



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN Y CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS ARCILLOSOS USADOS EN SUBRASANTES AL ADICIONAR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ , CAJAMARCA 2016.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Llamoga Vásquez, Luz Yanet

Asesor:

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú

2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Luz Yanet Llamoga Vásquez**, denominada:

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN Y CAPACIDAD PORTANTE
DE SUELOS ARCILLOSOS USADOS EN SUBRASANTES AL ADICIONAR
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ , CAJAMARCA 2016.**

Ing. Alejandro Cubas Becerra
ASESOR

Ing. Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Cerquín Quispe Roger
**JURADO
SECRETARIO**

Ing. Alva Sarmiento Anita Elizabet
**JURADO
VOCAL**

DEDICATORIA

A dios porque con su sabiduría siempre supo guiarme y ayudarme en los momentos más difíciles , a mis padres por su amor, ejemplo y apoyo incondicional y a mis verdaderos amigos que me apoyaron hasta el final de este proyecto.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por la formación profesional brindada durante estos años de estudios.

Al Sr. Víctor Cuzco Minchán por brindarme las facilidades de disposición de los equipos de laboratorio de mecánica de suelos ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

Al Ing. Alejandro Cubas Becerra por su guía y orientación en cada etapa del proyecto

Al Ing. Orlando Aguilar Aliaga por su apoyo en la revisión de esta investigación.

Y a todas aquellas personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.2. Formulación del problema	19
1.3. Justificación	19
1.4. Limitaciones	19
1.5. Objetivos.....	20
A. Objetivo General	20
B. Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes	21
2.2. Bases Teóricas.....	22
A. Las Puzolanas.....	22
1. Principales tipos de puzolanas	22
1.1 Puzolanas Naturales	22
1.2 Puzolanas Artificiales:	23
1.3 Cenizas volantes (Fly ash):.....	24
1.4 Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:	24
1.5 Micro sílice:	24
1.6 Residuos agrícolas:.....	25
B. La ceniza de cascarilla de arroz	25
1. La cascarilla de arroz (CA)	25
2. La ceniza de cascarilla de arroz (CCA)	26
3. Propiedades físicas de la ceniza de cascarilla de arroz	27
4. Propiedades químicas de la ceniza de cascarilla de arroz	28
5. Métodos de elaboración.....	28
5.1 Calcinación a campo abierto	28
5.2 Calcinación en hornos (circulares o cuadrados)	29
5.3 Calcinación en lecho fluido	29
C. El suelo.....	30

1. Suelos arcillosos	30
2. Grupos de minerales arcillosos	31
2.1 Grupo de la caolinita	31
2.2 Grupo de la illita:	32
2.3 Grupo de la montmorillonita:.....	32
2.4 Grupo de la vermiculita:	32
3. Factores que intervienen en la expansión del suelo	33
3.1 El Índice de plasticidad	33
3.2 Límites de consistencia Atterberg.....	33
3.2.1 Límite líquido.....	33
3.2.2 Límite plástico	34
3.2.3 Límite de contracción.....	34
4. Clasificación e identificación de suelos	35
4.1 Clasificación AASHTO	35
4.2 Clasificación SUCS.....	39
5. Evaluación del potencial de expansión	42
5.1 Métodos de determinación del grado de expansión	42
5.2 Método de Holtz y Gibbs (1956).....	42
5.3 Método de Seed, Woodward y Lundgren:.....	42
5.4 Método de Ranganathan y Stayanarayana:.....	43
D. Tratamiento de suelos arcillosos	44
D.1 Estabilización con cal	44
D.2 Acciones básicas de la cal:	44
1. Intercambio Catiónico:	44
2. Floculación	45
3. Carbonatación.....	45
4. Reacción Puzolánica.....	45
2.3. Definición de términos básicos	46
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS	48
3.1. Formulación de la hipótesis	48

3.2.	Operacionalización de variables	48
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....		49
4.1.	Tipo de diseño de investigación	49
4.2.	Material.....	49
	A. Unidad de estudio	49
	B. Población.....	50
	C. Muestra.	50
4.3.	Métodos.....	50
	A. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos	50
	B. Procedimientos	51
CAPÍTULO 5. DESARROLLO		58
5.1	Ubicación a del material.....	58
5.2	Realización de ensayos	60
5.2.1	Contenido de Humedad (NTP 339.160 – 2001).....	60
5.2.2	Análisis granulométrico (NTP 339.128-1999).....	60
5.2.3	Contenido óptimo de cal (ASTM D-6276).....	61
5.2.4	Límites de Atemberg (NTP 339.129-1999).....	61
1.	Límite Líquido.....	61
2.	Límite plástico	62
3.	Índice plasticidad.....	64
5.2.5	Ensayo proctor (NTP 339.141-1999).....	64
5.1.1	Ensayo de CBR (NTP 339.145-1999)	66
CAPÍTULO 6. RESULTADOS		67
6.1	Contenido de Humedad	67
6.2	Análisis Granulométrico (NTP 339.128-1999).....	67
6.3	Contenido óptimo de cal (ASTM D-6276).....	70
6.4	Límites de consistencia Atemberg (NTP 339.129-1999).....	70

6.5 Ensayo proctor (NTP 339.141-1999).....	75
6.5 Ensayo CBR (NTP 339.145-1999).....	79
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	95
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS	103
ANEXOS.....	105
PANEL FOTOGRÁFICO.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la ceniza de cáscara de arroz.....	23
Tabla 2. Tabla Poder calorífico de cascarilla de arroz	28
Tabla 3. Contenido de sílice de la ceniza de cáscara de arroz.....	28
Tabla 4. Clasificación de suelos según índice de grupo	37
Tabla 5. Clasificación de suelos – Método AASHTO	38
Tabla 6. Clasificación de suelos – Método SUCS	40
Tabla 7. Grado de expansión -Holtz y Gibbs.....	42
Tabla 8. Grado de expansión -Seed, Woodward y Lungren	43
Tabla 9. Grado de expansión -Ranganathan y Stayanarayana	43
Tabla 10. Categorías de subrasante según CBR	46
Tabla 11. Operacionalización de variables	48
Tabla 12. Unidad de estudio	49
Tabla 13. Organización de tratamientos	49
Tabla 14. Recolección de Datos	50
Tabla 15. Resultados del contenido de humedad	67
Tabla 16. Resultados del análisis granulométrico	68
Tabla 17. Clasificación según AASHTO	69
Tabla 18. Clasificación según SUCS	69
Tabla 19. Contenido óptimo de cal	70
Tabla 20. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 0%CCA.....	71
Tabla 21. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 4% de CCA.....	72
Tabla 22. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 7%CCA.....	73
Tabla 23. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 10%CCA.....	74
Tabla 24. Resultados del ensayo Proctor con 0%CCA.....	75
Tabla 25. Resultados del ensayo Proctor con 4%CCA.....	76
Tabla 26. Resultados del ensayo Proctor con 7%CCA.....	77
Tabla 27. Resultados del ensayo Proctor con 10% de CCA.....	78
Tabla 28. Resultados del ensayo CBR con 0% de CCA.....	79
Tabla 29. Resultados de ensayo de CBR con 4%CCA.....	80
Tabla 30. Resultados del ensayo de CBR con 7% CCA.....	81
Tabla 31. Resultados de ensayo CBR con 10% de CCA.....	82
Tabla 32. Resultados del hinchamiento con 0% CCA.....	83
Tabla 33. Resultados del ensayo de carga -penetración con 0%CCA	84

Tabla 34. Resultados de CBR con 0% de CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas.....	85
Tabla 35. Resultados del hinchamiento con 4 % CCA.....	86
Tabla 36. Resultados del ensayo de carga -penetración con 4%CCA	87
Tabla 37. Resultados de CBR con 4% de CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas.....	88
Tabla 38. Resultados del hinchamiento con 7%CCA.....	89
Tabla 39. Resultados del ensayo de carga -penetración con 7%CCA	90
Tabla 40. Resultado de CBR con 7%CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas	91
Tabla 41. Resultados del hinchamiento con 10% de CCA	92
Tabla 42. Resultados de ensayo carga -penetración con 10% de CCA.....	93
Tabla 43. Resultado de CBR con 10%CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas	94
Tabla 44. Cuadro comparativo de límites de consistencia	96
Tabla 45. Resultados de la expansión del suelo	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Asentamiento de la vía Rocafuerte a causa de arcillas expansivas.....	17
Figura 2. Mal estado de la carretera a Combayo	18
Figura 3. Falla del pavimento de la carretera a San Ignacio	18
Figura 4. Ceniza de cascarilla de arroz después de la molienda.....	25
Figura 5. Horno de ladrillos	29
Figura 6. Horno de lecho fluidizado	30
Figura 7. Unidad estructural tetraédrica.....	31
Figura 8. Unidad estructural octaédrica	31
Figura 9. Grupo de caolinita	31
Figura 10. Grupo illita	32
Figura 11. Grupo montmorillonita.....	32
Figura 12. Grupo vermiculita	33
Figura 13. Localización del área del material	58
Figura 14. Quemado y molienda para obtener la ceniza.....	59
Figura 15. Muestras de suelo para determinación de humedad	60
Figura 16. Muestras de suelo para análisis granulométrico.....	60
Figura 17. Análisis del contenido óptimo de cal	61
Figura 18. Ensayo de límite líquido.....	62
Figura 19. Ensayo de límite plástico	63
Figura 20. Rollitos con 4%CCA.....	63
Figura 21. Rollitos con 7%CCA.....	63
Figura 22. Rollitos con 10%CCA.....	63
Figura 23. Mezclado de material con 0%CCA.....	65
Figura 24. Mezclado de material con 4%CCA.....	65
Figura 25. Mezclado de material con 7%CCA.....	65
Figura 26. Mezclado de material con 10%CCA.....	65
Figura 27. CBR con 0%, 4%, 7% y 10% de CCA	66
Figura 28. Molido de la CCA para activar sus propiedades	133
Figura 29. Preparación de muestras para límites de Attemberg.....	133
Figura 30. Realizando ensayo de límite plástico con 10%CCA	134
Figura 31. Preparación de suelo para ensayo Proctor con 0% y 4% de CCA.....	134
Figura 32. Realizando en ensayo Proctor con 7% de CCA	134
Figura 33. Muestras obtenidas del ensayo Proctor después de 24 horas en el horno ...	135

Figura 34. Muestras antes y después del horno después de 24 horas	135
Figura 35. Preparación de muestra para CBR con 0% y 4% de CCA.	135
Figura 36. Realización del ensayo CBR, para la muestra de 10% de CCA.	136
Figura 37. Compactado de muestra para CBR con 0% ,4% y 7% de CCA.....	136
Figura 38. Sumergido de moldes después de compactado de ensayo CBR	137
Figura 39. Registro del hinchamiento de las muestras sumergidas por 4 días	137
Figura 40. Ensayo de carga penetración para la muestra de 0% de CCA	138
Figura 41. Ensayo de carga penetración con el Ing. Iván Mejía	138
Figura 42. Ensayo de carga penetración para la muestra de 7% de CCA	139
Figura 43. Realización de ensayo de carga penetración con asesor	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva de análisis granulométrico	68
Gráfico 2. Límite líquido con 0%CCA	71
Gráfico 3. Límite líquido con 4%CCA	72
Gráfico 4. Límite líquido con 7%CCA	73
Gráfico 5. Límite líquido con 10%CCA	74
Gráfico 6. Curva de compactación con 0%CCA.....	75
Gráfico 7. Curva de compactación con 4%CCA.....	76
Gráfico 8. Curva de compactación con 7%CCA.....	77
Gráfico 9. Curva de compactación con 10%CCA.....	78
Gráfico 10. Expansión del suelo con 0%CCA	83
Gráfico 11. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 0% CCA	84
Gráfico 12. Curva de CBR- Densidad Seca con 0% de CCA	85
Gráfico 13. Expansión del suelo con 4%CCA	86
Gráfico 14. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 4% CCA	87
Gráfico 15. Curva de CBR- Densidad Seca con 4% de CCA	88
Gráfico 16. Expansión del suelo con 7% de CCA	89
Gráfico 17. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 7% de CCA.	90
Gráfico 18. Curva de CBR- Densidad Seca con 7% de CCA	91
Gráfico 19. Expansión del suelo con 10% de CCA	92
Gráfico 20. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 10% de CCA	93
Gráfico 21. Curva de CBR- Densidad Seca con 10% de CCA	94
Gráfico 22. Límites de consistencia vs porcentaje de ceniza.....	96
Gráfico 23. Variación de la expansión según índice de plasticidad	97
Gráfico 24. Expansión para molde 1, según porcentaje de ceniza	98
Gráfico 25. Expansión para molde 2, según porcentaje de ceniza	99
Gráfico 26. Expansión par molde de 3, según porcentaje de ceniza	99
Gráfico 27. Comparación del CBR de 0.2” de penetración, según porcentaje de ceniza	100

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Ecuación 1	33
Ecuación 2	34
Ecuación 3	34
Ecuación 4	35
Ecuación 5	42
Ecuación 6	43

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, evaluar el potencial de expansión y capacidad portante (CBR) de suelos arcillosos usados en sub-rasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz (CCA). La metodología de esta investigación consistió en caracterizar el suelo natural, su plasticidad, expansión y capacidad portante (CBR); así como el suelo combinado con ceniza de cascarilla de arroz en los porcentajes de 4%, 7% y 10%. Los resultados obtenidos indicaron que la expansión se incrementó en 0.43% con el contenido del 10% de ceniza, pero disminuyó en 16.84% y en 21.12% para los contenidos de ceniza del 4% y 7% respectivamente. El mismo comportamiento se puede apreciar en la capacidad portante, los resultados indican que la resistencia del suelo sufre decremento del 0.85% con la adición del 10% de ceniza; sin embargo, para las adiciones del 4% y 7% el CBR se incrementó de 2.85% a 4.52% y de 2.85% a 7.80% respectivamente. En base a lo anterior, se puede concluir que el mejor comportamiento del suelo se alcanzó con el contenido del 7% de ceniza y por tanto este material de desecho podría ser factible en el tratamiento de suelos arcillosos usados en sub-rasantes.

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the expansion potential and the bearing capacity (CBR) of clayey soils used in subbases by adding rice husk ash (CCA). The methodology of this research consisted in characterizing the Natural soil, its plasticity, expansion and bearing capacity (CBR); As well as soil combined with rice husk ash in the percentages of 4%, 7% and 10%. The results showed that the expansion increased by 0.43% with the 10% ash content, but decreased by 16.84% and by 21.12% for the ash contents of 4% and 7%, respectively. The same behavior can be seen in the carrying capacity, the results indicate that the resistance of the soil undergoes a decrease of 0.85% with the addition of 10% of ash, however for additions of 4% and 7% the CBR increased from 2.85% to 4.52% and from 2.85% to 7.80% respectively. Based on the above, it can be concluded that the best soil behavior was achieved with the ash content of 7% and therefore this waste material could be feasible in the treatment of clayey soils used in subbases.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el Perú existe una variedad de suelos entre arenosos y arcillosos que en su estado natural no son adecuados para su uso en la construcción. Muchas veces su granulometría, plasticidad o capacidad portante no cumplen las condiciones óptimas de uso por lo que el material es desechado al no presentar las características adecuadas que lo hacen utilizable como material firme para la construcción.

A través de los años la presencia de suelos arcillosos ha sido una problemática relevante para la construcción, su incidencia es negativa en las obras civiles pues como nos indica Fonseca (2002) “sus efectos están asociados principalmente a sus características resistentes, cambios de estado y cambios volumétricos que sufre la arcilla cuando está en contacto con el agua” (p. 68). Lo que contribuye a que estos suelos sean inestables y causen problemas de asentamientos afectando así a las estructuras de las obras tal como lo podemos apreciar en la figura 1.

Figura 1. Asentamiento de la vía Rocafuerte a causa de arcillas expansivas



Fuente: Mora, 2013.

Los problemas de hundimientos y de inestabilidad que se presentan en las obras, son debidos principalmente al cambio morfológico que sufre la arcilla cuando está en contacto con el agua, pues como bien menciona Crespo (2004) “los suelos arcillosos tienen gran capacidad de mutar sus prestaciones en función de la cantidad de agua que llevan” (p.26).

Teniendo en cuenta estas características analizamos entonces que cuando las arcillas están en condiciones saturadas se presentan de formas totalmente plásticas maleables y hasta deformables, no presentando rigidez ni retorno elástico; lo que contribuye a que en época lluviosa los caminos se tornen resbaladizos e intransitables, no se pudiendo acceder con los vehículos hasta los sectores más

alejados de la ciudad impidiendo cualquier tipo de comunicación tal como lo observamos en la figura 2.

Figura 2. Mal estado de la carretera a Combayo



Fuente: RPP, 2015.

Por otro lado, en condiciones secas las arcillas tienen elevada rigidez presentando deformaciones elásticas cuando se aplican cargas muy elevadas; y si a estos problemas le sumamos el hecho de que en nuestro país los caminos son el resultado de hacer cortes al suelo, sin darle ningún tipo de mejoramiento, ello contribuye a que el suelo no tratado, con la presencia del agua se licúe perdiendo su capacidad portante y mostrando grandes deformaciones sobre la superficie tal como se aprecia en la figura 3.

Figura 3. Falla del pavimento de la carretera a San Ignacio



Fuente: RPP, 2017.

Para corregir esta problemática según la norma peruana se usan variadas técnicas para mejorar el suelo; ya sea utilizando productos químicos no tóxicos o diferentes

materiales como cal, cemento que dotan a éstos suelos de un mejor comportamiento en el servicio.

La cascarilla de arroz se está imponiendo como material de construcción de pavimentos, ya que “la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), ha demostrado poseer grandes propiedades puzolánicas; pues su gran comportamiento mecánico como estabilizante influye en la capacidad de los suelos para resistir las cargas transmitidas por los vehículos” (Morales, 2015, p.53).

Por lo anterior se concluye que al ser Cajamarca una ciudad formada por suelos especialmente arcillosos, los cuales dada su composición química y mineralógica, presentan problemas geotécnicos para su empleo en la construcción, es que se hace necesario evaluar el potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en sub-rasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye la variación de porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz en el potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en sub-rasantes?

1.3. Justificación

Cajamarca es una ciudad formada por todo tipo de suelos, especialmente por materiales arcillosos, estos suelos dada su composición química y mineralógica, presentan problemas geotécnicos para su empleo en la construcción, debido a su elevada plasticidad y reducida capacidad portante, por este motivo, existe la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan darle un tratamiento adecuado a este tipo de suelos, sin incurrir en costos elevados y aprovechando productos secundarios como son las cenizas de cascarilla de arroz que constituyen productos de desecho y fuentes de contaminación para el medio ambiente debido a su inadecuada disposición final.

1.4. Limitaciones

No existen limitaciones.

1.5. Objetivos

A. Objetivo General

Evaluar el potencial de expansión y la capacidad portante de suelos arcillosos usados en sub-rasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz en los porcentajes de 4%,7% y10%.

B. Objetivos Específicos

1. Evaluar el potencial de expansión y la capacidad portante de las muestras de suelo en su estado natural.
2. Evaluar el potencial de expansión del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 4%, 7% y 10% de ceniza de cascarilla de arroz.
3. Evaluar la capacidad portante del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 4%, 7% y 10% de ceniza de cascarilla de arroz.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Aparna (2014) estudió la capacidad portante del suelo con porcentajes de 10%, 15% y 20% de ceniza de cascara de arroz, sus resultados mostraron que el CBR se redujo con aumento del contenido de ceniza de 15% a 20%; sin embargo para el contenido de 10%, el CBR se incrementó hasta 106% para muestras sin remojar, concluyendo que el contenido óptimo para estabilizar este tipo de suelos es de 10% de ceniza.

Pérez (2012) estudió el efecto que produce la adición de cenizas de carbón en un suelo arcilloso. A través de su estudio en base a mezclas suelo-ceniza (80/20 y 60/40) evaluó el comportamiento geotécnico del suelo y comprobó que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso presenta un mejor comportamiento que el suelo natural ya que el CBR se incrementó de 7.7% a 23.5%. Concluyendo que su empleo es recomendado en el diseño de capa de sub-base y sub-rasante mejorada ya que ha demostrado ser un buen material estabilizador de suelos.

Delgado (2011) analizó el efecto que tiene la cal en los límites de Atterberg, utilizando las proporciones de 2%, 4% y 6%, a través de su estudio comprobó que existe una reducción significativa del índice de plasticidad con el incremento del porcentaje de cal; concluyendo que la proporción óptima de cal para mejorar las propiedades del suelos es del 6%.

Okafor y Okonkwo (2009) estudiaron la plasticidad, la resistencia a la compresión no confinada y el CBR de suelos lateríticos con porcentajes de 5%, 7.5%, 10% y 12.5% de ceniza de cáscara de arroz, sus resultados mostraron que el límite líquido se redujo de 35,20% a 24,80% con aumento del contenido de ceniza de 0% a 7.5%; sin embargo, para contenidos de 10% a 12.50% el límite líquido aumentó de 24,80% a 29,85% respectivamente. Lo mismo sucede con los valores de la resistencia no confinada y la capacidad portante del suelo los cuales se incrementan con el contenido de 7.50% y a partir de 10% es que empieza a disminuir considerablemente.

Jha y Gill (2006) estudiaron la resistencia a la compresión no confinada y la capacidad de soporte del suelo con porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% de ceniza de cáscara de arroz, sus resultados mostraron que la capacidad portante del suelo y su resistencia a la compresión aumentó con el incremento del contenido de ceniza. Concluyendo que el contenido óptimo es del 12% de ceniza.

Muntohar (2005) estudió las propiedades de suelos limosos con la adición de la ceniza de cascarilla de arroz, sus resultados mostraron que la adición de ceniza disminuye la plasticidad del suelo expansivo, en su estudio determinó que la expansión se redujo hasta casi un 100% por lo que concluyó que su porcentaje óptimo de ceniza para estabilizar este suelo era del 6%.

2.2. Bases Teóricas

A. Las Puzolanas

Las puzolanas son materiales que contienen sílice y/o aluminio, los cuales por sí solos tienen poca o ninguna propiedad cementante, sin embargo, cuando son mezclados con hidróxido de calcio, ante la presencia de agua pueden endurecerse como los cementos.

La norma ASTM citada en Vega (2006) define a las puzolanas como “materiales naturales o artificiales sílice - amorfos o aluminio - síliceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente; son una especie de cemento natural que en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes” (p.17).

Los materiales puzolánicos son sólidos inorgánicos de naturaleza silíceo o sílice aluminosa de origen natural o artificial, los cuales endurecen en agua al ser mezclados con hidróxido cálcico o cualquier otro material que pueda producir reacciones puzolánicas y que finalmente generan productos de hidrataciones estables, insolubles y de carácter cementante, además para que pueda producirse la reacción puzolánica es necesario que la sílice esté en estado amorfo (Vega, 2006).

1. Principales tipos de puzolanas

Según su origen las puzolanas se clasifican en dos grandes grupos naturales y artificiales:

1.1 Puzolanas Naturales

Son productos minerales de compuestos sílice-luminosos de textura fina y estructura amorfa, lo que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento. El constituyente amorfo es vidrio producido por

el enfriamiento brusco de la lava, como la pómez, las tobas, la escoria y la obsidiana.

Las puzolanas naturales son derivadas de erupciones volcánicas, excepto las tierras diatomáceas, las cuales son formadas por silicatos amorfos hidratados, derivados de los esqueletos de microorganismos acuáticos. Su estructura pobre cristalina es la que le da la reactividad a estos materiales, son difíciles de evaluar debido a su variación mineralógica, entre las principales puzolanas naturales, tenemos las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas que luego por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas. Las puzolanas químicamente tienen la composición que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Composición química de la ceniza de cáscara de arroz

Contenido	Componente Químico
91.20	Óxido de Silicio
0.94	Óxido de Aluminio
0.37	Óxido de Hierro
2.15	Óxido de Calcio
0.88	Óxido de Magnesio
2.10	Óxido de Potasio

Fuente: Allauca y Lung, 2009.

1.2 Puzolanas Artificiales:

Las puzolanas artificiales son materiales que son el resultado de un tratamiento térmico adecuado, dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos uno formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos y otro constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales que en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas.

Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita,

polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc. Las de mayor peso en la actualidad, en el mundo, son las cenizas volantes en función de las ventajas económicas y técnicas que ofrecen ya que es un material de desecho con muy buenas propiedades puzolánicas.

1.3 Cenizas volantes (Fly ash):

Las cenizas volantes, son un tipo de cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible.

La Norma ASTM C618 define dos clases de cenizas volantes: las cenizas de clase F y las cenizas de clase C. La clase F se produce normalmente al quemar antracita o carbón bituminoso y tiene propiedades puzolánicas, pero no tiene propiedades aglomerantes. La clase C de cenizas volantes se produce normalmente de la quema de lignito o carbón no bituminoso y además de las propiedades puzolánicas tiene algunas propiedades aglomerantes autógenas.

1.4 Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:

Las arcillas naturales por si solas no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600°C a 900°C. Mayormente estos materiales están formados por residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que son sometidas a temperaturas superiores a los 800°C.

1.5 Micro sílice:

El micro sílice es un subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferro silicio. Este material está constituido por una buena cantidad de sílice amorfa compuesta por partículas esféricas que se recolectan de los gases de escape de los hornos.

Vega (2006) determinó que este tipo de ceniza está formada por partículas vítreas muy finas con un área superficial de 20000 m²/kg y al ser la micro sílice extremadamente fina tiene alto contenido de sílice amorfa convirtiéndose en un material puzolánico altamente efectivo para

reaccionar con la cal durante la hidratación del cemento y formar compuestos aglomerantes (p. 21).

1.6 Residuos agrícolas:

Estos materiales son el resultado de la combustión de los residuos agrícolas como la ceniza de cascarilla de arroz, las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

Figura 4. Ceniza de cascarilla de arroz después de la molienda



Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. La ceniza de cascarilla de arroz

1. La cascarilla de arroz (CA)

La planta de arroz, científicamente denominada ***Orizac Sativa*** pertenece a la familia de las gramíneas, está constituida por cuatro componentes principales el germen, el endospermo, la cutícula y la cáscara o pajilla. El germen que es la parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas constituye la parte germinal que da lugar al crecimiento del grano.

Gutiérrez citado en Aguilar (2009) indica que “el endospermo representa alrededor del 70% del volumen del grano que constituye al final del proceso el arroz blanco, la cutícula o polvillo alcanza un 6.8% en volumen en el grano de arroz y es utilizado como alimento para animales por su alto contenido de grasas .Finalmente la cáscara o pajilla, constituye aproximadamente el 20% en peso del grano y es separado en el proceso de pilado formándose verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho” (p. 28).

La cascarilla de arroz es un desecho agro-industrial que se produce en altos

volúmenes en zonas donde se siembra y se procesa esta planta; por tanto este desecho se puede utilizar como fuente de silicio para la obtención de silicatos de calcio. Los silicatos de calcio se utilizan en la fabricación de ladrillos de cal, en la industria del cemento y también como material de relleno en las industrias de pinturas y plásticos entre otros múltiples usos.

2. La ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

La cascarilla de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos, este material de desecho agrícola constituye alrededor del 20% de la producción mundial de arroz, que se aproximó a los setecientos millones de toneladas en el año 2011 (Mattey, 2015).

En nuestro país se siembran cerca de 400 hectáreas de arroz, siendo el promedio nacional de 8 toneladas por hectárea, por las que se obtienen 3 millones de toneladas de arroz en cáscara (Agraria, 2013).

Como consecuencia de esta producción se obtiene cerca de 400000 toneladas de cascarilla de arroz como residuo, las cuales mediante un proceso de quema controlada dan origen a cerca de 100000 toneladas de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con un alto contenido de sílice, convirtiéndose así, en una alternativa potencial para su uso en la industria de la construcción gracias a sus características puzolánicas y su alta disponibilidad alrededor del mundo.

La CCA obtenida de la cascarilla de arroz bajo condiciones de combustión controladas puede ser usada como material para obtener sílice de característica amorfa y poder ser utilizarla como puzolana. En la transformación de las cáscaras de arroz a ceniza, el proceso de la combustión quita la materia orgánica y deja el residuo rico en sílice, sin embargo, en función de la temperatura a que se produce la quema se puede obtener ceniza con estructura amorfa, con alta actividad puzolánica, o cristalina, que presenta una baja actividad puzolánica al no reaccionar con la cal. La temperatura a la que se produce el cambio de estructura amorfa a cristalina se encuentra, de acuerdo a la literatura consultada, alrededor de los 500°C a 900°C.

Juárez (2012) indica que “un aspecto importante de la CCA es su contenido de sílice el cual reacciona con la cal, dando lugar esta reacción a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado, que contribuyen a la generación de resistencias mecánicas en los concretos adicionados” (p.31).

Es por esta razón que este material es considerado como una opción viable para la sustitución parcial del cemento, pues su gran contenido de sílice es lo que le brinda a la ceniza sus propiedades puzolánicas, sin embargo como ya se mencionó sólo la sílice amorfa no cristalina posee estas propiedades, es por esta razón es muy importante que la temperatura y duración de la combustión sean controladas durante el proceso de obtención de la ceniza.

Antes del año 1970, la cascarilla de arroz era quemada en forma incontrolada y generalmente la ceniza producida era muy pobre en puzolanas. En el año 1973 aparecieron técnicas para controlar la combustión de este desecho agrícola, logrando como resultado una ceniza altamente reactiva, la misma que puede ser producida por combustión controlada cuidando que la sílice, sea producida en forma no cristalina y en estructura celular, para esto se necesita una incineración controlada a fin de obtener una ceniza altamente puzolánica.

En hornos industriales se obtiene del 90% al 95% de sílice, si la combustión es a campo abierto se obtiene sílice cristalina no reactiva en gran cantidad, la misma que debe de ser llevada a tamaño pequeño para que así logren desarrollar actividad puzolánica. Sólo la sílice amorfa es capaz de reaccionar químicamente con los iones calcio de la cal, formando como consecuencia productos cementantes que estabilizan al suelo y le otorgan un mejor comportamiento.

3. Propiedades físicas de la ceniza de cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz, es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Una característica principal de la cáscara de arroz (CA) es su poder calorífico, ya que éste influirá en la obtención de la sílice, pues como se puede apreciar en la tabla 2, a menor contenido de humedad mayor poder calorífico y por lo tanto mayor fuente de sílice.

Tabla 2. Tabla Poder calorífico de cascarilla de arroz

Contenido de Humedad	Poder Calorífico
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

Fuente: Allauca y Lung, 2009.

4. Propiedades químicas de la ceniza de cascarilla de arroz

Dentro de las propiedades químicas de la cascarilla de arroz encontramos que tiene un alto porcentaje de sílice (SiO_2), que corresponde al 83.20% que en otras variedades de arroz llega al 95% de SiO_2 , lo que le hace atractivo como material apto para la construcción.

Tabla 3. Contenido de sílice de la ceniza de cáscara de arroz

Componente Químico	Porcentaje
SiO_2	83.20
Al_2O_3	0.95
Fe_2O_3	1.05
CaO	1.02
MgO	1.03
K_2O	1.29
Na_2O	0.15
P_2O_5	0.40
SO_3	0.13
TiO_2	0.08
CL	0.07
Total	99.97

Fuente: Allauca y Lung, 2009.

5. Métodos de elaboración

La ceniza de cáscara de arroz puede ser obtenida a través de diferentes técnicas de calcinación, entre las que destacan:

5.1 Calcinación a campo abierto

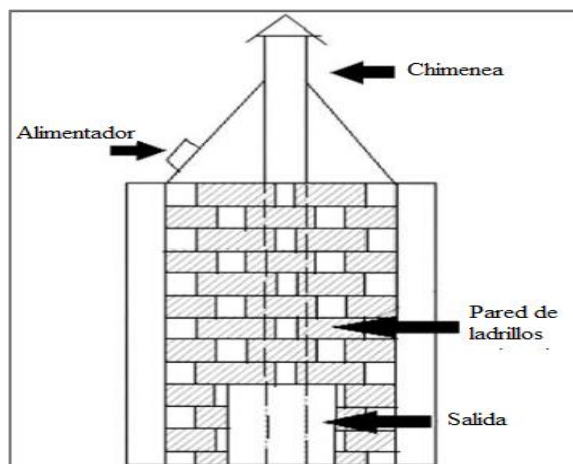
Es una técnica sencilla de reducción de cáscara a ceniza, se realiza en recintos circulares de ladrillo de hasta 16m de diámetro, con pilas de cáscara de 2,5m de altura. La cáscara calcinada es extraída cada cierto

tiempo obteniéndose una ceniza de color negro. Mediante esta técnica de calcinación la temperatura no puede ser controlada. Asimismo, debido a la alta temperatura alcanzada y a la formación resultante de estructuras silíceas altamente cristalinas (cristobalita y tridimita), la calcinación a campo abierto es asociada con puzolanas de bajo índice de reactividad.

5.2 Calcinación en hornos (circulares o cuadrados)

Los hornos usados en esta técnica tienen paredes de ladrillos los cuales se disponen alternadamente de tal manera que se permita el acceso del aire hacia el interior, su chimenea se extiende hasta la base del horno y está elaborada con una malla fina de alambre que permite que el aire fluya y evitando el ingreso de ceniza. Esta técnica de calcinación produce una ceniza de color blanco, altamente activa, de naturaleza amorfa y con presencia minoritaria de cuarzo cristalino.

Figura 5. Horno de ladrillos



Fuente: Juárez, 2012.

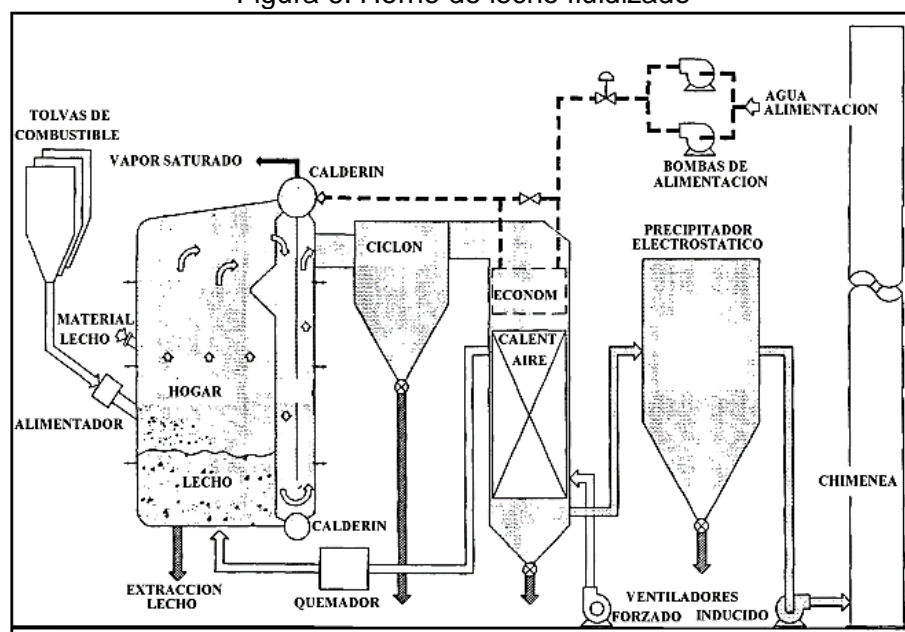
5.3 Calcinación en lecho fluido

Esta técnica consiste en un horno con una cámara de combustión de acero inoxidable y un lecho fluidizado donde el aire es suministrado a través de un plato perforado ubicado en la base de la cámara de combustión.

El lecho fluido es precalentado a 500 grados centígrados por medio de un dispositivo eléctrico y posteriormente se inicia la alimentación de la cáscara a través de un alimentador de tornillo. Una vez obtenida la ceniza cesa el calentamiento por medio del dispositivo eléctrico. La temperatura de combustión que es monitoreada en el lecho fluido se controla mediante la

velocidad de alimentación de la cáscara de arroz. El tiempo de retención de la ceniza en la cámara de combustión es de sólo unos pocos segundos y posteriormente ésta es colectada a través de un ciclón, en la figura 6, se muestra el esquema de un horno de lecho fluido. La calcinación controlada de la cáscara de arroz por medio de este tipo de calcinador proporciona una ceniza consistente en sílice amorfa con un alto contenido de SiO₂ y una elevada área superficial. La actividad puzolánica de la ceniza es excelente y proporciona una buena resistencia a la compresión.

Figura 6. Horno de lecho fluidizado



Fuente: Allauca y Lung, 2009.

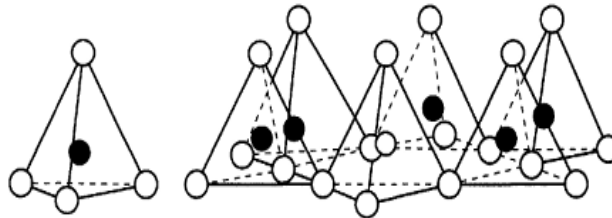
C. El suelo

1. Suelos arcillosos

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

La primera es el tetraedro (figura 7) en el cual cuatro átomos de oxígeno rodean a un átomo de silicio. Los tetraedros forman capas, de tal modo que los oxígenos de las bases de todos ellos se encuentren en un mismo plano, además cada oxígeno de las bases es compartido por dos tetraedros, formándose así una red hexagonal.

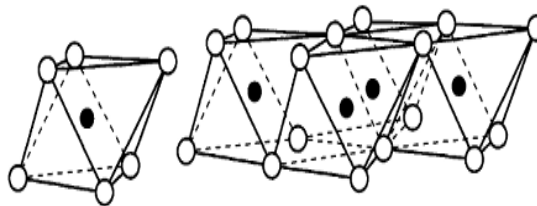
Figura 7. Unidad estructural tetraédrica



Fuente: Whitlow, 2001.

La segunda es el octaedro (figura 8) en el que un átomo de aluminio, magnesio, hierro, etc. está rodeado por seis átomos de oxígeno o iones hidróxilo. En este caso los octaedros también forman capas.

Figura 8. Unidad estructural octaédrica



Fuente: Whitlow, 2001.

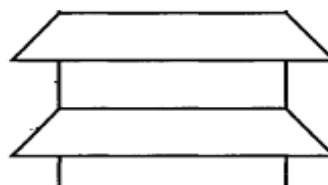
2. Grupos de minerales arcillosos

Los grupos de minerales arcillosos, son resultado de las distintas combinaciones de dos capas y de los distintos cationes o aniones que las forman. Dentro de estos grupos tenemos:

2.1 Grupo de la caolinita

Las caolinitas son producto de la meteorización del feldespato proveniente del granito, comúnmente se encuentran en suelos compuestos de sedimento. Su estructura está formada por una hoja simple de tetraedros de sílice combinada con una hoja simple de octaedros de alúmina.

Figura 9. Grupo de caolinita

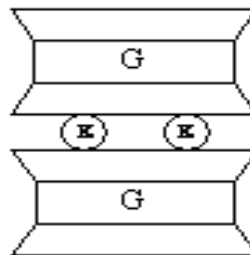


Fuente: Whitlow, 2001.

2.2 Grupo de la illita:

La illita, es el resultado de la meteorización de las micas, a pesar de ser hidratada no tiene capacidad de expandirse ni de contraerse. Su estructura básica consiste en una hoja de octaedros de alúmina combinadas con dos hojas de tetraedros de sílice. En la hoja octaédrica hay sustitución parcial de aluminio por magnesio y hierro y en la tetraédrica sustitución parcial de silicio por aluminio.

Figura 10. Grupo illita

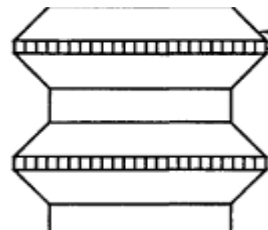


Fuente: Whitlow, 2001.

2.3 Grupo de la montmorillonita:

La montmorillonita es el constituyente principal de la bentonita y otras variedades similares de arcilla, suelen ser el resultado de la meteorización del feldespato. Estructuralmente la montmorillonita se compone por una capa central que contiene aluminio y magnesio coordinados octaédricamente en forma de óxidos e hidróxidos. Dicha capa central está rodeada por otras dos capas está constituido por capas apiladas tal como se aprecia en la figura 11.

Figura 11. Grupo montmorillonita



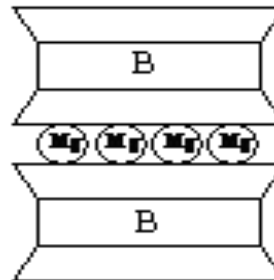
Fuente: Whitlow, 2001.

2.4 Grupo de la vermiculita:

Este grupo contiene productos de la meteorización de la biotita y la clorita. La estructura de la vermiculita es similar a la montmorillonita, excepto que los cationes que proporcionan los enlaces entre láminas son

predominantemente de magnesio, acompañados por algunas moléculas de agua como muestra la figura 12.

Figura 12. Grupo vermiculita



Fuente: Whitlow, 2001.

3. Factores que intervienen en la expansión del suelo

3.1 El Índice de plasticidad

Matemáticamente el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedad en el que el suelo tiene un comportamiento plástico, un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido y por tanto resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua. El índice de plasticidad define el campo plástico de un suelo y corresponde, por lo tanto, a un parámetro influyente en la determinación del potencial de expansividad.

$$I_p = LL - LP$$

Ecuación 1

Donde:

LL : Límite líquido

LP: Límite plástico

3.2 Límites de consistencia Atterberg

3.2.1 Límite líquido

El límite líquido, es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una

mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12 mm (1/2").

$$LL = W(N/25)^{0.121} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

LL : Límite líquido

W : Porcentaje de humedad del suelos

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

3.2.2 Límite plástico

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

$$LP = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

LP : Límite plástico en %

W : Porcentaje de humedad del suelos

Ph : Peso húmedo en gramos

Ps : Peso seco en gramos

Pw : Peso del agua contenida

3.2.3 Límite de contracción

Esta propiedad se manifiesta cuando una pérdida de humedad no

trae consigo un cambio de volumen. Es el contenido de humedad entre los estados de consistencia semisólido y sólido. Para su obtención en laboratorio se seca una porción de suelo (humedad inicial y volumen inicial conocidos) a 105°C/110°C y se calcula la humedad perdida.

$$Lc = w - \frac{(V_h - V_s)D_w}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- Lc : Límite de contracción en %
W : Contenido de humedad del suelo
Vh : Volumen del suelo húmedo
Vs : Volumen del suelo seco
Ps : Peso del suelo seco
Dw : Densidad del Agua

4. Clasificación e identificación de suelos

4.1 Clasificación AASHTO

De acuerdo con este sistema los suelos están clasificados dos grupos, el primer grupo está formado por suelos granulares y el otro grupo está constituido por suelos finos. Los grupos están designados por símbolos que van del A-1 al A-8; donde los suelos inorgánicos se clasifican en los siete primeros grupos que van del A-1 al A-7, y estos a su vez se dividen en un total de doce subgrupos. A su vez los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8.

1. Suelos granulares: Son aquellos suelos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamíz N° 200. Estos suelos forman los grupos A-1 (A-1a, A-2b); A-2 (A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7) y A-3.

a. Grupo A-1: El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedras, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también en este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

- **Subgrupo A-1a:** Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante, estos materiales son bien graduados.

- **Subgrupo A-1b:** Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien graduada, con o sin ligante.
- b. **Grupo A-2:** Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.
 - Subgrupo A-2-4 y A-2-5: Pertenecen a estos subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamíz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5 respectivamente además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.
- 2. **Suelos finos:** Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamíz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, a-6, y A-7.
 - **Grupo A-4:** Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamíz número. Además se incluye en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta 64%.
 - **Grupo A-5:** Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tiene un límite líquido elevado.
 - **Grupo A-6:** El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamíz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.
 - **Grupo A-7:** Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Su límite líquido es elevado.
 - **Subgrupo A-7-5:** Incluye aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.
 - **Subgrupos A-7-6:** Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos

y que, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamíz número 200. Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4; los correspondientes a los suelos limosos entre 8 y 12 y los de los suelos arcillosos entre 11 y 20 o más.

Tabla 4. Clasificación de suelos según índice de grupo

Índice de grupo	Suelo de subrasante
IG>9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

Fuente: MTC, 2013.

En la tabla 5 se muestra la tabla de clasificación de suelos SUCS, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo, según el caso del suelo.

Tabla 5. Clasificación de suelos – Método AASHTO

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

Fuente: MTC, 2013.

4.2 Clasificación SUCS

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942. Esta clasificación divide los suelos en: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos.

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamíz N°200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamíz y los finos a los que pasan por el tamíz, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamíz N° 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamíz. Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Suelos gruesos: Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamíz N°4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamíz N°4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos: El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (CL) y limos y arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $LI = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compressibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (high compressibility). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos: ML: Limos inorgánicos de baja compresibilidad. OL: Limos y arcillas orgánicas. CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad. CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad. MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad. OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.

En la tabla 6 se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo y subgrupo, en el caso del suelo.

Tabla 6. Clasificación de suelos – Método SUCS

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES			
Suelos de grano grueso (más del 50% del material es mayor en tamaño que el tamiz n° 200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa es mayor que el tamiz N° 4)	Gravas Limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien gradadas, mezclas gravosas poco o ningún fino	Cu>4 1< Cc<3		
			GP	Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena, poco o ningún fino	No cumple todos los requisitos de gradación para Gw		
	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas, mezcla grava - arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o lp <4	A los materiales sobre la línea A con 4< lp<7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo		
		GC	Gravas arcillosas, mezcla grava - arena - arcillosas	Límites de Atteberg por encima de la línea A o lp > 7			
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Arenas Limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	Cu>6 1< Cc<3		
			SP	Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	No cumplen todos los requisitos de gradación para SW		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas mezcla de arena - limo	Límites de Atteberg por debajo de la línea A o lp <4	A los materiales sobre la línea A con 4< lp<7 se considera de frontera y se les asigna doble símbolo	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla	Límites de Atteberg por encima de la línea A o lp > 7		

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN PARA SUELOS GRANULARES
Suelos de grano fino (más del 50% del material pasa el t tamiz n° 200)	Limos y arcillas (Límite líquido $w_l < 50$)	ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva granulométrica. 2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz N° 200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.	
		OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
	Limos y arcillas (Límite líquido $w_l > 50$)	MH	Limos Inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD
		CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas.	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos	
	Suelos Altamente orgánicos	Pt	Turba u otros suelos altamente orgánicos	

Fuente: Bañon, 2000.

5. Evaluación del potencial de expansión

Existen varios criterios que permiten clasificar de forma adecuada a suelos dentro de los cuales tenemos:

5.1 Métodos de determinación del grado de expansión

Este tipo de métodos se basa en el análisis de las propiedades índice de los suelos (límite líquido, límite plástico y límite de contracción volumétrica) para identificar primero, y luego clasificar los suelos expansivos. La determinación del potencial expansivo mediante métodos indirectos se basa en los ensayos de Límite de Atterberg, la contracción lineal, el contenido coloidal y cambio de volumen potencial, entre otros.

5.2 Método de Holtz y Gibbs (1956)

Holtz y Gibbs demostraron que el índice plástico y el límite líquido son índices útiles para determinar las características de expansión de las arcillas. El grado de peligrosidad que ofrecen las arcillas ha sido correlacionado por sus según el cuadro:

Tabla 7. Grado de expansión -Holtz y Gibbs

Partículas <1u	Lp	Lc %	Expansión probable	Grado de Expansión
<15	<18	>15%	<10	Bajo
13-23	18-28	10-16	10-30	Medio
20-31	25-41	7-12	20-30	Alto
>28	>35	<11	>30	Muy Alto

Fuente: Whitlow, 2001.

5.3 Método de Seed, Woodward y Lundgren:

Seed, Woodward y Lundgren demostraron que las características plásticas de los suelos pueden ser usados como un indicador primario de la características expansivas de las arcillas. Una relación entre el potencial de hinchamiento de las arcillas y el índice de plasticidad es como la que se presentan estos autores en la tabla 8 dónde se observa que a mayor índice de plasticidad se manifiesta mayor hinchamiento.

$$S = 60 * K * IP^{2.44}$$

Ecuación 5

Donde:

S: Potencial de Hinchamiento

IP: Índice Plástico

$$K = 3.6 \times 10^{-5} \text{ (Constante)}$$

Tabla 8. Grado de expansión -Seed, Woodward y Lungren

Valor de S	Grado de potencial expansivo según "S"	Índice de plasticidad	Grado de potencial expansivo según IP
0-1.5	Bajo	0-15	Bajo
1.5-5	Medio	10-35	Medio
5-25	Alto	20-55	Alto
>25	Muy alto	>35	Muy alto

Fuente: Whitlow, 2001.

5.4 Método de Ranganathan y Stayanarayana:

En 1965, Ranganathan y Stayanarayana dan una tabla para reconocer la potencialidad de la expansión, dando un nuevo índice de contracción; en donde este índice de contracción es obtenido como la variación del contenido de humedad correspondiente al límite líquido y al límite de contracción según la siguiente expresión:

$$IC = LL - LC$$

Ecuación 6

Donde:

IC: Índice de Contracción

LL: Límite líquido

LC: Límite de Contracción

Tabla 9. Grado de expansión -Ranganathan y Stayanarayana

Índice de Contracción	Peligro de Hinchamiento
0-20	Bajo
20-30	Medio
30-60	Alto
>60	Muy alto

Fuente: Whitlow, 2001.

D. Tratamiento de suelos arcillosos

D.1 Estabilización con cal

La cal es un producto compuesto de óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio que procede de la calcinación de minerales calizos y dolomíticos. También suele contener óxidos de silicio, aluminio y hierro dependiendo del material de procedencia. La principal utilidad de las cales se centra en que mezcladas con agua forman una pasta que mejora las características de manejo de los materiales y a mayor plazo, aumenta su consistencia y resistencia.

Pues como indica Braja citado en Solano (2010) “La cal permite la reducción de límite líquido y el índice plástico, de tal manera que los cambios volumétricos también se disminuyen, así mismo produce reacciones químicas como intercambio catiónico y reacciones puzolánicas que contribuyen al incremento de la manejabilidad y mejora de las propiedades de resistencia”(p. 30).

Cuando la cal es mezclada con un suelo húmedo ocurren varios tipos de reacciones químicas simultáneamente, algunas de estas reacciones, más importantes son el intercambio iónico, la floculación, la carbonatación y las reacciones de cementación.

La adición de cal en un suelo fino inicia en varias reacciones, las reacciones de intercambio catiónico y floculación se procesan rápidamente y producen alteraciones inmediatas en la resistencia no curada. Pueden ocurrir reacciones puzolánicas entre el suelo y la cal, dependiendo de las características naturales de los suelos que serán estabilizados.

D.2 Acciones básicas de la cal:

1. Intercambio Catiónico:

Este intercambio de cationes obedece a la serie liotrópica, la adición de la cal en cantidades suficientes produce la saturación de los minerales de arcilla, los cationes bivalentes tienden a sustituir a los monovalentes, alterándose muy rápidamente las propiedades de los suelos cuando ante una partícula de arcilla con un tipo de cationes adsorbidos en su superficie se presentan otros de mayor valencia o tamaño existe una propensión a dicha sustitución. Ésta sustitución es un fenómeno que está gobernado fundamentalmente por criterios de valencia de los cationes y de tamaño de los mismos.

2. Floculación

El fenómeno de intercambio iónico por cationes de mayor valencia reduce el espesor de la capa doble de la arcilla ello genera que se reduzca la zona de alta presencia de cationes que separa una partícula de otra, tanto por concentración como por repulsión eléctrica. Por tanto se consigue que se aproximen las partículas dando lugar a nuevas fuerzas de atracción entre ellas.

Este mecanismo se favorece con una mayor concentración de cationes a intercambiar y con la presencia de valores altos de Ph en el medio, como los que aporta la presencia de cal. La formación del agente cementante aluminato hidratado de calcio es de gran importancia en el desarrollo de la floculación en las mezclas de suelo-cal.

3. Carbonatación

La cal reacciona con el dióxido de carbono del aire atmosférico para formar agentes cementantes relativamente débiles pero con la presencia de sílice mejoran éstas reacciones (los carbonatos de calcio y magnesio), dependiendo el tipo de cal utilizada.

4. Reacción Puzolánica

Es una reacción química entre el suelo y la cal que conlleva a una acción de cementación entre las partículas de suelo. Los minerales de suelo que reaccionan con la cal para producir compuestos con características de cementación son comúnmente conocidos como puzolanas. Cuando el suelo no contiene puzolanas en cantidades suficientes, otro material puede ser adicionado para ayudar en la producción de la acción cementante como son las cenizas naturales o artificiales.

Las reacciones puzolánicas entre la cal y el suelo ocurren lentamente, su velocidad está influenciada, en gran parte, por la cantidad y tipo de puzolanas presentes en el suelo, el tipo de cal y por las condiciones climáticas.

La adición de cal al suelo en un nivel significativo eleva su pH hasta una cantidad de los 12,4, lo que aumenta de forma significativa, la solubilidad de la sílica. La disolución parcial de los constituyentes mineralógicos del suelo por la elevación del PH puede ser seguida por la formación de nuevos

silicatos y aluminatos, estables en las nuevas condiciones, que se asocian, constituyendo granos capaces de conferir al material una cierta resistencia mecánica.

2.3. Definición de términos básicos

- **La Subrasante:** La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito (MTC, 2013).

Tabla 10. Categorías de subrasante según CBR

Categorías de subrasante	CBR
S ₀ :Subrasante inadecuada	CBR<3%
S ₁ :Subrasante Pobre	De CBR≥3% A CBR<6
S ₂ :Subrasante Regular	CBR≥6 A CBR <10
S ₃ :Subrasante Buena	CBR≥10 A CBR <20
S ₄ :Subrasante Muy buena	CBR≥20 A CBR <30
S ₅ :Subrasante excelente	CBR≥30

Fuente: MTC, 2013.

- **Expansión:** Es la hinchazón del suelo causado por la variación de la humedad causando graves daños a las estructuras (Delgado, 2011).
- **Puzolana:** Material con alto contenido de silicio o silicio- aluminio, de origen natural o industrial, que una vez pulverizado en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio, formando, a temperatura ambiente, compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables(Juárez, 2012).
- **Actividad Puzolánica:** Es una reacción química entre los minerales de suelo y el hidróxido de calcio o cal, que conlleva a una acción de cementación entre las partículas de suelo formando así compuestos con propiedades cementantes (Morales, 2015).
- **Capacidad cementante:** Es la propiedad que tiene la capacidad de cohesionar un grupo de partículas en una mezcla para poder ganar resistencia.

Experimentalmente es la diferencia de la resistencia a compresión no confinada en Kg/cm^2 entre el suelo y el material cementante (Pérez, 2008).

- **Estabilización**

Se denomina estabilización de suelos al proceso por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo de los mismos. Es el proceso artificial por el cual las partículas del suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, disminuyendo la cantidad de vacíos utilizando para ello métodos mecánicos, químicos y fisicoquímicos (Pérez, 2008).

- **Residuos agrícolas**

Los desechos son subproductos de la agricultura, de procesos forestales, industriales e incluso domésticos, que esencialmente no tienen nada que ver con la construcción, pero que, con tratamiento y procesamiento especial, o unidos con otros materiales, puede sustituir económicamente, o incluso mejorar la calidad de los materiales de construcción convencionales (Juárez, 2012).

- **Capacidad portante:** Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto la capacidad portante es la capacidad del terreno o de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre el mismo terreno o la estructura (Vega ,2006)

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

La adición de ceniza de cascarilla de arroz al suelo arcilloso, disminuye el potencial de expansión e incrementa su capacidad portante.

3.2. Operacionalización de variables

- **Variable independiente:**
 - Porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz
- **Variable dependiente:**
 - Capacidad Portante
 - El potencial de expansión

Tabla 11. Operacionalización de variables

Variable dependiente	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Capacidad Portante	Capacidad de resistir las cargas de tráfico y medio ambiente, conservando su estabilidad volumétrica, sin deformarse.	Resistencia	CBR	Máquina de CBR
El potencial de expansión	Cambio de volumen que sufre el suelo por la presencia de agua	Estabilidad volumétrica	Límite líquido Limite plástico Índice de plasticidad Hinchariento	Equipo Casagrande Equipo de hinchariento

Fuente: Elaboración propia, 2016.

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación

El tipo de diseño de investigación es experimental ya que se tendrá una situación de control en la cual se manipula de manera intencional la variable independiente (Porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz).

4.2. Material

A. Unidad de estudio

La unidad de estudio está conformada por cada tratamiento en estudio en total se tendrá 3 tratamientos incluido el T4 de control.

Tabla 12. Unidad de estudio

Tratamientos	Características
T1	Suelo +4% de CCA
T2	Suelo +7% de CCA
T3	Suelo +10% de CCA
T4	Suelo +0% de CCA

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 13. Organización de tratamientos

Cantidad	Descripción	Porcentaje CCA
5	Límites de consistencia	0%
5	Límites de consistencia	4%
5	Límites de consistencia	7%
5	Límites de consistencia	10%
4	Proctor	0%
4	Proctor	4%
4	Proctor	7%
4	Proctor	10%
3	CBR	0%
3	CBR	4%
3	CBR	7%
3	CBR	10%

Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. Población.

La población está constituida por el suelo arcilloso obtenida de la carretera que dirige al Centro Poblado de Yanamango.

C. Muestra.

La muestra está constituida por el suelo arcilloso obtenida de la carretera que dirige al Centro Poblado de Yanamango.

4.3. Métodos.

A. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

Dentro de los métodos e instrumentos que se utilizarán para recopilar y analizar la información, tenemos:

- ✓ **Observación:** Para registrar las características en campo de los suelos arcillosos en su estado natural y su comportamiento frente a la adición de las cenizas de cáscara de arroz.
- ✓ **Experimentación:** Esta técnica se usará para manipular la variable independiente y de esta manera observar los resultados y compararlos con otros, en los cuales no haya operado la actuación deliberada del experimentador.
- ✓ **Ensayos**
 - ✓ Ficha técnica de registro de límites de Atterberg
 - ✓ Ficha técnica de registro de CBR y Proctor Modificado

Tabla 14. Recolección de Datos

RECOLECCION DE DATOS			
VARIABLE	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Capacidad Portante (CBR)	Probetas con suelo natural y Probetas con mezcla suelo-ceniza	Observación Directa Experimentación Ensayo	Ficha técnica de CBR Máquina de determinación de CBR
Potencial de Expansión	Probetas con suelo natural y Probetas con mezcla suelo-ceniza	Observación Directa Experimentación Ensayo	Ficha técnica de CBR Trípode para expansión de CBR

Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. Procedimientos

A continuación se describe la secuencia de actividades que se realizaron para desarrollar la investigación.

Procedimientos para la obtención del material:

1. Se procedió a la obtención de la muestra del suelo haciendo un corte al talud de la trocha que dirige al poblado de Yanamango, para luego poder determinar sus características en estado natural y con la adición de la ceniza de cascarilla de arroz en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte.
2. Se procedió a la calcinación de la cascarilla de arroz para la obtención de la ceniza que será combinada con el suelo natural en los porcentajes de 4%,7% y 10%.

Procedimientos para la recolección de datos:

Luego de trasladar el material del suelo al laboratorio se empezó con los ensayos respectivos:

1. Se determinó el contenido de humedad del suelo según la norma NTP 339.160 – 2001.
2. Se determinó el análisis granulométrico del suelo según la norma NTP 339.128 – 1999.
3. Se determinó los límites de Attenberg (Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) según la norma NTP 339.129 – 1999.
4. Se determinó el contenido óptimo de cal.
5. Se realizaron las muestras de proctor del material combinado con 0% de CCA del peso total de la muestra con porcentajes de 14%, 16%,18% y 20% de agua para determinar la curva de compactación.
6. Se realizaron las muestras de proctor del material combinado con 4% de CCA del peso total de la muestra con porcentajes de 15%, 17%, 19 y 21% de agua para determinar la curva de compactación.
7. Se realizaron las muestras de proctor del material combinado con 7% de CCA del peso total de la muestra con porcentajes de 15.5%, 17.5%, 19.5% y 20.5% de agua para determinar la curva de compactación.
8. Se realizaron las muestras de proctor del material combinado con 10% de CCA del peso total de la muestra con porcentajes de 17%, 19%, 21% y 23% de agua para determinar la curva de compactación.

9. Luego se obtuvo la curva de compactación mediante el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra de proctor.
10. Se determinó el contenido óptimo de humedad mediante la curva de compactación y se procedió a realizar las muestras de CBR.
11. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
12. Se tomaron las muestras de CBR del material combinado con 0% de CCA del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
13. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 4% de CCA del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
14. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 7% de CCA del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
15. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 10% de CCA del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
16. Una vez realizado cada muestra de CBR se procede a sumergirlos en agua por un periodo de 96 horas (04 días) tomando lectura de la deformación de hinchamiento que esta sufre cada 24 horas (1 día). Al cuarto día retiramos la muestra y la ensayamos para hallar la carga de penetración de la muestra y tomamos lectura de las deformaciones. Este proceso se repite para cada muestra de CBR que se tenga que realizar.

Procedimiento para el análisis de información

1. La información obtenida mediante los diferentes ensayos realizados, se llevaron a un computador, para realizar el trabajo de gabinete. En donde se ordenaron y analizaron los datos mediante hojas de cálculo y gráficos comparativos para analizar los resultados obtenidos. Estos resultados

fueron analizados teniendo en cuenta las normas NTP de suelos y de los agregados.

4.3.2.1 Ensayos

1. Contenido de Humedad (NTP 339.160 – 2001) Materiales y equipos

- Suelo.
- Balanza.
- Horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Taras.

Procedimiento

- Se pesaron las taras para realizar el contenido de humedad.
- Se pesó muestra húmeda + tara.
- Luego se colocaron las muestras al horno por un tiempo de 24 horas.
- Se pesaron las muestras secas al horno.
- Se procedió a anotar dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad de los agregados.

2. Análisis Granulométrico (NTP 339.128 - 1999)

La muestra de agregado estando seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Materiales y equipos

- Suelo
- Juego de tamices de: 2" 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 Y N° 200, normalizados según NTP 339.128 – 1999.
- Balanzas con aproximación de 0,1 gr.
- Horno de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

- Secar la muestra al aire.
- Pesar la muestra seca W_{ms} .
- Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual.

3. Límites de Attenberg (NTP 339.129 – 1999)

Los límites de Attenberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

3.1 Límite Líquido

Materiales

Suelo seco al aire y que pasa la malla N°40

Equipo

- Malla N°40
- Copa de Casagrande y ranurador o acanalador
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa de control de temperatura.
- Espátula.
- Probeta de 100 ml.
- Capsula de porcelana.
- Taras.

Procedimiento

- En una cápsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme.
- Colocar una porción de la pasta en la copa de casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1cm.
- En el centro hacer una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra queda dividida en dos partes.
- Elevar y caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto que la parte inferior de la ranura y a lo largo de $\frac{1}{2}$ " (1.27cm) registrar el número de golpes.
- Mediante la espátula retirar la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y colocarlo en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Retirar el suelo remanente de la copa de Casagrande y colocar en la cápsula de porcelana, agregar agua si el número de golpes del ensayo anterior ha sido alto, o agregar suelo si el número de golpes ha sido bajo. (El número de golpes debe estar comprendido entre 6 y 35).

- Dibujar la curva de fluidez en escala semi-logarítmica, para determinar la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

3.2 Límite Plástico

Materiales

Una porción de la mezcla preparada para el límite líquido.

Equipo

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa de control de temperatura.
- Espátula.
- Cápsula de porcelana.
- Placa de vidrio.
- Taras.

Procedimiento

A la porción de mezcla preparada para el límite líquido agregamos el suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad, enrollar la muestra con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3mm de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad.

3.3 Índice Plástico

Se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico para un suelo dado.

4. Proctor Modificado (NTP 339.141 – 1991)

Materiales

Muestra alterada seca aproximadamente 2 kg por molde.

Equipo

- Equipo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión)
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1gr
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml
- Recipiente de 6kg. de capacidad
- Espátula

- Taras identificadas

Procedimiento

Obtener aproximadamente 30 kg de muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A, B o C).

Preparar 5 muestras (cada una de ellas aproximadamente de 6 kg.) con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varíe aproximadamente en 1 ½” entre ellas.

Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.

Colocar el collar de extensión para colocar la muestra que se va a compactar.

Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 o 55 golpes (depende del método A, B o C), al terminar de compactar la última capa se retira el collar de extensión, en enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda.

Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.

Determinar la densidad seca de cada muestra.

Dibujar la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.

Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

5. CBR (NTP 339.145 – 1999)

Material

- Muestra alterada seca
- Papel filtro

Equipo

- Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes).
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.

- Diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6kg. de capacidad.
- Espátula.
- Taras identificadas.

Procedimiento

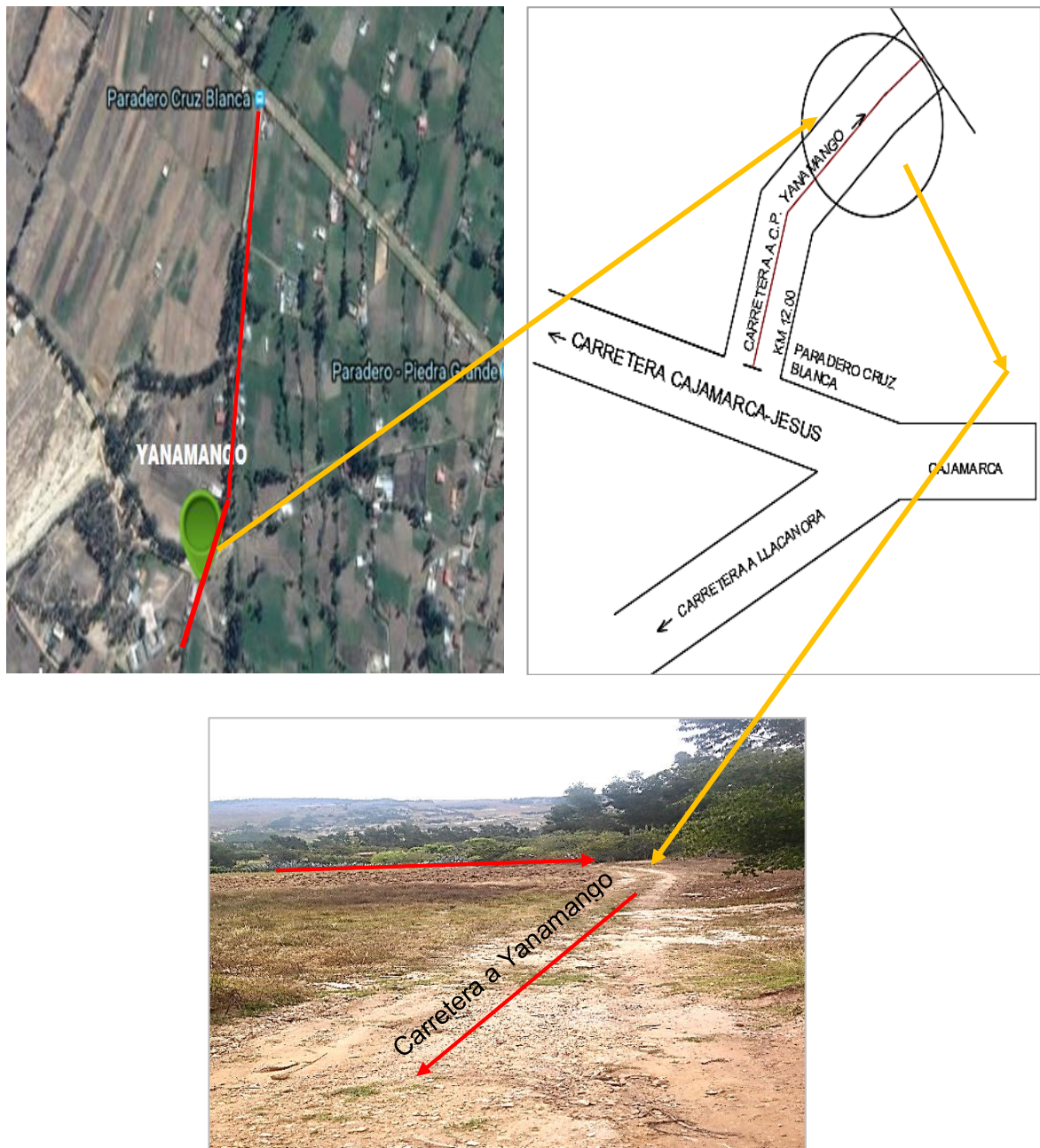
- Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 26 golpes y el tercero con 55 golpes por capa.
- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.
- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

5.1 Ubicación del material

El material arcilloso se obtuvo de la sub-rasante de la carretera que va al centro poblado de Yanamango, perteneciente al distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente, según Datum WGS-84, se ubica en las coordenadas UTM 783848.74 Este y 91998285.24 Norte, a una altitud de 2728.22 m.s.n.m. (Ver figura 13).

Figura 13. Localización del área del material



Fuente: Elaboración propia, 2016.

La ceniza de cascarilla de arroz se obtuvo quemando la cascarilla de arroz, la cual fue molida tal como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Quemado y molienda para obtener la ceniza



Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.2 Realización de ensayos

5.2.1 Contenido de Humedad (NTP 339.160 – 2001)

Se determinó el porcentaje total de humedad del agregado fino, para lo cual se pesaron tres muestras las cuales se colocaron al horno por un tiempo de 24 horas, se pesaron las muestras secas al horno y se procedió a anotar dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad del suelo.

Figura 15. Muestras de suelo para determinación de humedad



Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.2.2 Análisis granulométrico (NTP 339.128-1999)

Para el análisis granulométrico, luego de secar la muestra al aire, se pesó la muestra seca para pasarla por el juego de tamices, agitando de forma manual, determinando los porcentajes de los pesos retenido en cada tamíz. Una vez obtenidas las muestras en el laboratorio, se iniciará con la clasificación de suelos de acuerdo a su granulometría y límites de consistencia mediante el sistema de clasificación SUCS y AASHTO.

Figura 16. Muestras de suelo para análisis granulométrico

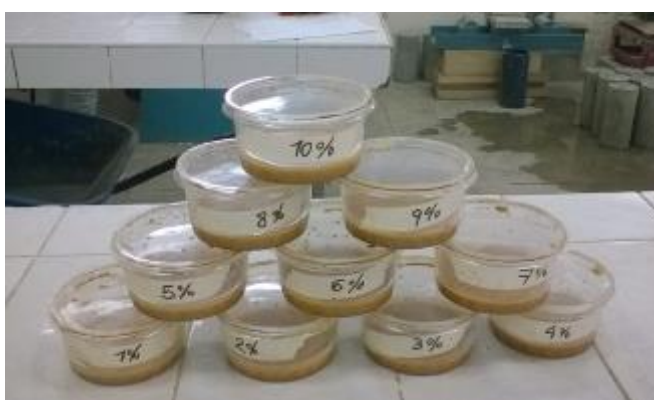


Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.2.3 Contenido óptimo de cal (ASTM D-6276)

Este procedimiento se aplicó para obtener el porcentaje óptimo de cal que requiere el material para su correcta estabilización química. Se inició con la preparación de diez muestras representativas del suelo secado por aereación y pasado por la malla N° 40, de 20 gr. cada una. Las diez muestras fueron colocadas dentro de frascos transparentes de plástico previamente identificados con etiquetas adheridas que van del 1% al 10% en incrementos de 1% respectivamente.

Figura 17. Análisis del contenido óptimo de cal



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Una vez añadidas las porciones de cal a los frascos, se agitaron para tener obtener una mezcla homogénea. Se agregó agua a cada uno de los frascos y se agitó hasta que no haya evidencia de material seco. Los frascos se agitaron en un tiempo aproximado de treinta segundos cada diez minutos durante un lapso de una hora. Pasada la hora, se colocó la muestra del producto en una cápsula y se midió el PH. Se registró el PH de cada mezcla y se seleccionó la mezcla que a menor porcentaje de cal alcanzó un PH que se mantenga constante, ya que es el porcentaje necesario de cal para estabilizar el suelo.

5.2.4 Límites de Atemberg (NTP 339.129-1999)

1. Límite Líquido

Una vez realizado el análisis granulométrico el cual nos permite estudiar el tamaño de estas partículas es necesario completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del suelo ya que se trata de material arcilloso. Conocer el comportamiento de la consistencia y plasticidad de los suelos bajo reacción de algún aditivo o estabilizante es un requisito importante

que se debe tener en cuenta frente a un mejoramiento o una estabilización de suelos.

A continuación se detallan cada una de las actividades realizadas para la obtención de los parámetros de límites de consistencia de la mezcla del suelo –ceniza.

- Según la norma se procedió al disgregado y cuarteo del suelo obtenido de campo con el fin de obtener una muestra de aproximadamente 2 kg.
- Se cribó por la malla N° 40 y se pesaron 4 muestras de 200 gr las cuales se mezclaron con los diferentes porcentajes de ceniza a usar (4%, 7% y 10%).
- Se dejó reposar las muestras por un tiempo de aproximadamente 20 minutos a continuación de procedió a homogeneizar la mezcla y se realizó el ensayo de límite líquido según la norma.

Figura 18. Ensayo de límite líquido



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2. Límite plástico

Para la realización de este ensayo se dejó reposando el material restante de las cada muestra del límite líquido de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad, enseguida se enrolló la muestra con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3mm de diámetro y que presenten agrietamientos, tal como lo indica la norma.

Figura 19. Ensayo de límite plástico



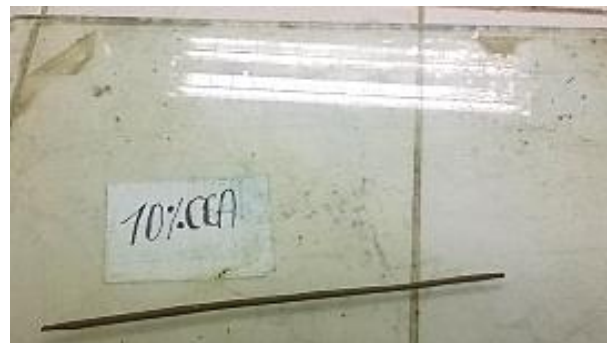
Figura 20. Rollitos con 4%CCA



Figura 21. Rollitos con 7%CCA



Figura 22. Rollitos con 10%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

3. Índice plasticidad

Se calculará obteniendo la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico para el suelo dado.

5.2.5 Ensayo proctor (NTP 339.141-1999)

En el caso de la evaluación del peso volumétrico seco máximo alcanzado en los diferentes porcentajes a las que fue mezclado el material, se realizó bajo el procedimiento descrito en la norma se utilizó el método A, el cual es usado para materiales que pasan la malla N° 40. El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

Se separó la muestra obtenida que pasa por la malla N°40 y el material retenido se desechó, se homogenizó el material obtenido de la malla N° 40 y se realizó la prueba de contenido de humedad.

Se pesaron los porcentajes de ceniza de (4%, 7% y 10%), se extiende el material sobre una charola para realizar su mezclado.

Se empezó agregándole a la mezcla una cantidad de agua estimada en 14% de su peso, terminando en 23%.

Se homogeneiza el material para que se distribuya la humedad, y se procede a vaciarlo en tres porciones en el molde con 25 golpes del pisón entre cada porción distribuidos en toda la sección del molde.

Cuando se ha llenado el molde con el material en las 3 capas, se procede a quitar el collarín del molde, se enrasa con una regla, y se extrae el molde de su base, se registra el peso del espécimen junto con el molde en la hoja de datos.

Se repite el procedimiento hasta ensayar 4 especímenes que permitan hacer posible la curva de compactación y así determinar el contenido de humedad óptima.

Figura 23. Mezclado de material con 0%CCA



Figura 24. Mezclado de material con 4%CCA



Figura 25. Mezclado de material con 7%CCA



Figura 26. Mezclado de material con 10%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.1.1 Ensayo de CBR (NTP 339.145-1999)

Para este ensayo se preparó la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado. Se compacto la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 26 golpes y el tercero con 55 golpes por capa. Terminada la muestra de colocó debidamente en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registras las lecturas de expansión cada 24 horas. Después de los 4 días se sacó los moldes del tanque de agua para realizar el ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración), de cada uno de los moldes se retiró retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, se dejó drenar durante 15 minutos para luego realizar el ensayo de carga.

Figura 27. CBR con 0%, 4%, 7% y 10% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos de ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte y los cuales fueron:

6.1 Contenido de Humedad

Los resultados del contenido de humedad se muestran en la tabla 15, donde las muestras de suelo analizadas arrojaron en promedio un contenido de humedad del 17%.

Tabla 15. Resultados del contenido de humedad

Tara Número	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	506.30	601.10	565.90
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	433.20	531.70	521.40
Peso de la Tara	Gr	73.00	163.00	147.30
Peso de la Muestra Seca	Gr	360.20	368.70	374.10
Peso del Agua	Gr	73.10	69.40	44.50
Contenido de Humedad	%	20.29	18.82	11.90
Promedio	%	17.00		

Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.2 Análisis Granulométrico (NTP 339.128-1999)

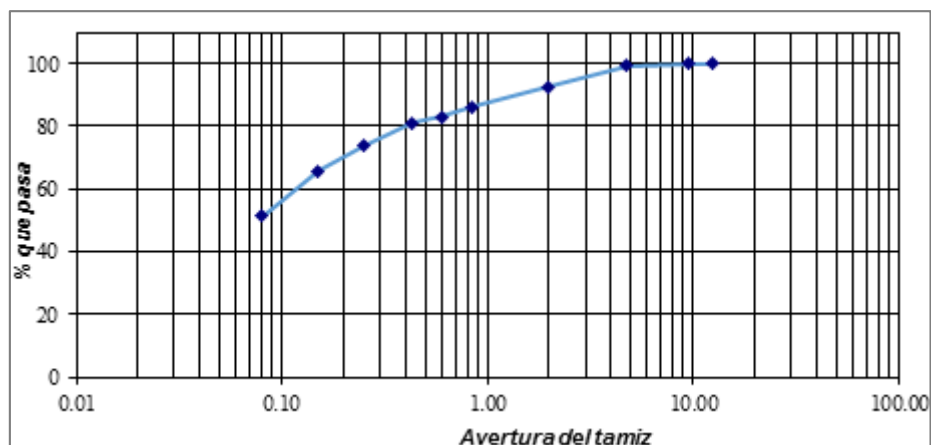
Los resultados del análisis granulométrico se muestran en las tablas 16, 17 y 18 el análisis de estos resultados se realizó por los métodos AASHTO y SUCS; de los cuales tenemos: el método AASHTO clasificó al suelo en la categoría de suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, cuyo índice de grupo es 8 y por tanto está dentro de la categoría de sub-rasante pobre según el MTC. Por su parte el método SUCS, clasificó al suelo está en la categoría CL perteneciente a las arcillas de baja a mediana plasticidad.

Tabla 16. Resultados del análisis granulométrico

TAMIZ		Peso Retenido (gr)	% Ret.	%Ret. Acum	% QUE PASA
N°	ABER.(mm)				
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	3.70	0.79	0.79	99.21
N°10	2.00	30.90	6.64	7.43	92.57
N°20	0.85	30.00	6.44	13.88	86.12
N°30	0.60	15.00	3.22	17.10	82.90
N°40	0.43	8.24	1.77	18.87	81.13
N°60	0.25	35.00	7.52	26.39	73.61
N°100	0.15	36.00	7.73	34.12	65.88
N°200	0.08	68.00	14.61	48.73	51.27
CAZOLETA		238.66	51.27	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 1. Curva de análisis granulométrico



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 17. Clasificación según AASHTO

CLASIFICACIÓN AASHTO			
Parámetros Usados		Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 200	51.27		
% Que Pasa la Malla N° 40	81.13		
% Que Pasa la Malla N° 10	92.57	a = 16.27	IG =8.00
Límite Líquido	LL = 44.53%	b = 36.27	
Límite Plástico	LP = 24.51%	c = 4.53	
Índice de Plasticidad :	IP = 20.02%	d = 10.02	
Tipo de Suelo : Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos : A - 7			
Suelo : A - 7 - 6 (8)			
Tipo de Material : Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación : Regular a Malo			

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 18. Clasificación según SUCS

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S		
Parámetros Usados		
% Que Pasa la Malla N° 200	51.27	
Límite Líquido	LL = 44.53%	
Límite Plástico	LP = 24.51%	
Índice de Plasticidad	IP = 20.02%	
Tipo de Suelo Según su Granulometría : Suelo Fino Baja Plasticidad		
Tipo de Simbología : Simbología Normal		
Tipo de Suelo : CL , ML , OL		
Suelo : CL		
Características del Suelo :	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.3 Contenido óptimo de cal (ASTM D-6276)

Los resultados obtenidos para el contenido de cal indican que el porcentaje óptimo de cal esta entre 7% y 8% ya que su PH, es el que más se aproxima a 12.4, que es el PH óptimo para estabilizar un suelo con cal pero para la presente investigación se tomará el contenido óptimo de cal del 6% ya que por un lado, es el porcentaje recomendado por la mayoría de investigaciones para estabilizar un suelo por otro lado para poder apreciar el comportamiento de la ceniza sobre el suelo.

Tabla 19. Contenido óptimo de cal

Muestra	Porcentaje de cal	Peso (gr)	Agua Añadida(ml)	PH
A-1	1%	20	100	7
A-2	2%	20	100	7
A-3	3%	20	100	7
A-4	4%	20	100	7
A-5	5%	20	100	9
A-6	6%	20	100	9
A-7	7%	20	100	11
A-8	8%	20	100	13
A-9	9%	20	100	14
A-10	10%	20	100	14

Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.4 Límites de consistencia Atemberg (NTP 339.129-1999)

Los resultados de los límites de Atemberg se presentan en las tablas 20, 21, 22 y 23 , donde se puede apreciar un comportamiento diferente en los límites plásticos los cuales disminuyen en proporción directa al contenido de ceniza para porcentajes que van del 0% al 7% ;sin embargo para un incremento del 10% los índices tienen a elevarse.

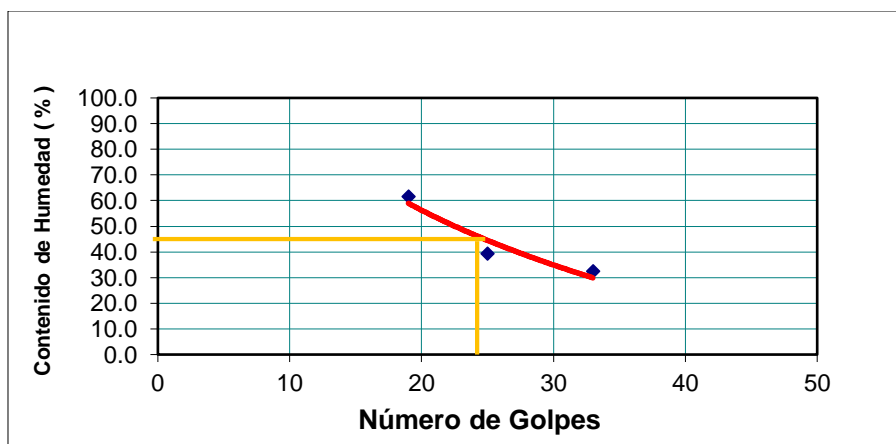
Tabla 20. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 0%CCA

DESCRIPCIÓN		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Tara Número	Unidades	15	10	7	10	1
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	47.10	47.90	48.00	17.10	15.92
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	38.70	38.40	35.00	16.46	15.30
Peso de la Tara	Gr	12.90	14.20	13.90	13.70	12.90
Peso de la Muestra Seca	Gr	25.80	24.20	21.10	2.76	2.40
Peso del Agua	Gr	8.40	9.50	13.00	0.64	0.62
Contenido de Humedad	%	32.56	39.26	61.61	23.19	25.83
Número de Golpes		33.00	25.00	19.00	Promedio :	24.51

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Límite Líquido: LL = 44.53%
 Límite Plástico: LP = 24.51%
 Índice de Plasticidad : IP = 20.02%
 Contenido de Humedad : Wn = 17.00%

Gráfico 2. Límite líquido con 0%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

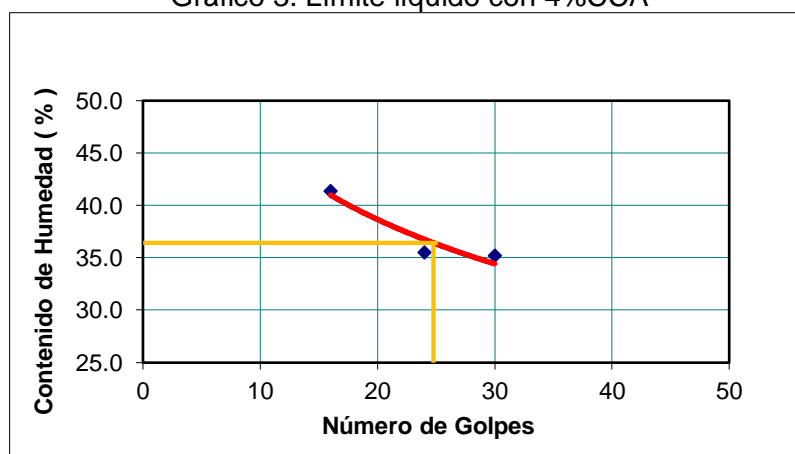
Tabla 21. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 4% de CCA

DESCRIPCIÓN		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Tara Número	/ Unidades	9	2	14	13	20
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	48.70	52.80	50.70	29.10	29.90
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	42.80	45.90	43.70	28.62	29.40
Peso de la Tara	Gr	26.20	26.30	26.80	26.60	27.00
Peso de la Muestra Seca	Gr	16.60	19.60	16.90	2.02	2.40
Peso del Agua	Gr	5.90	6.90	7.00	0.48	0.50
Contenido de Humedad	%	35.54	35.20	41.42	23.76	20.83
Número de Golpes		30.00	24.00	16.00	Promedio :	22.30

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Límite Líquido: LL = 36.33%
 Límite Plástico: LP = 22.30%
 Índice de Plasticidad : IP = 14.03%
 Contenido de Humedad : Wn = 17.00%

Gráfico 3. Límite líquido con 4%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

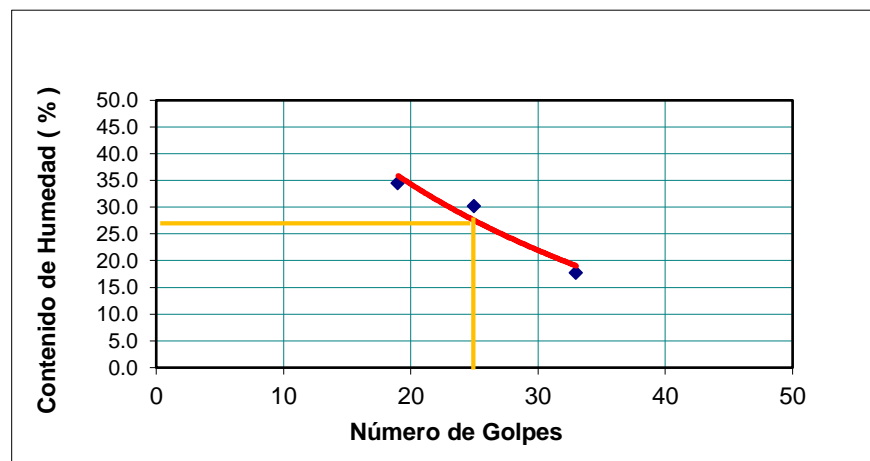
Tabla 22. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 7%CCA

DESCRIPCIÓN		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Tara Número	Unidades	15	10	7	10	1
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	38.70	41.00	42.60	17.10	16.10
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	35.00	34.60	35.00	16.50	15.80
Peso de la Tara	Gr	14.10	13.40	13.00	13.30	14.30
Peso de la Muestra Seca	Gr	20.90	21.20	22.00	3.20	1.50
Peso del Agua	Gr	3.70	6.40	7.60	0.60	0.30
Contenido de Humedad	%	17.70	30.19	34.55	18.75	20.00
Número de Golpes		33.00	25.00	19.00	Promedio :	19.38

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Límite Líquido: LL = 27.51%
 Límite Plástico: LP = 19.38%
 Índice de Plasticidad : IP = 8.14%
 Contenido de Humedad : Wn = 17.00%

Gráfico 4. Límite líquido con 7%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

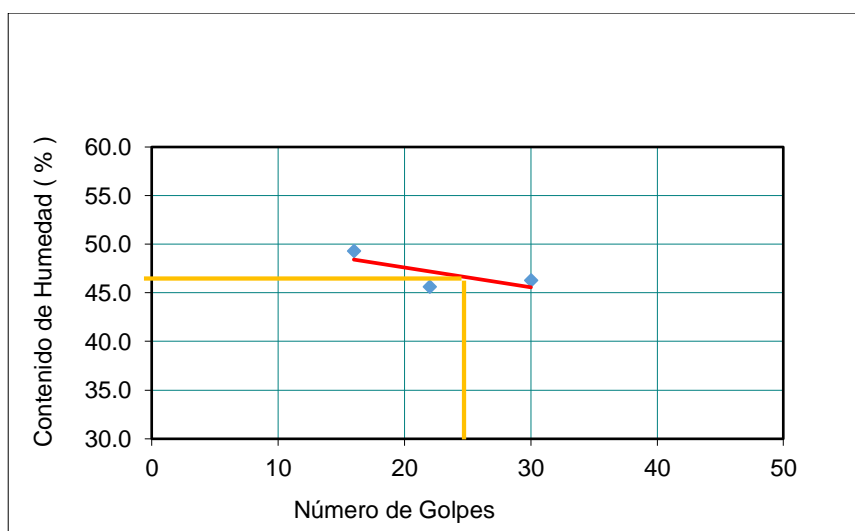
Tabla 23. Resultados del ensayo de límites de consistencia con 10%CCA

DESCRIPCIÓN		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Tara Número	Unidades	1B	XY	3C	33	34
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	50.40	50.30	47.90	30.80	32.00
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	43.00	43.00	41.00	30.10	31.20
Peso de la Tara	Gr	27.00	27.00	27.00	27.30	28.00
Peso de la Muestra Seca	Gr	16.00	16.00	14.00	2.80	3.20
Peso del Agua	Gr	7.40	7.30	6.90	0.70	0.80
Contenido de Humedad	%	46.25	45.63	49.29	25.00	25.00
Número de Golpes		30.00	22.00	16.00	Promedio :	25.00

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Límite Líquido: LL = 46.42%
 Límite Plástico: LP = 25.00%
 Índice de Plasticidad : IP = 21.42%
 Contenido de Humedad : Wn = 17.00%

Gráfico 5. Límite líquido con 10%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

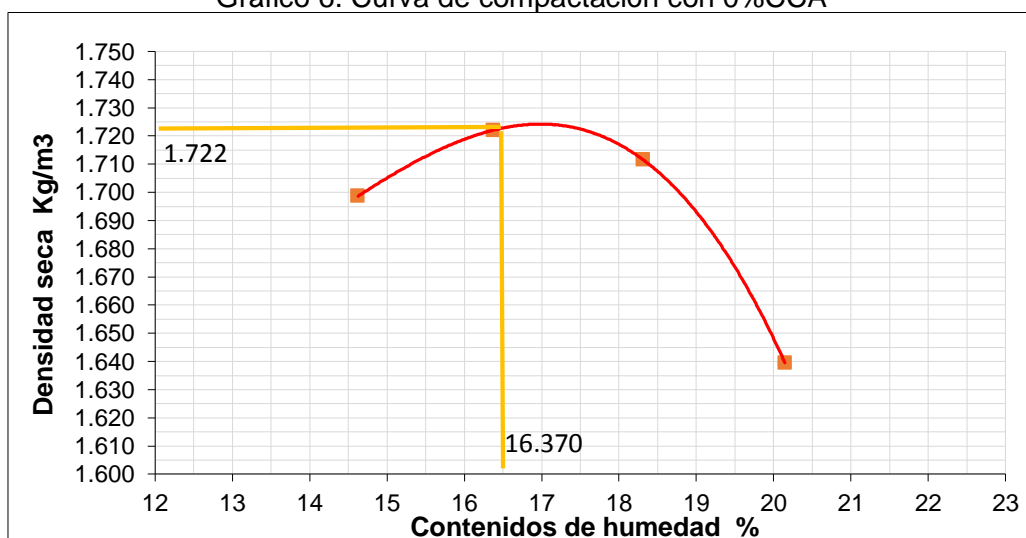
6.5 Ensayo proctor (NTP 339.141-1999)

Tabla 24. Resultados del ensayo Proctor con 0%CCA

DATOS PARA LA CURVA									
Muestra #		1		2		3		4	
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	6089.16		6144.50		6164.90		6111.20	
Peso del suelo húmedo	gr.	1894.56		1949.90		1970.30		1916.60	
Humedad calculada	%	14.63		16.37		18.31		20.15	
Densidad Húmeda	kg/m ³	1.947		2.004		2.025		1.970	
Densidad seca	kg/m ³	1.699		1.722		1.712		1.639	
Contenidos de humedad									
Muestra #		1		2		3		4	
Recipiente #		5A	6A	7A	8A	9A	10A	11 ^a	12A
Rec + suelo húmedo	gr.	254.00	257.70	263.50	268.00	250.20	255.90	270.80	271.12
Rec + suelo seco	gr.	225.00	228.30	230.26	234.00	216.00	220.00	230.00	230.10
Peso del recipiente	gr.	27.00	27.00	27.00	26.60	26.30	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco	gr.	198.00	201.30	203.26	207.40	189.70	193.00	203.00	203.10
Peso del agua	gr.	29.00	29.40	33.24	34.00	34.20	35.90	40.80	41.02
Contenido de Humedad	%	14.65	14.61	16.35	16.39	18.03	18.60	20.10	20.20
Humedad promedio	%	14.63		16.37		18.31		20.15	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 6. Curva de compactación con 0%CCA



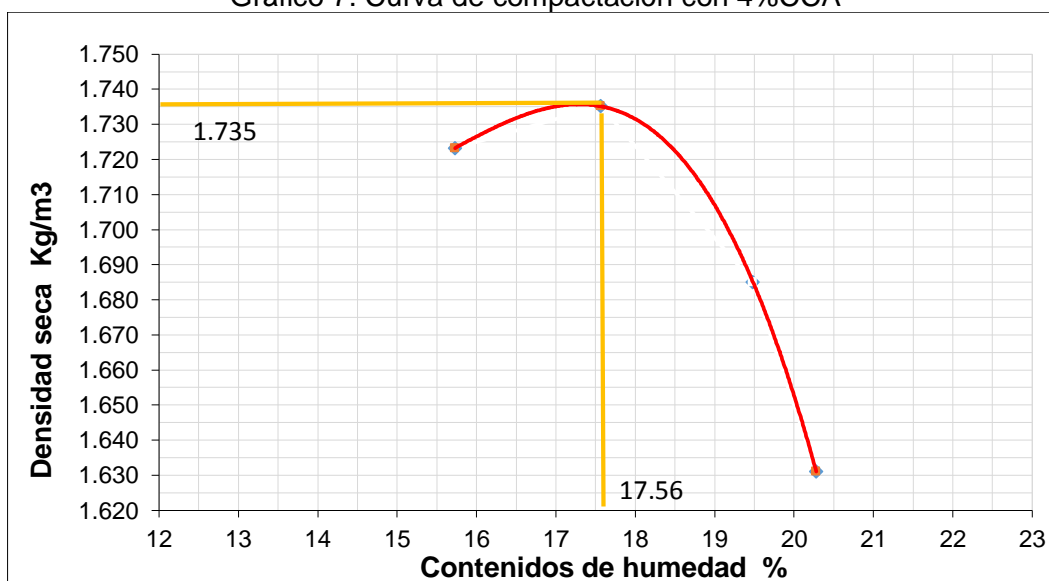
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 25. Resultados del ensayo Proctor con 4%CCA

Datos para la curva									
Muestra #		1		2		3		4	
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	6135.00		6179.40		6153.56		6150.20	
Peso del suelo húmedo	gr.	1940.40		1984.80		1958.96		1955.60	
Humedad calculada	%	15.73		17.06		19.48		20.28	
Densidad Húmeda	kg/m ³	1.994		2.040		2.013		2.010	
Densidad seca	kg/m ³	1.723		1.735		1.685		1.631	
Contenidos de humedad									
Muestra #		1		2		3		4	
Recipiente #		13A	14A	15A	16A	17A	18A	19A	20A
Rec + suelo húmedo	gr.	262.30	267.70	249.40	245.70	249.80	262.90	272.80	273.12
Rec + suelo seco	gr.	231.80	233.50	218.13	211.15	215.00	222.84	232.90	230.10
Peso del recipiente	gr.	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco	gr.	204.80	206.50	191.13	184.15	188.00	195.84	205.90	203.10
Peso del agua	gr.	30.50	34.20	31.27	32.55	34.80	40.06	39.90	43.02
Contenido de Humedad	%	14.89	16.56	16.36	18.76	18.51	20.46	19.38	21.18
Humedad promedio	%	15.73		17.56		19.48		20.28	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 7. Curva de compactación con 4%CCA



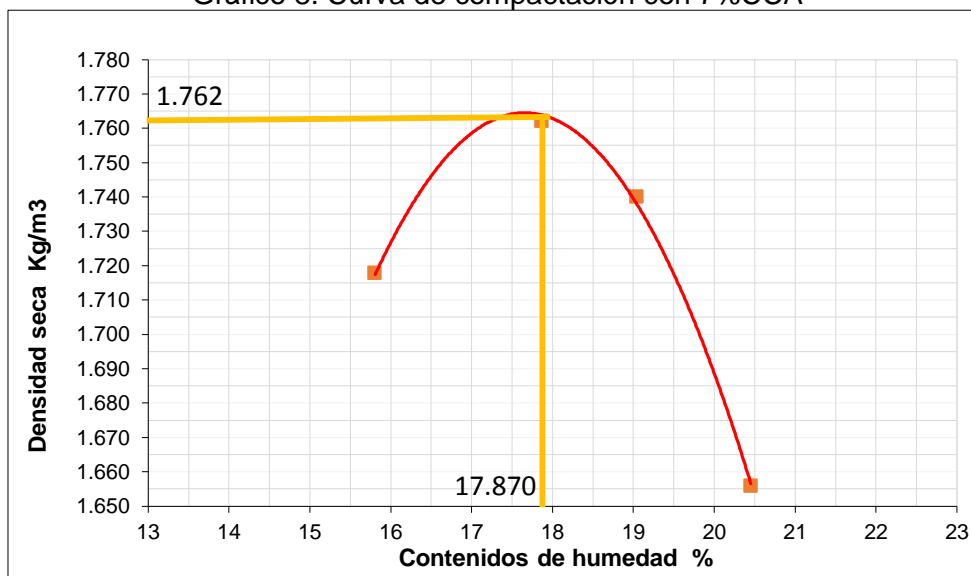
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 26. Resultados del ensayo Proctor con 7%CCA

Datos para la curva									
Muestra #		1		2		3		4	
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	6130.12		6217.80		6165.50		6135.30	
Peso del suelo húmedo	gr.	1935.52		2021.20		1970.90		1940.70	
Humedad calculada	%	15.81		17.87		19.04		20.45	
Densidad Húmeda	kg/m ³	1.989		2.077		2.026		1.995	
Densidad seca	kg/m ³	1.702		1.762		1.748		1.656	
Contenidos de humedad									
Muestra #		1		2		3		4	
Recipiente #		5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A
Rec + suelo húmedo	gr.	224.30	235.13	235.00	227.00	248.50	234.70	286.80	296.50
Rec + suelo seco	gr.	197.11	207.00	200.34	199.74	214.60	200.00	251.60	242.20
Peso del recipiente	gr.	27.00	27.00	27.00	26.60	26.60	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco	gr.	170.11	180.00	173.34	173.14	188.00	173.00	224.60	215.20
Peso del agua	gr.	27.19	28.13	34.66	27.26	33.90	34.70	35.20	54.30
Contenido de Humedad	%	15.98	15.63	20.00	15.74	18.03	20.06	15.67	25.23
Humedad promedio	%	15.81		17.87		19.04		20.45	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 8. Curva de compactación con 7%CCA



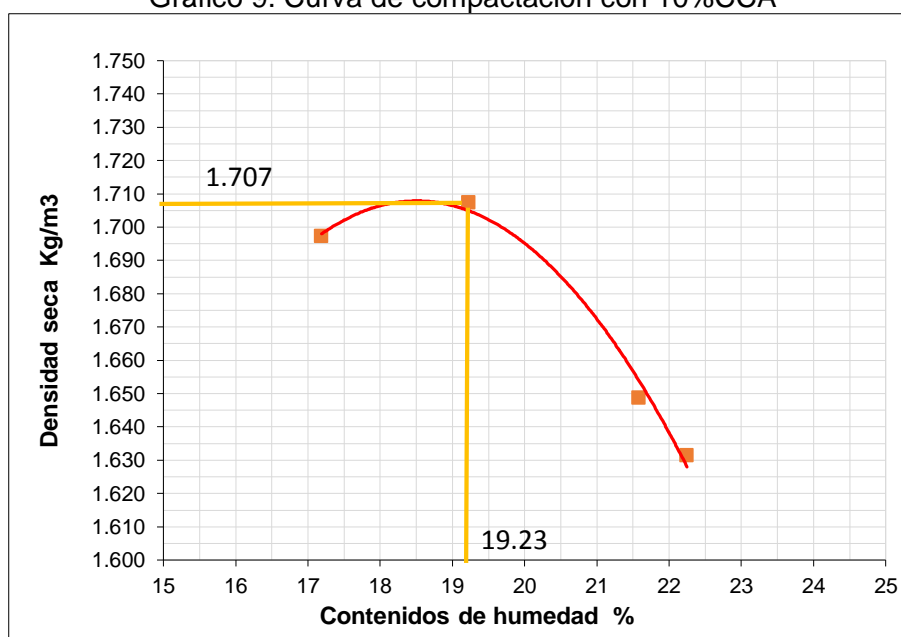
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 27. Resultados del ensayo Proctor con 10% de CCA

Datos para la curva									
Muestra #		1		2		3		4	
Peso del molde + suelo húmedo	gr.	6129.89		6175.25		6144.10		6135.16	
Peso del suelo húmedo	gr.	1935.29		1980.65		1949.50		1940.56	
Humedad calculada	%	17.19		19.23		21.58		22.25	
Densidad Húmeda	kg/m ³	1.989		2.036		2.004		1.994	
Densidad seca	kg/m ³	1.697		1.707		1.648		1.631	
Contenidos de humedad									
Muestra #		1		2		3		4	
Recipiente #		13A	14A	15A	16A	17A	18A	19A	20A
Rec + suelo húmedo	gr.	204.80	203.52	234.70	235.20	222.24	221.70	211.20	215.20
Rec + suelo seco	gr.	179.15	177.20	201.25	201.58	189.30	185.46	179.12	179.50
Peso del recipiente	gr.	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco	gr.	152.15	150.20	174.25	174.58	162.30	158.46	152.12	152.50
Peso del agua	gr.	25.65	26.32	33.45	33.62	32.94	36.24	32.08	35.70
Contenido de Humedad	%	16.86	17.52	19.20	19.26	20.30	22.87	21.09	23.41
Humedad promedio	%	17.19		19.23		21.58		22.25	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 9. Curva de compactación con 10%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.5 Ensayo CBR (NTP 339.145-1999)

Tabla 28. Resultados del ensayo CBR con 0% de CCA

MOLDE N°		1	2	3			
NÚMERO DE CAPAS		5	5	5			
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		55	26	12			
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HÚMEDA +MOLDE	gr.	12032	13624	12664	14464	12376	14018
PESO DEL MOLDE	gr.	7250	7250	7984	7984	8008	8008
PESO MUESTRA HÚMEDA	gr.	4782	6374	4680	6480	4368	6010
PESO MUESTRA SECA	gr.	4087.53	5281.52	4004.79	5386.98	3751.13	4881.61
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm ³	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.7
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.059	2.744	2.015	2.79	1.881	2.588
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1.760	2.274	1.724	2.319	1.615	2.102
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		18	1C	15	20	14	1B
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	160.10	168.10	128.40	128.69	161.48	174.10
peso muestra seca + tarro	gr.	140.90	147.80	113.60	114.23	142.36	153.60
Peso del Agua	gr.	19.20	20.30	14.80	14.46	19.12	20.50
Peso del Tarro	gr.	27.40	28.80	27.00	27.30	27.90	27.00
Peso Muestra Seca	gr.	113.50	119.00	86.60	86.93	114.46	126.60
Contenido de Humedad	%	16.92	17.06	17.09	16.63	16.70	16.19
Prom. Contenido de humedad	%	16.99		16.86		16.45	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		15	13	1D-XY	1B	20	1C
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	195.40	189.60	207.90	194.10	207.80	204.10
peso muestra seca + tarro	gr.	165.90	162.40	175.80	167.40	173.80	171.30
Peso del Agua	gr.	29.50	27.20	32.10	26.70	34.00	32.80
Peso del Tarro	gr.	27.00	27.30	27.14	26.80	27.30	28.80
Peso Muestra Seca	gr.	138.90	135.10	148.66	140.60	146.50	142.50
Contenido de Humedad	%	21.24	20.13	21.59	18.99	23.21	23.02
Prom. Contenido de humedad	%	20.69		20.29		23.12	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 29. Resultados de ensayo de CBR con 4%CCA

MOLDE N°		1		2		3	
NÚMERO DE CAPAS		5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		55		26		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	gr.	11962	12234	12678	12930	12125.41	12438
PESO DEL MOLDE	gr.	7212	7212	7958	7958	7658	7658
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	4750	5022	4720	4972	4467.41	4780
PESO MUESTRA SECA	gr.	4043.76	4119.43	4027.13	4071.57	3798.33	3824.15
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm ³	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.70
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.045	2.162	2.032	2.141	1.923	2.058
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1.741	1.774	1.734	1.753	1.635	1.646
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		1A	15	1E	20	1B	10
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	174.10	175.30	197.20	200.10	209.50	205.60
peso muestra seca + tarro	gr.	153.10	152.41	172.34	174.60	181.70	179.45
Peso del Agua	gr.	21.00	22.89	24.86	25.50	27.80	26.15
peso del Tarro	gr.	27.40	26.80	27.00	27.30	27.90	27.00
Peso Muestra Seca	gr.	125.70	125.61	145.34	147.30	153.80	152.45
Contenido de Humedad	%	16.71	18.22	17.10	17.31	18.08	17.15
Prom. Contenido de humedad	%	17.47		17.21		17.62	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		1	2	M3-1	M3-2	34	1A
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	192.30	180.40	157.20	146.70	181.00	201.80
peso muestra seca + tarro	gr.	162.70	152.30	133.20	125.80	147.00	171.30
Peso del Agua	gr.	29.60	28.10	24.00	20.90	34.50	30.50
peso del Tarro	gr.	27.14	26.80	27.00	27.30	27.00	27.00
Peso Muestra Seca	gr.	135.56	125.50	106.20	98.50	119.60	144.30
Contenido de Humedad	%	21.84	22.39	22.60	21.22	28.90	21.14
Prom. Contenido de humedad	%	22.12		21.91		25.00	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 30. Resultados del ensayo de CBR con 7% CCA

MOLDE N °		1		2		3	
NÚMERO DE CAPAS		5		5		5	
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		55		26		12	
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	gr.	12061	12121.54	11956	12085.12	11986	12056
PESO DEL MOLDE	gr.	7234	7234	7226	7226	7260	7260
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	4827.00	4887.54	4730	4859.12	4726	4796
PESO MUESTRA SECA	gr.	4107.67	4088.11	4030.85	4051.46	3984.32	3965.44
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm ³	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.7
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.078	2.104	2.036	2.092	2.035	2.065
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1.768	1.760	1.735	1.744	1.615	1.707
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		3C	1B	20	13	14	18
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	195.12	192.10	186.30	193.50	207.50	218.20
peso muestra seca + tarro	gr.	170.70	167.20	162.60	169.10	179.3	188.10
Peso del Agua	gr.	27.30	24.90	26.80	24.40	28.20	30.10
peso del Tarro	gr.	27.40	28.80	27.00	27.30	27.30	27.00
Peso Muestra Seca	gr.	143.30	138.40	135.60	141.80	152.00	161.10
Contenido de Humedad	%	17.04	17.99	17.48	17.21	18.55	18.68
Prom. Contenido de humedad	%	17.52		17.35		18.62	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		1M3	2M3	1M1	2M1	1M2	2M2
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	236.10	242.70	237.60	215.10	160.40	160.20
Peso muestra seca + tarro	gr.	201.30	208.10	203.30	183.20	137.30	137.30
Peso del Agua	gr.	34.80	34.60	34.30	31.90	137.30	22.90
Peso del Tarro	gr.	27.00	27.30	27.14	26.80	27.00	28.00
Peso Muestra Seca	gr.	174.30	180.80	176.16	156.40	110.30	109.30
Contenido de Humedad	%	19.97	19.14	19.47	20.40	20.94	20.95
Prom. Contenido de humedad	%	19.56		19.94		20.95	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 31. Resultados de ensayo CBR con 10% de CCA

MOLDE N°		1	2	3			
NÚMERO DE CAPAS		5	5	5			
NÚMERO DE GOLPES POR CAPA		55	26	12			
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	gr.	12015	12894	11998.37	12656	11913	12280
PESO DEL MOLDE	gr.	7236.00	7236.00	7216.00	7216.00	7489.00	7489.00
PESO MUESTRA HUMEDA	gr.	4779.00	5658.00	4782.37	5440	4424.22	4791.00
PESO MUESTRA SECA	gr.	4056.02	4554.82	4054.06	4408.61	3755.70	3902.26
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm ³	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67
DENSIDAD HÚMEDA	gr/cm ³	2.058	2.436	2.059	2.342	1.905	2.063
DENSIDAD SECA	gr/cm ³	1.746	1.961	1.745	1.898	1.617	1.680
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		20	21	22	23	24	25
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	213.12	210.24	222.36	245.18	236.12	247.15
Peso muestra seca + tarro	gr.	185.15	182.40	194.26	210.12	203.89	214.69
Peso del Agua	gr.	27.97	27.84	28.10	35.06	32.23	32.46
Peso del Tarro	gr.	27.40	27.00	26.50	27.30	27.90	27.00
Peso Muestra Seca	gr.	157.75	155.40	167.76	182.82	175.99	187.69
Contenido de Humedad	%	17.73	17.92	16.75	19.18	18.31	17.29
Prom. Contenido de humedad	%	17.83		17.97		17.80	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		20	21	22	23	24	25
Peso muestra húmeda + tarro	gr.	211.36	212.34	236.15	249.12	218.47	219.22
Peso muestra seca + tarro	gr.	174.13	177.60	199.50	203.90	183.80	182.70
Peso del Agua	gr.	37.23	28.40	36.65	45.22	34.67	36.52
Peso del Tarro	gr.	27.40	27.00	26.50	27.30	27.00	26.90
Peso Muestra Seca	gr.	146.73	150.60	173.00	176.60	156.80	155.80
Contenido de Humedad	%	25.37	23.07	21.18	25.61	22.11	23.44
Prom. Contenido de humedad	%	24.22		23.40		22.78	

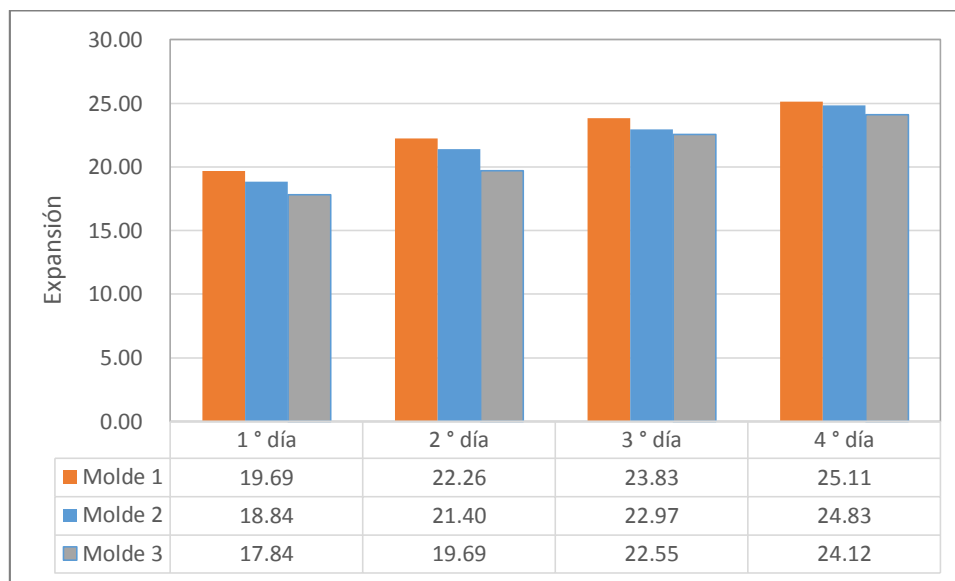
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 32. Resultados del hinchamiento con 0% CCA

TIEMPO		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
Acumulado		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
(Hs)	(Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	1.380	35.052	19.69	1.320	33.53	18.84	1.250	31.750	17.84
48	2	1.560	39.624	22.26	1.500	38.10	21.40	1.380	35.052	19.69
72	3	1.670	42.418	23.83	1.610	40.89	22.97	1.580	40.132	22.55
96	4	1.760	44.704	25.11	1.740	44.20	24.83	1.690	42.926	24.12

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 10. Expansión del suelo con 0%CCA



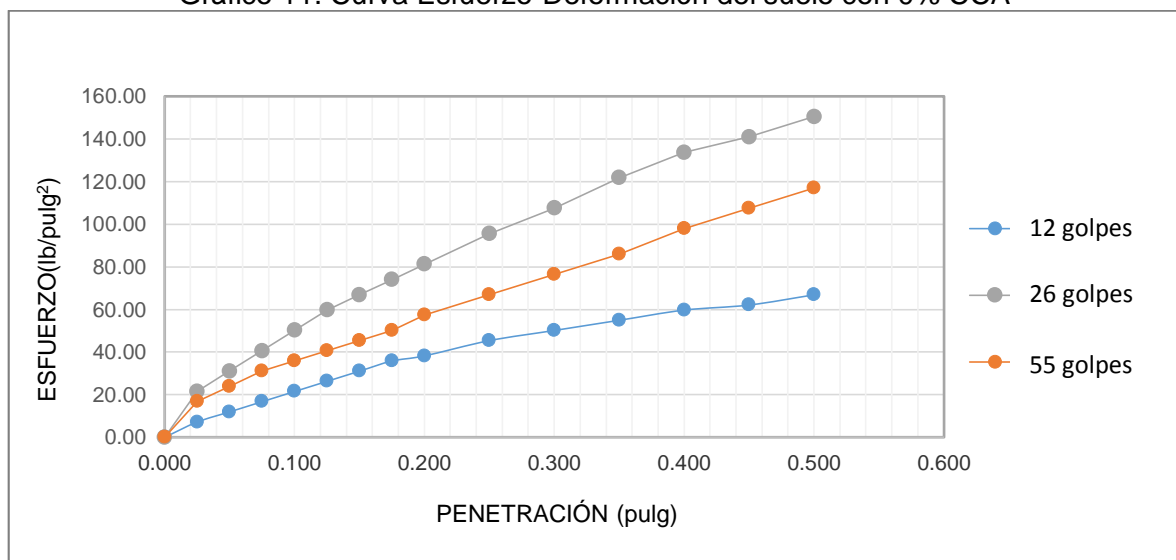
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 33. Resultados del ensayo de carga -penetración con 0%CCA

Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	N° de Divisiones	Carga	Esfuerzo	N° de Divisiones	Carga	Esfuerzo	N° de Divisiones	Carga	Esfuerzo
			lb	lb/pulg ²		lb	lb/pulg ²		lb	lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	3.00	22.50	7.17	7.00	52.50	16.72	9.00	67.50	21.50
1.27	0.050	5.00	37.50	11.94	10.00	75.00	23.89	13.00	97.50	31.05
1.91	0.075	7.00	52.50	16.72	13.00	97.50	31.05	17.00	127.50	40.61
2.54	0.100	9.00	67.50	21.50	15.00	112.50	35.83	21.00	157.50	50.16
3.18	0.125	11.00	82.50	26.27	17.00	127.50	40.61	25.00	187.50	59.71
3.81	0.150	13.00	97.50	31.05	19.00	142.50	45.38	28.00	210.00	66.88
4.45	0.175	15.00	112.50	35.83	21.00	157.50	50.16	31.00	232.50	74.04
5.08	0.200	16.00	120.00	38.22	24.00	180.00	57.32	34.00	255.00	81.21
6.35	0.25	19.00	142.50	45.38	28.00	210.00	66.88	40.00	300.00	95.54
7.62	0.30	21.00	157.50	50.16	32.00	240.00	76.43	45.00	337.50	107.48
8.89	0.35	23.00	172.50	54.94	36.00	270.00	85.99	51.00	382.50	121.82
10.16	0.400	25.00	187.50	59.71	41.00	307.50	97.93	56.00	420.00	133.76
11.43	0.450	26.00	195.00	62.10	45.00	337.50	107.48	59.00	442.50	140.92
12.70	0.500	28.00	210.00	66.88	49.00	367.50	117.04	63.00	472.50	150.48

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 11. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 0% CCA



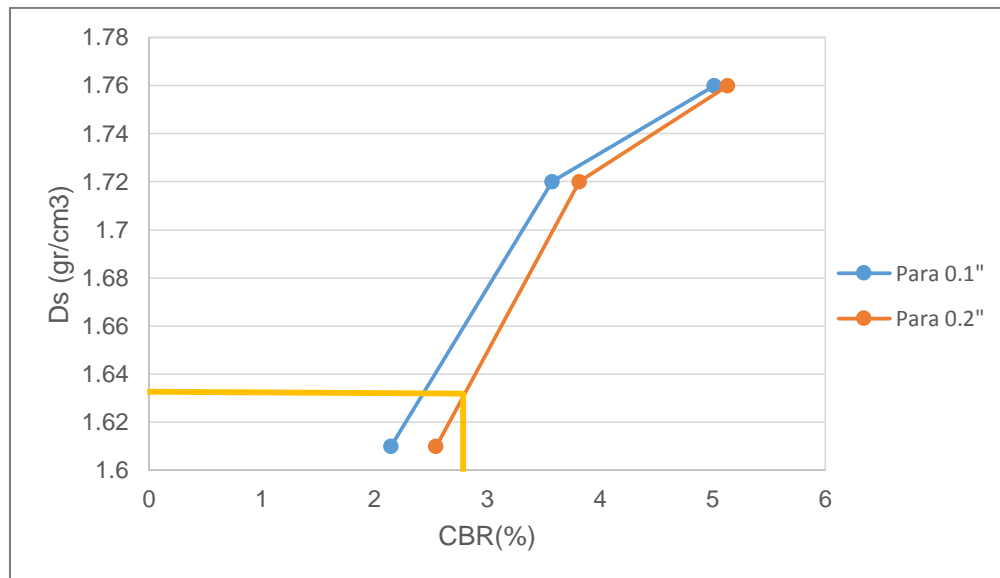
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 34. Resultados de CBR con 0% de CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Penetración						
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	21.50	38.22	35.83	57.32	50.16	81.21
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	2.15	2.55	3.58	3.82	4.02	5.14
Ds (gr/cm ³)	1.615	1.615	1.724	1.724	1.760	1.760

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 12. Curva de CBR- Densidad Seca con 0% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

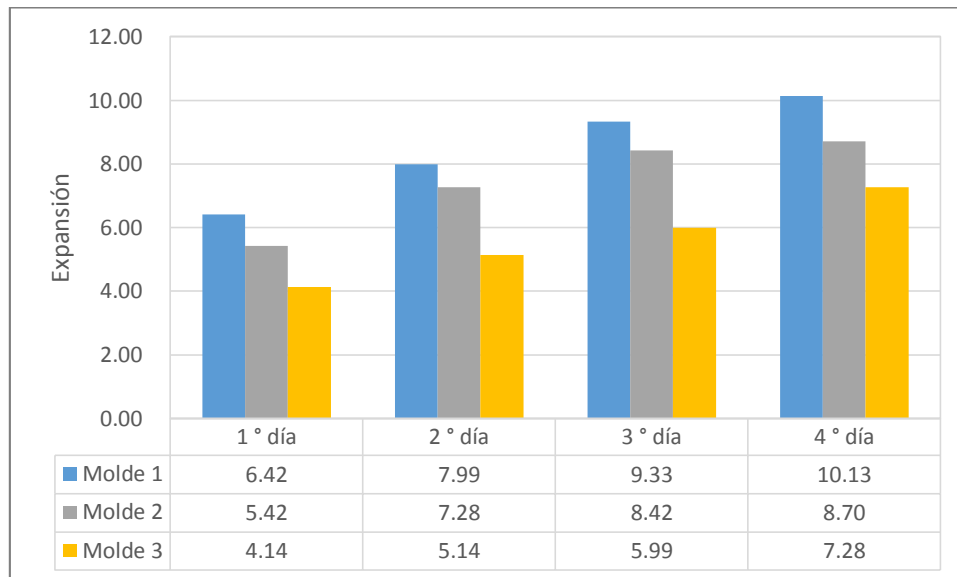
Ds. máx. = 1.722
 95%Ds máx. = 1.636
 CBR (0.2") = 2.85%

Tabla 35. Resultados del hinchamiento con 4 % CCA

TIEMPO		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE3		
Acumulado		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
(Hs)	(Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.450	11.430	6.42	0.380	9.652	5.42	0.290	7.366	4.14
48	2	0.560	14.224	7.99	0.510	12.954	7.28	0.360	9.144	5.14
72	3	0.654	16.612	9.33	0.590	14.986	8.42	0.420	10.668	5.99
96	4	0.710	18.034	10.13	0.610	15.494	8.70	0.510	12.954	7.28

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 13. Expansión del suelo con 4%CCA



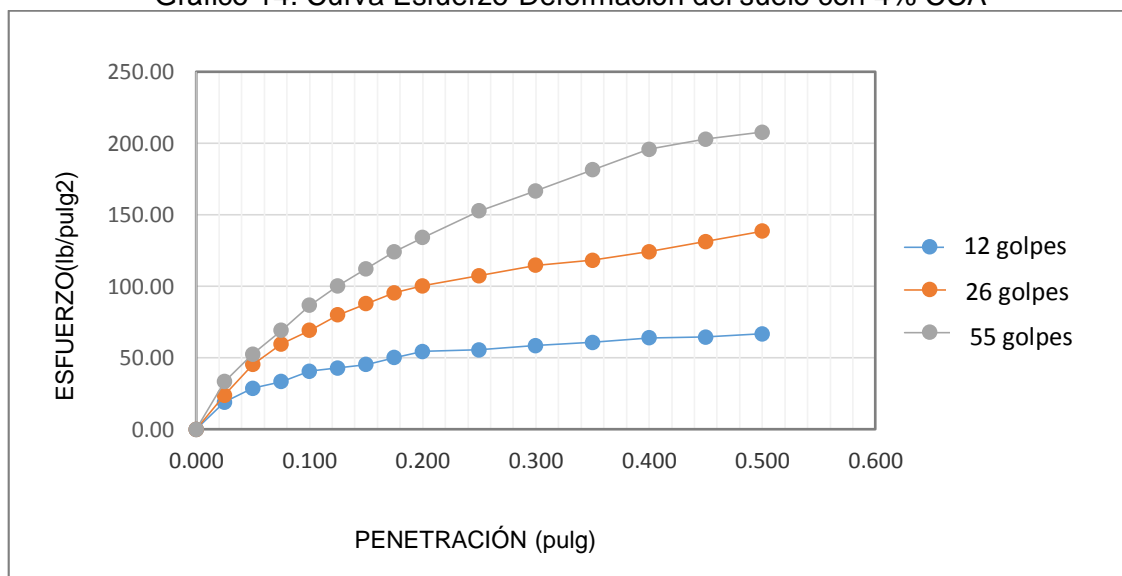
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 36. Resultados del ensayo de carga -penetración con 4%CCA

Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	8.00	60.00	19.11	10.00	75.00	23.89	14.00	105.00	33.44
1.27	0.050	12.00	90.00	28.66	19.00	142.50	45.38	22.00	165.00	52.55
1.91	0.075	14.00	105.00	33.44	25.00	187.50	59.71	29.00	217.50	69.27
2.54	0.100	17.00	127.50	40.61	29.00	217.50	69.27	36.30	272.25	86.70
3.18	0.125	18.00	135.00	42.99	33.50	251.25	80.02	42.00	315.00	100.32
3.81	0.150	19.00	142.50	45.38	36.80	276.00	87.90	47.00	352.50	112.26
4.45	0.175	21.00	157.50	50.16	40.00	300.00	95.54	52.00	390.00	124.20
5.08	0.200	22.80	171.00	54.46	42.00	315.00	100.32	56.20	421.50	134.24
6.35	0.250	23.30	174.75	55.65	45.00	337.50	107.48	64.00	480.00	152.87
7.62	0.300	24.50	183.75	58.52	48.00	360.00	114.65	69.80	523.50	166.72
8.89	0.350	25.50	191.25	60.91	49.50	371.25	118.23	76.00	570.00	181.53
10.16	0.400	26.80	201.00	64.01	52.00	390.00	124.20	82.00	615.00	195.86
11.43	0.450	27.00	202.50	64.49	55.00	412.50	131.37	85.00	637.50	203.03
12.70	0.500	28.00	210.00	66.88	58.00	435.00	138.54	87.00	652.50	207.80

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 14. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 4% CCA



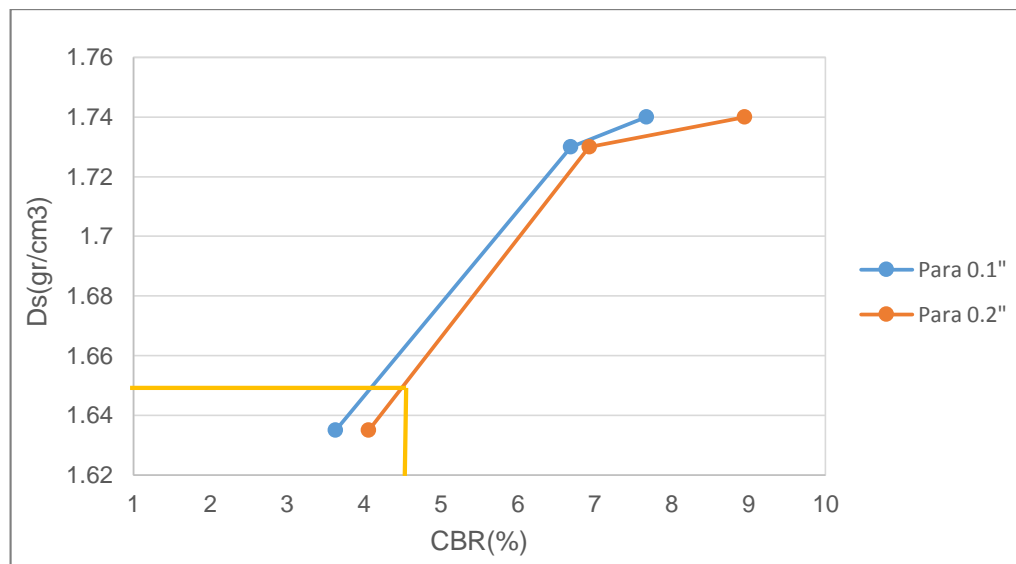
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 37. Resultados de CBR con 4% de CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	40.61	54.46	69.27	100.32	86.70	134.24
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	3.63	4.06	6.69	6.93	7.67	7.95
Ds (gr/cm ³)	1.635	1.635	1.734	1.734	1.741	1.741

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 15. Curva de CBR- Densidad Seca con 4% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

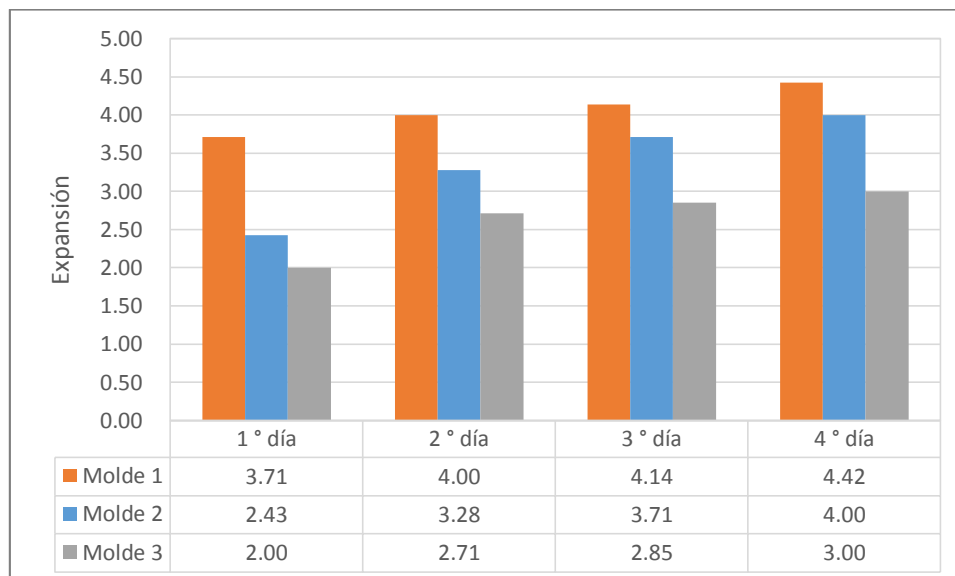
Ds máx.	=	1.735
95%Ds máx.	=	1.650
CBR (0.2")	=	4.52%

Tabla 38. Resultados del hinchamiento con 7%CCA

TIEMPO		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
Acumulado		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
(Hs)	(Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.260	6.604	3.71	0.170	4.318	2.43	0.140	3.556	2.00
48	2	0.280	7.112	4.00	0.230	5.842	3.28	0.190	4.826	2.71
72	3	0.290	7.366	4.14	0.260	6.604	3.71	0.200	5.080	2.85
96	4	0.310	7.874	4.42	0.280	7.112	4.00	0.210	5.334	3.00

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 16. Expansión del suelo con 7% de CCA



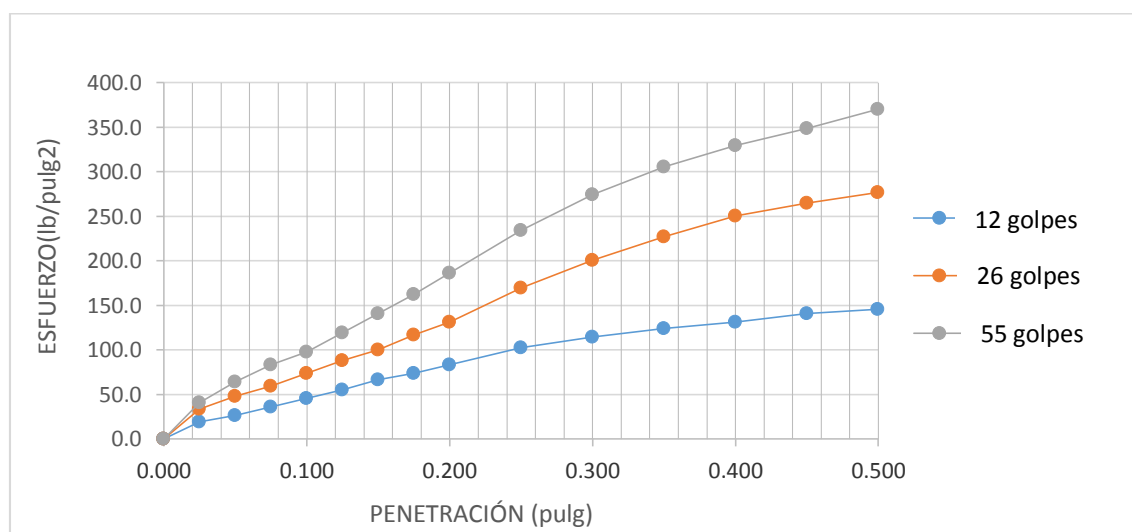
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 39. Resultados del ensayo de carga -penetración con 7%CCA

Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	8.00	60.00	19.11	14.00	105.00	33.44	17.00	127.50	40.61
1.27	0.050	11.00	82.50	26.27	20.00	150.00	47.77	27.00	202.50	64.49
1.91	0.075	15.00	112.50	35.83	27.00	202.50	64.49	35.00	262.50	83.60
2.54	0.100	19.00	142.50	45.38	33.00	247.50	78.82	41.00	307.50	97.93
3.18	0.125	23.00	172.50	54.94	39.00	292.50	93.15	50.00	375.00	119.43
3.81	0.150	28.00	210.00	66.88	45.00	337.50	107.48	59.00	442.50	140.92
4.45	0.175	31.00	232.50	74.04	52.00	390.00	124.20	68.00	510.00	162.42
5.08	0.200	35.00	262.50	83.60	60.00	450.00	143.31	75.00	562.50	179.14
6.35	0.250	43.00	322.50	102.71	71.00	532.50	169.59	98.00	735.00	234.08
7.62	0.300	48.00	360.00	114.65	84.00	630.00	200.64	115.00	862.50	274.68
8.89	0.350	52.00	390.00	124.20	95.00	712.50	226.91	128.00	960.00	305.73
10.16	0.400	55.00	412.50	131.37	105.00	787.50	250.80	138.00	1035.00	329.62
11.43	0.450	59.00	442.50	140.92	111.00	832.50	265.13	146.00	1095.00	348.73
12.70	0.500	61.00	457.50	145.70	116.00	870.00	277.07	155.00	1162.50	370.22

Fuente: (Elaboración propia, 2016)

Gráfico 17. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 7% de CCA.



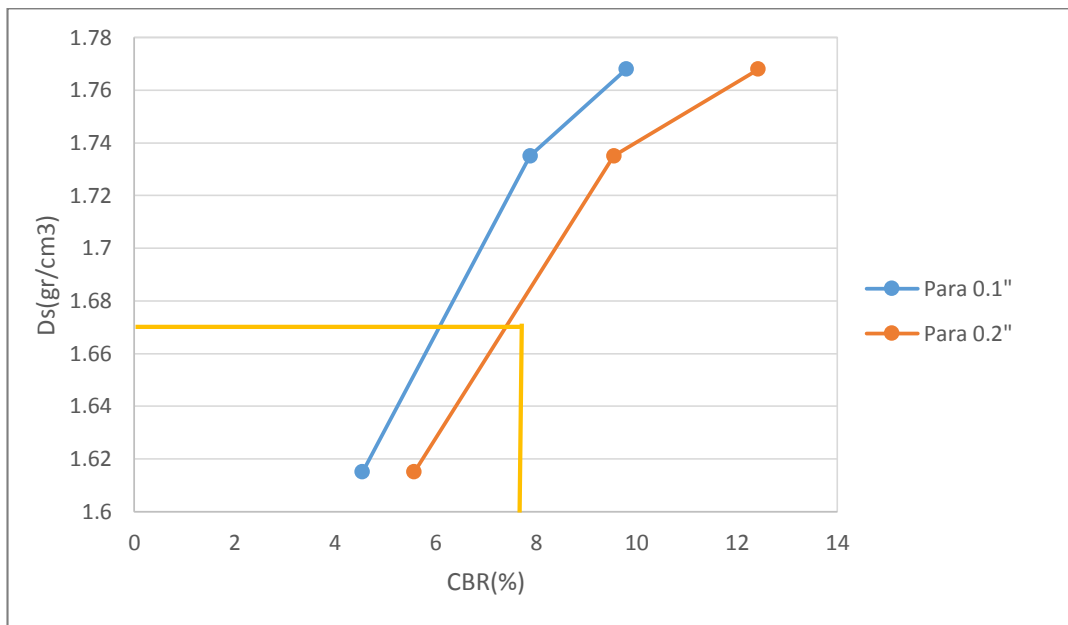
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 40. Resultado de CBR con 7%CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	45.38	83.60	78.82	143.31	97.93	186.31
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	4.54	5.57	7.88	8.55	9.42	9.79
Ds (gr/cm ³)	1.615	1.615	1.735	1.735	1.768	1.768

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 18. Curva de CBR- Densidad Seca con 7% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

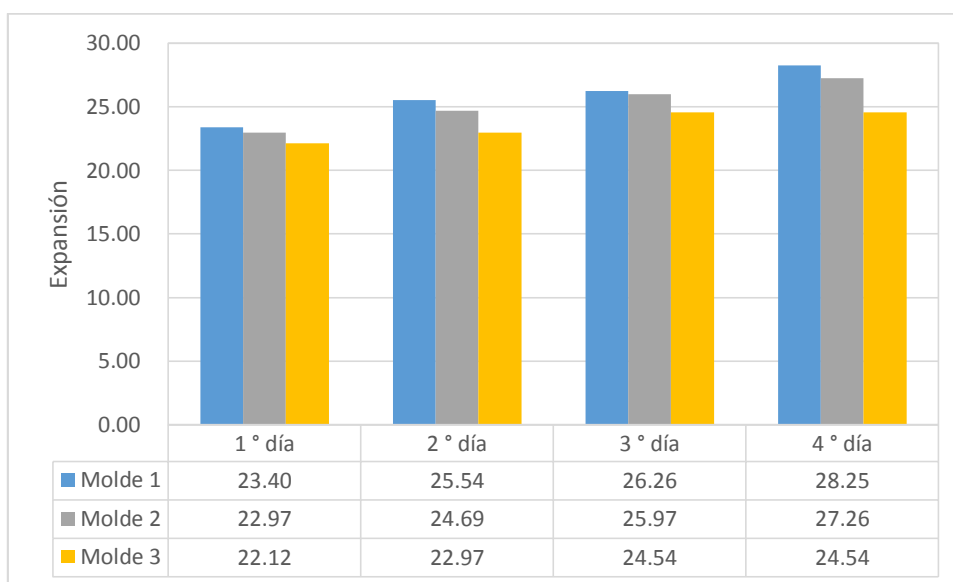
Ds máx.	=	1.762
95%Ds máx.	=	1.674
CBR (0.2")	=	7.80%

Tabla 41. Resultados del hinchamiento con 10% de CCA

TIEMPO		MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
Acumulado		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
(Hs)	(Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	1.640	41.656	23.40	1.610	40.894	22.97	1.550	39.370	22.12
48	2	1.790	45.466	25.54	1.730	43.942	24.69	1.610	40.894	22.97
72	3	1.840	46.736	26.26	1.820	46.228	25.97	1.720	43.688	24.54
96	4	1.980	50.292	28.25	1.910	48.514	27.26	1.720	43.688	24.54

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 19. Expansión del suelo con 10% de CCA



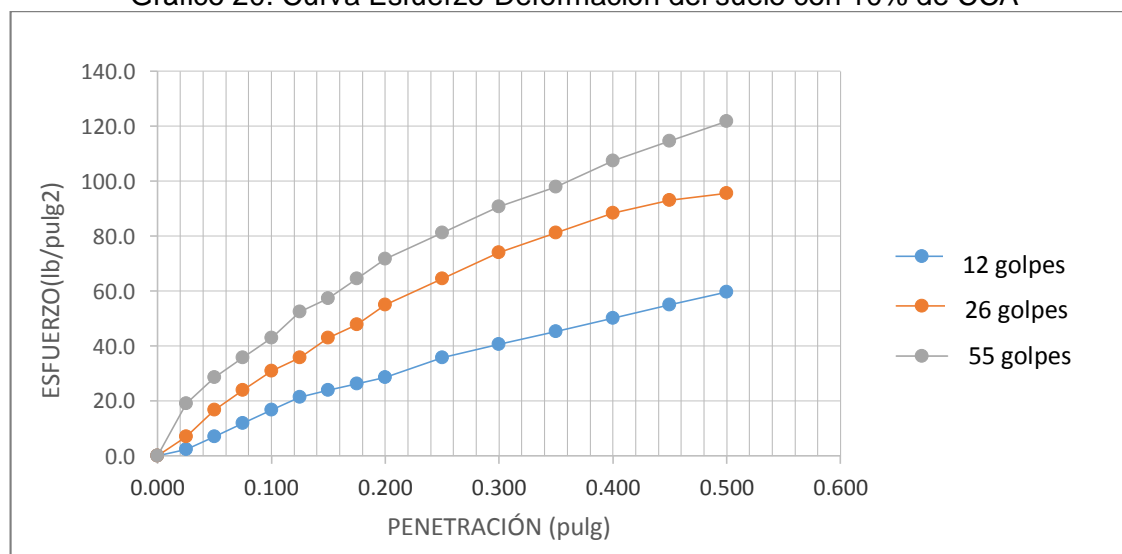
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 42. Resultados de ensayo carga -penetración con 10% de CCA

PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	N° de Divisione	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisione	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)	N° de Divisione	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	1.00	7.50	2.39	3.00	22.50	7.17	8.00	60.00	19.11
1.27	0.050	3.00	22.50	7.17	7.00	52.50	16.72	12.00	90.00	28.66
1.91	0.075	5.00	37.50	11.94	10.00	75.00	23.89	15.00	112.50	35.83
2.54	0.100	7.00	52.50	16.72	13.00	97.50	31.05	18.00	135.00	42.99
3.18	0.125	9.00	67.50	21.50	15.00	112.50	35.83	22.00	165.00	52.55
3.81	0.150	10.00	75.00	23.89	18.00	135.00	42.99	24.00	180.00	57.32
4.45	0.175	11.00	82.50	26.27	20.00	150.00	47.77	27.00	202.50	64.49
5.08	0.200	12.00	90.00	28.66	23.00	172.50	54.94	30.00	225.00	71.66
6.35	0.250	15.00	112.50	35.83	27.00	202.50	64.49	34.00	255.00	81.21
7.62	0.300	17.00	127.50	40.61	31.00	232.50	74.04	38.00	285.00	90.76
8.89	0.350	19.00	142.50	45.38	34.00	255.00	81.21	41.00	307.50	97.93
10.16	0.400	21.00	157.50	50.16	37.00	277.50	88.38	45.00	337.50	107.48
11.43	0.450	23.00	172.50	54.94	39.00	292.50	93.15	48.00	360.00	114.65
12.70	0.500	25.00	187.50	59.71	40.00	300.00	95.54	51.00	382.50	121.82

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 20. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 10% de CCA



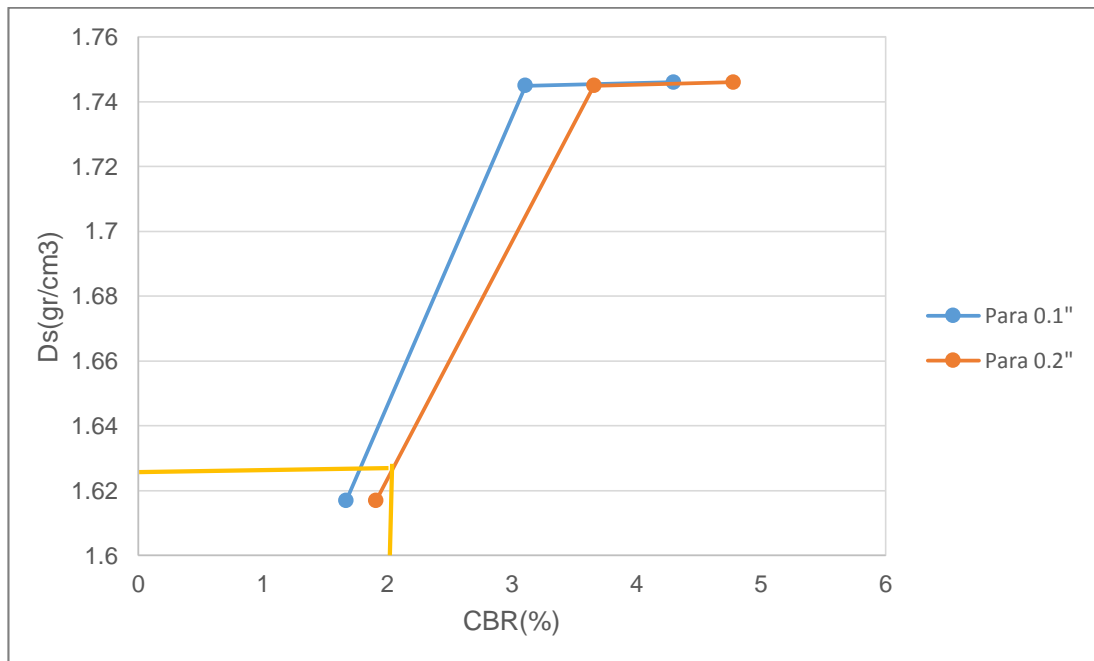
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 43. Resultado de CBR con 10%CCA a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Penetración						
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	16.72	28.66	31.05	54.94	42.99	71.66
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	1.67	1.91	3.11	3.66	4.30	4.58
Ds (gr/cm ³)	1.617	1.617	1.745	1.745	1.746	1.746

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 21. Curva de CBR- Densidad Seca con 10% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Ds máx. = 1.707
 95%Ds máx. = 1.622
 CBR (0.2") = 2.00%

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Los resultados del análisis del potencial de expansión y capacidad portante del suelo con los diferentes niveles de ceniza se presentan en dos criterios en el primero se analiza los resultados de la expansión obtenidos de los límites de Atemberg y los registros de expansión y en la segunda parte los resultados de la capacidad portante obtenidos del ensayo de CBR.

A continuación presentamos el análisis del a granulometría del suelo y el contenido óptimo de cal para pasar a discutir los resultados de la expansión y capacidad portante:

Análisis granulométrico:

Los resultados del análisis granulométrico mostrados en las tablas 17 y 18, indican la siguiente clasificación del suelo: por el método AASHTO el material se clasificó como suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, cuyo índice de grupo es 8 y por tanto está dentro de la categoría de subrasante pobre según el MTC. Por su parte por el método SUCS, el suelo se clasificó en la categoría CL perteneciente a las arcillas de baja a mediana plasticidad.

Contenido Optimo de cal:

Los resultados obtenidos para el contenido de cal indican que el porcentaje óptimo de cal es de 7% ya que su PH es el que más se aproxima a 12.4, que es el PH óptimo para estabilizar un suelo con cal pero para la presente investigación se tomó el contenido óptimo de cal del 6%, ya que es el rango máximo de cal que se usa en combinación con otro tipo de materiales como es el caso de la ceniza de cascarilla de arroz.

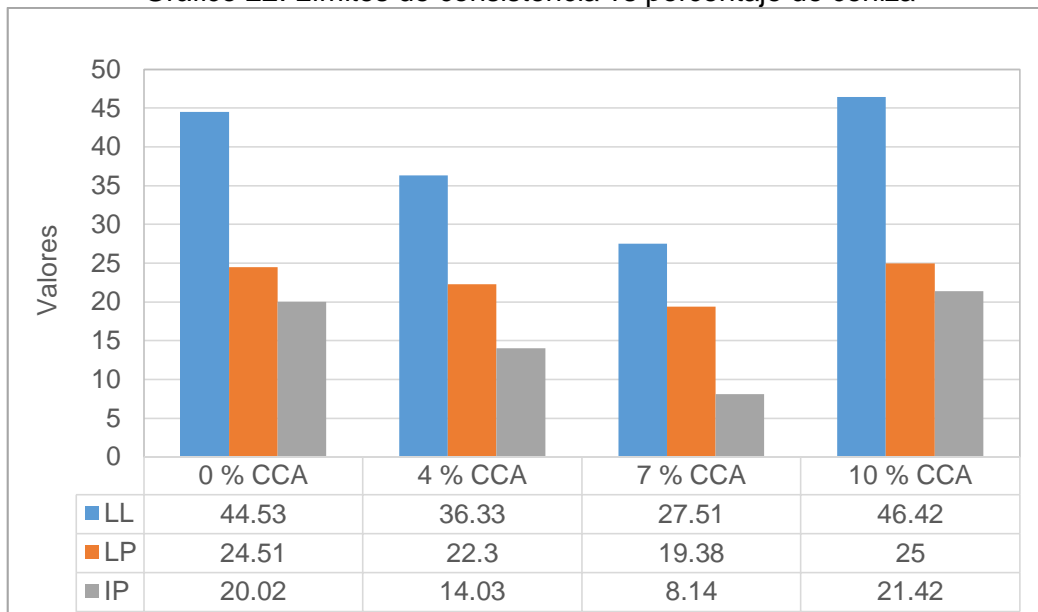
Límites de consistencia:

Las tablas 20, 21, 22 y 23 muestran los resultados obtenidos con respecto a la relación que existe entre los límites de consistencia y los niveles de ceniza muestran una reducción proporcional de los límites de consistencia con el remplazo de la ceniza con los contenidos de 4% y 7%; sin embargo con el remplazo del 10% se observa un leve incremento con respecto a los límites de consistencia de la muestra del suelo natural.

En el gráfico 22 podemos apreciar que el límite líquido se redujo en un 18.41% y 38.22% con el contenido de ceniza de 4% y 7% respectivamente, en comparación con otros estudios donde se indica que el límite líquido se redujo en 24,80 % con el contenido de ceniza de 7.5 %. (Okafor y Okonkwo, 2009).

Por otro lado, sin embargo, con el remplazo del 10% de ceniza se observa un leve incremento del 4.24%.

Gráfico 22. Límites de consistencia vs porcentaje de ceniza



Fuente: Elaboración propia, 2016.

De igual forma, los resultados de la plasticidad muestran una reducción del 29.92% y 59.34% para el contenido de 4% y 7% de ceniza respectivamente y un incremento del 6.99% para el 10% de ceniza. Evidenciando que el mejor comportamiento de la plasticidad del suelo se logró con un porcentaje del 7% de CCA.

Tabla 44. Cuadro comparativo de límites de consistencia

LÍMITES DE CONSISTENCIA			
% CCA	LL	LP	IP
0.00	44.53	24.51	20.02
4.00	36.33	22.30	14.03
7.00	27.51	19.38	8.14
10.00	46.42	25.00	21.42

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En conclusión se tiene que los resultados sobre los límites de consistencia exhibieron un mejor comportamiento para las muestras de 4% y 7% de ceniza, sin embargo mostraron un incremento para el 10%(ver tabla 44). Este comportamiento podría explicarse por la acción de la ceniza que al reaccionar con el suelo produce una disminución de los límites de consistencia, que también se ha informado en estudios anteriores.

Expansión:

Los resultados del análisis de la expansión se realizaron en base a dos consideraciones importantes para esta investigación; la primera consistió en analizar el índice de plasticidad

como resultado de los límites de consistencia y la segunda consistió en analizar los registros de expansión tomadas del trípode de expansión del equipo de CBR.

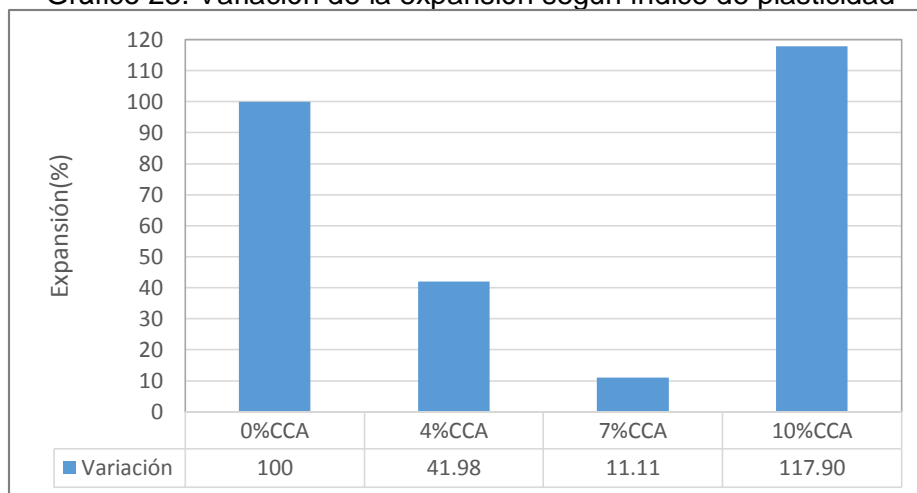
A Continuación se presentan los resultados en tabla 45 donde aplicando la ecuación 5 tenemos que el grado de expansión del suelo corresponde al nivel medio es decir es una suelo de mediana expansión.

Tabla 45. Resultados de la expansión del suelo

% de CCA	IP	$S = 60 * K * IP^{2.44}$
S0	20.02	3.24
S4	14.03	1.36
S7	8.14	0.36
S10	21.42	3.82

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 23. Variación de la expansión según índice de plasticidad



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los resultados de la expansión del gráfico 23 muestran una reducción de la expansión del 58.02% y 88.88% con las muestra de 4%CCA y 7%CCA respectivamente y un incremento del 17.90% con las muestra de 10%CCA, en comparación con otros estudios donde se reportaron una reducción del 100% de la expansión (Muntohar, 2005).

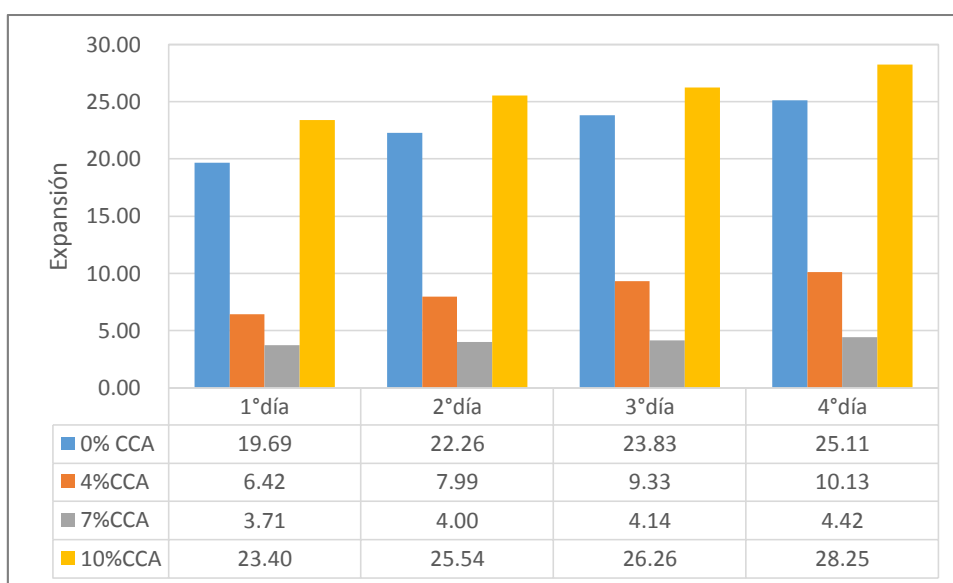
Para contenidos de ceniza entre 4% y 7%, la expansión disminuye progresivamente sin embargo un incremento de ceniza superior e igual al 10%, provoca un aumento del índice de plasticidad y por ende de un incremento en la expansión. El incremento de la expansión es provocado por el aumento de la ceniza, este fenómeno se explica por incremento proporcional del agua respecto del incremento de la ceniza lo que provocaría la formación de grandes vacíos con agua atrapada que impedirían una mezcla uniforme entre la ceniza

y el suelo razón por la cual se incrementan los límites de consistencia y por ende la expansión.

Registro de expansión:

Los resultados de los registros de expansión se muestran en los gráficos 24,25 y 26, la mayor expansión se registró con los moldes de 12 golpes llegando a 25.11 % al final del sumergido para la muestra patrón. Las muestras 4%CCA y 7%CCA reportan una reducción de 14.99% y 20.69% respectivamente; sin embargo con el incremento del 10%CCA se evidencia una subida de la expansión del 6.86%.

Gráfico 24. Expansión para molde 1, según porcentaje de ceniza

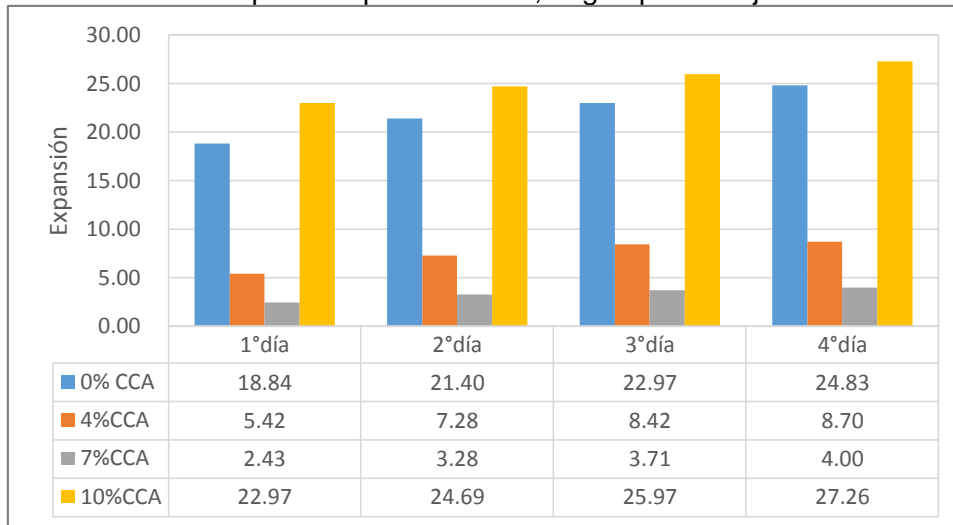


Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para los moldes de 26 golpes con 0%CCA, la expansión llega a 24.83 % al final del sumergido, las muestras con 4%CCA y 7%CCA reportan una reducción de 16.13% y 20.83% respectivamente; sin embargo con el incremento del 10%CCA se evidencia una subida de la expansión del 2.43%.

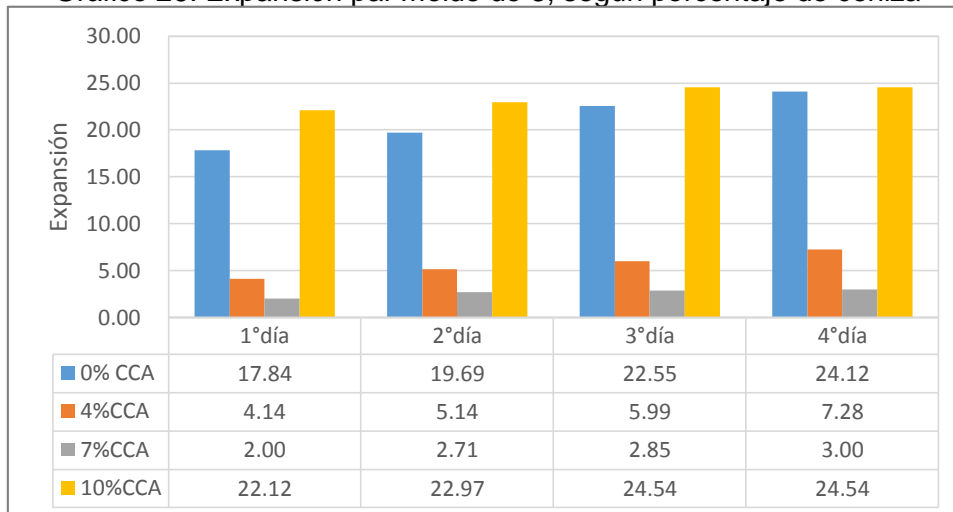
Por su parte en los moldes de 55 golpes la expansión llega a 24.12 % de expansión al final del sumergido y las muestras con 4%CCA y 7%CCA reportan una reducción de 16.84% y 21.12% respectivamente; sin embargo con el incremento del 10%CCA se evidencia una subida de la expansión del 0.43%.

Gráfico 25. Expansión para molde 2, según porcentaje de ceniza



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Gráfico 26. Expansión par molde de 3, según porcentaje de ceniza



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En conclusión, las muestras que mejor se comportan con la expansión son las de 4%CCA y 7%CCA pertenecientes a los moldes de 26 y 55 golpes (ver figuras 25 y 26) que al igual que en el análisis de la expansión por índice de plasticidad aquí también se reporta una reducción para la muestra de 4%CCA y 7%CCA; sin embargo con el incremento del 10%CCA se evidencia una subida de la expansión.

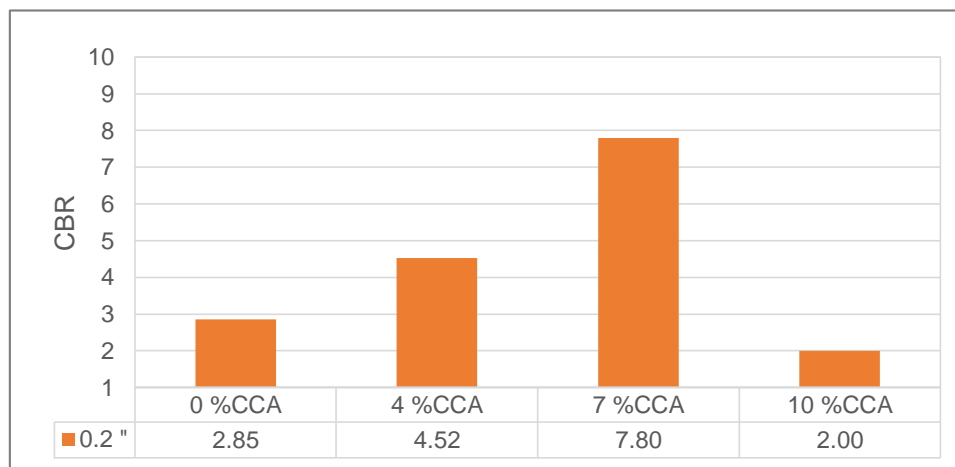
Esta disminución como se reporta en los estudios anteriores se deben a la reacción que se produce entre la CCA, la arcilla y la cal ya que en presencia de agua, se formarían algunas propiedades cementantes que lograrían estabilizar el suelo contra la hinchazón. (Mutohar, 2005).

Capacidad portante:

Los valores de la capacidad portante del suelo se muestran en el gráfico 27, donde podemos apreciar que los valores máximos de CBR se lograron con un contenido del 4 % y 7% de ceniza ; el CBR se incrementó de 2.85% a 4.52% para un contenido de ceniza del 4%; de igual forma para un contenido de ceniza del 7%, el CBR se incrementó de 2.85% a 7.8%; sin embargo al igual que en la expansión para un contenido del 10% de ceniza, el CBR disminuyó de 2.85% a 2.00%.

De estos resultados el máximo valor de CBR se logró con el 7% de ceniza llegando a incrementarse en un 4.95% en comparación con otros estudios donde se reportaron un incremento de 7.7 % a 23.5% con un contenido de suelo-ceniza de 60/40(Pérez, 2012). Este comportamiento puede ser debido a la formación gradual de compuestos de cemento en la mezcla, provocado por la reacción entre la ceniza el suelo y la cal.

Gráfico 27. Comparación del CBR de 0.2” de penetración, según porcentaje de ceniza



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Del análisis del CBR tenemos que la muestra de suelo natural al tener un CBR de 2.85% se encuentra dentro de la categoría de sub-rasante inadecuada (según las categorías del MTC) ya que su CBR, es menor al 3%(Ver tabla 10). Por otro lado la muestra de suelo con un contenido del 4% de ceniza presenta un incremento en el CBR llegando al 4.52% y por tanto subiendo el suelo a la categoría de sub-rasante pobre. Por su parte la muestra de suelo con contenido de 7% de ceniza mostró un mejor comportamiento con respecto a la anterior ya que el CBR llegó 7.80% convirtiéndose el suelo de una sub-rasante inadecuada a una sub-rasante regular y por tanto adecuada para la construcción. Finalmente para la muestra del suelo con contenido del 10% de CCA el comportamiento del suelo es inadecuado ya que el CBR sufre un decremento del 0.85%.

CONCLUSIONES

1. Del presente estudio se concluye que la hipótesis es verdadera pero para los porcentajes de 4%,7% ya que estos niveles de ceniza tienden a disminuir el potencial de expansión e incrementar la capacidad portante; sin embargo, para el contenido de ceniza del 10% ocurre todo lo contrario.
2. La expansión disminuye progresivamente para contenidos de ceniza entre 4% y 7%, sin embargo un incremento de ceniza superior e igual al 10%, provoca un aumento del índice de plasticidad y por ende de un incremento en la expansión.
3. Los valores máximos de CBR se lograron con un contenido del 4 % y 7% de ceniza ; el CBR se incrementó de 2.85% a 4.52% para un contenido de ceniza del 4%; de igual forma para un contenido de ceniza del 7%, el CBR se incrementó de 2.85% a 7.8%; sin embargo al igual que en la expansión para un contenido del 10% de ceniza, el CBR disminuyó del 2.85% a 2.00%.

RECOMENDACIONES

1. Con esta investigación se deja un precedente y se recomienda continuar con otros estudios donde se utilicen porcentajes de ceniza de cáscara de arroz en la variación del 0% al 20%, ya que este material parece ser un buen estabilizador de suelos, por lo que se recomendaría hacer un estudio con más pruebas de laboratorio para hacer la verificación del caso.
2. Se recomienda también realizar un estudio con este desecho pero enfocado a los suelos arenosos y determinar el comportamiento de dichos suelos frente a la adición de la ceniza.
3. Se recomienda como una línea de investigación futura realizar el análisis comparativo de costos entre la estabilización de suelos con cenizas de cascarilla de arroz y otro tipo de estabilizadores como cal, cemento, etc.

REFERENCIAS

1. Aguilar, S.J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. (Tesis de Maestría).Universidad de Sucre, Sucre, Colombia.
2. Allauca, P., Amen, L. y Lung, J. (2009). Uso del sílice en hormigones de alto desempeño. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
3. Agencia agraria de noticias (2013).Crecimiento del arroz. Perú: Agraria
4. Asociacion Nacional Lime(2004) .Manual de estabilizacion de suelos tratado con cal. Canada : LIME.
5. Aparna, R. (2014). Solil Stabilization Using Rice Husk Ash And Cement. In Magazine of the Institute Of Tegnology University of Burdwan, 5(1) pp. 49-54.
6. BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis; BEVIÁ GARCÍA, José Francisco. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A., 2000. Vol. 2. ISBN 84-607-0123-9
7. Behak, L. y Peres, N. (2008). Characterization of a material comprised of sandy soil, rice husk ash and potentially useful lime in pavements. En Revista Ingeniería de la Construcción, 3 (1) pp. 34-41.
8. Crespo Villalaz, C. (2004).Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa.
9. Delgado, A. R. (2011). Estabilización de suelos para atenuar los efectos de plasticidad del material de subrasante de la carretera Montecristi-Los Bajos. (Tesis de Maestría).Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
10. Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para vías terrestres. Bogota: Agora.
11. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015). Producción de arroz cascara. Perú: INEI.
12. Jha, J. y Gill, K. (2006). Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la estabilización de suelos. En Revista de Ingeniería de la India, 85(2) pp. 33-39.
13. Juárez Quevedo, B. M. (2012).La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados. (Tesis de Grado). Universidad de San Carlos-Guatemala.
14. Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.Sección Suelos y Pavimentos, 2013. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
15. Matthey, P., Robayo, R. y Díaz, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. En Revista latinoamericana de metalurgia y materiales, 35(2) pp.285-294.

16. Morales, Z.D. (2015). Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante la activación alcalina u su uso en vías no pavimentadas. (Tesis de Grado).Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.
17. Mora, Z.G. (2013). Estudio de problemas geotécnicos asociados a la presencia de arcillas expansivas en la carretera Rocafuerte - Tosagua, provincia de Manabí – Ecuador. (Tesis de maestría). CEDEX, Madrid, España.
18. Muntohar, A. (2005). Propiedades geotecniza de la aarcilla expansiva estabilizada con ceniza de cascara de arroz. En Media Komunikasi Teknik Sipil, 13(3) pp. 36-47.
19. Okafor, F. y Okonkwo, U. (2009). Effects of Rice Husk Ash on some Geotechnical Properties of Lateritic Soil. Electronic Journal of Practices and Technologies-Nigeria, 1586(1078) pp.67-74.
20. Pérez, B.J. y Ribero, F.R. (2008). Evaluación de la capacidad cementante de la ceniza de caña y ceniza volante para suelos granulares limpios. (Tesis de grado).Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
21. Pérez, C.R. (2012). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como Subrasante Mejorada y/o Sub Base se Pavimentos. (Tesis de maestría). UNI, Lima, Perú.
22. Rahman, Z., Hasan, H. y Mohd, W. (2014). Effect of Rice Husk Ash Addition on Geotechnical Characteristics of Treated Residual Soil. En American Eurasian J. Agric & Environ, 14(12) pp. 1368-1377.
23. Solano R., y Niño C. (2010).Evaluación de la estabilización de arcillas expansivas en laboratorio implementando pilotines con sal y cal. Universidad industrial de Santander, Bucaramanga Colombia.
24. Vega, A.C. (2006). Actividad Puzolánica de la ceniza de cascarilla de arroz. (Pasantía Internacional).Universidad de Cuenca, La Habana, Cuba.
25. Withlow, R. (2001) .Mecánica de suelos. Inglaterra: Pearson.
26. Radio programas del Perú (2015). Estado de la carretea de Combayo [Foto].Recuperado de <http://rpp.pe/peru/cajamarca/carretera-san-ignacio-la-balsa-se-encuentra-en-muy-mal-estado-noticia-1060722>
27. Radio programas del Perú (2017) .Estado de la carretea de San Ignacio-La balsa [Foto].Recuperado de <http://rpp.pe/peru/cajamarca/carretera-san-ignacio-la-balsa-se-encuentra-en-muy-mal-estado-noticia-1060722>

ANEXOS

ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

INGENIERIA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE OPTIMO DE CAL
NORMA ASTM D-6276

DATOS GENERALES

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo natural
 Responsable : Llamoga Vasquez, Luz Yanet
 Fecha : 25/04/2016

Muestra	Porcentaje de cal	Peso (gr)	Agua Añadida(ml)	PH
A-1	1%	20	100	7
A-2	2%	20	100	7
A-3	3%	20	100	7
A-4	4%	20	100	7
A-5	5%	20	100	9
A-6	6%	20	100	9
A-7	7%	20	100	11
A-8	8%	20	100	13
A-9	9%	20	100	14
A-10	10%	20	100	14

OBSERVACIONES:

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

(NORMA TECNICA PERUANA 339.127.1999)

DATOS GENERALES

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo natural
 Responsable : LLamoga Vasquez, Luz Yanet
 Fecha : 29/04/2016

Tara Número	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	506.30	601.10	565.90
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	433.20	531.70	521.40
Peso de la Tara	Gr	73.00	163.00	147.30
Peso de la Muestra Seca	Gr	360.20	368.70	374.10
Peso del Agua	Gr	73.10	69.40	44.50
Contenido de Humedad	%	20.29	18.82	11.90
Promedio		17.00		

Observaciones:

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de Investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

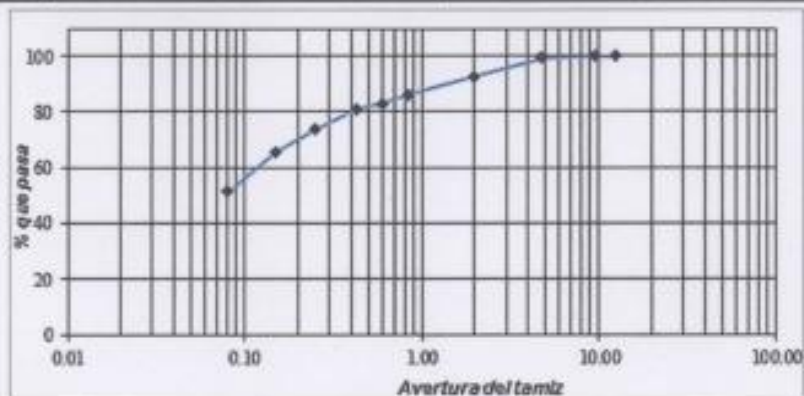


ANALISIS GRANULOMÉTRICO

(NTP 339.128-1999)





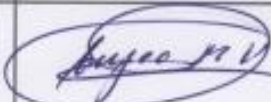

Proyecto : Tesis
 Descripción : Muestra de Suelo Natural
 Fecha : 05/05/2016

ANALISIS GRANULOMÉTRICO					
TAMIZ		Peso Ret. (gr)	99.99	%Ret. Acum	% QUE PASA
N°	ABER.(mm)				
2"	50.00	0	0	0	100
1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	0	0	0	100
3/4"	19.00	0	0	0	100
1/2"	12.50	0	0	0	100
3/8"	9.50	0	0	0	100
N°4	4.75	3.7	0.79	0.79	99.21
N°10	2.00	30.9	6.64	7.43	92.57
N°20	0.85	30	6.44	13.88	86.12
N°30	0.60	15	3.22	17.1	82.9
N°40	0.43	8.24	1.77	18.87	81.13
N°60	0.25	35	7.52	26.39	73.61
N°100	0.15	36	7.73	34.12	65.88
N°200	0.08	68	14.61	48.73	51.27
CAZOLETA		238.66	51.27	100	0
TOTAL		465.5			



APROBACIÓN

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA CIVIL																																																																					
ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA NORMA TECNICA PERUANA 339.129.1999																																																																						
DATOS GENERALES																																																																						
Proyecto :	Tesis																																																																					
Descripción :	Suelo con 0 % de CCA																																																																					
Fecha :	09/05/2016																																																																					
LÍMITE LÍQUIDO	Norma :	ASTM D 4318																																																																				
LÍMITE PLÁSTICO	Norma :	ASTM D 4319																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DESCRIPCION</th> <th rowspan="2">Unidades</th> <th colspan="3">LÍMITE LÍQUIDO</th> <th colspan="2">LÍMITE PLÁSTICO</th> </tr> <tr> <th>15</th> <th>10</th> <th>7</th> <th>10</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tara Número /</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Húmeda</td> <td>Gr</td> <td>47.10</td> <td>47.90</td> <td>48.00</td> <td>17.10</td> <td>15.92</td> </tr> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Seca</td> <td>Gr</td> <td>38.70</td> <td>38.40</td> <td>35.00</td> <td>16.46</td> <td>15.30</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Tara</td> <td>Gr</td> <td>12.90</td> <td>14.20</td> <td>13.90</td> <td>13.70</td> <td>12.90</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Seca</td> <td>Gr</td> <td>25.80</td> <td>24.20</td> <td>21.10</td> <td>2.76</td> <td>2.40</td> </tr> <tr> <td>Peso del Agua</td> <td>Gr</td> <td>8.40</td> <td>9.50</td> <td>13.00</td> <td>0.64</td> <td>0.62</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad</td> <td>%</td> <td>32.56</td> <td>39.26</td> <td>61.61</td> <td>23.19</td> <td>25.83</td> </tr> <tr> <td>Número de Golpes</td> <td></td> <td>33</td> <td>25</td> <td>19</td> <td>Promedio :</td> <td>24.51</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCION	Unidades	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		15	10	7	10	1	Tara Número /							Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	47.10	47.90	48.00	17.10	15.92	Peso Tara + Muestra Seca	Gr	38.70	38.40	35.00	16.46	15.30	Peso de la Tara	Gr	12.90	14.20	13.90	13.70	12.90	Peso de la Muestra Seca	Gr	25.80	24.20	21.10	2.76	2.40	Peso del Agua	Gr	8.40	9.50	13.00	0.64	0.62	Contenido de Humedad	%	32.56	39.26	61.61	23.19	25.83	Número de Golpes		33	25	19	Promedio :	24.51
DESCRIPCION	Unidades	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO																																																																	
		15	10	7	10	1																																																																
Tara Número /																																																																						
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	47.10	47.90	48.00	17.10	15.92																																																																
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	38.70	38.40	35.00	16.46	15.30																																																																
Peso de la Tara	Gr	12.90	14.20	13.90	13.70	12.90																																																																
Peso de la Muestra Seca	Gr	25.80	24.20	21.10	2.76	2.40																																																																
Peso del Agua	Gr	8.40	9.50	13.00	0.64	0.62																																																																
Contenido de Humedad	%	32.56	39.26	61.61	23.19	25.83																																																																
Número de Golpes		33	25	19	Promedio :	24.51																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Límites de Consistencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite Líquido: LL =</td> <td></td> <td>44.53%</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico: LP =</td> <td></td> <td>24.51%</td> </tr> <tr> <td>Índice de Plasticidad: IP =</td> <td></td> <td>20.02%</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad: Wn =</td> <td></td> <td>17.00%</td> </tr> <tr> <td>Grado de Consistencia: Kw =</td> <td></td> <td>1.37</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Observaciones:</td> </tr> </tbody> </table>			Límites de Consistencia			Límite Líquido: LL =		44.53%	Límite Plástico: LP =		24.51%	Índice de Plasticidad: IP =		20.02%	Contenido de Humedad: Wn =		17.00%	Grado de Consistencia: Kw =		1.37	Observaciones:																																																	
Límites de Consistencia																																																																						
Límite Líquido: LL =		44.53%																																																																				
Límite Plástico: LP =		24.51%																																																																				
Índice de Plasticidad: IP =		20.02%																																																																				
Contenido de Humedad: Wn =		17.00%																																																																				
Grado de Consistencia: Kw =		1.37																																																																				
Observaciones:																																																																						
Límite Líquido del suelo con 0 % CCA																																																																						
																																																																						
APROBACIÓN																																																																						
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio																																																																				
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán																																																																			
Firma:		Firma:																																																																				
Responsable de investigación																																																																						
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet																																																																					
Firma:																																																																						



ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.129.1999

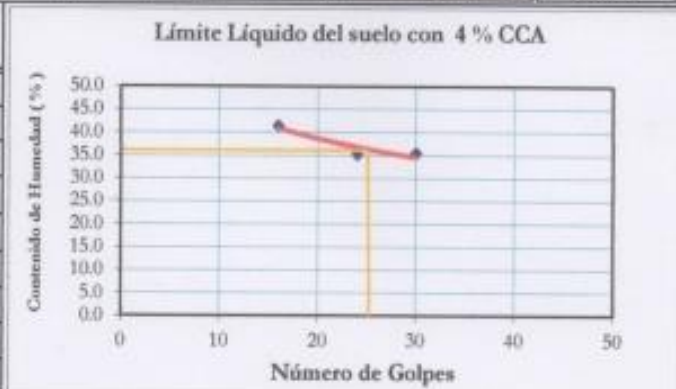
DATOS GENERALES

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 4% de CCA
 Fecha : 16/05/2016

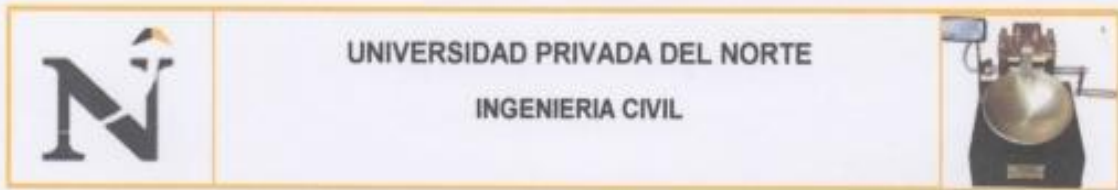
LÍMITE LÍQUIDO	Norma :	ASTM D 4318
LÍMITE PLÁSTICO	Norma :	ASTM D 4319

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Tara Número	Unidades	9	2	14	13	20
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	48.70	52.80	50.70	29.10	29.90
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	42.80	45.90	43.70	28.62	29.40
Peso de la Tara	Gr	26.20	26.30	26.80	26.60	27.00
Peso de la Muestra Seca	Gr	16.60	19.60	16.90	2.02	2.40
Peso del Agua	Gr	5.90	6.90	7.00	0.48	0.50
Contenido de Humedad	%	35.54	35.20	41.42	23.76	20.83
Número de Golpes		30	24	16	Promedio :	22.30

Límites de Consistencia	
Límite Líquido:	LL = 36.37%
Límite Plástico:	LP = 22.30%
Índice de Plasticidad :	IP = 14.07%
Contenido de Humedad :	W _n = 17.00%
Grado de Consistencia :	K _w = 1.38
Observaciones:	



APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMA TÉCNICA PERUANA 339.129.1999

DATOS GENERALES

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 7% de CCA
 Fecha : 07/05/2016

LÍMITE LÍQUIDO	Norma :	ASTM D 4318
LÍMITE PLÁSTICO	Norma :	ASTM D 4319

DESCRIPCION	Unidades	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		15	10	7	1	2
Tara Número /						
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	38.70	41.00	42.60	17.10	16.10
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	35.00	34.60	35.00	16.50	15.80
Peso de la Tara	Gr	14.10	13.40	13.00	13.30	14.30
Peso de la Muestra Seca	Gr	20.90	21.20	22.00	3.20	1.50
Peso del Agua	Gr	3.70	6.40	7.60	0.60	0.30
Contenido de Humedad	%	17.70	30.19	34.55	18.75	20.00
Número de Golpes		33	25	19	Promedio :	19.38

Límites de Consistencia

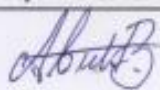


Límite Líquido: LL = 27.51%
 Límite Plástico: LP = 19.38%
 Índice de Plasticidad: IP = 8.14%
 Contenido de Humedad: $W_n = 17.00\%$
 Grado de Consistencia: $K_w = 1.29$



Observaciones:

Límite Líquido del suelo con 7% CCA



APROBACIÓN

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA CIVIL	
---	---	---

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA


NORMA TÉCNICA PERUANA 339.129.1999

DATOS GENERALES

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 10% de CCA
 Fecha : 18/05/2016

LÍMITE LÍQUIDO	Norma :	ASTM D 4318
LÍMITE PLÁSTICO	Norma :	ASTM D 4319

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
		1B	XY	3C	33	34
Tara Número	Unidades					
Peso Tara + Muestra Húm	Gr	50.40	50.30	47.90	30.80	32.00
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	43.00	43.00	41.00	30.10	31.20
Peso de la Tara	Gr	27.00	27.00	27.00	27.30	28.00
Peso de la Muestra Seca	Gr	16.00	16.00	14.00	2.80	3.20
Peso del Agua	Gr	7.40	7.30	6.90	0.70	0.80
Contenido de Humedad	%	46.25	45.63	49.29	25.00	25.00
Número de Golpes		30	22	16	Promedio :	25.00

<p>Límites de Consistencia</p> <p>Límite Líquido: LL = 46.42%</p> <p>Límite Plástico: LP = 25.00%</p> <p>Índice de Plasticidad: IP = 21.42%</p> <p>Contenido de Humedad: W_n = 17.00%</p> <p>Grado de Consistencia: K_w = 1.37</p> <p>Observaciones:</p>	<p>Límite Líquido del suelo con 10 % CCA</p> 
---	--

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
INGENIERIA CIVIL





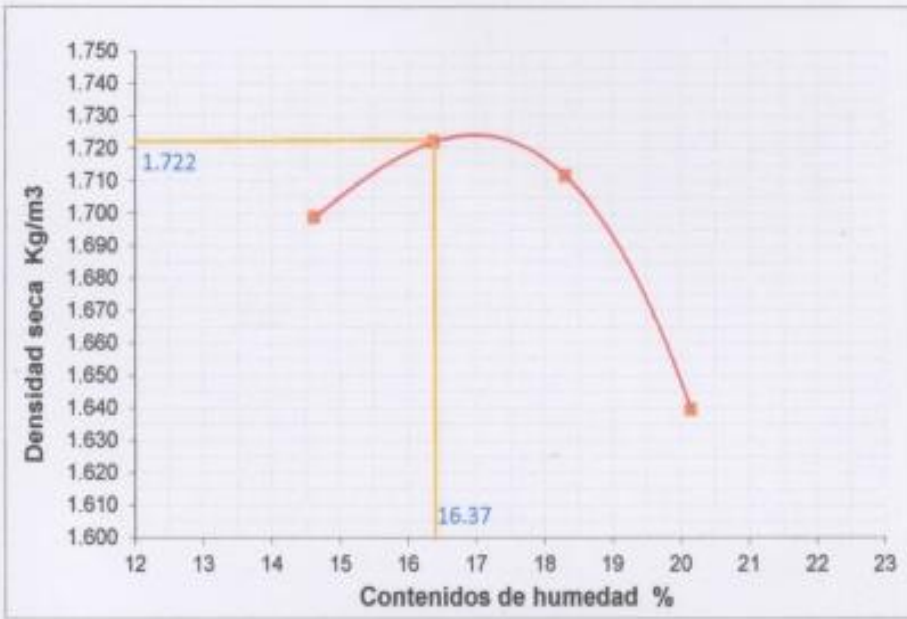
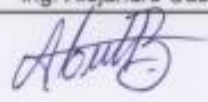
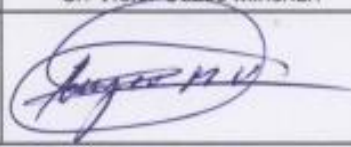

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Proyecto : Tesis
Descripción : Suelo con 0% de CCA
Volumen molde: 973.00 cm³
Peso molde : 4194.6 kg.
Altura de caída : 18 pulg.
Peso martillo : 4.5 kg
de capas: 5.00
de golpes: 25.00
Fecha: 25/05/2016

Especificaciones:
ASTM D1557
AASHTO T180-70
NTP 339.141
MTC E115-2000

DATOS PARA LA CURVA										
Muestra #	1		2		3		4			
Peso del molde + suelo húmedo	g		6089.16		6144.50		6164.90		6111.20	
Peso del suelo húmedo	g		1894.56		1949.90		1970.30		1916.60	
Humedad calculada	%		14.63		16.37		18.31		20.15	
Densidad Húmeda	kg/m ³		1.947		2.004		2.025		1.970	
Densidad seca	kg/m ³		1.699		1.722		1.712		1.639	
Contenidos de humedad										
Muestra #	1		2		3		4			
Recipiente #	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A		
Rec + suelo húmedo	g	254.00	257.70	263.50	268.00	250.20	255.90	270.80	271.12	
Rec + suelo seco	g	225.00	228.30	230.26	234.00	216.00	220.00	230.00	230.10	
Peso del recipiente	g	27.00	27.00	27.00	26.60	26.30	27.00	27.00	27.00	
Peso del suelo seco	g	198.00	201.30	203.26	207.40	189.70	193.00	203.00	203.10	
Peso del agua	g	29.00	29.40	33.24	34.00	34.20	35.90	40.80	41.02	
Contenido de Humedad	g	29.00	29.40	33.24	34.00	34.20	35.90	40.80	41.02	
Contenido de Humedad	%	14.65	14.61	16.35	16.39	18.03	18.60	20.10	20.20	
Humedad promedio	%	14.63		16.37		18.31		20.15		

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA CIVIL		
ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO METODO "A" (ASTM D1557)			
Proyecto : Tesis Descripción : Suelo con 0% de CCA-Curva de compactación Volumen molde: 973.00 cm ³ Peso molde : 4194.6 kg. Altura de caída : 18 pulg. Peso martillo : 4.5 kg # de capas: 5.00 # de golpes: 25.00 Fecha: 25/05/2016		Especificaciones: ASTM D1557 AASHTO T180-70 NTP 339.141 MTC E115-2000	
			
		Densidad Máxima: 1.722 Kg/m ³ Humedad óptima: 16.37 %	
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

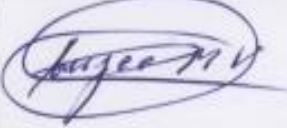



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 4% de CCA
 Volumen molde: 973.00 cm³
 Peso molde : 4194.6 kg.
 Altura de caída : 18 pulg.
 Peso martillo : 4.5 kg
 # de capas: 5.00
 # de golpes: 25.00
 Fecha: 23/05/2016

Especificaciones:
 ASTM D1557
 AASHTO T180-70
 NTP 339.141
 MTC E115-2000

DATOS PARA LA CURVA								
Muestra #	1	2	3	4				
Peso del molde + suelo húmedo g	6135.00	6179.40	6153.56	6150.20				
Peso del suelo húmedo g	1940.40	1984.80	1958.96	1955.60				
Humedad calculada %	15.73	17.56	19.48	20.28				
Densidad Húmeda kg/m ³	1.994	2.040	2.013	2.010				
Densidad seca kg/m ³	1.723	1.735	1.685	1.631				
Contenidos de humedad								
Muestra #	1		2		3		4	
Recipiente #	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A
Rec + suelo húmedo g	262.30	267.70	249.40	245.70	249.80	262.90	272.80	273.12
Rec + suelo seco g	231.80	233.50	218.13	211.15	215.00	222.84	232.90	230.10
Peso del recipiente g	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco g	204.80	206.50	191.13	184.15	188.00	195.84	205.90	203.10
Peso del agua g	30.50	34.20	31.27	34.55	34.80	40.06	39.90	43.02
Contenido de Humedad %	14.89	16.56	16.36	18.76	18.51	20.46	19.38	21.18
Humedad promedio %	15.73		17.56		19.48		20.28	

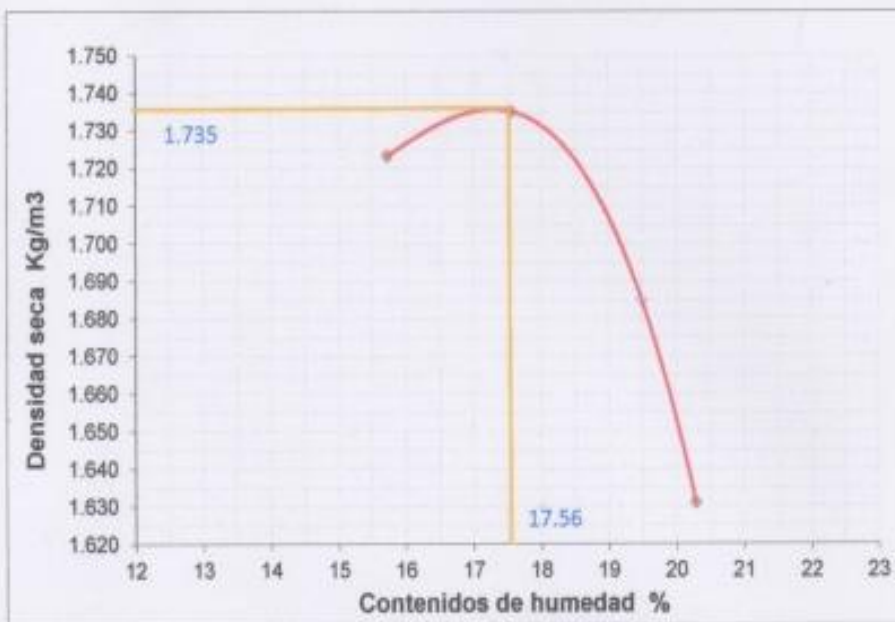
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)**

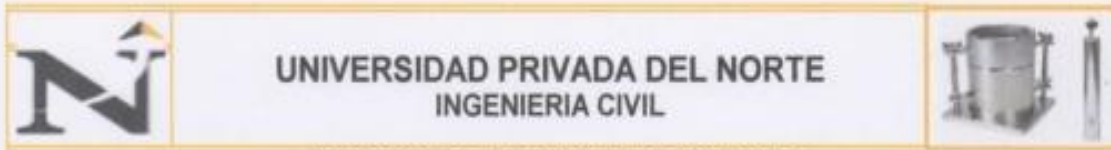
Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 4% de CCA-Curva de compactación
 Volumen molde: 973.00 cm³
 Peso molde : 4194.6 kg.
 Altura de caída : 18 pulg.
 Peso martillo : 4.5 kg
 # de capas: 5.00
 # de golpes: 25.00
 Fecha: 23/05/2016

Especificaciones:
 ASTM D1557
 AASHTO T180-70
 NTP 339.141
 MTC E115-2000



Densidad Máxima:
 1.735 Kg/m³
 Humedad óptima:
 17.56 %

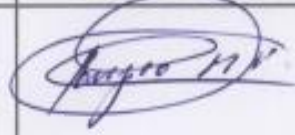

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Proyecto : Tesis	
Descripción : Suelo con 7% de CCA	
Volumen molde: 973.00 cm ³	Especificaciones:
Peso molde : 4194.6 kg.	ASTM D1557
Altura de caída : 18 pulg.	AASHTO T180-70
Peso martillo : 4.5 kg	NTP 339.141
# de capas: 5.00	MTC E115-2000
# de golpes: 25.00	
Fecha: 30/05/2016	

DATOS PARA LA CURVA									
Muestra #		1	2	3	4				
Peso del molde + suelo húmedo	g	6130.12	6217.80	6165.50	6135.30				
Peso del suelo húmedo	g	1935.52	2021.20	1970.90	1940.70				
Humedad calculada	%	15.81	17.87	19.04	20.45				
Densidad Húmeda	kg/m ³	1.989	2.077	2.026	1.995				
Densidad seca	kg/m ³	1.718	1.762	1.702	1.656				
Contenidos de humedad									
Muestra #		1	2	3	4				
Recipiente #		5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A
Rec + suelo húmedo	g	224.30	235.13	235.00	227.00	248.50	234.70	286.80	296.50
Rec + suelo seco	g	197.11	207.00	200.34	199.74	214.60	200.00	251.60	242.20
Peso del recipiente	g	27.00	27.00	27.00	26.60	26.60	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco	g	170.11	180.00	173.34	173.14	188.00	173.00	224.60	215.20
Peso del agua	g	27.19	28.13	34.66	27.26	33.90	34.70	35.20	54.30
Contenido de Humedad	%	15.98	15.63	20.00	15.74	18.03	20.06	15.67	25.23
Humedad promedio	%	15.81	17.87	19.04	20.45				

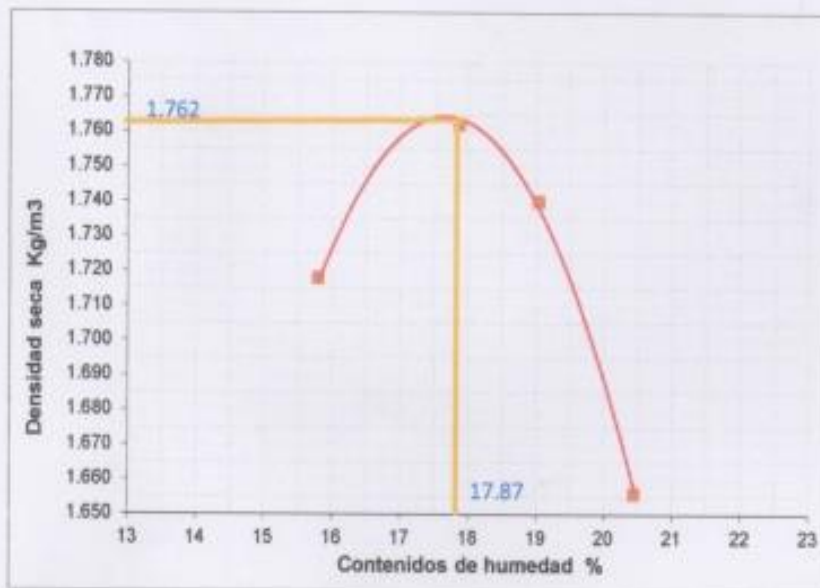
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)


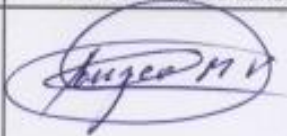

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 7% de CCA-Curva de compactación
 Volumen molde: 973.00 cm³
 Peso molde : 4194.6 kg.
 Altura de caída : 18 pulg.
 Peso martillo : 4.5 kg
 # de capas: 5.00
 # de golpes: 25.00
 Fecha: 30/05/2016

Especificaciones:
 ASTM D1557
 AASHTO T180-70
 NTP 339.141
 MTC E115-2000



Densidad Máxima:
1.762 Kg/m³

Humedad óptima:
17.870 %

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
INGENIERIA CIVIL



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 10% de CCA
 Volumen molde: 973.00 cm³
 Peso molde : 4194.6 kg.
 Altura de caída : 18 pulg.
 Peso martillo : 4.5 kg
 # de capas: 5.00
 # de golpes: 25.00
 Fecha: 01/06/2016

Especificaciones:
 ASTM D1557
 AASHTO T180-70
 NTP 339.141
 MTC E115-2000

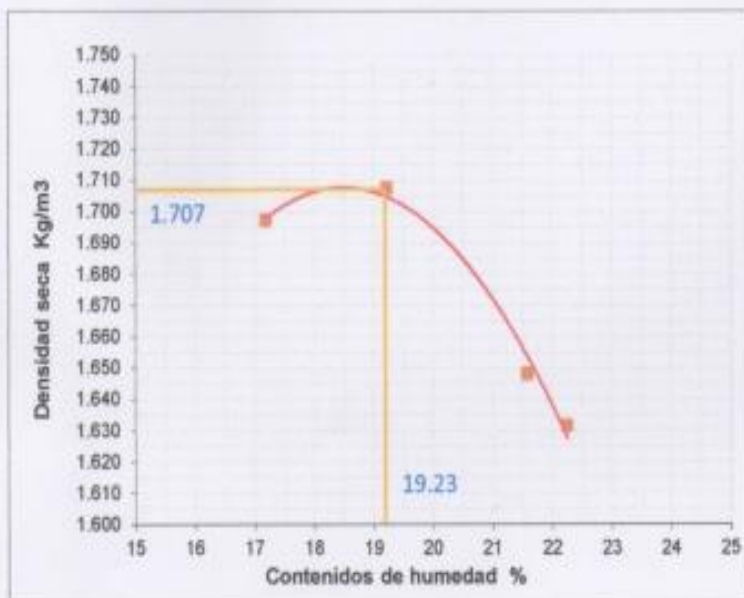
DATOS PARA LA CURVA								
Muestra #	1	2	3	4				
Peso del molde + suelo húmedo g	6129.89	6175.25	6145.12	6135.18				
Peso del suelo húmedo g	1935.29	1980.65	1949.50	1940.56				
Humedad calculada %	17.19	19.23	21.58	22.25				
Densidad Húmeda kg/m ³	1.989	2.036	2.004	1.994				
Densidad seca kg/m ³	1.697	1.707	1.649	1.631				
Contenidos de humedad								
Muestra #	1	2	3	4				
Recipiente #	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A
Rec + suelo húmedo g	204.80	203.52	234.70	235.20	222.24	221.70	211.20	215.20
Rec + suelo seco g	179.15	177.20	201.25	201.58	189.30	185.46	179.12	179.50
Peso del recipiente g	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
Peso del suelo seco g	152.15	150.20	174.25	174.58	162.30	158.46	152.12	152.50
Peso del agua g	25.65	26.32	33.45	33.62	32.94	36.24	32.08	35.70
Contenido de Humedad %	16.86	17.52	19.20	19.26	20.30	22.87	21.09	23.41
Humedad promedio %	17.19	19.23	21.58	22.25				

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
METODO "A" (ASTM D1557)**

Proyecto : Tesis	Especificaciones:
Descripción : Suelo con 10% de CCA-Curva de compactación	ASTM D1557
Volumen molde: 973.00 cm ³	AASHTO T180-70
Peso molde : 4194.6 kg.	NTP 339.141
Altura de caída : 18 pulg.	MTC E115-2000
Peso martillo : 4.5 kg	
# de capas: 5.00	
# de golpes: 25.00	
Fecha: 01/06/2016	



Densidad Máxima:
1.707 Kg/m³

Humedad óptima:
19.230 %

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de Investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			






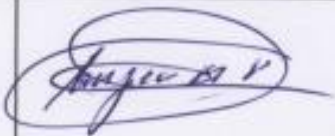

ENSAYO DE CBR

(NORMA TÉCNICA PERUANA 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
Descripción : Suelo con 0% de CCA
Fecha : 03/06/2016

MOLDE N°		1	2	3			
NUMERO DE CAPAS		5	5	5			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		55	26	12			
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	Gr.	12032	13624	12664	14464	12376	14018
PESO DEL MOLDE	Gr.	7250	7250	7984	7984	8008	8008
PESO MUESTRA HUMEDA	Gr.	4782	6374	4680	6480	4368	6010
PESO MUESTRA SECA	Gr.	4087.53	5281.52	4004.79	5386.98	3751.13	4881.61
VOLUMEN DE LA MUESTRA	Cm3	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.7
DENSIDAD HUMEDA	Cr. / Cm.	2.059	2.744	2.015	2.790	1.881	2.588
DENSIDAD SECA	Gr. / Cm3	1.760	2.274	1.724	2.319	1.615	2.102
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		18	1C	15	20	14	1B
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	160.1	168.1	128.4	128.69	161.48	174.1
peso muestra seca + tarro	Gr.	140.9	147.80	113.6	114.23	142.36	153.6
Peso del Agua	Gr.	19.2	20.3	14.8	14.46	19.12	20.5
peso del Tarro	Gr.	27.40	28.80	27	27.3	27.9	27
Peso Muestra Seca	Gr.	113.50	119.00	86.60	86.93	114.46	126.60
Contenido de Humedad	%	16.92	17.06	17.09	16.63	16.70	16.19
Prom. Contenido de humedad	%	16.99		16.86		16.45	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		15	13	1D-XY	1B	20	1C
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	195.4	189.6	207.9	194.1	207.8	204.1
peso muestra seca + tarro	Gr.	165.9	162.40	175.8	167.4	173.8	171.3
Peso del Agua	Gr.	29.5	27.2	32.1	26.7	34	32.8
peso del Tarro	Gr.	27.00	27.30	27.14	26.8	27.3	28.8
Peso Muestra Seca	Gr.	138.90	135.10	148.66	140.60	27.00	27.16
Contenido de Humedad	%	21.24	20.13	21.59	18.99	23.21	23.02
Prom. Contenido de humedad	%	20.69		20.29		23.12	

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

		UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
		INGENIERIA CIVIL					
ENSAYO DE CBR							
(NORMA TECNICA PERUANA 339.145.1999)							
Proyecto	:	Tesis					
Descripción	:	Suelo con 4% de CCA					
Fecha	:	10/08/2016					
MOLDE N°		1		2		3	
NUMERO DE CAPAS		5		5		5	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		55		26		12	
CONDICION DE MUESTRA		ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	Gr.	11962	12234	12678	12930	12125.41	12438
PESO DEL MOLDE	Gr.	7212	7212	7958	7958	7658	7658
PESO MUESTRA HUMEDA	Gr.	4750	5022	4720	4972	4467.41	4780
PESO MUESTRA SECA	Gr.	4043.76	4119.43	4027.13	4071.57	3796.33	3824.15
VOLUMEN DE LA MUESTRA	Cm3.	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.7
DENSIDAD HUMEDA	Cr. / Cm.	2.045	2.162	2.032	2.141	1.923	2.058
DENSIDAD SECA	Gr. / Cm3.	1.741	1.774	1.734	1.753	1.635	1.646
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)							
Tarro N°		1A	15	1E	20	1B	10
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	174.1	175.3	197.2	200.1	209.5	205.6
peso muestra seca + tarro	Gr.	153.1	152.41	172.34	174.6	181.7	179.45
Peso del Agua	Gr.	21	22.89	24.86	25.5	27.8	26.15
peso del Tarro	Gr.	27.40	26.80	27	27.3	27.9	27
Peso Muestra Seca	Gr.	125.70	125.61	145.34	147.30	153.80	152.45
Contenido de Humedad	%	16.71	18.22	17.10	17.31	16.08	17.15
Prom. Contenido de humedad	%	17.47		17.21		17.62	
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)							
Tarro N°		1	2	M3-1	M3-2	34	1A
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	192.3	180.4	157.2	146.7	181.1	201.8
peso muestra seca + tarro	Gr.	162.7	152.3	133.2	125.80	146.6	171.3
Peso del Agua	Gr.	29.6	28.1	24	20.9	34.5	30.5
peso del Tarro	Gr.	27.14	26.8	27.00	27.30	27	27
Peso Muestra Seca	Gr.	135.56	125.50	106.20	98.50	27.00	27.16
Contenido de Humedad	%	21.84	22.39	22.60	21.22	28.85	21.14
Prom. Contenido de humedad	%	22.12		21.91		25.00	
APROBACIÓN							
Asesor de Tesis				Coordinador de Laboratorio			
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra			Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán		
Firma:				Firma:			
Responsable de investigación							
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet						
Firma:							



ENSAYO DE CBR
(NORMA TECNICA PERUANA 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 7 % de CCA
 Fecha : 17/06/2016

MOLDE N°		1	2	3		
NUMERO DE CAPAS		5	5	5		
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		55	26	12		
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	Gr.	12061	12121.54	11956	12085.12	11986
PESO DEL MOLDE	Gr.	7234	7234	7226	7226	7260
PESO MUESTRA HUMEDA	Gr.	4827	4887.54	4730	4859.12	4726
PESO MUESTRA SECA	Gr.	4107.56	4088.11	4030.85	4051.46	3984.32
VOLLUMEN DE LA MUESTRA	Cm3	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67
DENSIDAD HUMEDA	Cr. / Cm.	2.078	2.104	2.036	2.092	2.035
DENSIDAD SECA	Gr. / Cm3	1.768	1.760	1.735	1.744	1.615
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)						
Tarro N°		3C	1B	20	13	14
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	195.12	192.1	186.3	193.5	207.5
peso muestra seca + tarro	Gr.	170.7	167.20	162.6	169.1	179.3
Peso del Agua	Gr.	27.3	24.9	26.8	24.4	28.2
peso del Tarro	Gr.	27.40	28.80	27	27.3	27.3
Peso Muestra Seca	Gr.	143.30	138.40	135.60	141.80	152.00
Contenido de Humedad	%	17.04	17.99	17.48	17.21	18.55
Prom. Contenido de humedad	%	17.52		17.35		18.62
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)						
Tarro N°		1M3	2M3	1M1	2M1	1M2
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	236.1	242.7	237.6	215.1	160.4
peso muestra seca + tarro	Gr.	201.3	208.10	203.3	183.2	137.3
Peso del Agua	Gr.	34.8	34.6	34.3	31.9	137.3
peso del Tarro	Gr.	27.00	27.30	27.14	26.8	27
Peso Muestra Seca	Gr.	174.30	180.80	176.16	156.40	27.00
Contenido de Humedad	%	19.97	19.14	19.47	20.40	20.94
Prom. Contenido de humedad	%	19.56		19.94		20.95

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Guzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



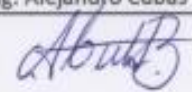




ENSAYO DE CBR
(NORMA TECNICA PERUANA 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
Descripción : Suelo con 10 % de CCA
Fecha : 23/06/2016

MOLDE N°		1	2	3		
NUMERO DE CAPAS		5	5	5		
NUMERO DE GOLPES POR CAPA		55	26	12		
CONDICIÓN DE MUESTRA		ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES
		DEL	DEL	DEL	DEL	DEL
		REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO	REMOJO
PESO MUESTRA HUMEDA +MOLDE	Gr.	12015	12894	11998.37	12656	11913.22
PESO DEL MOLDE	Gr.	7236	7236	7260	7260	7489
PESO MUESTRA HUMEDA	Gr.	4779	5658	4738.37	5396	4424.22
PESO MUESTRA SECA	Gr.	4056.02	4554.82	4016.76	4372.95	3755.70
VOLUMEN DE LA MUESTRA	Cm3.	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67	2322.67
DENSIDAD HUMEDA	Gr. / Cm.	2.058	2.436	2.040	2.323	1.905
DENSIDAD SECA	Gr. / Cm3.	1.746	1.961	1.729	1.883	1.617
CONTENIDO DE AGUA (Antes del remojo)						
Tarro N°		20	21	22	23	24
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	213.12	210.24	222.36	245.18	236.12
peso muestra seca + tarro	Gr.	185.15	182.40	194.26	210.12	203.89
Peso del Agua	Gr.	27.97	27.84	28.1	35.06	32.23
peso del Tarro	Gr.	27.40	27.00	26.5	27.3	27.9
Peso Muestra Seca	Gr.	157.75	155.40	167.76	182.82	175.99
Contenido de Humedad	%	17.73	17.92	16.75	19.18	18.31
Prom. Contenido de humedad	%	17.83		17.97		17.80
CONTENIDO DE AGUA (Después del remojo)						
Tarro N°		20	21	22	23	24
Peso muestra humeda + tarro	Gr.	211.36	212.34	236.15	249.12	218.47
peso muestra seca + tarro	Gr.	174.13	177.60	199.5	203.9	183.8
Peso del Agua	Gr.	37.23	28.4	36.65	45.22	34.67
peso del Tarro	Gr.	27.40	27.00	26.5	27.3	27
Peso Muestra Seca	Gr.	146.73	150.60	173.00	176.60	27.00
Contenido de Humedad	%	25.37	23.07	21.18	25.61	22.11
Prom. Contenido de humedad	%	24.22		23.40		22.78

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA CIVIL									
ENSAYO DE CBR (NTP 339.145.1999)										
Proyecto :	Tesis									
Descripción :	Suelo con 0 % deCCA									
Fecha :	07/06/2016									
CARACTERISTICAS DE LA PRENSA DE CBR										
Diámetro del pistón (pulg)	2									
Área del piston (pulg)	3.14									
Máxima carga de prensa(lb)	6000									
CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	División	ESFUERZO		División	ESFUERZO		División	ESFUERZO	
		pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	3.00	22.50	7.17	7.00	52.50	16.72	8.12	60.90	19.39
1.27	0.050	5.00	37.50	11.94	10.00	75.00	23.89	12.00	90.00	28.66
1.91	0.075	7.00	52.50	16.72	13.00	97.50	31.05	15.00	112.50	35.83
2.54	0.100	9.00	67.50	21.50	15.00	112.50	35.83	18.00	135.00	42.99
3.18	0.125	11.00	82.50	26.27	17.00	127.50	40.61	20.00	150.00	47.77
3.81	0.150	13.00	97.50	31.05	19.00	142.50	45.38	25.00	187.50	59.71
4.45	0.175	15.00	112.50	35.83	21.00	157.50	50.16	29.00	217.50	69.27
5.08	0.200	16.00	120.00	38.22	24.00	180.00	57.32	32.00	240.00	76.43
6.35	0.250	19.00	142.50	45.38	28.00	210.00	66.88	35.00	282.50	83.60
7.62	0.300	21.00	157.50	50.16	32.00	240.00	76.43	38.00	285.00	90.76
8.89	0.350	23.00	172.50	54.94	36.00	270.00	85.99	39.00	292.50	93.15
10.16	0.400	25.00	187.50	59.71	41.00	307.50	97.93	45.00	337.50	107.48
11.43	0.450	26.00	195.00	62.10	45.00	337.50	107.48	59.00	442.50	140.92
12.70	0.500	28.00	210.00	66.88	49.00	367.50	117.04	63.00	472.50	150.48
APROBACIÓN										
Asesor de Tesis					Coordinador de Laboratorio					
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra				Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán				
Firma:					Firma:					
Responsable de investigación										
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet									
Firma:										



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 4 % de CCA
 Fecha : 14/06/2016

CARACTERISTICAS DE LA PRENSA DE CBR

Diámetro del pison (pulg)	2
Área del pison (pulg)	3.14
Máxima carga de prensa(lb)	6000

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	División	ESFUERZO		División	ESFUERZO		División	ESFUERZO	
		pulg	Kg/m2	lb/pulg ²	pulg	Kg/m2	lb/pulg ²	pulg	Kg/m2	lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.025	8.00	60.00	19.11	10.00	75.00	23.89	14.00	105.00	33.44
1.27	0.050	12.00	90.00	28.66	19.00	142.50	45.38	22.00	165.00	52.55
1.91	0.075	14.00	105.00	33.44	25.00	187.50	59.71	29.00	217.50	69.27
2.54	0.100	17.00	127.50	40.61	29.00	217.50	69.27	36.30	272.25	86.70
3.18	0.125	18.00	135.00	42.99	33.50	251.25	80.02	42.00	315.00	100.32
3.81	0.150	19.00	142.50	45.38	36.80	276.00	87.90	47.00	352.50	112.26
4.45	0.175	21.00	157.50	50.16	40.00	300.00	95.54	52.00	390.00	124.20
5.08	0.200	22.80	171.00	54.46	42.00	315.00	100.32	56.20	421.50	134.24
6.35	0.250	23.30	174.75	55.65	45.00	337.50	107.48	64.00	480.00	152.87
7.62	0.300	24.50	183.75	58.52	48.00	360.00	114.65	69.80	523.50	166.72
8.89	0.350	25.50	191.25	60.91	49.50	371.25	118.23	76.00	570.00	181.53
10.16	0.400	26.80	201.00	64.01	52.00	390.00	124.20	82.00	615.00	195.86
11.43	0.450	27.00	202.50	64.49	55.00	412.50	131.37	85.00	637.50	203.03
12.70	0.500	28.00	210.00	66.88	58.00	435.00	138.54	87.00	652.50	207.80

APROBACIÓN

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
INGENIERIA CIVIL



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
Descripción : Suelo con 7 % de CCA
Fecha : 21/06/2016

CARACTERISTICAS DE LA PRENSA DE CBR



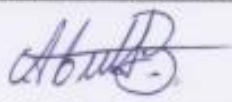
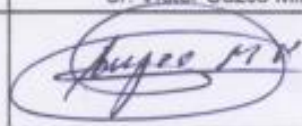
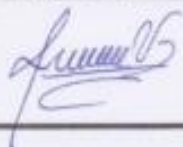
Diámetro del pistón (pulg)	2
Área del pistón (pulg)	3.14
Máxima carga de prensa(lb)	6000

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	División	ESFUERZO		División	ESFUERZO		División	ESFUERZO	
		pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	-	0.00
0.00	0.025	8.00	60.000	19.11	14.00	105.000	33.44	17.00	127.50	40.61
1.27	0.050	10.50	78.750	25.08	20.00	150.000	47.77	26.50	198.75	63.30
1.91	0.075	14.51	108.825	34.66	27.00	202.500	64.49	35.00	262.50	83.60
2.54	0.100	18.55	139.125	44.31	33.00	247.500	78.82	41.00	307.50	97.93
3.18	0.125	23.00	172.500	54.94	39.00	292.500	93.15	50.00	375.00	119.43
3.81	0.150	28.00	210.000	66.88	45.00	337.500	107.48	59.00	442.50	140.92
4.45	0.175	31.00	232.500	74.04	52.00	390.000	124.20	68.00	510.00	162.42
5.08	0.200	35.00	262.500	83.60	60.00	450.000	143.31	75.00	562.50	179.14
6.35	0.250	43.00	322.500	102.71	71.00	532.500	169.59	98.00	735.00	234.08
7.62	0.300	48.00	360.000	114.65	84.00	630.000	200.64	115.00	862.50	274.68
8.89	0.350	52.00	390.000	124.20	95.00	712.500	226.91	128.00	960.00	305.73
10.16	0.400	55.00	412.500	131.37	105.00	787.500	250.80	138.00	1,035.00	329.62
11.43	0.450	59.00	442.500	140.92	111.00	832.500	265.13	146.00	1,095.00	348.73
12.70	0.500	61.00	457.500	145.70	116.00	870.000	277.07	155.00	1,162.50	370.22

APROBACIÓN

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE INGENIERIA CIVIL									
ENSAYO DE CBR (NTP 339.145.1999)										
Proyecto :	Tesis									
Descripción :	Suelo con 10% de CCA									
Fecha :	27/06/2016									
CARACTERISTICAS DE LA PRENSA DE CBR										
Diámetro del pistón (pulg)	2									
Área del pistón (pulg)	3.14									
Máxima carga de prensa(lb)	8000									
CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	División	ESFUERZO		División	ESFUERZO		División	ESFUERZO	
		pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²	pulg	Kg/m ²	lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0	-	0.00
0.00	0.025	1.00	7.50	2.39	3.00	22.50	7.17	8.00	60.00	19.11
1.27	0.050	3.00	22.50	7.17	7.00	52.50	16.72	12.00	90.00	28.66
1.91	0.075	5.00	37.50	11.94	10.00	75.00	23.89	15.00	112.50	35.83
2.54	0.100	7.00	52.50	16.72	13.00	97.50	31.05	18.00	135.00	42.99
3.18	0.125	9.00	67.50	21.50	15.00	112.50	35.83	22.00	165.00	52.55
3.81	0.150	10.00	75.00	23.89	18.00	135.00	42.99	24.00	180.00	57.32
4.45	0.175	11.00	82.50	26.27	20.00	150.00	47.77	27.00	202.50	64.49
5.08	0.200	12.00	90.00	28.66	23.00	172.50	54.94	30.00	225.00	71.66
6.35	0.250	15.00	112.50	35.83	27.00	202.50	64.49	34.00	255.00	81.21
7.62	0.300	17.00	127.50	40.61	31.00	232.50	74.04	38.00	285.00	90.76
8.89	0.350	19.00	142.50	45.38	34.00	255.00	81.21	41.00	307.50	97.93
10.16	0.400	21.00	157.50	50.16	37.00	277.50	88.38	45.00	337.50	107.48
11.43	0.450	23.00	172.50	54.94	39.00	292.50	93.15	48.00	360.00	114.65
12.70	0.500	25.00	187.50	59.71	40.00	300.00	95.54	51.00	382.50	121.82
APROBACIÓN										
Asesor de Tesis					Coordinador de Laboratorio					
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra				Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán				
Firma:					Firma:					
Responsable de Investigación										
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet									
Firma:										



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 0% de CCA
 Fecha : Del 03/06/16 al 07/06/16

CARACTERISTICAS DEL MOLDE

MOLDE N°	M1	M2	M3
N° Golpes	13	27	56
Altura(mm)	178	178	178
Diámetro(mm)	152	152	152

CARACTERISTICAS DEL ESPACIADOR

Altura (cm)	5
Diámetro(cm)	148

EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO	NÚMERO DE MOLDE (1)				NÚMERO DE MOLDE (2)			NÚMERO DE MOLDE (3)		
	(Hs)	(Días)	LECTURA HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
			DEFORM.	(mm)		(%)	DEFORM.		(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	1.380	35.052	19.69	1.320	33.53	18.84	1.250	31.750	17.84
48	2	1.560	39.624	22.26	1.500	38.10	21.40	1.380	35.052	19.69
72	3	1.670	42.418	23.83	1.610	40.89	22.97	1.580	40.132	22.55
96	4	1.760	44.704	25.11	1.740	44.20	24.83	1.690	42.926	24.12

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
- Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 4 % de CCA
 Fecha : Del 10/06/16 al 14/06/16

CARACTERISTICAS DEL MOLDE

MOLDE N°	M1	M2	M3
N° Golpes	13	27	56
Altura(mm)	178	178	178
Diámetro(mm)	152	152	152

CARACTERISTICAS DEL ESPACIADOR

Altura (cm)	5
Diámetro(cm)	148

EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO (Hs) (Días)	NÚMERO DE MOLDE (1)			NÚMERO DE MOLDE (2)			NÚMERO DE MOLDE (3)			
	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		
		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.450	11.430	6.42	0.380	9.652	5.42	0.290	7.366	4.14
48	2	0.560	14.224	7.99	0.510	12.954	7.28	0.360	9.144	5.14
72	3	0.654	16.612	9.33	0.590	14.986	8.42	0.420	10.668	5.99
96	4	0.710	18.034	10.13	0.610	15.494	8.70	0.510	12.954	7.28

APROBACIÓN

Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
◦ Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 7 %de CCA
 Fecha : Del 17/06/16 al 21/06/16

CARACTERISTICAS DEL MOLDE

MOLDE N°	M1	M2	M3
N° Golpes	13	27	56
Altura(mm)	178	178	178
Diámetro(mm)	152	152	152

CARACTERISTICAS DEL ESPACIADOR

Altura (cm)	5
Diámetro(cm)	148

EXPANSION

TIEMPO		NÚMERO DE MOLDE (1)			NÚMERO DE MOLDE (2)			NÚMERO DE MOLDE (3)		
ACUMULADO (Hs)	(Dias)	LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
		DEFORM.	(mm)	(%)		DEFORM.	(mm)		(%)	DEFORM.
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.260	6.604	3.71	0.170	4.318	2.43	0.140	3.556	2.00
48	2	0.280	7.112	4.00	0.230	5.842	3.28	0.190	4.826	2.71
72	3	0.290	7.366	4.14	0.260	6.604	3.71	0.200	5.080	2.85
96	4	0.310	7.874	4.42	0.280	7.112	4.00	0.210	5.334	3.00

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Victor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			



ENSAYO DE CBR

(NTP 339.145.1999)

Proyecto : Tesis
 Descripción : Suelo con 10 % de CCA
 Fecha : Del 23/06/16 al 27/06/16

CARACTERISTICAS DEL MOLDE

MOLDE N°	M1	M2	M3
N° Golpes	13	27	56
Altura(mm)	178	178	178
Diámetro(mm)	152	152	152

CARACTERISTICAS DEL ESPACIADOR

Altura (cm)	5
Diámetro(cm)	148

EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO	NÚMERO DE MOLDE (1)			NÚMERO DE MOLDE (2)			NÚMERO DE MOLDE (3)			
	LECTURA (Hs)	DÍAS	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	
			DEFORM.	(mm)		(%)	DEFORM.		(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	1.640	41.656	23.40	1.610	40.894	22.97	1.550	39.370	22.12
48	2	1.790	45.466	25.54	1.730	43.942	24.69	1.610	40.894	22.97
72	3	1.840	46.736	26.26	1.820	46.228	25.97	1.720	43.688	24.54
96	4	1.980	50.292	28.25	1.910	48.514	27.26	1.720	43.688	24.54

APROBACIÓN			
Asesor de Tesis		Coordinador de Laboratorio	
Nombre:	Ing. Alejandro Cubas Becerra	Nombre:	Sr. Víctor Cuzco Minchán
Firma:		Firma:	
Responsable de investigación			
Nombre:	Llamoga Vásquez Luz Yanet		
Firma:			

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 28. Molido de la CCA para activar sus propiedades



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 29. Preparación de muestras para límites de Atterberg



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 30. Realizando ensayo de límite plástico con 10%CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 31. Preparación de suelo para ensayo Proctor con 0% y 4% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 32. Realizando en ensayo Proctor con 7% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 33. Muestras obtenidas del ensayo Proctor después de 24 horas en el horno



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 34. Muestras antes y después del horno después de 24 horas



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 35. Preparación de muestra para CBR con 0% y 4% de CCA.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 36. Realización del ensayo CBR, para la muestra de 10% de CCA.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 37. Compactado de muestra para CBR con 0% ,4% y 7% de CCA.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 38. Sumergido de moldes después de compactado de ensayo CBR



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 39. Registro del hinchamiento de las muestras sumergidas por 4 días



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 40. Ensayo de carga penetración para la muestra de 0% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 41. Ensayo de carga penetración con el Ing. Iván Mejía y sus alumnos de mecánica de suelos, para la muestra de 4% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 42. Ensayo de carga penetración para la muestra de 7% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 43. Realización de ensayo de carga penetración con asesor el Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la muestra de 10% de CCA



Fuente: Elaboración propia, 2016.