,3           | 77,1 | 78,3 | 76,9 | 79,8 | 77,7          | 4,2                 |
| 44            | 80,3                                | 77,9   | 77,3 | 78,4 | 77,8 | 75,9 | 77,9           | 77,1 | 78,4 | 76,9 | 79,6 | 77,7          | 3,7                 |
| 46            | 80,6                                | 77,8   | 77,5 | 78,4 | 77,6 | 75,3 | 77,4           | 77,6 | 78,2 | 76,4 | 79,3 | 77,6          | 4,0                 |
| 48            | 80,6                                | 77,2   | 77,4 | 78,1 | 77,9 | 75,4 | 77,9           | 77,5 | 78,6 | 76,1 | 79,4 | 77,6          | 4,0                 |
| 50            | 80,9                                | 77,3   | 77,1 | 78,3 | 77,5 | 75,2 | 77,6           | 77,3 | 78,4 | 76,8 | 79,5 | 77,5          | 4,3                 |
| 52            | 80,9                                | 77,8   | 77,1 | 78,4 | 77,2 | 75,1 | 77,8           | 77,8 | 78,9 | 76,4 | 79,1 | 77,5          | 4,0                 |
| 54            | 80,6                                | 77,4   | 77,8 | 78,5 | 77,3 | 75,2 | 77,4           | 77,9 | 78,6 | 76,8 | 79,8 | 77,7          | 4,6                 |
| 56            | 80,4                                | 77,4   | 77,6 | 78,9 | 77,9 | 75,8 | 77,3           | 77,6 | 78,2 | 76,4 | 79,6 | 77,7          | 3,8                 |
| 58            | 80,3                                | 77,9   | 77,3 | 78,6 | 77,6 | 75,3 | 77,6           | 77,8 | 78,4 | 76,9 | 79,8 | 77,7          | 4,5                 |
| 60            | 80,2                                | 77,6   | 77,2 | 78,1 | 77,1 | 75,9 | 77,5           | 77,4 | 78,4 | 76,3 | 79,4 | 77,5          | 3,5                 |
| T. PROM       | 80,4                                | 77,5   | 77,5 | 78,5 | 77,5 | 75,5 | 77,5           | 77,5 | 78,5 | 76,5 | 79,5 | 77,6          |                     |
| T. MAX        | 80,9                                | 77,9   | 77,9 | 78,9 | 77,9 | 75,9 | 77,9           | 77,9 | 78,9 | 76,9 | 79,8 |               |                     |
| T. MIN        | 80,1                                | 77,1   | 77,1 | 78,1 | 77,1 | 75,1 | 77,1           | 77,0 | 78,1 | 76,1 | 79,1 |               |                     |
| DTT           | 0,8                                 | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8  | 0,8            | 0,9  | 0,8  | 0,8  | 0,7  |               |                     |

| Parámetro                               | Valor (°C) | Incertidumbre Expandida (°C) |
|---|------------|------------------------------|
| Máxima Temperatura Medida               | 79,8       | 0,4                          |
| Mínima Temperatura Medida               | 75,1       | 0,5                          |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo  | 0,9        | 0,2                          |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 4,0        | 0,3                          |
| Estabilidad Media (±)                   | 0,45       | 0,02                         |
| Uniformidad Media                       | 4,7        | 0,1                          |

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.  
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.  
La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



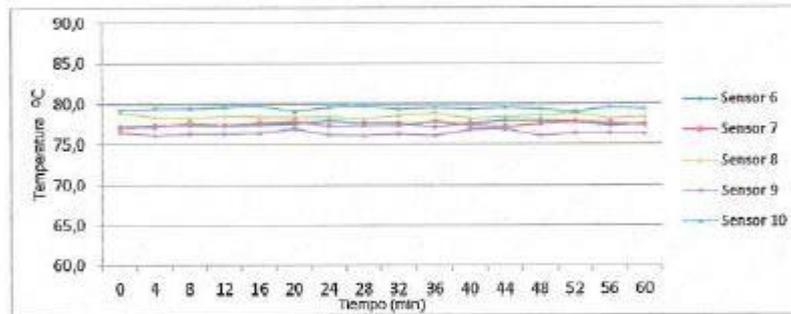
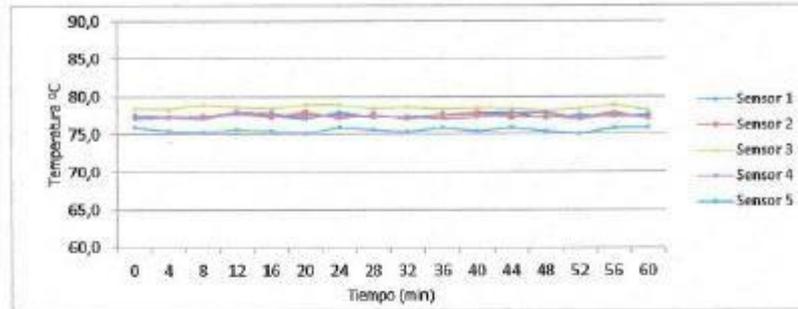
Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 008 - 2019

Página : 3 de 4

### TEMPERATURA DE TRABAJO 80 °C



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



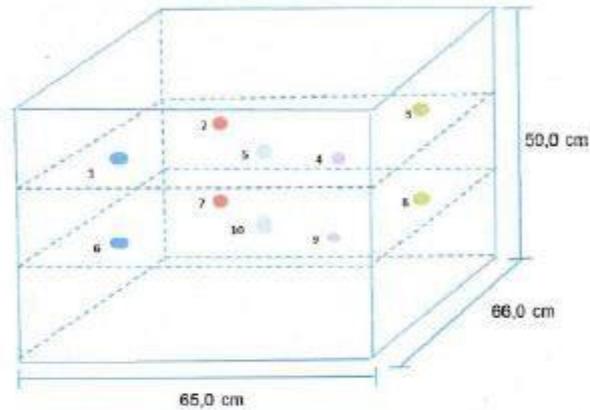
Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 008 - 2019

Página : 4 de 4

### DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 553 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 007 - 2019**

Página : 1 de 4

Expediente : T 004-2019  
Fecha de emisión : 2019-01-14

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Instrumento de Medición : ESTUFA  
Indicación : DIGITAL  
Marca del Equipo : NO INDICA  
Modelo del Equipo : HU250  
Serie del Equipo : 0710009  
Capacidad del Equipo : 214 L  
Marca de indicador : ANTONICS  
Modelo de indicador : TC4S  
Temperatura calibrada : 110 °C  
Código de identificación : NO INDICA

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual esté en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
LABORATORIO DE GEOMG S.A.C.  
11 - ENERO - 2019

4. Método de Calibración  
La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del INACAL - DM.

5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO        | MARCA     | CERTIFICADO      | TRAZABILIDAD |
|--------------------|-----------|------------------|--------------|
| TERMOMETRO DIGITAL | DELTA OHM | LT - 075 - 2018  | INACAL - DM  |
| TERMOMETRO DIGITAL | FLUKE     | LT - 0747 - 2017 | INACAL - DM  |

6. Condiciones Ambientales

|                | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 27,5    | 27,5  |
| Humedad %      | 67      | 67    |

7. Conclusiones

La estufa se encuentra dentro de los rangos 110 °C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loeyza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 007 - 2019

Página : 2 de 4

**CALIBRACIÓN PARA 110 °C**

| Tiempo (min.) | Ind. (°C) Temperatura del equipo | TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C) |       |       |       |       |                |       |       |       |       | T. prom. (°C) | ATMax. - TMin. (°C) |
|---------------|----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------------|
|               |                                  | NIVEL INFERIOR                                 |       |       |       |       | NIVEL SUPERIOR |       |       |       |       |               |                     |
|               |                                  | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6              | 7     | 8     | 9     | 10    |               |                     |
| 0             | 108                              | 110,1  | 105,8 | 108,1 | 105,9 | 105,8 | 114,3          | 114,4 | 114,0 | 114,4 | 114,8 | 110,6         | 9,0                 |
| 2             | 109                              | 110,9  | 105,4 | 106,4 | 105,6 | 105,7 | 114,6          | 114,3 | 114,2 | 114,5 | 114,6 | 110,8         | 9,2                 |
| 4             | 108                              | 110,4  | 105,6 | 106,5 | 105,6 | 105,9 | 114,3          | 114,4 | 114,3 | 114,3 | 114,3 | 110,6         | 8,8                 |
| 6             | 108                              | 110,5  | 105,3 | 106,3 | 105,3 | 105,7 | 114,4          | 114,2 | 114,4 | 114,4 | 114,8 | 110,5         | 9,3                 |
| 8             | 108                              | 110,6  | 105,4 | 106,5 | 105,8 | 105,6 | 114,6          | 114,6 | 114,4 | 114,5 | 114,6 | 110,7         | 9,2                 |
| 10            | 108                              | 110,6  | 105,4 | 106,3 | 105,6 | 105,4 | 114,6          | 114,3 | 114,8 | 114,8 | 114,6 | 110,6         | 9,4                 |
| 12            | 109                              | 110,8  | 105,4 | 106,2 | 105,6 | 105,3 | 114,3          | 114,2 | 114,9 | 114,4 | 114,8 | 110,6         | 9,6                 |
| 14            | 108                              | 110,9  | 105,6 | 106,2 | 105,5 | 105,4 | 114,2          | 114,6 | 114,7 | 114,9 | 114,9 | 110,7         | 9,5                 |
| 16            | 109                              | 110,8  | 105,8 | 106,3 | 105,3 | 105,3 | 114,7          | 114,6 | 114,8 | 114,3 | 114,3 | 110,6         | 9,5                 |
| 18            | 108                              | 110,7  | 105,9 | 106,8 | 105,9 | 105,8 | 114,8          | 114,8 | 114,3 | 114,3 | 114,7 | 110,8         | 9,0                 |
| 20            | 109                              | 110,6  | 105,8 | 106,7 | 105,5 | 105,7 | 114,6          | 114,9 | 114,7 | 114,7 | 114,5 | 110,8         | 9,4                 |
| 22            | 108                              | 110,8  | 105,6 | 106,8 | 105,6 | 105,9 | 114,9          | 114,8 | 114,7 | 114,8 | 114,4 | 110,8         | 9,3                 |
| 24            | 109                              | 110,6  | 105,7 | 106,4 | 105,3 | 105,9 | 114,8          | 114,7 | 114,3 | 114,4 | 114,6 | 110,7         | 9,5                 |
| 26            | 108                              | 110,2  | 105,8 | 106,4 | 105,8 | 105,6 | 114,7          | 114,8 | 114,2 | 114,7 | 114,6 | 110,7         | 9,2                 |
| 28            | 109                              | 110,3  | 105,4 | 106,8 | 105,7 | 105,7 | 114,4          | 114,4 | 114,2 | 114,8 | 114,8 | 110,7         | 9,4                 |
| 30            | 108                              | 110,4  | 105,6 | 106,9 | 105,8 | 105,3 | 114,2          | 114,2 | 114,3 | 114,5 | 114,6 | 110,6         | 9,3                 |
| 32            | 109                              | 110,6  | 105,7 | 106,7 | 105,6 | 105,4 | 114,6          | 114,8 | 114,5 | 114,9 | 114,5 | 110,7         | 9,5                 |
| 34            | 108                              | 110,4  | 105,6 | 106,8 | 105,5 | 105,4 | 114,6          | 114,9 | 114,4 | 114,4 | 114,4 | 110,6         | 9,5                 |
| 36            | 109                              | 110,8  | 105,8 | 106,8 | 105,3 | 105,3 | 114,7          | 114,8 | 114,8 | 114,8 | 114,2 | 110,7         | 9,5                 |
| 38            | 108                              | 110,9  | 105,8 | 106,9 | 105,5 | 105,3 | 114,4          | 114,8 | 114,5 | 114,9 | 114,5 | 110,8         | 9,6                 |
| 40            | 109                              | 110,7  | 105,4 | 106,3 | 105,8 | 105,4 | 114,3          | 114,7 | 114,4 | 114,5 | 114,6 | 110,6         | 9,3                 |
| 42            | 108                              | 110,6  | 105,8 | 106,3 | 105,9 | 105,3 | 114,3          | 114,9 | 114,5 | 114,3 | 114,5 | 110,7         | 9,6                 |
| 44            | 109                              | 110,6  | 105,6 | 106,4 | 105,6 | 105,4 | 114,2          | 114,7 | 114,4 | 114,8 | 114,5 | 110,6         | 9,4                 |
| 46            | 108                              | 110,3  | 105,4 | 106,2 | 105,8 | 105,6 | 114,6          | 114,8 | 114,8 | 114,9 | 114,4 | 110,7         | 9,5                 |
| 48            | 109                              | 110,7  | 105,4 | 106,5 | 105,7 | 105,5 | 114,8          | 114,9 | 114,9 | 114,4 | 114,8 | 110,7         | 9,5                 |
| 50            | 108                              | 110,7  | 105,6 | 106,4 | 105,6 | 105,9 | 114,9          | 114,8 | 114,5 | 114,5 | 114,6 | 110,8         | 9,3                 |
| 52            | 109                              | 110,8  | 105,3 | 106,2 | 105,5 | 105,9 | 114,7          | 114,7 | 114,7 | 114,8 | 114,5 | 110,7         | 9,5                 |
| 54            | 109                              | 110,5  | 105,9 | 106,5 | 105,6 | 105,3 | 114,9          | 114,8 | 114,8 | 114,8 | 114,4 | 110,8         | 9,6                 |
| 56            | 109                              | 110,6  | 105,5 | 106,8 | 105,8 | 105,6 | 114,8          | 114,4 | 114,5 | 114,4 | 114,5 | 110,7         | 9,3                 |
| 58            | 108                              | 110,9  | 105,6 | 106,4 | 105,9 | 106,8 | 114,3          | 114,6 | 114,4 | 114,8 | 114,6 | 110,7         | 9,2                 |
| 60            | 109                              | 110,3  | 105,4 | 106,9 | 105,8 | 105,3 | 114,4          | 114,3 | 114,3 | 114,4 | 114,3 | 110,5         | 9,1                 |
| T. PROM       | 108,5                            | 110,6  | 105,8 | 106,5 | 105,6 | 105,6 | 114,5          | 114,6 | 114,5 | 114,6 | 114,5 | 110,7         |                     |
| T. MAX        | 109,0                            | 110,9  | 105,9 | 106,9 | 105,9 | 105,9 | 114,9          | 114,9 | 114,9 | 114,9 | 114,9 |               |                     |
| T. MIN        | 108,0                            | 110,1  | 105,3 | 106,1 | 105,3 | 105,3 | 114,2          | 114,2 | 114,0 | 114,3 | 114,2 |               |                     |
| DTT           | 1,0                              | 0,8  | 0,6   | 0,8   | 0,6   | 0,6   | 0,7            | 0,7   | 0,9   | 0,6   | 0,7   |               |                     |

| Parámetro                               | Valor (°C) | Incertidumbre Expandida (°C) |
|---|------------|------------------------------|
| Máxima Temperatura Medida               | 114,9      | 0,4                          |
| Mínima Temperatura Medida               | 105,3      | 0,5                          |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo  | 0,9        | 0,2                          |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 0,0        | 0,3                          |
| Estabilidad Media (±)                   | 0,45       | 0,02                         |
| Uniformidad Media                       | 9,5        | 0,1                          |

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.  
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.  
La Incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

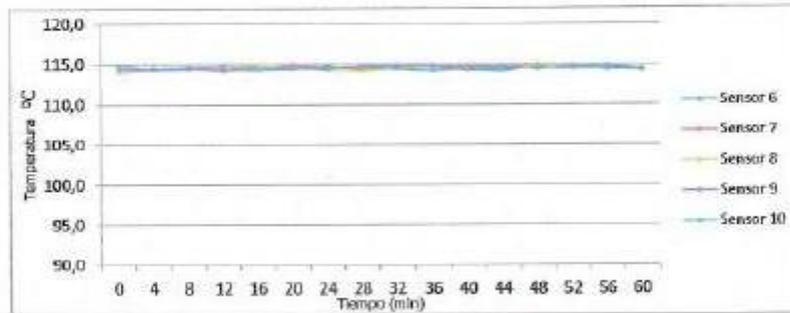
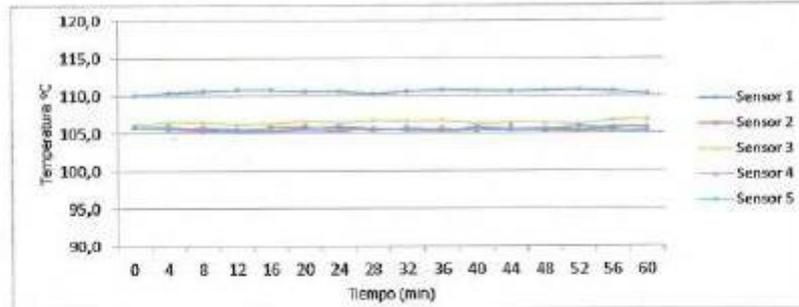


## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 007 - 2019

Página : 3 de 4

### TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

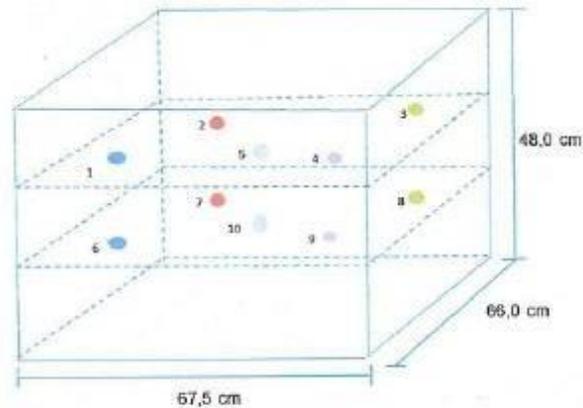


## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 007 - 2019

Página : 4 de 4

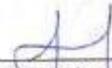
### DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
[www.puntodeprecision.com](http://www.puntodeprecision.com) E-mail: [info@puntodeprecision.com](mailto:info@puntodeprecision.com) / [puntodeprecision@hotmail.com](mailto:puntodeprecision@hotmail.com)  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 007 - 2019**

Página : 1 de 2

Expediente : T 004-2019  
Fecha de emisión : 2019-01-14

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo, indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Marca de Prensa : DGSI  
Modelo de Prensa : S-510  
Serie de Prensa : 1398  
Marca de Celda : CARDINAL SCALE  
Modelo de Celda : ZX-10000  
Serie de Celda : XG14C8C8  
Capacidad de Celda : 10000 lb  
Marca de indicador : MCC  
Modelo de indicador : SAFIR

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
LABORATORIO DE GEOMG S.A.C.  
11 - ENERO - 2019

4. Método de Calibración  
La Calibración se realiza de acuerdo a la norma ASTM E4 .

5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO    | MARCA           | CERTIFICADO O INFORME | TRAZABILIDAD                  |
|----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|
| CELDA DE CARGA | AEP TRANSDUCERS | INF-LE 090-2018       | UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ |
| INDICADOR      | AEP TRANSDUCERS |                       |                               |

6. Condiciones Ambientales

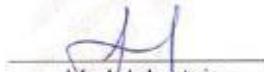
|                | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 27,3    | 27,5  |
| Humedad %      | 65      | 66    |

7. Resultados de la Medición  
Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095  
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN**

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 007 - 2019

Página : 2 de 2

**TABLA N° 1**

| SISTEMA DIGITAL<br>"A"<br>kN | SERIES DE VERIFICACIÓN (kN) |         |                |                | PROMEDIO<br>"B"<br>kN | ERROR<br>Ep<br>% | RPTBLD<br>Rp<br>% |
|------------------------------|-----------------------------|---------|----------------|----------------|-----------------------|------------------|-------------------|
|                              | SERIE 1                     | SERIE 2 | ERROR (1)<br>% | ERROR (2)<br>% |                       |                  |                   |
| 5                            | 4,9545                      | 4,9523  | 0,91           | 0,95           | 4,96                  | 0,94             | 0,04              |
| 10                           | 10,0738                     | 10,0599 | -0,74          | -0,57          | 10,07                 | -0,65            | 0,17              |
| 15                           | 14,8667                     | 14,8625 | 0,89           | 0,92           | 14,86                 | 0,91             | 0,03              |
| 20                           | 19,8224                     | 19,8385 | 0,89           | 0,82           | 19,83                 | 0,86             | -0,07             |
| 25                           | 24,7919                     | 24,7823 | 0,83           | 0,87           | 24,79                 | 0,86             | 0,04              |
| 30                           | 29,7804                     | 29,7742 | 0,80           | 0,75           | 29,77                 | 0,78             | -0,05             |
| 35                           | 34,8854                     | 34,8635 | 0,90           | 0,96           | 34,67                 | 0,94             | 0,06              |
| 40                           | 39,6186                     | 39,6241 | 0,95           | 0,94           | 39,62                 | 0,96             | -0,01             |

**NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN**

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = \frac{(A-B)}{B} \cdot 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

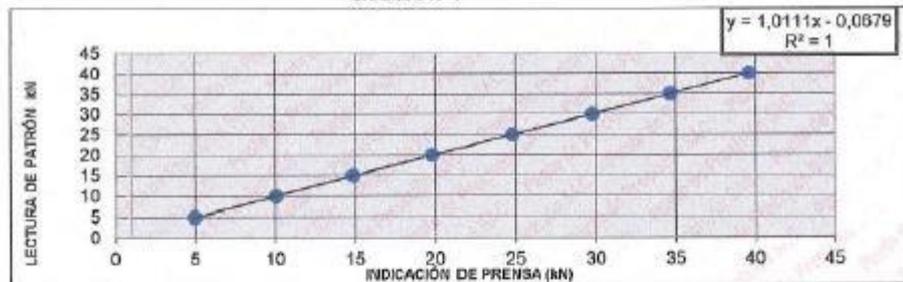
2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación:  $R^2 = 1$

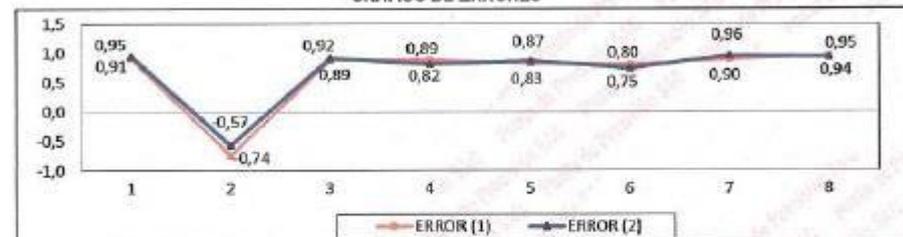
Ecuación de ajuste :  $y = 1,0111x - 0,0679$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kN)

**GRÁFICO N° 1**



**GRÁFICO DE ERRORES**



FIN DEL DOCUMENTO

Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM - 081 - 2019**

Página: 1 de 3

Expediente : 025-2019  
Fecha de Emisión : 2019-05-17

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

2. Instrumento de Medición : BALANZA

Marca : OHAUS

Modelo : EB30

Número de Serie : 8031296976

Alcance de Indicación : 30000 g

División de Escala de Verificación (e) : 1 g

División de Escala Real (d) : 1 g

Procedencia : CHINA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LABORATORIO

Fecha de Calibración : 2019-05-16

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del INACAL-DM.

4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GEOMG S.A.C.

  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

PT-06.F06 / Diciembre 2018 / Rev 02

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## **ANEXO C. AUTORIZACIÓN DE TRABAJO DE LA EMPRESA**

**WILMAN CARLOS  
RAFAEL ROBLES**

RUC: 1015660940

Ofices Civiles, Estructuras Metálicas, Mantenimiento de Plantas, Acabado y Pintura en General, Alquiler y Venta de Equipos para la Construcción

Of. Principal: Av. Colonial N° 316 - Paramonga - Barranca - Lima  
Of. Sucursal: P. Santa Catalina N° 173 - 109 - Pisco - San Martín de Porres  
C/Car: 982099991 / Telef: 612822888  
Email: [informacion@wcarlos.com](mailto:informacion@wcarlos.com)

Lima, 12 de diciembre del año 2020.

**ASUNTO: CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE LA EMPRESA.**

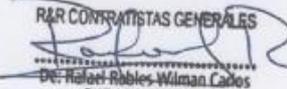
Yo Wilman Carlos Rafael Robles identificado con DNI 15660940 en mi calidad de Representante Legal del área de Servicios Generales de la empresa constructora Wilman Carlos Rafael Robles con R.U.C. N° 10156609400, con domicilio legal Av. Colonial 316 Paramonga – Barranca, Lima.

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor César Andrés Canario Robles, identificado con DNI N° 45962973 egresado Bachiller de la Carrera profesional de Ingeniería Civil para que utilice la siguiente información de la empresa:

- \_ Certificado Laboral que acredita haber trabajado durante 31 meses en nuestra empresa.
- \_ Copia de DNI del Representante Legal
- \_ Información de todos los trabajos realizados durante su estancia en la empresa hasta la fecha.
- \_ Información de los trabajos realizados en el mejoramiento de Caminos usando afirmado y cloruro de calcio el cual hasta la fecha se viene realizando en la planta Santa Elena S.A (Chancay).

Otorgo toda la información mencionada con la finalidad de que pueda desarrollar su Trabajo de suficiencia profesional para optar al grado de Título Profesional.

**R&R CONTRATISTAS GENERALES**  
  
De: Wilman Robles Wilman Carlos  
RUC 10156609400

**Wilman Carlos Rafael Robles**  
DNI: 15660940

El Egresado/Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Egresado será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

  
**César Andrés Canario Robles**  
DNI: 45962973

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA**



Yo Wilman Carlos Rafael Robles  
(Nombre del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)  
identificado con DNI 15660940, en mi calidad de Representante Legal  
(Nombre del puesto del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)  
del área de Servicios Generales  
(Nombre del área de la empresa)  
de la empresa/institución Wilman Carlos  
(Nombre de la empresa)  
Rafael Robles

con R.U.C N° 10156609400, ubicada en la ciudad de Lima Barranca Av.  
Colonial 316 Paramonga.

**OTORGO LA AUTORIZACIÓN,**

Al señor César Andres Canario Robles  
(Nombre completo del Egresado/Bachiller)

identificado con DNI N° 45962973, egresado de la  Carrera profesional o ( ) Programa de  
Postgrado de Ingeniería Civil  
(Nombre de la carrera o programa) para

que utilice la siguiente información de la empresa:  
Certificado Laboral por el periodo de 31 meses en la empresa

Copia de DNI del Representante legal  
Información del trabajo realizado: Mejoramiento de caminos usando  
Afirmado y cloruro de calcio  
(Detallar la información a entregar)

con la finalidad de que pueda desarrollar su ( ) Trabajo de Investigación, ( ) Tesis o  Trabajo de  
suficiencia profesional para optar al grado de ( ) Bachiller, ( ) Maestro, ( ) Doctor o  Título Profesional.

Recuerda que para el trámite deberás adjuntar también, el siguiente requisito según tipo de empresa:

- Vigencia de Poder. *(para el caso de empresas privadas).*
- ROF / MOF / Resolución de designación, u otro documento que evidencie que el firmante está facultado para autorizar el uso de la información de la organización. *(para el caso de empresas públicas)*
- Copia del DNI del Representante Legal o Representante del área para validar su firma en el formato.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

- ( ) Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
 Mencionar el nombre de la empresa.

**R&R CONTRATISTAS GENERALES**  
  
Dr. Wilman Robles Wilman Carlos  
RUC 10156609400

Firma y sello del Representante Legal o  
Representante del área  
DNI: 15660940

El Egresado/Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Egresado será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Egresado  
DNI: 45962973

|                     |                     |                |    |        |               |
|---------------------|---------------------|----------------|----|--------|---------------|
| CÓDIGO DE DOCUMENTO | COR-F-REC-VAC-05.04 | NÚMERO VERSIÓN | 07 | PÁGINA | Página 1 de 1 |
| FECHA DE VIGENCIA   | 21/09/2020          |                |    |        |               |



## **ANEXO D. PANEL FOTOGRÁFICO**



Foto 1. Trabajo de Topografía para medir los niveles durante el Mejoramiento de Suelo.



Foto 2. Retroexcavadora escarificando y nivelando



Foto 3. Aplicación de Cloruro de Calcio para una mejor estabilización del suelo.



Foto 4. Rodillo de Compactación.



Foto 5. Realización de Calicata para su estudio respectivo.

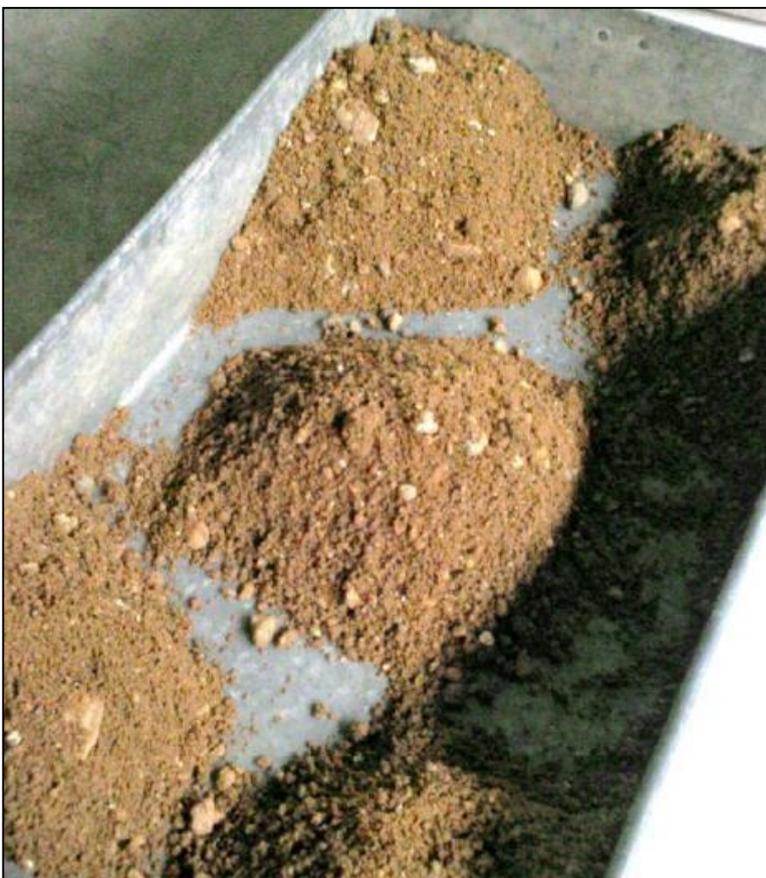


Foto 6. Cuarteo de Muestras para el Proctor modificado



Foto 7. Pesando la muestra del Proctor Modificado.

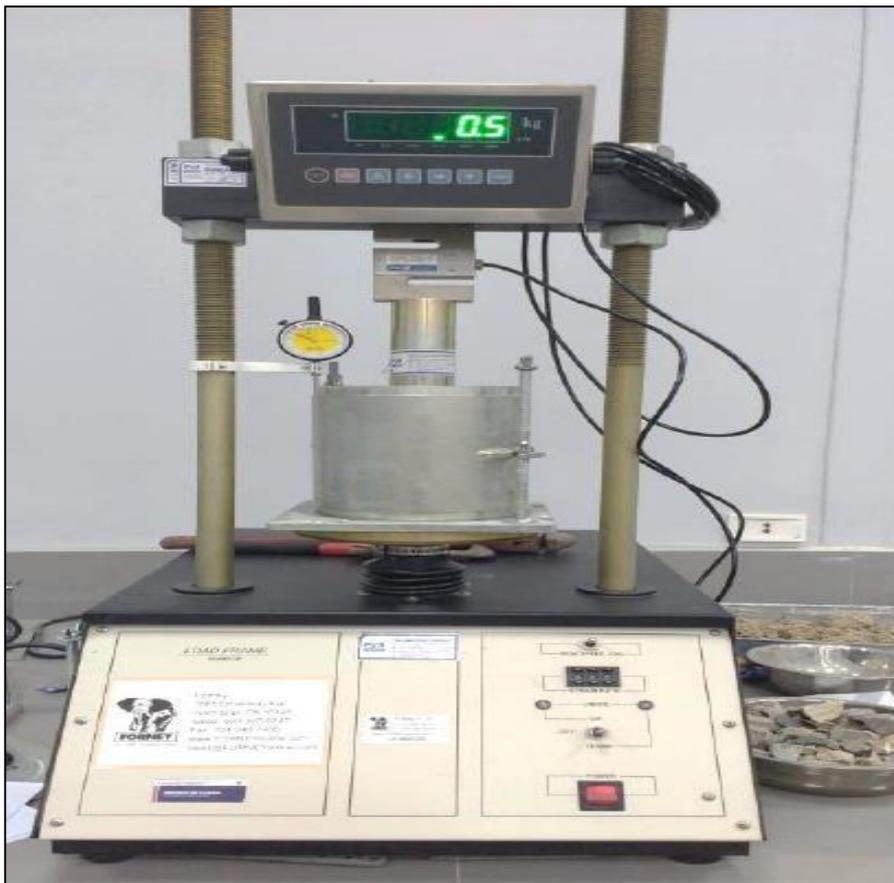


Foto 8. Equipo para la Prueba de Penetración de los moldes de CBR



Foto 9. Equipo de trabajo para el Mejoramiento de suelo con afirmado y cloruro de Calcio.