

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL



**Mejoramiento de las propiedades del afirmado de la cantera
Tres Piedras adicionando cenizas de bagazo de caña de
azúcar y cal hidratada para fines de pavimentación**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero civil

Autor

Carpio Salazar, Henry Francis

Asesor

Castañeda Gamboa, Rogelio

Chimbote – Perú

2020

Palabras clave:

| | |
|---------------------|------------|
| Tema | Afirmado |
| Especialidad | Pavimentos |

Key words:

| | |
|-----------------------|----------------|
| Topic | Road-surfacing |
| Specialization | Pavements |

Línea de Investigación

Según la OCDE:

Línea de Investigación : Transporte

Área : Ingeniería y Tecnología

Sub-Área : Ingeniería Civil

Disciplina : Ingeniería del Transporte

**“Mejoramiento de las propiedades del afirmado de la cantera Tres Piedras
adicionando cenizas de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada para fines de
pavimentación”**

Resumen del Proyecto

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado de la cantera Tres Piedras ubicada en la localidad de Huarmey-Ancash, cuando se adiciono el 3.00 % y el 4.00% de la combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar del distrito de Nepeña-Ancash y cal hidratada de Caraz-Ancash, para fines de pavimentación.

Se determinaron las propiedades del afirmado mediante los siguientes ensayos: MTC E 107 (granulometría), MTC E110 - E111 (límite plástico e índice de plasticidad), MTC E 132 (CBR), MTC E 115 (Proctor Modificado). Obteniendo que la muestra natural según SUCS tiene una clasificación SP-CL (Arena pobremente graduada con arcillas de baja plasticidad), un límite líquido (L.L.) de 34.40% con un índice de plasticidad (I.P.) de 11.73% y un C.B.R. de 50.00 % referido al 100% de su MDS, resultados que están fuera de los parámetros que exige el MTC para ser considerado como material a utilizar con fines pavimentación. Luego de desarrollar la adición de CBCA-CH (Tabla1) se concluyó que la adición óptima para el caso estudiado es la combinación de 2%CBCA-2%CH, mejorando las propiedades del afirmado natural resultando con un límite líquido (L.L.) de 24.88% con un índice de plasticidad (I.P.) de 8.80% y un C.B.R. de 62.50 % referido al 100% de su MDS, estos nuevos resultados permiten que el material de la cantera Tres piedras – Huarmey cumpla con el rango de solicitudes técnicas que exige el MTC (Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos – Sección 301) para ser utilizado como **AFIRMADO** en vías no pavimentadas.

Abstract

The purpose of this research work was to evaluate the mechanical and physical properties Of the road surface of the reserve three stones located in the town of Huarmey-Ancash, when it was the 3.00 % and the 4.00% of the combination of sugarcane bagasse ash from the district of Nepeña-Ancash and hydrated lime from Caraz-Ancash, for paving purposes.

The properties of the road surface were determined by the following tests: MTC E 107 (granulometry), MTC E110 - E111 (plastic limit and plastic index), MTC E 132 (CBR), MTC E 115 (Modified Proctor). Obtaining the natural sample according SUCS has a clasifficacion SP-CL (Poorly graded sand with low plasticity clays), a liquid limit (L.L.) of 34.40% with an plastic index (I.P.) of 11.73% and a C.B.R. of 50.00 % refferet to 100% from his MDS, results that are outside the parameters requerid by the MTC to be considered as a material to be used for paving purposes. After developing the addition of CBCA-CH (Table1) It was concluded that the optimal addition for the case study is the combination of 2%CBCA-2%CH, improving the properties of road surface natural resulting with a liquid limit (L.L.) of 24.88% with an plastic index (I.P.) of 8.80% and a C.B.R. of 62.50 % refferet to 100% from his MDS, These new results allow the material of the reserve three stones – Huarmey meet the range of technical requests that the MTC (Highway Manual – Ground and Pavements Section– Section 301) to be used as **ROAD SURFACE** on unpaved roads.

Indice

| | |
|--|------------|
| Palabras clave: | i |
| Título | ii |
| Resumen del Proyecto | iii |
| Abstract | iv |
| Indice | v |
| Introducción | 1 |
| Antecedentes y Fundamentación Científica | 1 |
| Justificación de la Investigación | 24 |
| Problema | 26 |
| Conceptualización y operacionalización de las variables | 28 |
| Hipótesis | 30 |
| Objetivos | 30 |
| Metodología | 31 |
| Resultados | 44 |
| Análisis y Discusión | 74 |
| Conclusiones | 85 |
| Recomendaciones | 88 |
| Referencias bibliográficas | 90 |
| Agradecimientos | 92 |
| Anexos y Apéndice | 93 |

Índice de Tablas

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabla 1 | - Selección de Aditivo Estabilizante. | 8 |
| Tabla 2 | - Franja Granulométrica - Afirmado | 24 |
| Tabla 3 | - Variable Dependiente | 28 |
| Tabla 4 | - Variable Independiente | 29 |
| Tabla 5 | - Producción Nacional de Azúcar | 41 |
| Tabla 6 | - Resumen de Resultados – Afirmado de la cantera Tres Piedras adicionando el 3 % y el 4 %, de ceniza de bagazo de caña y cal hidratada. | 44 |
| Tabla 7 | - Resultados de Composición Química – (CBCA-CH-AF) | 46 |
| Tabla 8 | - Resultados de Determinación pH – (CBCA-CH-AF) | 47 |
| Tabla 9 | - Ensayo de Análisis Granulométrico – Afirmado Patrón | 48 |
| Tabla 10 | - Ensayo de Limite Liquido – Afirmado Patrón | 49 |
| Tabla 11 | - Ensayo de Limite Plástico – Afirmado Patrón | 50 |
| Tabla 12 | - Resumen de Resultados Limites de Atterberg – Afirmado Patrón | 50 |
| Tabla 13 | - Clasificación SUCS – Afirmado Patrón | 50 |
| Tabla 14 | - Clasificación AASTHO – Afirmado Patrón | 51 |
| Tabla 15 | - Determinación de Contenido de Humedad - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado | 52 |
| Tabla 16 | - Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado Patrón | 53 |
| Tabla 17 | - Resumen de Resultado - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado Patrón | 54 |
| Tabla 18 | - Resultado – Contenido de Humedad Natural – Afirmado Patrón | 54 |
| Tabla 19 | - Resultados – C.B.R. – Afirmado Patrón | 54 |
| Tabla 20 | - Resumen de Resultados – C.B.R. – Afirmado Patrón | 56 |
| Tabla 21 | - Resumen de Resultados – Afirmado Patrón (cantera Tres Piedras – Huarney) | 58 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 22 | - Determinación de Contenido de Humedad - Proctor Modificado – Experimental 3.00% | 58 |
| Tabla 23 | - Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 3.00% | 59 |
| Tabla 24 | - Resumen de Resultados - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 3.00% | 60 |
| Tabla 25 | - Resultados – C.B.R. – Afirmado + 1.00 % de CBCA + 2.00% de CH - Experimental 3.00% | 60 |
| Tabla 26 | - Resumen de Resultados – C.B.R. – Experimental 3.00% | 62 |
| Tabla 27 | - Ensayo de Limite Liquido – Experimental 3.00% | 63 |
| Tabla 28 | - Ensayo de Limite Plástico – Experimental 3.00% | 64 |
| Tabla 29 | - Resultados Limites de Atterberg – Experimental 3.00% | 65 |
| Tabla 30 | - Resumen de Resultados – Experimental 3.00% | 65 |
| Tabla 31 | - Determinación de Contenido de Humedad - Proctor Modificado – Experimental 4.00% | 66 |
| Tabla 32 | - Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 4.00% | 66 |
| Tabla 33 | - Resumen de Resultado - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 4.00% | 67 |
| Tabla 34 | - Resultados – C.B.R. – Afirmado Cantera 3 Piedras + 2.00 % de CBCA + 2.00% de CH | 67 |
| Tabla 35 | - Resumen de Resultados – C.B.R. – Experimental 4.00% | 69 |
| Tabla 36 | - Ensayo de Limite Liquido – Experimental 4.00% | 71 |
| Tabla 37 | - Ensayo de Limite Plástico – Experimental 4.00% | 72 |
| Tabla 38 | - Resultados Limites de Atterberg – Experimental 4.00% | 72 |
| Tabla 39 | - Resumen de Resultados – Experimental 4.00% | 72 |
| Tabla 40 | - Resumen de Resultados – Patrón - Experimental 3.00% - Experimental 4.00% | 73 |

Índice de Figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | - Triángulo de graduación para seleccionar el agente estabilizante más apropiado | 7 |
| Figura 2 | - Proceso de Generación de CBCA | 16 |
| Figura 3 | - Ubicación Huarmey | 35 |
| Figura 4 | - Ubicación de Cantera de Afirmado 3 Piedras. | 36 |
| Figura 5 | - Ubicación de Distrito de Pariahunca | 37 |
| Figura 6 | - Ubicación de Cantera Diana (Roca Calcárea). | 38 |
| Figura 7 | - Ubicación de Área de Estudio (Caña de Azúcar) | 39 |
| Figura 8 | - Ubicación de Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A. (Caña de Azúcar). | 40 |
| Figura 9 | - Curva de pérdida de masa – Análisis Termo Gravimétrico - CBCA | 45 |
| Figura 10 | - Curva Calorimétrica DSC - CBCA | 45 |
| Figura 11 | - Curva Granulométrica – Afirmado Patrón | 48 |
| Figura 12 | - Calculo de Limite liquido – Afirmado Patrón | 49 |
| Figura 13 | - Grafica de Plasticidad del USCS – Afirmado Patrón | 51 |
| Figura 14 | - Grafica de Clasificación de Suelo AASTHO – Afirmado Patrón | 52 |
| Figura 15 | - Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Afirmado Patrón | 53 |
| Figura 16 | - CBR A 0.1” de Penetración – Afirmado Patrón | 57 |
| Figura 17 | - Carga Vs. Penetración – Afirmado Patrón | 57 |
| Figura 18 | - Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Proctor Modificado - Experimental 3.00% | 59 |
| Figura 19 | - CBR A 0.1” de Penetración – Experimental 3.00% | 62 |
| Figura 20 | - Carga Vs. Penetración – Experimental 3.00% | 63 |
| Figura 21 | - Calculo de Limite liquido – Experimental 3.00% | 64 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 22 | - Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Experimental 4.00% | 66 |
| Figura 23 | - CBR A 0.1” de Penetración – Experimental 4.00% | 70 |
| Figura 24 | - Carga Vs. Penetración – Experimental 4.00% | 70 |
| Figura 25 | - Calculo de Limite liquido – Experimental 4.00% | 71 |
| Figura 26 | - Comparación de Composición Química | 75 |
| Figura 27 | - Análisis comparativo de pH | 76 |
| Figura 28 | - Análisis Comparativo – Limites de Atterberg | 78 |
| Figura 29 | - Clasificación de tipo de arcilla | 79 |
| Figura 30 | - Análisis Comparativo – Proctor Modificado | 81 |
| Figura 31 | - Análisis Comparativo – Valor de Relación Soporte(C.B.R.) | 83 |

Índice de Esquema

| | | |
|------------------|----------------------------|----|
| Esquema 1 | - Proceso de Investigación | 32 |
| Esquema 2 | - Proceso de Muestras | 33 |

Introducción

Antecedentes y Fundamentación Científica

Antecedentes

- **Nivel Internacional**

Musso, M., Behak, L., Piñeiro G. (2015). Selección de materiales para pavimentos usando mezcla de cal con cenizas de cáscara de arroz y de bagazo de caña de azúcar. En D. Manzanal, A. Sfriso (Ed.), *From Fundamentals to Applications in Geotechnics* (pp.38-45). Buenos Aires, Argentina: IOS Press, investigación que tuvo como objetivo exponer el sistema de selección de materiales, según los métodos y criterios pertinentes, con la finalidad de emplear dichos insumos en mezclas con cal y CCA o CBCA. La aplicación de dichas mezclas se realizó en el norte del Uruguay y, fundamentalmente, se evaluó su desempeño en función de la resistencia desarrollada por las reacciones puzolánicas y se contrastó con los resultados esperados. Esta investigación busca generar nuevos materiales aplicables al proceso de pavimentación de vías y caminos rurales, otorgando un fin provechoso a residuos sólidos que son fuente de generación de impactos ambientales adversos. De la mencionada investigación se desprenden los siguientes resultados: La combinación de suelo, residuos ignífugos (cenizas) y cal generan suelos modificados que presentan mayor resistencia en comparación con el suelo original, debido a que desarrollan reacciones puzolánicas en ciertas condiciones establecidas y en un ambiente controlado. En conclusión, la investigación realizada demuestra el potencial uso del material ignífero residual para el reforzamiento y mejoramiento de materiales de pavimentación, con el agregado de minimizar el impacto ambiental que puedan generar estos residuos provenientes de la actividad agroindustrial.

Nivel Regional

Cavana, M. (2017). Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub – rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017 (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo,

Huaraz, Perú. La presente investigación pretende verificar la Mejora de las propiedades mecánicas del suelo de la Sub – Rasante de baja capacidad de soporte mediante la estabilización química de suelos utilizando Cal Hidratada, para posterior construcción de carreteras que aseguren un adecuado nivel de serviciabilidad de la misma. La Sub – Rasante analizada se dividió en tres tramos según características físicas de la carretera, el primer tramo presento un suelo de estrato Arena arcillosa de plasticidad baja con poca grava, el segundo y el tercero presentaron un suelo de estrato Arcilla Inorgánica con arena y poca grava, estos suelos presentaban baja capacidad de soporte con un CBR inferior al 10% por lo tanto se tienen dos alternativas establecidas por el MTC el de mejorar este suelo, o cambiar el suelo de fundación con material adecuado, para esta investigación se optó por la primera solución dado por el MTC. Finalmente se comprobó que la mezcla de la CAL HIDRATADA con los suelos en estudio, presentaron un mejor comportamiento que el suelo natural en donde el CBR de la calicata 01 incrementó su resistencia hasta un 12 % con la cantidad de cal de 8% respecto al peso original del suelo no hidratado, y la calicata 03 aumento su resistencia hasta un 28% con tan solo 4% del estabilizante químico cal. y por ende de estos resultados se puede concluir que el suelo de la carretera PARIÁ – WILCAHUAIAN puede ser empleado como capa de Sub - Base o Sub – RASANTE Mejorada para pavimentos

- **Nivel Local**

Norabuena, F. (2017). Resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Huanroc-Macate (Tesis de Pregrado). Universidad Privada San Pedro, Chimbote, Perú. El propósito de la investigación fue determinar la resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por cenizas de bagazo de caña de azúcar. Fue una investigación aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental en bloques completos al azar, la técnica a utilizada fue la observación cuyos instrumentos fueron guías y fichas de observación, los datos se procesaron con los programas Excel y SPSS y analizados con tablas, gráficos, porcentajes, medias, varianzas y prueba de hipótesis ANOVA. Se determinó que la sustitución de cenizas de bagazo de caña de azúcar obtuvo

resistencias de 2.13 kg/cm² ubicándola en una consistencia de suelo muy firme superando a la resistencia patrón 1.45 kg/cm², demostrando que la sustitución puede ser usada en obras de estabilización de suelos en el Distrito Macate de la Provincia del Santa.

Carrasco, D. (2017). “Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa - 2017” (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Chimbote, Perú. Tema que nos introduce al origen, clasificación y propiedades físicas, mecánicas y químicas de los suelos, enfatizando lo referente a la estabilización mecánica de los mismos y la metodología que rige los ensayos a los que se puede someter el material, según conveniencia, como el análisis granulométrico, límite de Atterberg, proctor modificado, determinación del CBR. Se utiliza el método de la variable independiente en un entorno correlacional no experimental, concluyendo que, al incluir residuos ignífugos (ceniza) de caña de azúcar en suelos de tipo arcilloso se logra aumentar favorablemente la estabilidad del material, esto queda demostrado mediante la aplicación de ensayos realizados en laboratorio a muestras del suelo obtenido del tramo de moro a Virahuanca.

Fundamentación Científica

Suelo

Definición

Crespo, C. (2004). Define que:

El material conocido como suelo, constituye una capa delgada sobre la corteza terrestre, integrado por partículas residuales provenientes de procesos erosivos y/o alteración química del material de origen mineral o volcánico. Dicha erosión puede ser provocada también por la actividad propia de seres vivos habitan sobre el material. (p,18)

Propiedades

Según. Montejo, A. (2002). Indica que las propiedades de los suelos que son de importancia ingenieril y merecen consideración son las siguientes:

Estabilidad Volumétrica, La variación de los niveles de humedad en los suelos puede provocar cambios abruptos o estacionales, también dependientes de la actividad que realice el ingeniero, de modo que se presenten expansiones o contracciones en el material. Debido a esta condición, si no existe control sobre estos cambios de forma y volumetría, se pueden generar graves deformaciones y fallas en el pavimento. Por ello resulta imprescindible la oportuna detección de suelos expansivos y comprensión de sus propiedades, de modo que se pueda aplicar el tratamiento más favorable para evitar resultados no deseados.

En la actualidad, algunos métodos eficaces para el control de cambios volumétricos en suelos de naturaleza expansiva consisten en aplicar periódicamente al suelo una cantidad determinada de humedad, la aplicación de cargas estratégicas que sean capaces de equilibrar la presión generada por la expansión, la utilización de geosintéticos con propiedades impermeables. (p,76)

Resistencia, La resistencia de los suelos suele ser inversamente proporcional, exceptuando ciertos casos, al contenido de humedad que poseen.

En casos excepcionales, la disminución de humedad presente en el suelo conlleva a la reducción de la resistencia del suelo, esto se evidencia, por ejemplo, en casos de deslizamientos de tierras donde un material constituyente del suelo es arcilla y esta, al secarse y consecuentemente agrietarse, provoca que el suelo se comporte como uno friccionante que presenta, en comparación, menor resistencia que un suelo cohesivo con presencia de humedad. De igual modo, el tránsito de uso sobre el suelo y la acción abrasiva que este genera puede producir la pulverización del material cohesivo y, por ende, la pérdida de la propiedad de cohesión.

Cabe mencionar que, dependiendo de la humedad y energía de compactación, se puede modificar la resistencia de un suelo de tipo arcilloso, debido a que la compactación de un suelo de estas características del lado seco en la curva de compactación presenta, dependiendo de la humedad de compactación, una resistencia relativamente alta y un comportamiento de grado elástico. (p,77)

Permeabilidad, En materiales arcillosos, el uso de floculantes (hidróxido de cal o yeso) aumenta el valor esta propiedad.

En los suelos la permeabilidad se plantea en términos generales, en dios problemas básicos, como lo son relacionados con la disipación de las presiones de poro y lo relacionado con el flujo de agua a través del suelo. El tener presiones de poros excesivas puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres. (p,79)

Compresibilidad, Los cambios volumétricos referentes a la compresibilidad del suelo, tienen una influencia considerable en sus propiedades, debido a que son capaces de modificar la permeabilidad y alterar las fuerzas, en magnitud y sentido, entre las partículas que constituyen el material. Esto provoca que la resistencia del suelo al esfuerzo cortante también sufra modificaciones y pueda provocar desplazamientos no deseados.

Evidentemente, al remodelar un suelo se genera una modificación en su compresibilidad, por ello, se utilizan procedimientos de compactación para que, según el efecto deseado referente a la compresibilidad, se modifique en mayor o menor grado esta característica del suelo. La humedad de compactación tiene vital importancia en la compresibilidad de los suelos sometidos a compactación. (p,80)

Durabilidad, La resistencia a la intemperie, a la erosión o abrasión producto del tráfico aportan factores clave en la comprensión de este concepto. En el campo ingenieril, la durabilidad de las vías terrestres suele estar asociada a la resistencia de los suelos cercanos o colindantes a la superficie de rodamiento a las

condiciones adversas antes descritas. Los problemas asociados a la durabilidad pueden manifestarse tanto en suelos naturales como estabilizados, considerando en este último caso, los comportamientos menos favorables suelen ser consecuencia directa de un diseño inadecuado que puede involucrar un discernimiento incorrecto respecto al agente estabilizador actuante o su mala aplicación. Este podría ser el caso de un suelo arcilloso del cual se ha obviado la susceptibilidad de este material.

La durabilidad es, en resumen, uno de los aspectos con mayor dificultad para su cuantificación y, por lo general, la reacción intuitiva suele ser el sobrediseño, que puede resultar siendo la opción menos adecuada. (p,80)

Estabilización de Suelos

Definición

Según. Montejo, A. (2002). Indica que:

La estabilización de suelos involucra la modificación de las propiedades del material para adecuarlo a los requisitos y calidad deseada. (p,75)

Valle, W. (2010). Define:

La estabilización del suelo es la manipulación intencionada para mejorar sus propiedades tanto físicas, químicas, mecánicas para tener una mejor utilización del suelo. (p.13).

Alternativas y Criterios para estabilización de Suelos

Para la correcta adecuación de cada tipo de suelo se debe seleccionar cuidadosamente el mejor agente actuante, basado en algunas de sus propiedades resaltantes. Esto garantiza mejores resultados y evita una estabilización deficiente que arroje resultados no esperados. El procedimiento consiguiente consistirá en la elección del agente estabilizador más adecuado, en concordancia con los criterios

establecidos para la ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA PAVIMENTO, Technical Manual No. 5-822-14. Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of the Army, and the Air Force Washington, D.C.

La selección del agente estabilizante se realiza utilizando un gráfico conocido como el triángulo de la granulometría del suelo, el cual se basa, fundamentalmente, en las características físicas respecto al tamaño de las partículas que constituyen los suelos.

Para la utilización del gráfico se requieren los siguientes datos de entrada:

- Porcentaje de material que pasa la malla No 200 y el porcentaje de material que pasa la malla No 4 pero que se retiene en la malla No 200.

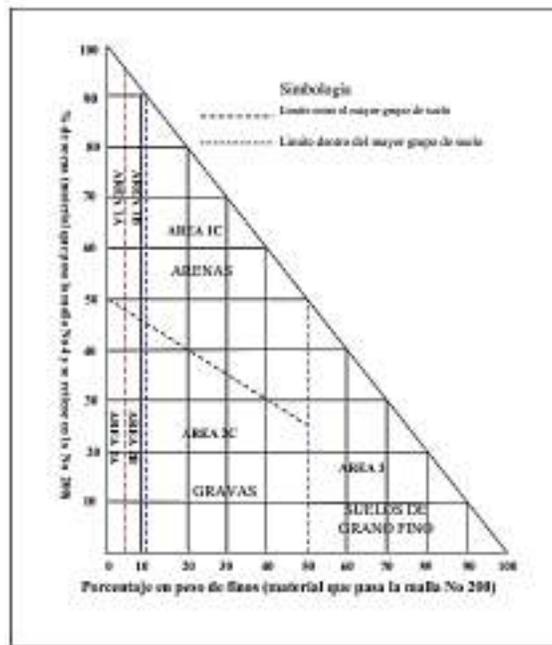


Figura 1. Triángulo de graduación para seleccionar el agente estabilizante más apropiado Fuente: “SOIL STABILIZATION FOR PAVEMENTS, Technical Manual No. 5-822-14. Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of The Army, and the Air Force.”

Tabla 1***Selección de Aditivo Estabilizante.***

| Área | Clase de suelo | Tipo de Estabilizante recomendado | Restricción en el L.L. e I.P. del suelo | Restricción para el % que pasa la malla N° 200 | Observaciones |
|------|----------------------------------|---|--|--|---|
| 1A | SW,SP | (1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 25 | | |
| 1B | SW-SM SP-SM SW-SC SP-SC | (1) Asfalto (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 30 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25 | | |
| 1C | SM-SC SM-SC | (1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25 | No exceda en 30% en peso. | |
| 2A | GW, GP | (1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 25 | | |
| 2B | GW-GM GP-GM GW-GC GP-GC | (1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 30 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25 | | Solamente material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa por la malla N° 4. |
| 2C | GM, GC GM-GC | (1) Asfalto (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil | Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25 | No exceda en 30% en peso. | Solamente material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa por la malla N° 4. |
| 3 | CH, CL, MH, ML, OH, OL, ML, CL | (1) Cemento Portland (2) Cal | Índice Plástico < 40 Índice Plástico < 20 Índice Plástico < 12 | | Solamente material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa por la malla N° 4. |

Fuente: "SOIL STABILIZATION FOR PAVEMENTS, Technical Manual No. 5-822-14. Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of The Army, and the Air Force."

Tipos

Según. Montejo, A. (2002). Las propiedades de los suelos presentan diferentes grados de alterabilidad dependiendo de qué procedimientos se les apliquen. En estos procedimientos, resaltan los siguientes:

Estabilización por medios mecánicos, Dentro de este campo, la compactación es el método más conocido, considerando también la mezcla de distintos tipos de suelo para conseguir el resultado deseado. (p,75)

Estabilización por medios químicos, Debido a la adición de agentes estabilizantes tales como cemento, asfalto, cal u otros aditivos se pueden lograr cambios considerables en la estabilización sin necesidad de modificar en gran medida la percepción física del material. (p,76)

Estabilización de Suelos con Cal

Definición

Según. Montejo, A. (2002). Indica que:

La finalidad de la estabilización de los suelos es incrementar su resistencia y durabilidad mediante la alteración de sus propiedades físicas para la obtención de un material adecuado de fundación. Actualmente, en la construcción de carreteras, se suele utilizar cemento, asfalto, cal y arena para estos fines.

Los hallazgos indican que es mucho más factible y cómodo la utilización de la cal, siempre que el índice de plasticidad del suelo involucrado supere el valor de 15 y el porcentaje de material que pasa el tamiz N°200 no exceda el valor de 25. Sin embargo, la efectividad de la cal es poca en suelos que contienen altos porcentajes de material orgánico o que no cuenten con cantidades necesarias de arcilla reactiva a la cal. En el caso de que el suelo involucrado posea un índice de plasticidad que no supere el valor de 15 y, además, los ensayos de resistencia al corte practicados a este en laboratorio indiquen valores no favorables ni

concordantes con las especificaciones de diseño, se puede utilizar una mezcla de cemento y cal para mejorar la resistencia deficiente, adicionando primero la cal para lograr la reducción de la plasticidad del suelo y al final del mezclado adicionar cemento. Para la ejecución de mezcla y compactación entre estos dos materiales, no se debe exceder las 2 horas. (p,99)

Objetivos de la estabilización con cal

Según. Montejo, A. (2002). Indica que:

La importancia de la cal en la estabilización de suelos sigue el propósito general de esta clase de trabajos; en mejorar las capacidades naturales del suelo de modo que asuma la capacidad de resistir los efectos producidos por el tránsito (esfuerzo cortante) y las diferencias volumétricas según las condiciones climáticas.

La cal se acopla de gran manera en la mayoría de situaciones, logrando resultados favorables, además de ser un material de bajo costo, alta manejabilidad, fácil producción y haber estar presente en grandes cantidades.

La integración de la cal logra conseguir mejores resultados en la plasticidad del suelo, siendo así más seguros y ante todo incrementando de gran manera la capacidad de soporte, a lo largo del tiempo.

Así mismo la cal elimina la susceptibilidad al agua de los suelos cohesivos reduciendo la tendencia al hinchamiento de los mismos. (p,99)

Características de los componentes para la estabilización suelo-cal

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC,2013), describe a los materiales a utilizar en la estabilización suelo-cal de la siguiente manera:

Suelo, El material por mejorar en condiciones de estabilización mediante cal, puede constituir material de afirmado u ser originario de la escarificación de

la capa exterior ya existente o provenir de un suelo de excavaciones o zona de préstamo, agregados locales o una combinación de ambos, debiendo estar en todos los casos libre de materia orgánica u algún otro elemento que pueda afectar la preparación y fraguado del material.

Granulometría (Agregados), La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7. Además, el tamaño máximo no podrá ser mayor de 5 cm (2") o 1/3 del espesor de la capa compactada.

Plasticidad, La fracción inferior del tamiz de 425 μm (N.º 40) deberá presentar un Límite Líquido inferior a 40 y un Índice Plástico comprendido entre 10 y 50%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111. (p,261)

Según. Montejo, A. (2002). Indica que:

Suelos, Casi en la totalidad de tipos de suelo, son mejorables con cal.

Tanto los suelos de granulometría fina (100 % pasando Tamiz No. 10) como aquellos más gruesos con algún contenido de fino, pueden mejorar sus características con la incorporación de la cal.

En general, los resultados más favorables han resultado de las modificaciones de las cualidades de la fracción arcillosa, traducida en las constantes físicas y capacidad portante. (p,101)

Según. Huevo y Orellana (2009). Indican que:

Cal, el termino cal es una palabra general con el que se denominan conformaciones físicas y químicas de las diferentes variedades en que pueden estar presente en los óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio. Con el fin de clasificar los tipos de cal , son:

Cales aéreas. Compuestas en mayor medida de óxido e hidróxido de calcio y magnesio, que endurecen paulatinamente al aire por la acción del CO₂ de la atmósfera. Sin contar con propiedades hidráulicas, es decir, no endurecen con el agua y son formados mediante rocas calizas con contenidos en carbonatos mayores al 95%.

Cales hidráulicas. Endurecen en contacto con el agua, obtenidas a partir de calizas que contienen arcillas (Sílice y Alumina). Durante la calcinación y la posterior hidratación se forman silicatos y aluminatos cálcicos de propiedades hidráulicas.

Cales para utilizar para la estabilización de Suelos

Según. Huevo y Orellana (2009). Indican que:

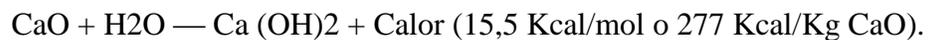
Las cales utilizadas en la estabilización de suelos son CALES AÉREAS. Estas presentan las siguientes formas:

Cales vivas. Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio producidas por calcinación de la caliza. $\text{CaCO}_3 + (\text{calor}) \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas.

En contacto con el agua se hidratan siendo la reacción fuertemente exotérmica.

Cales hidratadas. Son cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.



Este tipo de cal presenta menor reacción exotérmica que la cal viva al entrar en contacto con el agua.

Características y Propiedades Físicas de la Cal

Características Físicas

Según. Huez y Orellana (2009). Describen las características de la siguiente manera:

Finura. Es una característica importante en la medida que interviene en las condiciones de almacenamiento, transporte y mezcla con el suelo. La hidratación de la cal viva con el agua produce la cal hidratada lo que lleva, además, una autopulverización muy fina, incluso micronizada del producto. Además, la finura puede intervenir en la reactividad de la cal.

Propiedades Físicas

Según. Huez y Orellana (2009). Describen las propiedades de la siguiente manera:

Color. Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en el yacimiento.

Densidad. Esta propiedad depende de la temperatura de calcinación, mientras mayor es la temperatura de calcinación mayor será la densidad de la cal viva.

Dureza. La dureza de las cales varía entre muy blandas y una dureza que se aproxima a la de la piedra original de donde se obtuvo, la dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.

Porosidad. Depende del origen de la caliza y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad en la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia.

Plasticidad. Es una propiedad física importante, la cual se define como la capacidad que posee una masa de cal para cambiar su forma cuando ésta es sometida a presión sin que se produzca la ruptura y para mantener la forma alterada.

Características y Propiedades Químicas de la Cal

Características Químicas

Según. Huevo y Orellana (2009). Describen las características químicas de la siguiente manera:

El contenido en óxido de calcio (CaO). Es el componente fundamental de la cal. Puede estar, en forma de óxido CaO en las calces vivas, en forma de hidróxido Ca (OH)₂ en la cal hidratada.

Reactividad de la cal viva. Indica la velocidad ó cinética de la reacción de hidratación. Es función de las características físicas y químicas del producto y depende de la porosidad de la cal, del grado de calcinación, de la materia prima (caliza) utilizada y de la finura de la cal en el momento del ensayo.

Propiedades Químicas

Según. Huevo y Orellana (2009). Describen las propiedades químicas de la siguiente manera:

Impureza. La composición química y las propiedades de la cal, depende de la naturaleza y cantidad de impureza de la piedra original.

Reacción de la cal con agua. La cal viva reacciona vigorosamente con el agua formando hidróxido de calcio y hay desprendimiento de calor; a este proceso se le conoce como hidratación o apagado de la cal. Utilizando la cantidad de agua exacta necesaria para la hidratación, se obtiene cal hidratada.

Recarbonatación. La humedad del aire cataliza la reacción entre el óxido de calcio y el dióxido de carbono del aire. La reacción general se produce mediante la formación del hidróxido de calcio que luego reacciona con el dióxido de carbono.

Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

Definición

Según. (Cordeiro & Kurtis, 2017). Definen lo siguiente:

En diferentes estudios se ha evidenciado que la combustión del bagazo de caña en las calderas ocasiona un subproducto denominado ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), que contiene principalmente grandes contenidos de alumina y sílice como principales óxidos, que, en determinadas condiciones, reacciona con el hidróxido de calcio, obteniéndose una actividad puzolánica.

Propiedades Puzolánicas

Según. (Cordeiro & Kurtis, 2017). Indican que:

El acto de aplicar la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material puzolánico responde a diferentes factores. El primero en listar es la gran cantidad que se puede obtener de los ingenios azucareros. La producción de ceniza es constante, su aplicación como puzolana obedece a su composición química, ya que los óxidos fundamentales SiO_2 , Al_2O_3 , y Fe_2O_3 representan aproximadamente el 70 por ciento de su composición, los que producen la actividad puzolánica. La composición de la ceniza va cambiando según sea la edad de la caña y edad, tipo de suelo y cantidad de fertilizantes.

Las propiedades de la ceniza obtenida dependen de las condiciones en las cuales se quema el bagazo, mediante este proceso, el bagazo pasa por distintas variaciones en su estructura. La temperatura, además del periodo de quema, determinará la cantidad y la forma de sílice en la ceniza.

Proceso Industrial de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA)

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) es un residuo agrícola de base inorgánica generado por la industria de la azúcar y el etanol. El proceso para la generación de este residuo se muestra a continuación en la figura 2:

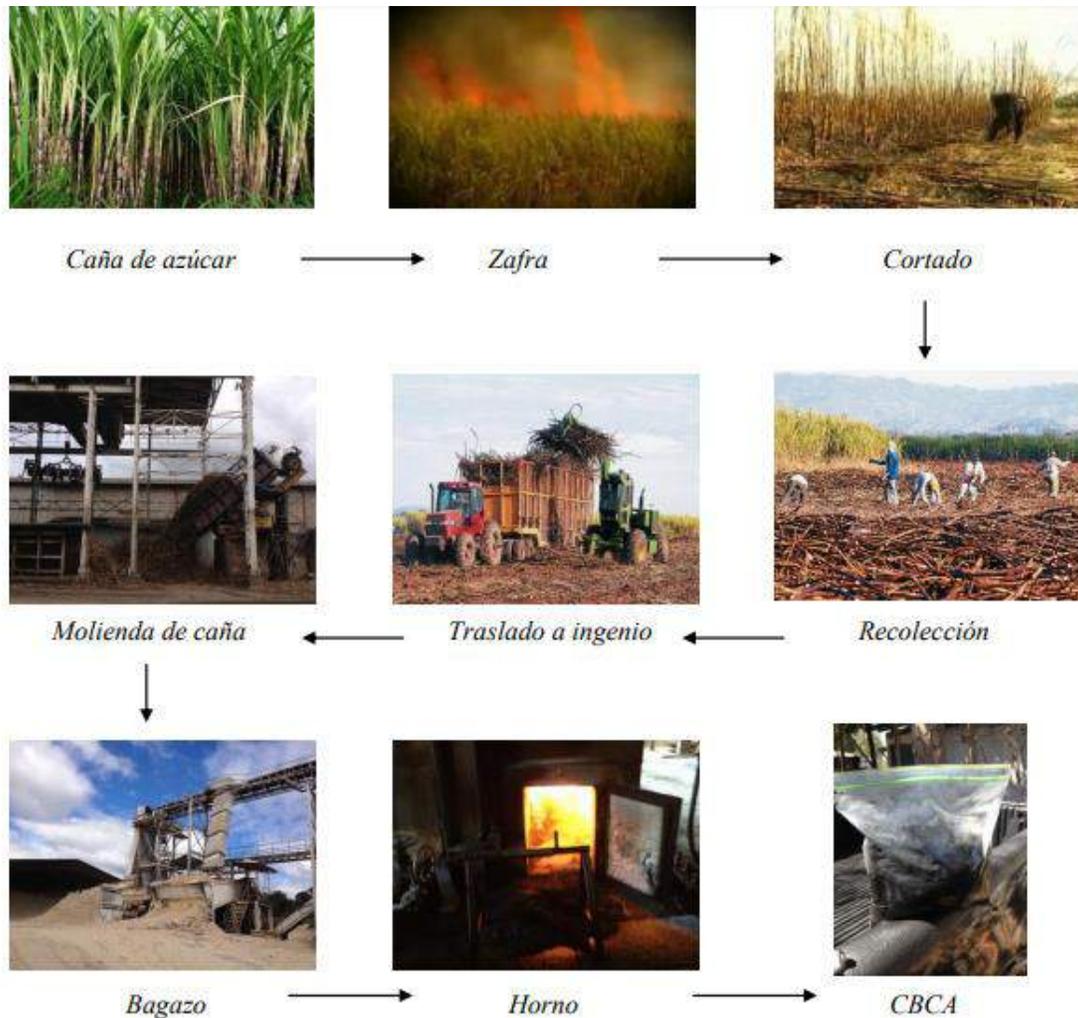


Figura 2. Proceso de Generación de CBCA Fuente: Trabajo de Investigación” Valorización de Cenizas de Bagazo procedentes de Honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento Pórtland”

Puzolana

Definición

Según. Calleja, J. (1968). Define como puzolana:

Materiales que, escaso de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, comprenden constituyentes que se mezclan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal.

Materia principalmente silicosa que finamente dividida no posee ninguna propiedad hidráulica, pero posee constituyentes (sílice - alúmina) capaces, a la temperatura ordinaria, de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas.

La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silícicos (p,340)

Propiedades Físicas y Químicas

Según. Calleja, J. (1968). Describen las propiedades de la siguiente manera:

La actividad puzolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción:

Puzolana + Cal + Agua Silicatos y Aluminatos de Calcio hidratados

La actividad puzolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases activadas presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la

puzolana y de la temperatura de la reacción. Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del Cemento Pórtland: Silicatos Cálcidos Hidratados (CSH), Aluminatos Cálcidos Hidratados (CAH) y Sílico - Aluminatos Cálcidos Hidratados (CSAH). (p,341)

Clasificación

Según. Calleja, J. (1968). Clasifica las puzolanas de la siguiente manera:

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos: el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales sometidas a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con el fin de de aumentar su hidraulicidad. Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, pueden ser consideradas como artificiales por causa del tratamiento previo. Podrían ser denominadas como puzolanas intermedias o mixtas, por participar tanto del proceso natural como artificial.

Puzolanas Naturales: Los materiales determinados como puzolanas naturales pueden ser de orígenes distintos, uno netamente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y “cenizas” volcánicas que, como materiales piroclásticos incoherentes procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio y en estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (zeolitización y cementación) o exógenas (agilización), de las cuales las primeras son favorables y las segundas desfavorables.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparzones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas).

Todas las propiedades de los materiales silícicos las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la realización del cemento, dependen propiamente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación.

Los materiales puzolánicos naturales se componen principalmente por rocas eruptivas y en particular efusivas y volcánicas, y dentro de éstas, por extrusivas, salvo las de naturaleza orgánica que se originan y forman de manera sedimentaria. (p,245)

Puzolanas Artificiales: Se definen éstas como materiales que deben su condición de tales a un tratamiento adecuado. En esta condición cabe distinguir dos grupos uno, el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos, y otro el compuesto por subproductos de determinados procesos industriales, que, en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas.

Al primero de estos grupos pueden asimilarse, por su analogía, las puzolanas designadas como mixtas o intermedias, o semiartificiales, es decir, aquellas que, naturales por su origen, se mejoran por un posterior tratamiento. Representantes típicos de este grupo son el polvo de ladrillo obtenido de productos de desecho de la cerámica de alfarería.

En el segundo grupo están los residuos de las bauxitas utilizadas para la obtención del aluminio, materiales a los que los alemanes lo conocen como “Si-Stoff” (silicalita o amorfita) y el polvo de chimeneas de altos hornos. También se incluyen en este grupo, aunque presentan bastantes concomitancias con las escorias, las cenizas volantes y de parrilla de las centrales termoeléctricas y las cenizas de lignitos. Por extensión, las mismas escorias siderúrgicas podrían acoplarse en el grupo. (p,351)

Mezclas Cal-Puzolanas

La **Nacional Lime Association (2006)**, La cal de por si puede reaccionar con suelos que contienen tan poca arcilla como 7% e Índices de Plasticidad tan bajos como 10. Si el suelo no es suficientemente reactivo, la cal puede ser combinada con una fuente adicional de sílice y alúmina. Tales puzolanas incluyen la ceniza volante y la escoria de alto horno. El sílice y alúmina adicional de las puzolanas reaccionan con la cal para conseguir el fuerte matriz cementante que caracteriza a una capa estabilizada con cal. Si las mezclas se encuentran correctamente proporcionadas de cal y puzolanas pueden modificar o estabilizar la mayoría de suelos, pero comúnmente se usan para suelos con plasticidad de baja a media.

La ceniza volante es la puzolana más comúnmente usada. Esta es el residuo fino que resulta de la combustión de carbón pulverizado en las centrales eléctricas, que es transportado de la cámara de combustión a la chimenea de los gases.

Pavimentos

Definición

El concepto de pavimento según. Montejo, A. (2002). Indica que:

Un pavimento constituye diversos tipos de capa, una superpuesta a la otra, relativamente horizontales, se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para cual se diseñó la estructura de pavimento. (p,1)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC,2014), define al pavimento:

Como una estructura de varias capas sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura, Sección: Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC],2014).

Propiedades de los Materiales en Pavimentos

Según. Montejo, A. (2002). Indica que:

Se tienen que hacer las investigaciones de campo y laboratorio para determinar las propiedades físicas del suelo con el objeto de analizar su comportamiento bajo ciertas condiciones. (p,60)

Análisis Granulométrico, es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. Por ejemplo, para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir a los procesos de sedimentación. (p,63)

Determinación del límite plástico de los suelos, El límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo el suelo se vuelve a condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento. (p,63)

Determinación del límite líquido de los suelos, El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte de un suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.

El cálculo de índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido. (p,63)

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

En la compactación durante la construcción, es necesario efectuar pruebas que permiten conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad en los diferentes suelos.

Máxima densidad, Es el máximo peso en seco, obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.

Óptimo contenido de humedad, Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado. (p,64)

Determinación de la densidad del suelo en el terreno, Este ensayo se utiliza para determinar el peso seco de una cierta cantidad de suelo cuya densidad se desea conocer, así como el volumen del orificio excavado para recoger el suelo, el cual se mide mediante una arena y procedimientos normalizados. La relación entre el peso seco del material y el volumen del orificio del cual se extrajo es la densidad seca de la capa cuyo nivel de compactación se verifica. (p,64)

Determinación de la resistencia de los suelos, Los ensayos de resistencia más conocidos son el CBR (de laboratorio y campo) y los ensayos de carga sobre una placa.

El índice de California (CBR) es una medida en la que es suelo resiste al esfuerzo cortante, en condiciones de densidad y humedad que son controladas. Se

usa en el diseño de pavimentos flexibles. El CBR se expresa en porcentaje como, la relación de la carga unitaria que se requiere para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida. (p,64)

Materiales para pavimento

Definición

El **Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC,2014)**, define al material para pavimentos a la capa de material granular natural o procesada, con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Este pavimento debe tener la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener la cohesión de las partículas. Funciona como superficie de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas. Sección: Suelos y Pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC],2014).

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a la parte estructural solicitada.

Afirmado

Los estándares de calidad que debe cumplir, para que se utilice como afirmado deberán basarse en la siguiente franja granulométrica:

Tabla 2
Franja Granulométrica - Afirmado

| Tamiz | Porcentaje que pasa | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | A-1 | A-2 | C | D | E | F |
| 50 mm (2") | 100 | - | - | - | - | - |
| 37,5 mm (1½") | 100 | - | - | - | - | - |
| 25 mm (1") | 90-100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 19 mm (¾") | 65-100 | 80-100 | - | - | - | - |
| 9,5 mm (3/8") | 45-80 | 65-100 | 50-85 | 60-100 | - | - |
| 4,75 mm (N.º 4) | 30-65 | 50-85 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 |
| 2,0 mm (N.º 10) | 22-52 | 33-67 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 |
| 425 µm (N.º 40) | 15-35 | 20-45 | 15-30 | 25-45 | 20-50 | 30-70 |
| 75 µm (N.º 200) | 5-20 | 5-20 | 5-15 | 5-20 | 6-20 | 8-25 |

Fuente: AASHTO M-147

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

Justificación de la Investigación

Esta investigación es importante ya que radica en que los recursos naturales son vitales para mejorar y conservar la calidad de vida, el crecimiento económico y la equidad entre las generaciones actuales y futuras; la producción, empleo, reaprovechamiento, reciclaje y disposición segura en el ambiente se integran como desarrollo sustentable. Por lo que, es indispensable que la ciencia y la tecnología concentren los aportes sociales, económicos y ambientales que la actividad de la construcción pueda hacer para un desarrollo sostenible durante todo el ciclo de vida de los minerales (agregados naturales). Considerando lo antecedido, se ve conveniente orientar las investigaciones hacia nuevos productos vinculados con la construcción que brinden opciones para el sector productivo.

En la actualidad una de las mayores problemáticas y preocupaciones a nivel local en la Provincia de Huarney es la falta de potencial de materiales áridos para su utilización en la ejecución de pavimentos de vías locales y penetrantes de la provincia, los cuales presenten los requisitos de calidad exigidos por la normativa técnica peruana. Por lo que en el presente trabajo de investigación se pretende mejorar las propiedades de la cantera de afirmado Tres Piedras ubicada en la provincia de Huarney – Ancash , para ser utilizada con los fines antes descritos potenciando sus propiedades para ejecutar pavimentos duraderos y con características que satisfagan a las necesidades requeridas, lo que conlleva a buscar soluciones y/o alternativas sustentables como la opción de buscar nuevos materiales que complementen los requisitos de calidad del afirmado para los servicios solicitados en la provincia.

Para el presente caso se propone utilizar (Cenizas de Bagazo de Caña de Azúcar) residuos obtenidos del proceso de la fabricación de azúcar de la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A. ubicada en el distrito de Nepeña – Santa – Ancash y Cal Hidratada proveniente de la cantera de roca calcárea DIANA ubicada en el distrito de Pahiahuanca – Carhuaz – Ancash, para mejorar las propiedades físicas y químicas del afirmado de la cantera Tres piedras ubicada en el distrito de Huarney – Huarney - Ancash, con la finalidad de utilizar este agregado natural en la estructura de los pavimentos locales de la provincia (bases y sub-bases).

Mediante el uso de estos componentes (Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar – Cal Hidratada) se puede mejorar materiales (Afirmados) con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte, suprimir sus riesgos y mejorar sus propiedades hasta alcanzar altos valores de acuerdo a los materiales de calidad, con el fin de integrar las capas estructurales que conforman un pavimento.

Beneficio Social

En el sector de la construcción la necesidad de ejecutar caminos que intercomuniquen las comunidades de la provincia de Huarney van en aumento, con lo cual también la

necesidad de ejecutar pavimentos duraderos y con características que satisfagan los requerimientos lo que conlleva a buscar soluciones y/o alternativas sustentables como la opción de buscar nuevos materiales que sustituyan o mejoren las propiedades de las materias primas no renovables utilizadas en dichos pavimentos. Para el presente caso se propone activar la cantera de material de afirmado “Tres Piedras” ubicada en la ciudad de Huarney, la cual cuenta con un potencial de material que no cumple los requisitos mínimos exigidos por el MTC para ser considerado parte estructural de una pavimentación, esta activación se realizara mediante la adición de porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada, y así mejorar las propiedades del material y ser utilizada en la estructura de los pavimentos (bases y sub-bases) teniendo así obras de calidad y de bajo costo, aportando una solución técnica al problema de la construcción de vías locales en la zona.

Aporte Científico

Mediante el uso de estos insumos (CBCA y CH) se mejorarían las propiedades mecánicas y físicas del material de la cantera Tres Piedras la cual cuenta con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte, obteniendo así nuevos materiales que pueden innovar el sector construcción específicamente en la ingeniería de pavimentos.

Problema

Realidad Problemática a Nivel Nacional

El país se encuentra en vías de crecimiento en cuanto al desarrollo de su infraestructura vial, las cuales nos permiten conectar localidades para el progreso de la economía nacional.

La falta de conexión vial entre ciudades y poblados no permite el crecimiento del país, en su mayoría este problema se debe a que los proyectos de infraestructura vial elevan su costo debido a la falta de material granular natural con características apropiadas que cumplan con la normativa establecida

Por ello es necesario encontrar componentes que permitan la innovación de la

infraestructura vial de una forma sustentable y económica sin afectar la calidad que exige la normativa y reglamentación del MTC para la construcción de bases y sub-bases de pavimentos.

Realidad Problemática a Nivel Local

En la actualidad la Ciudad de Huarmey, no cuenta con una fuente de material granular natural que cumpla con las características exigidas por el MTC, para la construcción de bases y sub-bases granulares en pavimentos, este problema genera un aumento significativo en el costo de los proyectos de infraestructura vial de la zona, ya que se tiene que recurrir a fuentes lejanas de material granular natural para poder ejecutar los proyectos viales.

Esta investigación estaría dando una alternativa de solución sustentable con la utilización de nuevos materiales, al problema de la falta de material granular natural para proyectos viales en la zona, Así mismo se abaratarían los costos de obra con respecto al traslado del material granular natural desde un punto más lejano a la ciudad de Huarmey.

Formulación del Problema

En tal efecto de acuerdo a lo descrito formulamos el siguiente problema de investigación:

¿Mejorarán las propiedades mecánicas y físicas del afirmado cuando se adiciona el 3% y el 4% de la combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada para su utilización en pavimentos?

Conceptualización y operacionalización de las variables

Variable Dependiente:

Propiedades mecánicas y físicas del afirmado de la cantera tres piedras.

Tabla 3
Variable Dependiente

| Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones |
|---|--|---|
| Son las características con las cuales está estructurado el material, a su vez describen la capacidad de resistir o transmitir fuerzas o deformaciones.(Manual de Carreteras, Sección - Suelos y Pavimentos (MTC,2013)) | Las características físico-mecánicas de los materiales para la utilización en pavimentos se determinan mediante los ensayos estipulados en el Manual de Carreteras, Sección - Suelos y Pavimentos (MTC,2013) | Análisis Granulométrico Límites de Atterberg CBR (California Bearing Ratio) Proctor Modificado |

Fuente: Elaboración Propia

Indicadores:

- Distribución del tamaño de las partículas del afirmado.
- Capacidad de soporte del suelo.
- Grado de Compactación.

Variable independiente:

Porcentaje de adición de CBCA y CH.

Tabla 4
Variable Independiente

| Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones |
|--|---|---|
| Es la incorporación de una cantidad de material (CBCA – CH) para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del afirmado. | La cantidad óptima de adición de CBCA-CH para mejorar las propiedades del afirmado es el mínimo porcentaje capaz de modificar las características del mismo. | Porcentaje de adición 3.00% (1.00%CBCA+ 2.00%CH) del peso del Afirmado. |
| | La elección de la cantidad óptima recaerá en el menor porcentaje agregado al afirmado, capaz de transmitirle las propiedades solicitadas. (Montejo, 2002, p.107). | Porcentaje de adición 4.00% (2.00%CBCA+ 2.00%CH) del peso del Afirmado. |

Fuente: Elaboración Propia

Indicadores:

- Propiedades físicas y mecánicas de la CBCA.
- Propiedades físicas y mecánicas de la Cal Hidratada.

Hipótesis

Al adicionar el 3 % y el 4 % de la combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada en el afirmado, mejorarían significativamente las propiedades mecánicas y físicas para su utilización en pavimentos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas y físicas de la cantera Tres Piedras cuando se adiciona el 3 % y el 4 %, con la combinación de ceniza de bagazo de caña y cal hidratada.

Objetivos específicos

- Realizar el ensayo de ATD para determinar la temperatura de calcinación del Bagazo de Caña de Azúcar.
- Determinar la composición química de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la cantera Tres Piedras, mediante la Fluorescencia de Rayos X (FRX).
- Determinar el PH de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar activado térmicamente.
- Determinar el PH de Cal Hidratada.
- Determinar el PH del Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarmey.
- Determinar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado Patrón y afirmado experimental (Cantera 3 Piedras –Huarmey), adicionando ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CAL H. y 2%CBCA+2%CAL H.).

Metodología

Descripción de Metodología

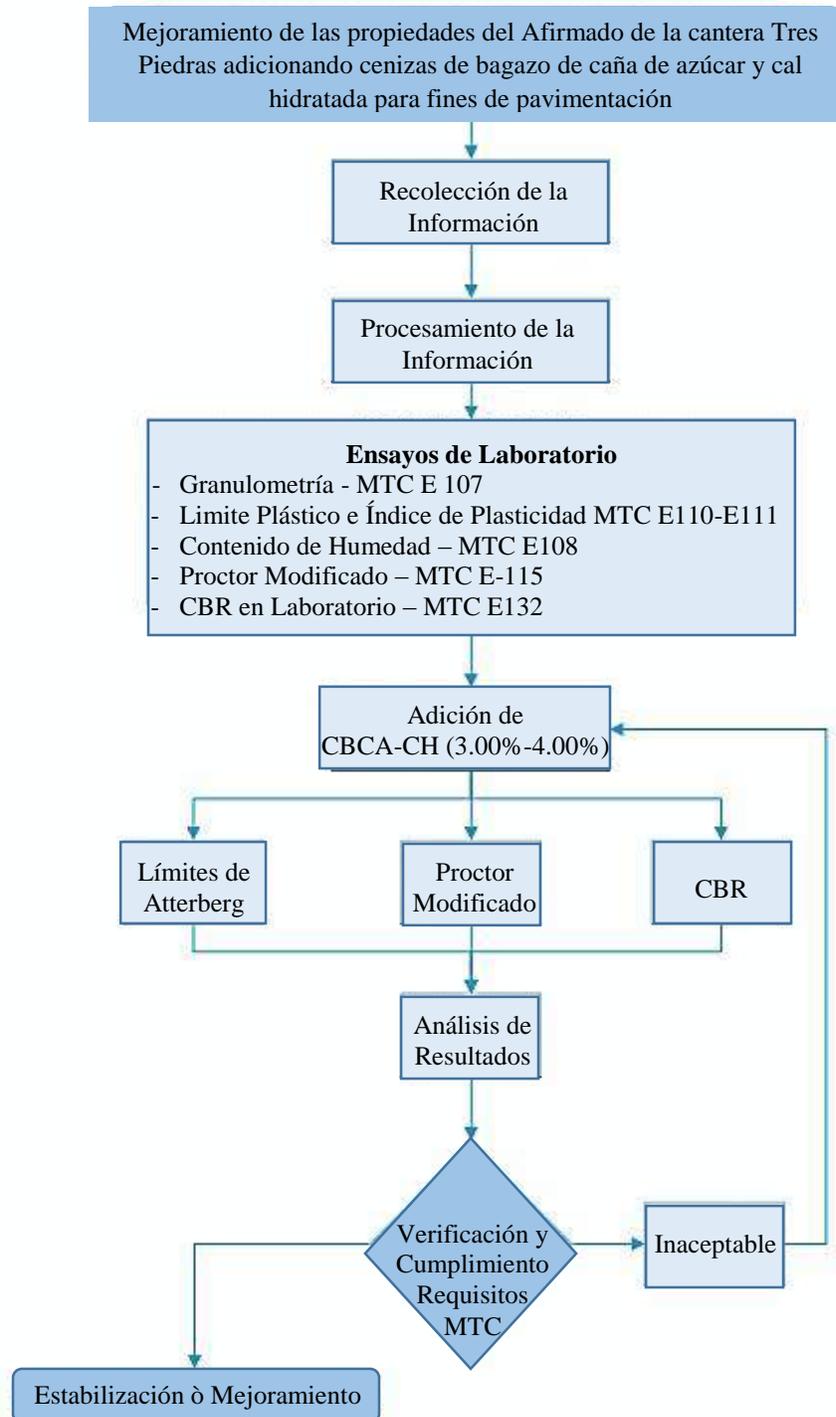
El tipo de investigación, fue aplicada y de nivel explicativo, precedentemente los resultados de los mismos fueron utilizados para la solución de problemas relacionados al mejoramiento de las propiedades mecánicas y físicas del afirmado de la cantera Tres Piedras - Huarmey, generando alternativas de diseño de pavimentos con mayor durabilidad.

La presente tesis se realizó con el método EXPERIMENTAL, porque se descubrió nuevos conocimientos con los ensayos aplicados a las muestras de afirmado en laboratorio. Ensayándose una muestra patrón de afirmado de la cantera Tres Piedras-Huarmey sin modificación alguna y el ensayo de dos diseños modificados adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada, la variable dependiente (Propiedades mecánicas y físicas del afirmado de la cantera tres piedras) sufrió modificaciones. Se apoyó en pruebas, ensayos, repetición, laboratorio especializados. La mayor parte del estudio, se realizó en el Laboratorio de mecánica de suelos, observando y debatiendo los resultados obtenidos. Por ende, nuestra investigación está orientada al nivel “Experimental”. Ya que trató de buscar un material que obedezca con los requisitos de calidad que exige la normativa peruana y a su vez ofrezca mayor durabilidad y resistencia al proceso de desgaste del diseño de pavimentos.

Esquematización del proceso de investigación

Esquema 1

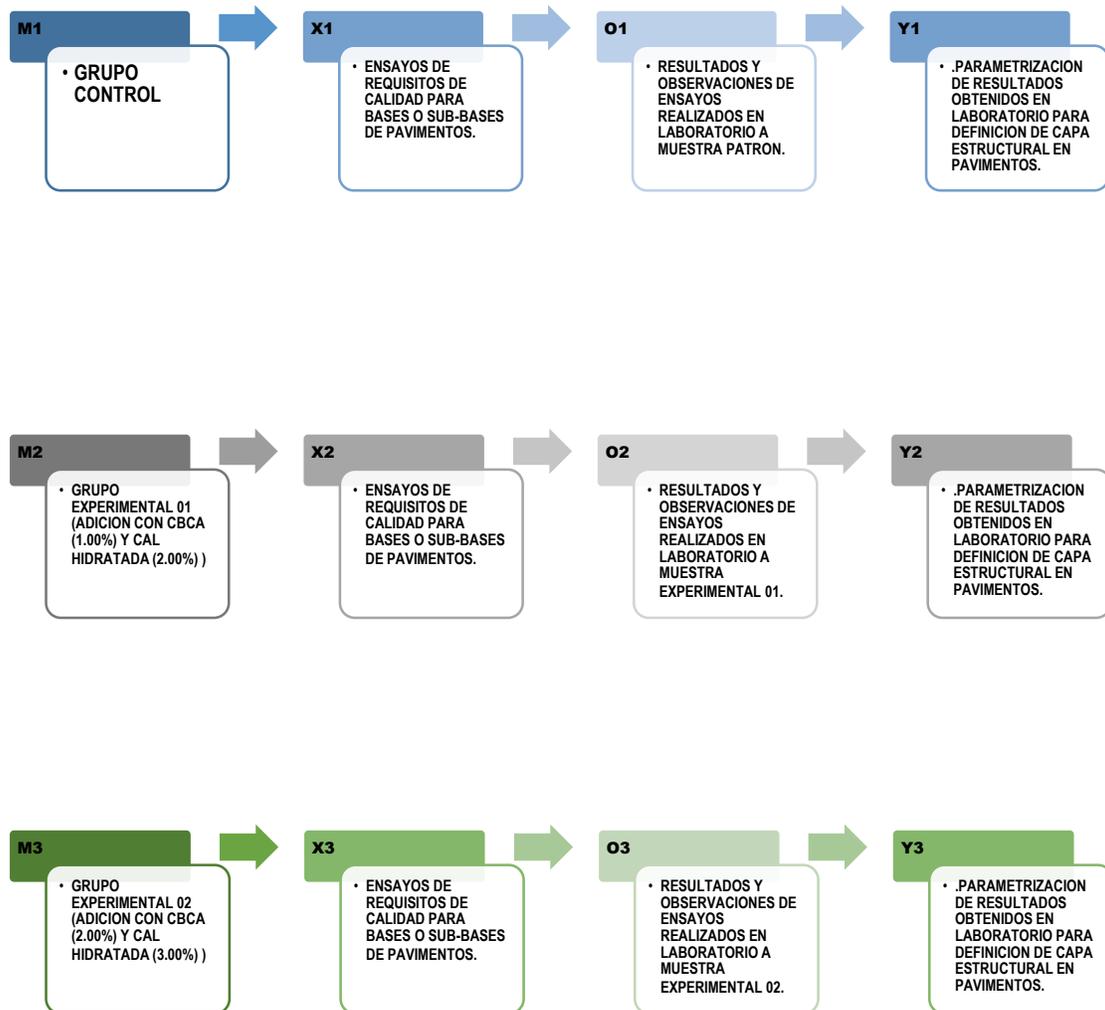
Proceso de Investigación



Fuente: Elaboración Propia

Esquema 2

Proceso de Muestras



Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

M1: Muestra 1, Elementos en Grupo control (Afirmado patrón).

M2: Muestra 2, Elementos en Grupo Experimental 01 (adición de bagazo de caña de azúcar (1.00%) y cal hidratada (2.00%) en afirmado patrón).

M3: Muestra 3, Elementos en Grupo Experimental 02 (adición de bagazo de caña de azúcar (2.00%) y cal hidratada (2.00%) en afirmado patrón).

X1: Variable dependiente (Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado patrón - requisitos de calidad para bases o sub-bases en pavimentos).

X2, X3: Variables independientes (Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado experimental - requisitos de calidad para bases o sub-bases en pavimentos. Con la adición de ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CALH y 2%CBCA+2%CALH)).

O1, O2, O3: Observaciones (resultados) posibles de obtenerse.

Y1, Y2, Y3: Parametrización de resultados según requisitos de calidad establecidos por el MTC para capas estructurales en pavimentos.

Población y Muestra

Población

Conformado por todo el afirmado de la cantera Tres Piedras-Huarmey.

Muestra

Se trabajó con 03 muestras de Afirmado de la cantera Tres Piedras – Huarmey, de las que 01 muestra inalterada es llamada muestra – patrón, de la cual se obtuvieron datos de acuerdo a los ensayos que se le realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos, esta

muestra fue parametrizada según los requisitos de calidad que exigen las normas técnicas para ser utilizadas en las capas estructurales de un pavimento y 02 muestras alteradas con la adición de ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CH. y 2%CBCA+2%CH.), son llamadas muestras - experimentales de las cuales se obtuvieron datos en el laboratorio de mecánica de suelos para su parametrización según los requisitos de calidad que exigen las normas técnicas de pavimentos.

Ubicación y Localización de Muestras

Afirmado (Cantera Tres Piedras – Huarmey – Ancash)

Ubicación

Geográficamente el área de estudio en cuanto al afirmado utilizado se encuentra situada en el distrito de huarmey, Provincia de Huarmey, Región Ancash (Figura 2).



Figura 3. Ubicación Huarmey, Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Huarmey>

Limites

- Norte : con la Provincia de Casma
- Este : con las provincias de Huaraz, Aija, Recuay y Bolognesi.
- Sur : con la Región Lima
- Oeste : con el Océano Pacífico.

La ubicación de la cantera de afirmado 3 Piedras tiene las siguientes coordenadas geográficas 10°01'54.05" S y 78°09'05.78" O, en el km.295 del panamericano norte (margen derecho - acceso 2.00km) (Figura 3).

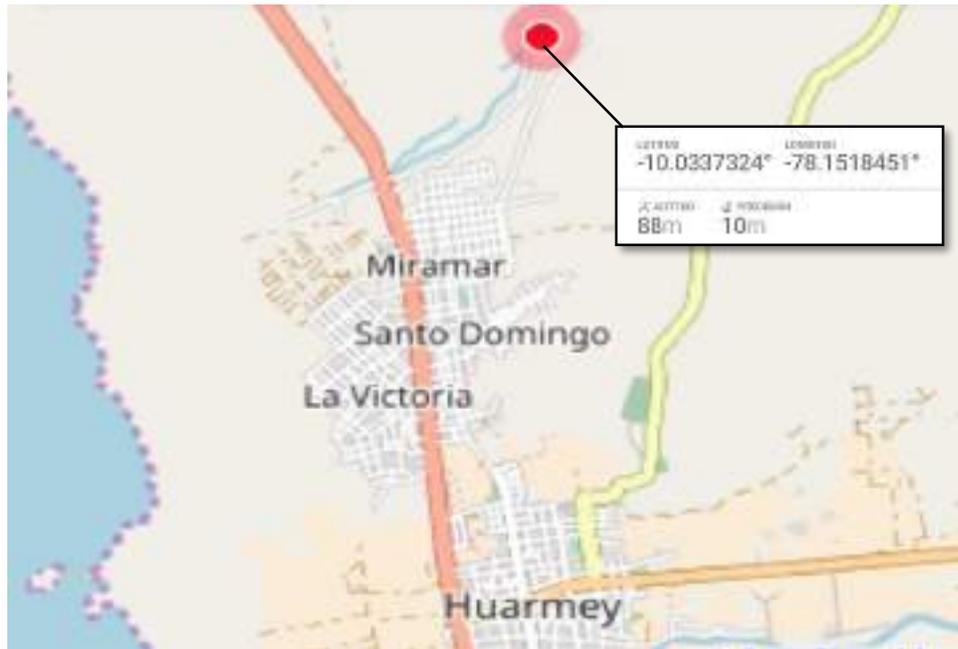


Figura 4. Ubicación de Cantera de Afirmado 3 Piedras.

Fuente: <https://www.googleearth.com/Huarmey>

Potencia, uso y disponibilidad

El volumen cuantificable de la cantera muestra una longitud (L) de 300.00m, un ancho (A) de 300.00m y una altura (H) de 10.00m. Del total del material posible a mover, se considera aprovechable en un 70% para afirmado. Determinándose los siguientes volúmenes.

- Volumen bruto = 900,000 m³
- Volumen neto para afirmado = 630,000 m³
- Volumen descartable = 270,000m³

La propiedad es libre, no es terreno agrícola y pertenece a la municipalidad distrital de Huarney debiendo hacer las coordinaciones respectivas con las autoridades de la zona para su explotación.

Cantera de Roca Calcárea – Cantera Diana - Cal Hidratada

Ubicación

Geográficamente el área de estudio en cuanto a la cal hidratada utilizada se encuentra situada en el distrito de Pariahuanca, Provincia de Caraz, Región Ancash (Figura 4).



Figura 5. Ubicación de Distrito de Pariahuanca, Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pariahuanca>

La ubicación de la Cantera de Roca Calcárea (Cantera Diana) de la cual se obtuvo Cal Hidratada para el presente estudio se encuentra en el distrito de Pariahuanca, provincia de Carhuaz. Se accede desde Huaraz con dirección a Caraz, a través de una carretera asfaltada. Del primer cruce se sigue 5 km por carretera afirmada. Sus coordenadas son 9°21'17.25" S y 77°35'21.45" O (Figura 5).

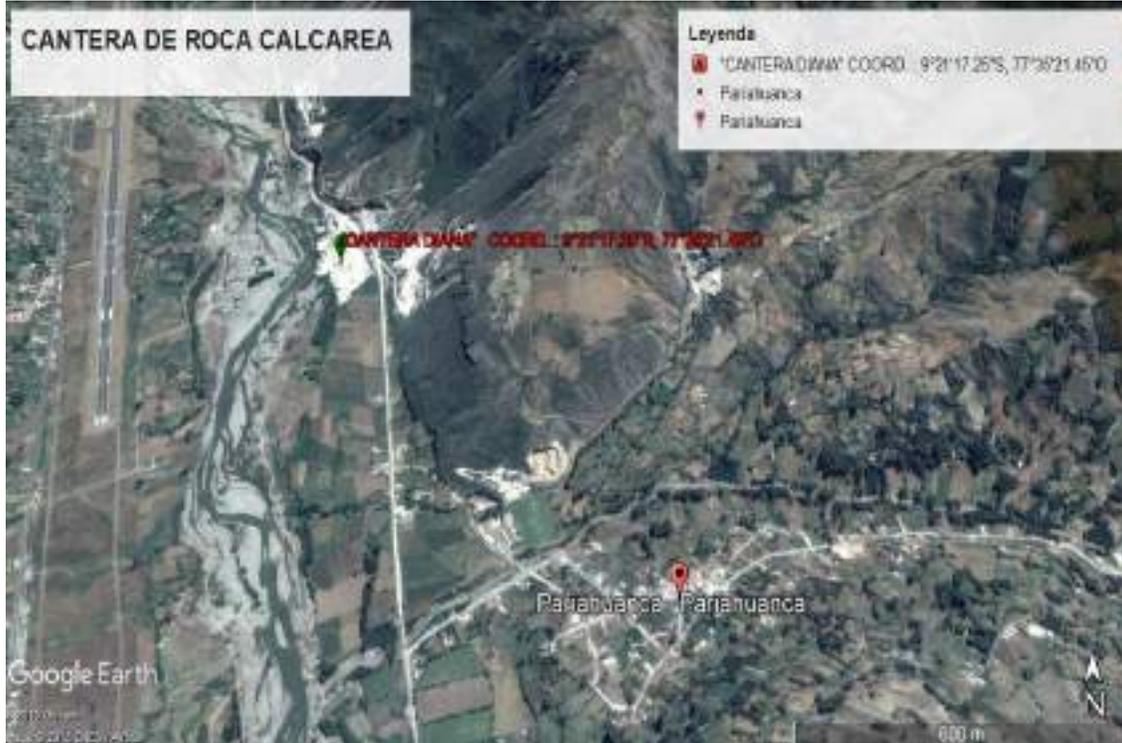


Figura 6. Ubicación de Cantera Diana (Roca Calcárea).

Fuente: <https://www.googleearth.com/Paríahuanca>

Potencia, uso y disponibilidad

En la actualidad la cantera de roca calcárea (Cantera Diana) está siendo explotada por la empresa CASANGER S.R.L., produciendo óxido de calcio como producto primario y su derivado, el hidróxido de calcio.

CASANGER S.R.L. tiene una capacidad de producción de 2400 Tn de óxido de calcio mensuales. Por otro lado, una explotación productiva de hidróxido de calcio es de 1200 Tn mensuales.

Referente al proceso, la producción de óxido de calcio es mediante el uso de hornos, donde la materia prima (caliza) se carga junto al carbón, donde se realiza la reacción exotérmica, produciendo el CAO (cal viva) con 90 % de pureza con presentación a granel, el cual se caracteriza por tener una reacción instantánea.

Adicionalmente, se cuenta con una bombona, que consiste en un contenedor cerrado tipo cisterna, diseñado para el transporte de cal que es remolcada por el tráiler, para el transporte de cal viva o cal hidratada. Tiene capacidad nominal de 30 Tn.

EL óxido de calcio se almacena con dos depósitos, cuya capacidad total es de 200 Tn.

Caña de Azúcar

Ubicación

Geográficamente el área de estudio en cuanto al bagazo de caña de azúcar utilizado se encuentra situada en el distrito de Nepeña, Provincia del Santa, Región Ancash (Figura 6).

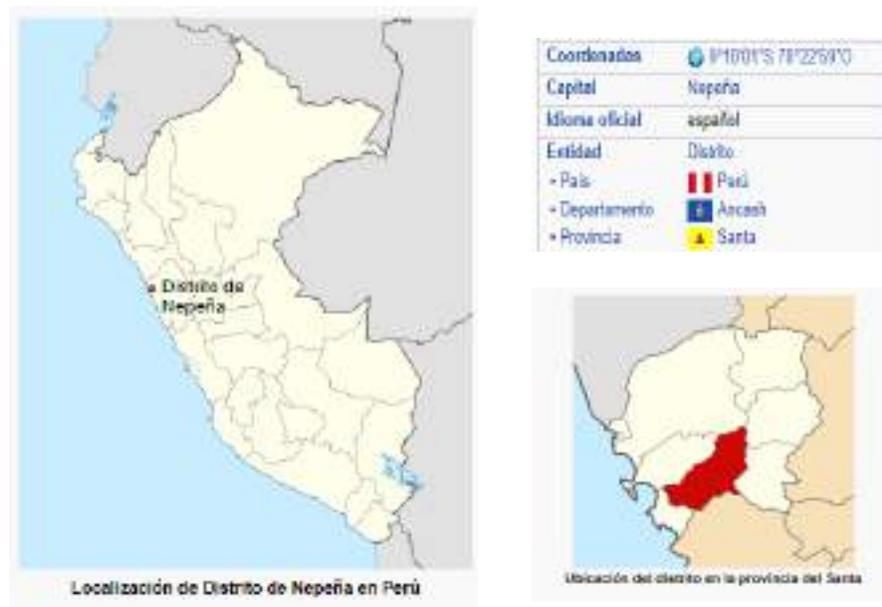


Figura 7. Ubicación de Área de Estudio (Caña de Azúcar)

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Nepeña>

San Jacinto se ubica en el valle del río Nepeña, en la región Áncash, aproximadamente a 45 kilómetros de la ciudad de Chimbote y a 405 kilómetros de la ciudad de Lima. Por ser la única industria azucarera en la región tiene un gran potencial de desarrollo comercial y

agrícola en la jurisdicción. Su predomino agrícola directo está en los valles del Santa, Lacramarca, Nepeña y Casma en los cuales desarrolla y promueve cultivos propios y de sembradores particulares. Sus coordenadas son 9°5'43.18" S y 78°16'38.32" O (Figura 7).



Figura 8. Ubicación de Empresa Agroindustrias San Jacinto S.A. (Caña de Azúcar).

Fuente: <https://www.googleearth.com/Nepeña>

Potencia, uso y disponibilidad

En la región Ancash, en el valle de Nepeña, se ubica la empresa azucarera Agroindustrias San Jacinto S.A.A. cuenta con una plantación de caña del orden de 5000 ha y procesa anualmente en promedio, la producción de 5500 ha de las cuales alrededor de 1400 ha son sembradores independientes.

El 2017 cierra con la producción nacional de caña azúcar en declive de 4.39% en relación al 2016, sumándose la disminución del 2016 respecto del 2015 del 4.11%. Esto debido

esencialmente a la sequía que afectó en la restricción de áreas de plantación nueva y los rendimientos de los campos, perjudicando las provincias de Lambayeque, La Libertad, Lima y Arequipa (Fuente INEI). La producción anual estimada de Azúcar el 2017 fue de 1, 081,535 TM, 5.43% menor que el año anterior; mientras que se importaron 535,410 TM de Azúcar, lo que representa un incremento del 44.5% a lo importado en el año 2016. El cambio anual de precios del azúcar en Lima fue un decrecimiento del 24.82%.

Tabla 5
Producción Nacional de Azúcar

| Toneladas | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Lambayeque | 279.666 | 315.954 | 280.698 | 193.053 | 222.584 | 218.898 |
| La Libertad | 562.107 | 574.422 | 633.994 | 630.030 | 647.055 | 595.855 |
| Ancash | 83717 | 101.306 | 96.422 | 108.149 | 112.848 | 96.880 |
| Lima | 175.852 | 174.192 | 185.305 | 184.268 | 159.004 | 166.702 |
| Arequipa | 4.938 | 8.194 | 7.073 | 3.926 | 2.204 | 3.200 |
| Total | 1,106.280 | 1,174.068 | 1,203.492 | 1,119.425 | 1,143.964 | 1,081.535 |

Fuente: Ministerio de Agricultura

Técnica, Recolección de Datos

Técnica

Por ser un proyecto de Investigación Experimental y al ensayar en un laboratorio de mecánica de suelos las muestras de nuestra población se opta por usar como Técnica de Investigación: “LA OBSERVACION”.

Entre las técnicas utilizadas para la verificar la recolección de datos requeridos en la Investigación, tenemos las siguientes actividades:

- Visita a la cantera de afirmado Tres Piedras, Huarmey –Huarmey – Ancash.
- Visita a la cantera de Roca Calcárea “Diana”, Pariahunca –Carhuaz – Ancash.
- Visita a la empresa productora de Bagazo de Caña de Azúcar “Agroindustrias San Jacinto S.A.”, Nepeña – Santa – Ancash.

- Ensayos de los materiales y verificación de los requisitos de calidad del afirmado de la cantera Tres Piedras (muestra patrón y muestras experimentales) en el laboratorio de mecánica de suelos.
- Análisis de resultado de los diferentes tipos de ensayos.
- Elaboración de cuadros Comparativos experimental y la muestra control.
- A través de los ensayos de laboratorio, en forma experimental, visual y analítica observamos el comportamiento de las propiedades del afirmado experimental cuando son alteradas con CBCA y CH.

Recolección de Datos

Se usaron protocolos, como El “Manual de Ensayo de Materiales - MTC” el cual estandariza los métodos y procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales utilizados en los proyectos de infraestructura vial, con el propósito de asegurar que su comportamiento se encuentre estandarizado dentro de los rangos de calidad propuestos en los estudios, para las obras y actividades de mantenimiento vial.

El “Manual de Ensayo de Materiales”, toma en como antecedente la normatividad internacional, tales como AASHTO, ASTM, NTP, entre otras. Las cuales permitieron recabar los resultados de manera directa y confiable de los siguientes ensayos:

- Granulometría - MTC E 107
- Limite plástico e Índice de plasticidad MTC E110 - E111
- Contenido de Humedad - MTC E 108
- Proctor Modificado - MTC E 115
- CBR en Laboratorio MTC E 132
- Análisis Térmico Diferencial (ATD)
- Fluorescencia Rayos X (FRX)
- Potencial Hidrogeno (pH)

Validación:

Para la validación en este proyecto de tesis hemos aplicado el “Método de los Expertos”, donde un grupo de expertos en la materia de ingeniería civil evaluaron el contenido de nuestra tesis, en primera instancia verificaron si nuestra tesis podrá llegar al objetivo planteado y nos sugirieron seguir con el proyecto para que así pueda tener consistencia nuestro proyecto de investigación, elaboramos nuestros instrumentos a emplear en este proyecto (guía de observación), los cuales fueron validados por los mismos y firmados con sus respectivos sellos.

Confiabilidad:

Para la confiabilidad utilizamos el “método Alfa de Conbrach”, el cual sirvió para medir el grado de confiabilidad de cada uno de los instrumentos utilizados en este proyecto.

El Alfa de Cronbach es un coeficiente que permitió medir la fiabilidad de una escala de medida.

Procesamiento y análisis de la información

Se aplicaron los métodos estadísticos y descriptivos.

Métodos estadísticos descriptivos

Dentro de los métodos descriptivos, la recolección se clasifico sistemáticamente y se presentan en tablas estadísticas de distribución de frecuencias, además para visualizar mejor el comportamiento de variables se calcularon medidas estadísticas como: Media aritmética, Moda, varianza, desviación estándar, coeficiente de correlación lineal (coeficiente de Pearson).

Es un método descriptivo porque se encargó de describir, evaluar, explicando los motivos de los resultados obtenidos en la experimentación realizada en los laboratorios.

Resultados

Del Objetivo General

Determinar las propiedades mecánicas y físicas de la cantera Tres Piedras cuando se adiciona el 3 % y el 4 %, con la combinación de ceniza de bagazo de caña y cal hidratada.

Se realizaron ensayos para determinar la influencia de la adición de CBCA y CH sobre el material de afirmado de acuerdo a los procedimientos que establece el Manual de Ensayo de Materiales – MTC.

Así mismo estos resultados nos ayudaron parametrizar el material de afirmado patrón y establecer en qué nivel estructural se encuentra el afirmado de la cantera tres piedras – Huarney (Utilización en Bases, Sub-Bases de pavimentos o como Afirmado de vías no pavimentadas según los requerimientos de calidad solicitados por el MTC).

A continuación, en la tabla se muestra los valores que se obtuvieron de los ensayos realizados que exige el MTC para determinar la calidad de materiales a utilizar con fines de pavimentación.

Tabla 6

Resumen de Resultados – Afirmado de la cantera Tres Piedras adicionando el 3 % y el 4 %, de ceniza de bagazo de caña y cal hidratada.

| Mezcla | (% de adición CBCA - CH | Ensayos Realizados | | | | | | | CBR (%) |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|--------|-------------------|-------|-------|-----------------------------|------------|---------|
| | | Granulometría | | Limites Atterberg | | | Proctor Modificado (gr/cm3) | | |
| | | SUCS | AASHTO | L.L. | L.P. | I.P. | Result. (gr/cm3) | C.O.H. (%) | |
| AF+CBCA+CH (Patrón) | 0 | SP-CL | A-2(6) | 34.40 | 22.67 | 11.73 | 2.020 | 8.80 | 50.00 |
| AF+CBCA+CH (Experim.) | 3 | SP-CL | A-2(6) | 28.90 | 18.97 | 9.93 | 1.997 | 7.40 | 55.10 |
| AF+CBCA+CH (Experim.) | 4 | SP-CL | A-2(6) | 24.88 | 16.08 | 8.80 | 1.964 | 7.60 | 62.50 |

Fuente: Elaboración propia

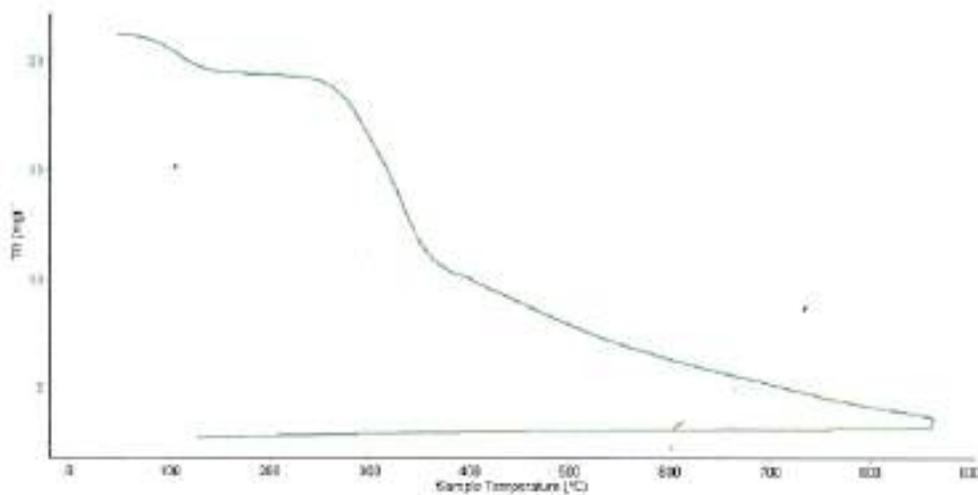
De los Objetivos Específicos

Realizar el ensayo de ATD para determinar la temperatura de calcinación del Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).

Se analizó la muestra de bagazo de caña de azúcar la cual fue enviada al Laboratorios de la UNT, para su análisis determinación de temperatura de calcinación a través del método de Análisis Térmico Diferencial obteniendo los siguientes resultados.

Figura 9

Curva de pérdida de masa – Análisis Termo Gravimétrico - CBCA



Fuente: Laboratorio de Polímeros - UNT

Figura 10

Curva Calorimétrica DSC - CBCA

Determinar la composición química de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarney, mediante la Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Se tomaron muestras de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), cal hidratada (CH) y afirmado de la cantera 3 piedras (AF), las cuales fueron enviadas al Laboratorios de la UNMSM, para realizar el análisis químico a través del método de Fluorescencia de Rayos X (FRX)obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7

Resultados de Composición Química – (CBCA-CH-AF)

| Oxido | CBCA (%) | CH (%) | AF (%) |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Al2O3 | 5.581 | 5.065 | 11.36 |
| SiO2 | 74.705 | 6.166 | 47.105 |
| P2O5 | 1.474 | 3.271 | ----- |
| P2O5 | ----- | ----- | 1.303 |
| SO2 | 2.005 | 0.715 | 5.478 |
| ClO2 | 0.360 | 0.027 | 2.098 |
| K2O | 7.448 | 0.249 | 3.311 |
| CaO | 4.182 | 83.503 | 13.260 |
| TiO2 | 0.352 | ----- | 1.074 |
| V2O5 | ----- | 0.006 | 0.021 |
| Cr2O3 | 0.019 | ----- | 0.009 |
| MnO | 0.100 | 0.038 | 0.246 |
| Fe2O3 | 3.353 | 0.565 | 12.585 |
| Ni2O3 | 0.007 | 0.003 | 0.014 |
| CuO | 0.304 | 0.004 | 1.171 |
| ZnO | 0.058 | 0.019 | 0.596 |
| SrO | 0.027 | 0.036 | 0.034 |
| As2O3 | ----- | ----- | 0.020 |
| Y2O3 | 0.003 | 0.004 | 0.134 |
| ZrO2 | 0.008 | 0.019 | 0.040 |
| PdO | ----- | 0.019 | ----- |
| BaO | 0.015 | 0.025 | ----- |
| La2O3 | ----- | ----- | 0.141 |
| TOTAL | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Fuente: Laboratorio de Archeometría de la UNMSM.

Determinar el pH de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarmey.

Se determinó el pH de las muestras de CBCA, CH y AF con el fin de verificar el grado de acidez o alcalinidad de las muestras intervinientes en la presente tesis obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8
Resultados de Determinación pH – (CBCA-CH-AF)

| Muestra | Resultados de ensayo pH | Observación |
|---|-------------------------|-------------|
| Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) | 10.65 | Alcalina |
| Cal Hidratada (CH) | 13.68 | Alcalina |
| Afirmado Patrón (AF) | 8.58 | Alcalina |
| Combinación de CBCA+ CH + AF | 13.34 | Alcalina |

Fuente: Laboratorios COLECBI S.A.C.

Determinar las propiedades mecánicas y físicas del afirmado Patrón y afirmado experimental (Cantera 3 Piedras –Huarmey), adicionando ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CAL H. y 2%CBCA+2%CAL H.).

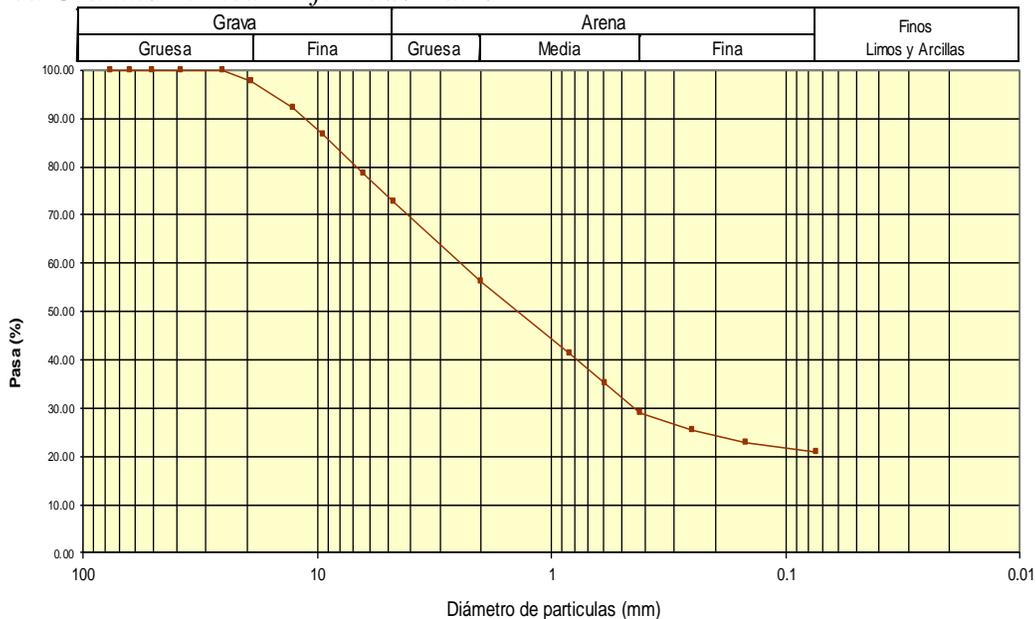
Granulometría – Afirmado Patrón

Se realizó el ensayo de análisis granulométrico de la muestra de afirmado patrón de la cantera Tres Piedras – Huarmey. Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E107(Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9**Ensayo de Análisis Granulométrico – Afirmado Patrón**

| Ø | Tamices | Peso Retenido | % Retenido Parcial | % Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|--------------|---------|---------------|--------------------|----------------------|------------|
| | (mm) | | | | |
| 1 ½" | 37.50 | 0.00 | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| 1" | 22.50 | 0.00 | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| ¾" | 19.000 | 36.50 | 2.40% | 2.40% | 97.60% |
| ½" | 12.500 | 80.50 | 5.40% | 7.80% | 92.20% |
| 3/8" | 9.500 | 80.50 | 5.40% | 13.20% | 86.80% |
| ¼" | 6.300 | 126.00 | 8.40% | 21.60% | 78.40% |
| Nº 4 | 4.750 | 86.00 | 5.70% | 27.30% | 72.70% |
| Nº 10 | 2.000 | 249.00 | 16.60% | 43.90% | 56.10% |
| Nº20 | 0.850 | 221.00 | 14.70% | 58.60% | 41.40% |
| Nº 30 | 0.600 | 92.90 | 6.20% | 64.80% | 35.20% |
| Nº 40 | 0.425 | 93.00 | 6.20% | 71.00% | 29.00% |
| Nº 60 | 0.250 | 53.50 | 3.60% | 74.60% | 25.40% |
| Nº 100 | 0.150 | 40.50 | 2.70% | 77.30% | 22.70% |
| Nº 200 | 0.075 | 27.50 | 1.80% | 79.10% | 20.90% |
| Fondo | | 313.10 | 20.90% | 100.00% | 0.00% |
| Peso Inicial | | 1500.00 | | | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 11**Curva Granulométrica – Afirmado Patrón**

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Límites de Atterberg - Afirmado Patrón

Se realizó el ensayo de límites de atterberg de la muestra de afirmado patrón de la cantera Tres Piedras – Huarmey. Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E110 (Determinación de Limite Líquido en Suelos) y procedimiento MTC – E111 (Determinación de Limite Plástico en Suelos e Índice de Plasticidad) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10

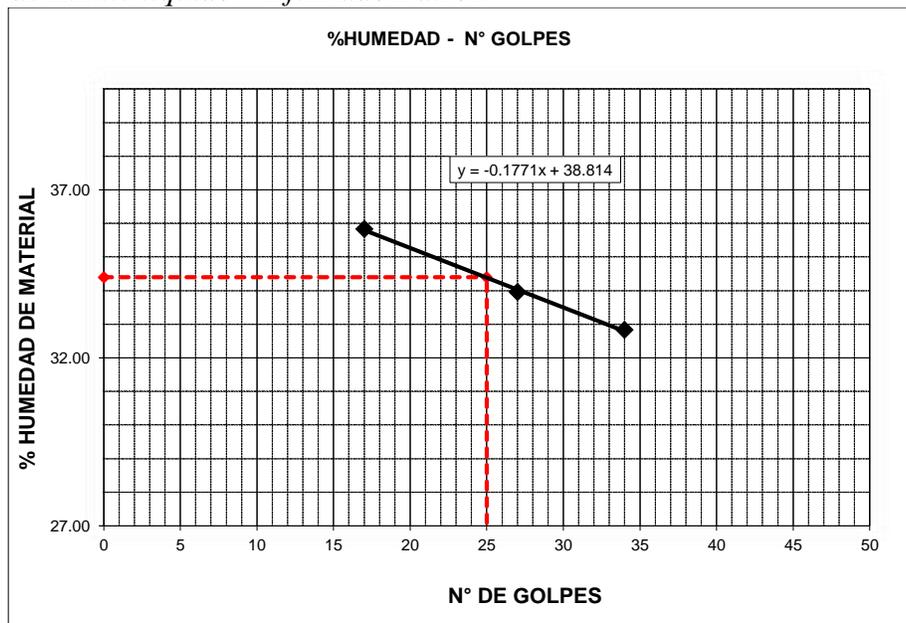
Ensayo de Limite Líquido – Afirmado Patrón

| Nº de Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 48.80 | 57.90 | 48.90 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 41.49 | 48.90 | 42.30 |
| Peso de Lata grs | 21.09 | 22.40 | 22.20 |
| Peso del Agua grs | 7.31 | 9.00 | 6.60 |
| Peso del Suelo Seco grs | 20.40 | 26.50 | 20.10 |
| % de Humedad | 35.83 | 33.96 | 32.84 |
| Numero de Golpes | 17 | 27 | 34 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 12

Calculo de Limite liquido – Afirmado Patrón



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 11*Ensayo de Limite Plástico – Afirmado Patrón*

| Nº de Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 22.09 | 21.60 | 22.00 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 21.40 | 21.00 | 20.90 |
| Peso de Lata grs | 18.30 | 18.30 | 16.22 |
| Peso del Agua grs | 0.69 | 0.60 | 1.10 |
| Peso del Suelo Seco grs | 3.10 | 2.70 | 4.68 |
| % de Humedad | 22.26 | 22.22 | 23.50 |
| Limite Plástico | | 22.67 | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 12*Resumen de Resultados Limites de Atterberg – Afirmado Patrón*

| Ensayo | Resultado |
|------------------------------|-----------|
| Limite Liquido (%) | 34.40 |
| Limite Plástico (%) | 22.67 |
| Índice de Plasticidad Ip (%) | 11.73 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Clasificación de Suelo según SUCS y AASHTO - Afirmado Patrón

Se presentan los siguientes datos para la clasificación del suelo según AASHTO y SUCS con referencia a lo desarrollado en las tablas y gráficos anteriores:

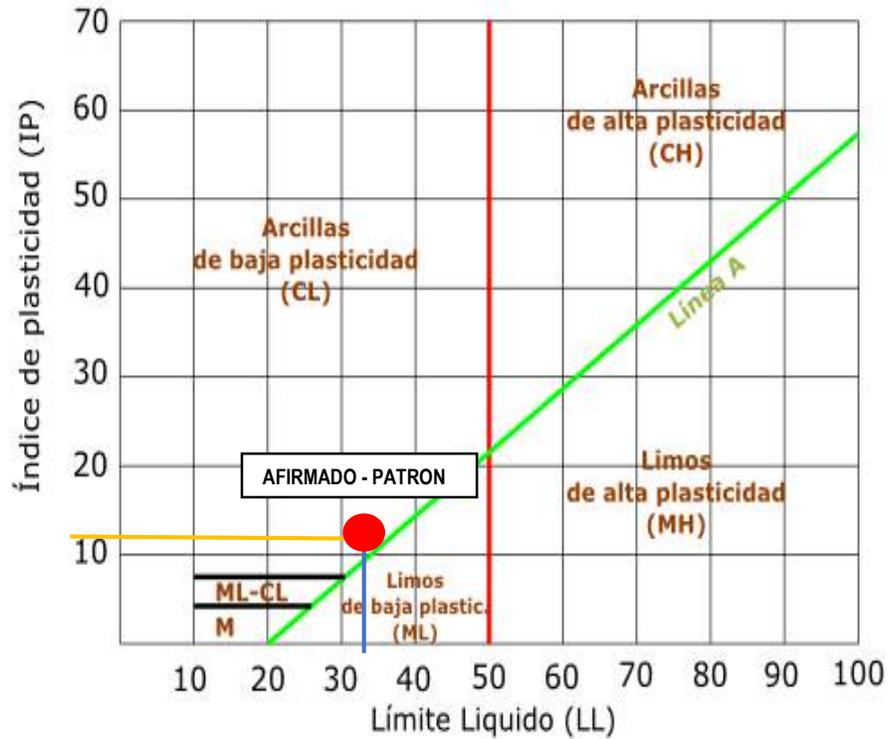
Clasificación SUCS**Tabla 13***Clasificación SUCS – Afirmado Patrón*

| Descripción | Dato |
|------------------------------------|--|
| Material que pasa por tamiz N° 04 | 56.10 % |
| Material que pasa por tamiz N° 200 | 20.90 % |
| Limite liquido | 34.40 % |
| Índice de plasticidad | 11.73 % |
| D60,D30,D10 | 2.65,0.448,0 |
| Clasificación de suelo (SUCS) | SP-CL (Arena pobremente graduada con arcillas de baja plasticidad) |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 13

Grafica de Plasticidad del USCS – Afirmado Patrón



Fuente: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS

Clasificación AASHTO

Tabla 14

Clasificación AASTHO – Afirmado Patrón

| Descripción | Dato |
|------------------------------------|--|
| Material que pasa por tamiz N° 40 | 29.00 % |
| Material que pasa por tamiz N° 200 | 20.90 % |
| Límite Líquido | 34.40 % |
| Índice de Plasticidad | 11.73 % |
| Clasificación de suelo (AASHTO) | A-2-6 (Grava y Arena Limosa o Arcillosa – Aceptable a Mala) |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 14

Grafica de Clasificación de Suelo AASTHO – Afirmado Patrón

| CLASIFICACIÓN GENERAL | MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS PASA EL TAMIZ N° 200) | | | | | | MATERIALES LIMO ARCILLOSOS (MÁS DEL 35% PASA EL TAMIZ N° 200) | | | | |
|--|---|---------|--------------------|---------|-----------------------|---------|--|-----------------|---------|--------------------|----------------|
| | A-1 | | A-2 | | | | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| SUB - GRUPOS | A-1a | A-1b | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Porcentaje que pasa el tamiz: | | | | | | | | | | | |
| N° 10 (2.00 mm) | 50 máx. | | | | | | | | | | |
| N° 40 (0.425 mm) | 30 máx. | 50 máx. | | | | | 50 máx. | | | | |
| N° 200 (0.075 mm) | 15 máx. | 25 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 10 máx. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. | 36 mín. |
| Características del material que pasa el tamiz N° 40 | | | | | | | | | | | |
| Límite Líquido | | | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | NP | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de Plasticidad | 0 máx. | 0 máx. | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. | | 10 máx. | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. |
| Índice de grupo | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 máx. | 4 máx. | 0 | 0 máx. | 12 máx. | 10 máx. | 20 máx. |
| TIPOS DE MATERIAL | Fragmentos de piedra, grava y arena. | | Gravas y arenas | | limosas y arcillosas. | | Arena Fina | Suelos limosos. | | Suelos arcillosos. | |
| TERRENO DE FUNDACIÓN | Excelente a bueno. | | Excelente a bueno. | | Regular | | Excelente a bueno | Regular a malo | | | |

Fuente: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

Proctor Modificado - Afirmado Patrón

Se realizó el ensayo de proctor modificado de la muestra de afirmado patrón de la cantera Tres Piedras – Huarmey. Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E115 (Compactación de los Suelos en Laboratorio utilizando una Energía Modificada) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15

Determinación de Contenido de Humedad - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado Patrón

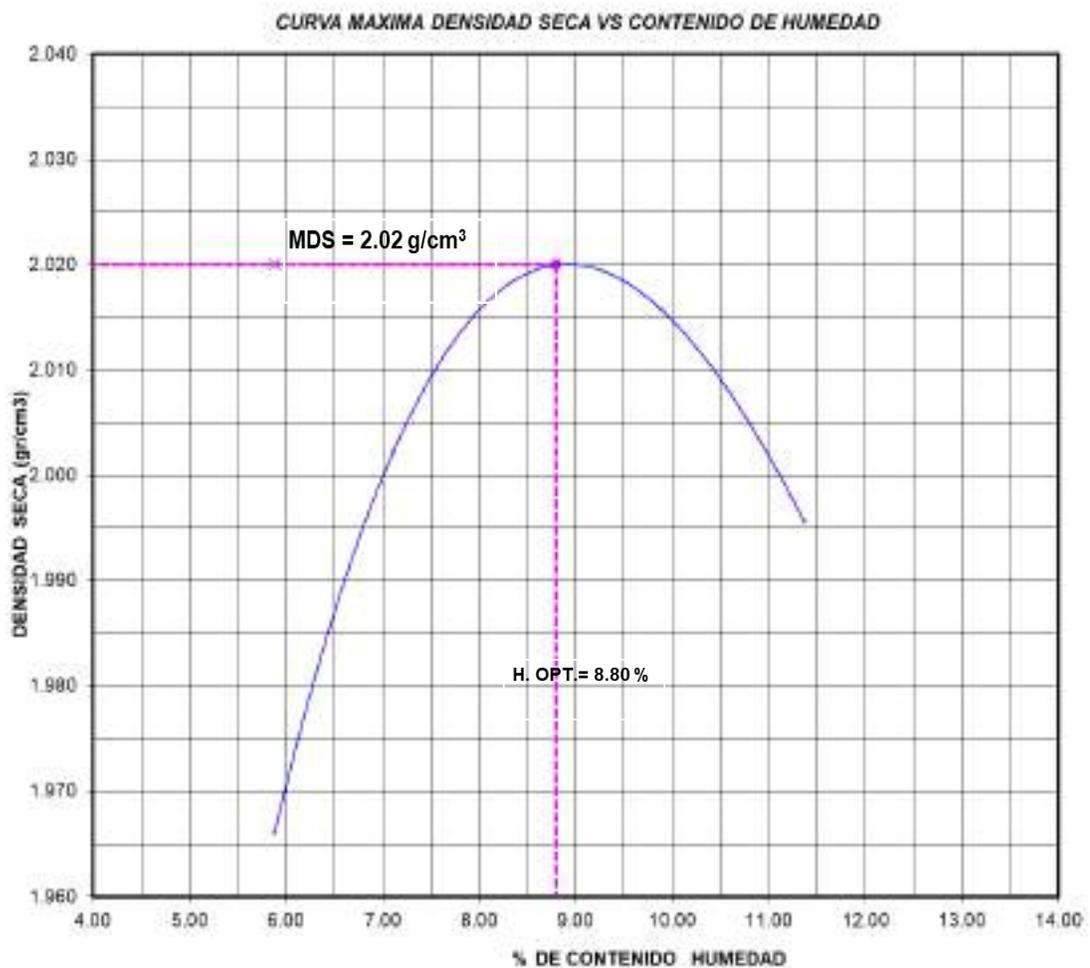
| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso del Tarro grs | 164.10 | 63.70 | 103.10 | 85.60 |
| Peso del Tarro + Muestra Húmeda grs | 554.70 | 657.20 | 651.40 | 550.00 |
| Peso del Tarro + Muestra Seca grs | 533.00 | 617.80 | 602.10 | 502.60 |
| Peso del Agua grs | 21.70 | 39.40 | 49.30 | 47.40 |
| Peso del Material Seco grs | 368.90 | 554.10 | 499.00 | 417.00 |
| Contenido de Humedad | 5.88 | 7.10 | 9.90 | 11.40 |
| % Promedio | 5.90 | 7.11 | 9.90 | 11.40 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 16*Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado Patrón*

| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Contenido de Humedad % | 5.88 | 7.11 | 9.88 | 11.37 |
| Peso del Suelo + Molde grs | 7426 | 7569 | 7729 | 7746 |
| Peso del Molde grs | 2690 | 2690 | 2690 | 2690 |
| Peso del Suelo grs | 4736 | 4879 | 5039 | 5056 |
| Densidad Húmeda (grs/cm ³) | 2.082 | 2.145 | 2.215 | 2.222 |
| Densidad Seca (grs/cm ³) | 1.966 | 2.002 | 2.016 | 1.996 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 15*Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Afirmado Patrón*

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 17*Resumen de Resultado - Ensayo Proctor Modificado – Afirmado Patrón*

| Determinación | Resultado |
|--|-----------|
| Densidad Máxima (grs/cm ³) | 2.02 |
| Humedad Optima (%) | 8.80 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Contenido de Humedad Natural - Afirmado Patrón

Se realizó el ensayo de Contenido de Humedad de un Suelo de la muestra de afirmado patrón de la cantera Tres Piedras – Huarmey. Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E108 (Determinación de Contenido de Humedad de un Suelo) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18*Resultado – Contenido de Humedad Natural – Afirmado Patrón*

| Ensayo N° | M-1 | M-2 |
|----------------------------------|--------|--------|
| Peso de Lata grs | 198.00 | 65.00 |
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 500.00 | 621.00 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 494.00 | 610.00 |
| Peso del Agua grs | 6.00 | 11.00 |
| Peso del Suelo Seco grs | 296.00 | 545.00 |
| % de Humedad | 2.03 | 2.02 |
| Promedio % de Humedad | 2.02 | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Valor de Relación Soporte (C.B.R.) - Afirmado Patrón

Se realizó el ensayo de C.B.R. de la muestra de afirmado patrón de la cantera Tres Piedras – Huarmey. Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E132 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19*Resultados – C.B.R. – Afirmado Patrón*

| Características | | | |
|--|---------|---------|---------|
| Numero de Molde | 1 | 2 | 3 |
| Numero de Capas | 5 | 5 | 5 |
| Numero de Golpe | 56 | 25 | 12 |
| Energía Compactación [kg-cm]/cm ³ | 27.7 | 12.2 | 6.1 |
| Densidad Seca [CBR] | | | |
| 01 - Peso suelo húmedo + molde (g) | 9,495.0 | 9,050.0 | 9,000.0 |

| | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 02 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 |
| 03 - Peso suelo húmedo (g) | 4,972.0 | 4,546.0 | 5,027.0 |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | 2,180.000 | 2,512.000 |
| 05 - Densidad suelo húmedo (g/cm ³) | 2.197 | 2.085 | 2.001 |
| 06 - Tarro N° | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 07 - Peso suelo húmedo + tarro (g) | 505.0 | 600.0 | 704.5 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 471.4 | 556.8 | 653.0 |
| 09 - Peso del agua (g) | 33.6 | 43.2 | 51.5 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.6 | 65.4 | 64.7 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 382.8 | 491.4 | 588.3 |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 8.8 | 8.8 | 8.8 |
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm ³) | 2.020 | 1.917 | 1.840 |

Saturación

| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial |
|--------------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Dia 01 | 17-oct-18 | 5.00PM | 0.05 | 0.03 | 0.02 |
| Dia 02 | 18-oct-18 | 5.00PM | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| Dia 03 | 19-oct-18 | 5.00PM | 0.06 | 0.06 | 0.08 |
| Dia 04 | 20-oct-18 | 5.00PM | 0.12 | 0.18 | 0.29 |
| Expansión, % | | | 2.6 | 3.9 | 6.3 |

Absorción

| | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Numero de molde | 1 | 2 | 3 |
| 01 - Peso suelo húmedo antes (g) | 4,972.0 | 4,546.0 | 5,027.0 |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | 9,696.1 | 9,258.9 | 9,249.6 |
| 03 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | 5,173.1 | 4,754.9 | 5,276.6 |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | 201.1 | 208.9 | 249.6 |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | 4,570.8 | 4,178.6 | 4,622.4 |
| 07 - Absorción de agua (%) | 4.4 | 5.0 | 5.4 |

Penetración

Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

| Molde | 1 [56 Golpes] | | 2 [25 Golpes] | | 3 [12 Golpes] | |
|-----------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.63 | 20.0 | 112.9 | 15.0 | 91.7 | 13.0 | 83.2 |
| 1.3 | 53.0 | 253.1 | 34.0 | 172.4 | 26.0 | 138.4 |
| 1.9 | 90.0 | 410.3 | 59.0 | 278.6 | 39.0 | 193.6 |
| 2.5 | 150.0 | 665.29 | 89.0 | 406.09 | 58.0 | 274.37 |
| 3.2 | 186.0 | 818.3 | 116.0 | 520.8 | 79.0 | 363.6 |
| 3.8 | 244.0 | 1064.7 | 147.0 | 652.5 | 105.0 | 474.1 |
| 5.08 | 339.0 | 1468.4 | 189.0 | 831.0 | 130.0 | 580.3 |
| 7.6 | 464.0 | 1999.5 | 276.0 | 1200.7 | 176.0 | 775.8 |
| 10.16 | 542.0 | 2331.0 | 347.0 | 1502.4 | 199.0 | 873.5 |
| 12.7 | 601.0 | 2581.7 | 403.0 | 1740.3 | 221.0 | 967.0 |
| Carga [%] | 665.29 kgf. [48.9%] | | 406.09 kgf. [29.8%] | | 274.37 kgf. [20.2%] | |

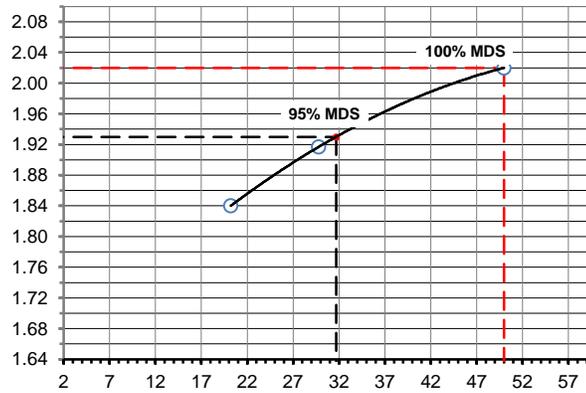
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 20
Resumen de Resultados – C.B.R. – Afirmado Patrón

| Descripción | Resultado |
|---|-----------|
| Método De compactación | “C” |
| Máxima Densidad Seca (gr/ cm ³) | 2.020 |
| Optimo Contenido De Humedad (%) | 8.80 |
| CBR Al 100% De M.D.S (%) | 50.00 |
| CBR Al 95% De M.D.S (%) | 31.70 |

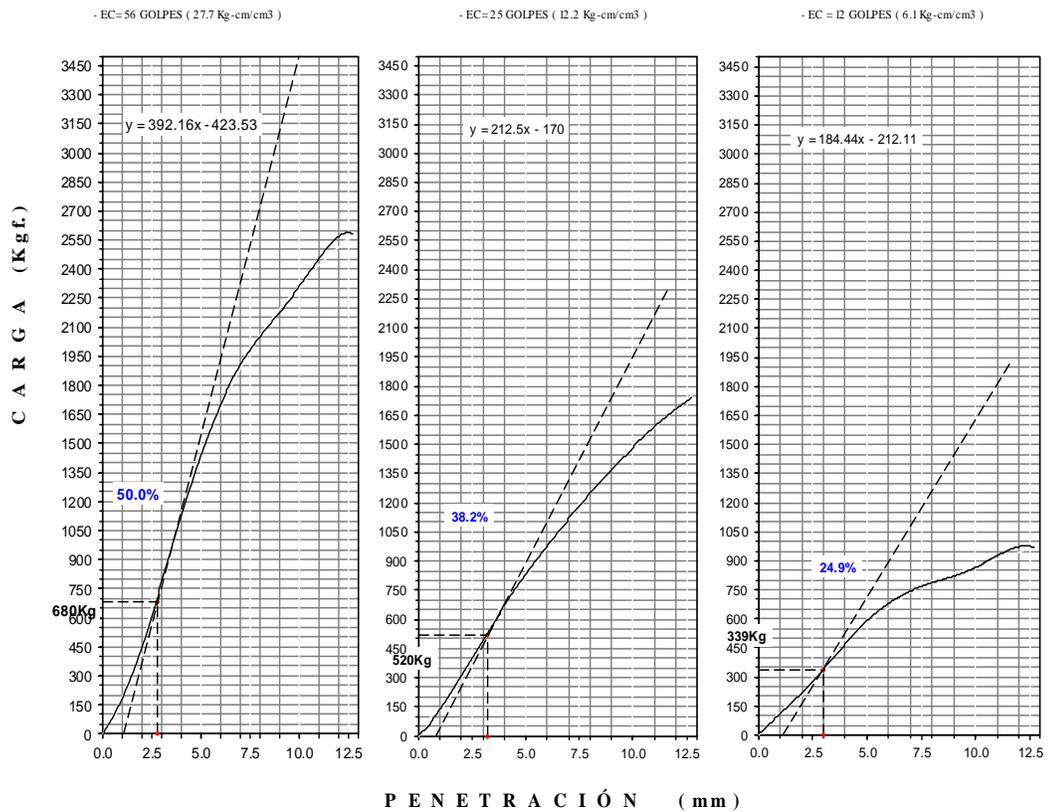
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 16
CBR A 0.1'' de Penetración – Afirmado Patrón



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 17
Carga Vs. Penetración – Afirmado Patrón



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Resumen General de Resultados - Afirmado Patrón

Tabla 21

Resumen de Resultados – Afirmado Patrón (cantera Tres Piedras – Huarmey)

| Mezcla | (% de Adición CBCA - CH) | Ensayos Realizados | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|--------------------|--------|-------------------|-------|-------|-------------|--|------------|---------|
| | | Granulometría | | Límites Atterberg | | | Humedad (%) | Proctor Modificado (gr/cm ³) | | CBR (%) |
| | | SUCS | AASHTO | L.L. | L.P. | I.P. | | Resultado (gr/cm ³) | C.O.H. (%) | |
| AF+CBCA+CH (patrón) | 0 | SP-CL | A-2(6) | 34.40 | 22.67 | 11.73 | 2.03 | 2.020 | 8.80 | 50.00 |

Fuente: Elaboración propia

Proctor Modificado – (Afirmado Patrón + 1%CBCA+2%CH) – Experimental 3.00%

Este ensayo contemplo los métodos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (se grafica mediante una curva de compactación).

Se realizó el ensayo de proctor modificado adicionando CBCA-CH en los porcentajes antes mencionados obteniendo los resultados presentados en la siguientes graficas:

Tabla 22

Determinación de Contenido de Humedad - Proctor Modificado – Experimental

3.00%

| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso del Tarro grs | 164.10 | 69.50 | 79.00 | 85.60 |
| Peso del Tarro + Muestra Húmeda grs | 409.00 | 612.00 | 606.00 | 570.00 |
| Peso del Tarro + Muestra Seca grs | 400.00 | 548.00 | 570.00 | 527.60 |
| Peso del Agua grs | 9.00 | 28.00 | 36.00 | 42.40 |
| Peso del Material Seco grs | 235.90 | 514.50 | 491.00 | 442.00 |
| % Promedio | 3.80 | 5.40 | 7.30 | 9.60 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 23

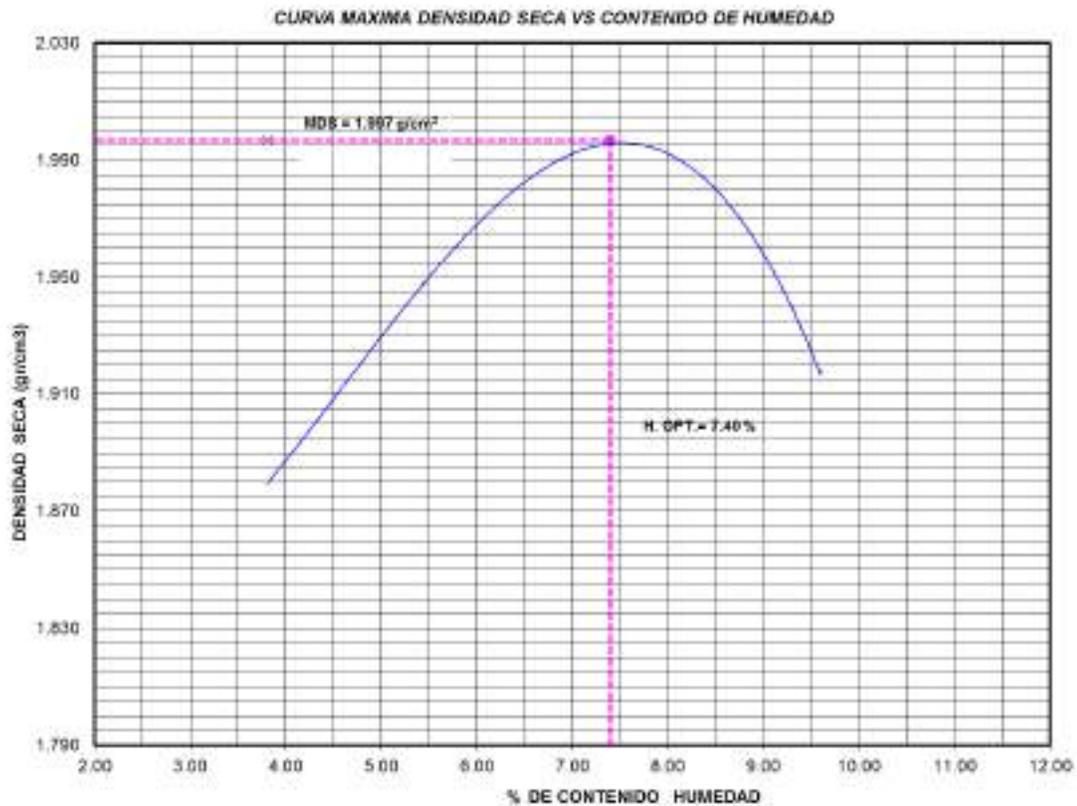
Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 3.00%

| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Contenido de Humedad % | 3.82 | 5.44 | 7.33 | 9.59 |
| Peso del Suelo + Molde grs | 7130 | 7360 | 7560 | 7470 |
| Peso del Molde grs | 2690 | 2690 | 2690 | 2690 |
| Peso del Suelo grs | 4440 | 4670 | 4870 | 4780 |
| Densidad Húmeda (grs/cm ³) | 1.952 | 2.053 | 2.141 | 2.101 |
| Densidad Seca (grs/cm ³) | 1.880 | 1.948 | 1.995 | 1.917 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 18

Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Proctor Modificado - Experimental 3.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 24*Resumen de Resultados - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 3.00%*

| Determinación | Resultado |
|--|-----------|
| Densidad Máxima (grs/cm ³) | 1.997 |
| Humedad Optima (%) | 7.40 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Valor de Relación Soporte (C.B.R.) - (Afirmado Patrón + 1%CBCA+2%CH) – Experimental 3.00%

Se realizó el ensayo de CBR adicionando CBCA-CH en los porcentajes antes mencionados obteniendo los resultados presentados en las siguientes tablas y graficas:

Tabla 25*Resultados – C.B.R. – Afirmado + 1.00 % de CBCA + 2.00% de CH - Experimental 3.00%*

| Características | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Numero de Molde | 1 | 2 | 3 |
| Numero de Capas | 5 | 5 | 5 |
| Numero de Golpe | 56 | 25 | 12 |
| Energía Compactación [kg-cm]/cm ³ | 27.7 | 12.2 | 6.1 |
| Densidad Seca [CBR] | | | |
| 01 - Peso suelo húmedo + molde (g) | 9,348.0 | 8,920.0 | 8,760.0 |
| 02 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 |
| 03 - Peso suelo húmedo (g) | 4,825.0 | 4,416.0 | 4,787.0 |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | 2,180.000 | 2,512.000 |
| 05 - Densidad suelo húmedo (g/cm ³) | 2.132 | 2.026 | 1.906 |
| 06 - Tarro N° | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 07 - Peso suelo húmedo + tarro (g) | 448.0 | 521.3 | 649.9 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 422.5 | 489.2 | 608.6 |
| 09 - Peso del agua (g) | 25.5 | 32.1 | 41.3 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.6 | 65.4 | 64.7 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 333.9 | 423.8 | 543.9 |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 7.6 | 7.6 | 7.6 |

| | | | | | | |
|---|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm ³) | | 1.981 | 1.883 | 1.771 | | |
| Saturación | | | | | | |
| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial | |
| Dia 01 | 13-mar-20 | 4.00PM | 0.02 | 0.02 | 0.04 | |
| Dia 02 | 13-mar-20 | 4.00PM | 0.04 | 0.03 | 0.05 | |
| Dia 03 | 13-mar-20 | 4.00PM | 0.08 | 0.05 | 0.07 | |
| Dia 04 | 13-mar-20 | 4.00PM | 0.08 | 0.10 | 0.10 | |
| Expansión, % | | 1.8 | 2.2 | 2.2 | | |
| Absorción | | | | | | |
| Numero de molde | | 1 | 2 | 3 | | |
| 01 - Peso suelo húmedo antes (g) | | 4,825.0 | 4,416.0 | 4,787.0 | | |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | | 9,446.6 | 9,026.7 | 8,915.7 | | |
| 03 - Peso del molde (g) | | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 | | |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | | 4,923.0 | 4,522.7 | 4,942.7 | | |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | | 98.6 | 106.7 | 155.7 | | |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | | 4,482.7 | 4,105.1 | 4,449.2 | | |
| 07 - Absorción de agua (%) | | 2.2 | 2.6 | 3.5 | | |
| Penetración | | | | | | |
| Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018 | | | | | | |
| Molde | 1 [56 Golpes] | | 2 [25 Golpes] | | 3 [12 Golpes] | |
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.63 | 20.0 | 112.9 | 15.0 | 91.7 | 14.0 | 87.4 |
| 1.3 | 60.0 | 282.9 | 40.0 | 197.7 | 28.0 | 146.9 |
| 1.9 | 103.0 | 465.6 | 85.0 | 389.1 | 45.0 | 219.1 |
| 2.5 | 140.0 | 622.80 | 100.0 | 452.83 | 69.0 | 321.11 |
| 3.2 | 210.0 | 920.2 | 115.0 | 516.6 | 76.0 | 350.9 |
| 3.8 | 250.0 | 1090.2 | 135.0 | 601.6 | 89.0 | 406.1 |
| 5.08 | 329.0 | 1425.9 | 210.0 | 920.2 | 124.0 | 554.8 |

| | | | | | | |
|-----------|--------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| 7.6 | 410.0 | 1770.1 | 290.0 | 1260.2 | 168.0 | 741.8 |
| 10.16 | 512.0 | 2203.5 | 330.0 | 1430.1 | 187.0 | 822.5 |
| 12.7 | 624.0 | 2679.4 | 400.0 | 1727.6 | 195.0 | 856.5 |
| Carga [%] | 622.8 kgf. [45.8%] | | 452.83 kgf. [33.3%] | | 321.11 kgf. [23.6%] | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 26

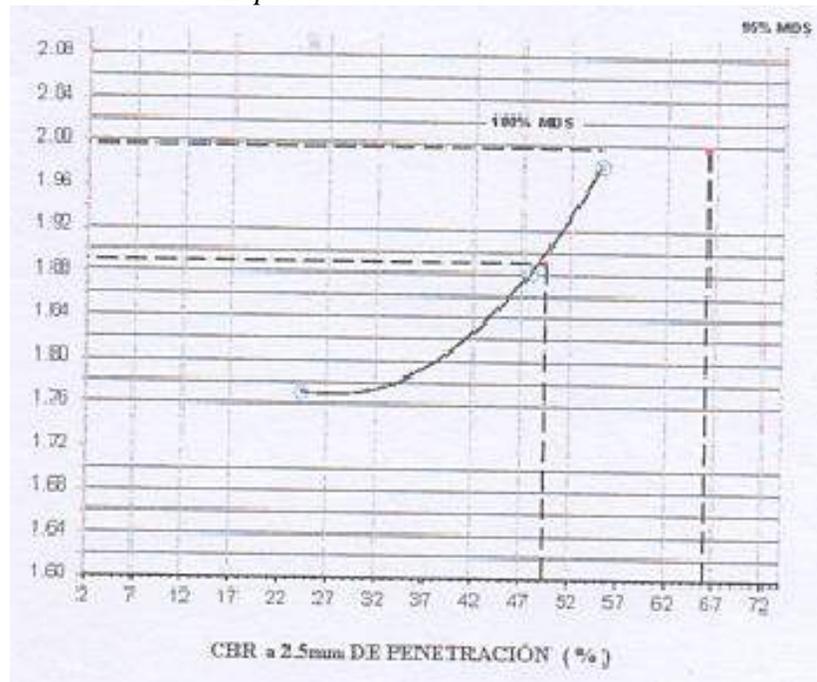
Resumen de Resultados – C.B.R. – Experimental 3.00%

| Descripción | Resultado |
|---------------------------------|-----------|
| Método De compactación | “C” |
| Máxima Densidad Seca (gr/ cm3) | 1.997 |
| Optimo Contenido De Humedad (%) | 7.40 |
| CBR Al 100% De M.D.S (%) | 55.10 |
| CBR Al 95% De M.D.S (%) | 49.40 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

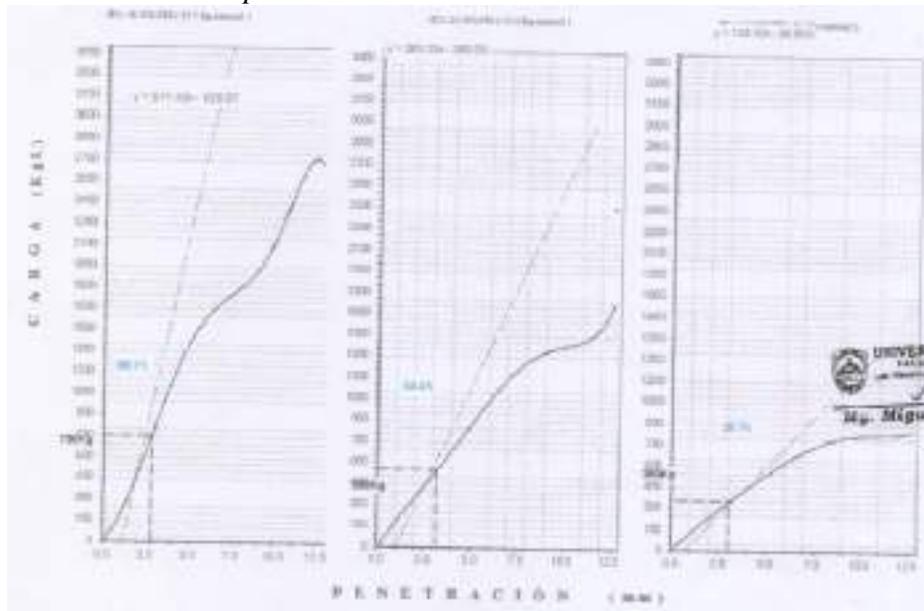
Figura 19

CBR A 0.1” de Penetración – Experimental 3.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 20
Carga Vs. Penetración – Experimental 3.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

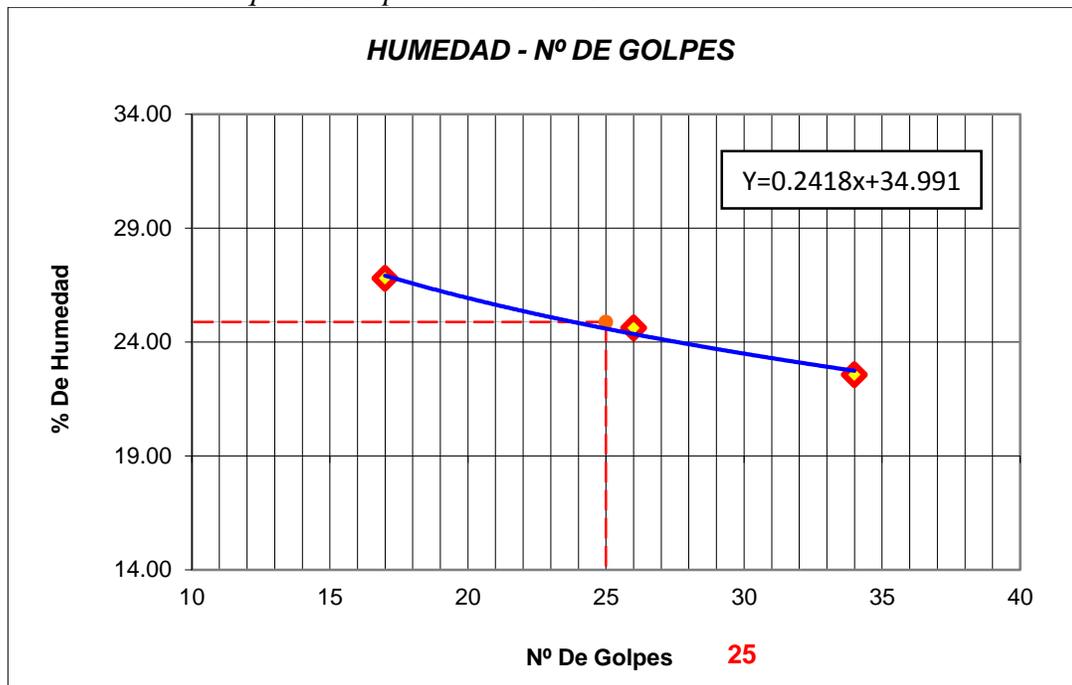
Límites de Atterberg - (Afirmado Patrón + 1%CBCA+2%CH) – Experimental 3.00%

Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E110 (Determinación de Limite Líquido en Suelos) y procedimiento MTC – E111 (Determinación de Limite Plástico en Suelos e Índice de Plasticidad) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 30
Ensayo de Limite Líquido – Experimental 3.00%

| Nº DE ENSAYO | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs | 38.80 | 36.50 | 35.10 |
| PESO DEL SUELO SECO + LATA grs | 34.10 | 32.60 | 31.60 |
| PESO DE LATA grs | 18.80 | 18.80 | 18.70 |
| PESO DEL AGUA grs | 4.70 | 3.90 | 3.50 |
| PESO DEL SUELO SECO grs | 15.30 | 13.80 | 12.90 |
| % DE HUMEDAD | 30.72 | 28.26 | 27.13 |
| NUMERO DE GOLPES | 18 | 27 | 33 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 21*Calculo de Limite liquido – Experimental 3.00%*

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 28*Ensayo de Limite Plástico – Experimental 3.00%*

| Nº de Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 21.95 | 21.95 | 21.95 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 21.40 | 21.40 | 21.40 |
| Peso de Lata grs | 18.50 | 18.50 | 18.50 |
| Peso del Agua grs | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| Peso del Suelo Seco grs | 2.90 | 2.90 | 2.90 |
| % de Humedad | 18.97 | 18.97 | 18.97 |
| Limite Plástico | | 18.97 | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 29*Resultados Límites de Atterberg – Experimental 3.00%*

| Ensayo | Resultado |
|------------------------------|-----------|
| Límite Líquido (%) | 28.90 |
| Límite Plástico (%) | 18.97 |
| Índice de Plasticidad Ip (%) | 9.93 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Resumen General de Resultados – Experimental 3.00%**Tabla 30***Resumen de Resultados – Experimental 3.00%*

| MEZCLA | (%) DE ADICION DE CBCA - CH | ENSAYOS REALIZADOS | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------|-------------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|------------|
| | | GRANULOMETRIA | | LIMITES ATTERBERG | | | PROCTOR MODIFICADO (gr/cm3) | | CBR (%) |
| | | SUCS | AASHTO | L.L | L.P. | I.P. | RESULTADO (gr/cm3) | C.O.H. (%) | |
| | | | | | | | | | |
| AF+CBCA+CH (EXPERIM.) | 3 | SP-CL | A-2(6) | 28.90 | 18.97 | 9.93 | 1.997 | 7.40 | 55.10 |

Fuente: Elaboración propia

Proctor Modificado – (Afirmado Patrón + 2%CBCA+2%CH) – Experimental 4.00%

Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de Ensayo de Materiales - MTC – E115 (2016). *Compactación de los Suelos en Laboratorio utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado).* Este ensayo comprende los metodos de compactación usados en Laboratorio, para establecer la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (se grafica mediante una curva de compactación).

Se realizó el ensayo de proctor modificado adicionando CBCA-CH en los porcentajes antes mencionados obteniendo los resultados presentados en la siguientes graficas:

Tabla 31. *Determinación de Contenido de Humedad - Proctor Modificado – Experimental 4.00%*

| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peso del Tarro grs | 164.10 | 69.50 | 79.00 | 85.60 |
| Peso del Tarro + Muestra Húmeda grs | 420.00 | 206.50 | 222.00 | 550.00 |
| Peso del Tarro + Muestra Seca grs | 412.00 | 199.00 | 212.00 | 510.60 |
| Peso del Agua grs | 8.00 | 7.50 | 10.00 | 39.40 |
| Peso del Material Seco grs | 247.90 | 129.50 | 133.00 | 425.00 |
| Contenido de Humedad % Promedio | 3.20 | 5.80 | 7.50 | 9.30 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

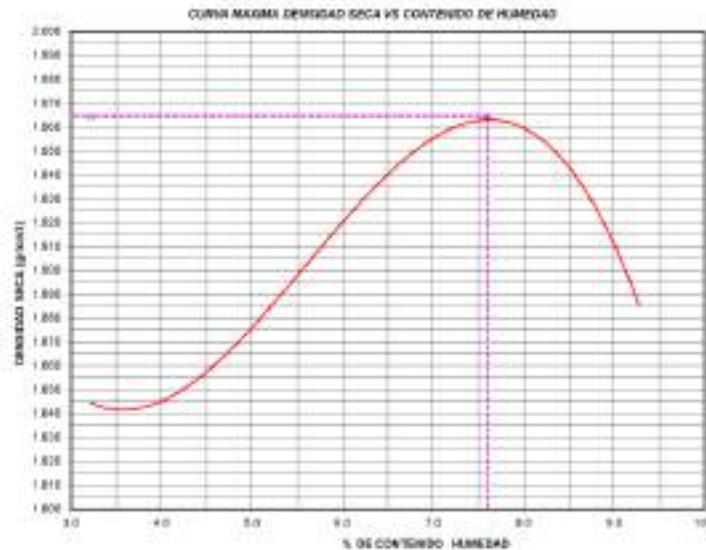
Tabla 32. *Determinación de Densidad - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 4.00%*

| Muestra N° | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Contenido de Humedad % | 3.20 | 5.80 | 7.50 | 9.30 |
| Peso del Suelo + Molde grs | 7019 | 7289 | 7491 | 7380 |
| Peso del Molde grs | 2690 | 2690 | 2690 | 2690 |
| Peso del Suelo grs | 4329 | 4599 | 4801 | 4690 |
| Densidad Húmeda (grs/cm ³) | 1.903 | 2.022 | 2.110 | 2.062 |
| Densidad Seca (grs/cm ³) | 1.844 | 1.911 | 1.963 | 1.886 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 22

Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad – Experimental 4.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 33*Resumen de Resultado - Ensayo Proctor Modificado – Experimental 4.00%*

| Determinación | Resultado |
|--|-----------|
| Densidad Máxima (grs/cm ³) | 1.964 |
| Humedad Optima (%) | 7.60 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Valor de Relación Soporte (C.B.R.) - (Afirmado Patrón + 2%CBCA+2%CH) – Experimental 4.00%

Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de Ensayo de Materiales – MTC - E132 (2016). C.B.R. Suelos(Laboratorio). Representa el procedimiento de ensayo para el cálculo de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones establecidas de humedad y densidad.

Se realizó el ensayo de CBR adicionando CBCA-CH en los porcentajes antes mencionados obteniendo los resultados presentados en las siguientes tablas y graficas:

Tabla 34*Resultados – C.B.R. – Afirmado Cantera 3 Piedras + 2.00 % de CBCA + 2.00% de CH*

| Características | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Numero de Molde | 1 | 2 | 3 |
| Numero de Capas | 5 | 5 | 5 |
| Numero de Golpe | 56 | 25 | 12 |
| Energía Compactación [kg-cm]/cm ³ | 27.7 | 12.2 | 6.1 |
| Densidad Seca [CBR] | | | |
| 01 - Peso suelo húmedo + molde (g) | 9,313.0 | 8,880.0 | 8,770.0 |
| 02 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 |
| 03 - Peso suelo húmedo (g) | 4,790.0 | 4,376.0 | 4,797.0 |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | 2,180.000 | 2,512.000 |
| 05 - Densidad suelo húmedo (g/cm ³) | 2.117 | 2.007 | 1.910 |

| | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| 06 - Tarro N° | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 07 - Peso suelo húmedo + tarro (g) | 505.0 | 607.3 | 704.0 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 475.5 | 569.2 | 658.6 |
| 09 - Peso del agua (g) | 29.5 | 38.1 | 45.4 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.6 | 65.4 | 64.7 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 386.9 | 503.8 | 593.9 |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 7.6 | 7.6 | 7.6 |
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm³) | 1.967 | 1.866 | 1.774 |

Saturación

| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial |
|--------------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Dia 01 | 10-mar-20 | 3.00PM | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| Dia 02 | 11-mar-20 | 3.00PM | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| Dia 03 | 12-mar-20 | 3.00PM | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| Dia 04 | 13-mar-20 | 3.00PM | 0.09 | 0.11 | 0.09 |
| Expansión, % | | | 2.0 | 2.4 | 2.0 |

Absorción

| Numero de molde | 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| 01 - Peso suelo húmedo antes (g) | 4,790.0 | 4,376.0 | 4,797.0 |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | 9,402.0 | 8,977.6 | 8,903.7 |
| 03 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | 4,504.0 | 3,973.0 |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | 4,879.0 | 4,473.6 | 4,930.7 |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | 89.0 | 97.6 | 133.7 |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | 4,450.7 | 4,068.3 | 4,456.2 |
| 07 - Absorción de agua (%) | 2.0 | 2.4 | 3.0 |

Penetración

Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

| Molde | 1 [56 Golpes] | 2 [25 Golpes] | 3 [12 Golpes] | | | |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|-----------|--------------|
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | | |
|-----------|---------------------|--------|---------------------|--------|-------------------|--------|
| 0.63 | 22.0 | 121.4 | 17.0 | 100.2 | 18.0 | 104.4 |
| 1.3 | 69.0 | 321.1 | 35.0 | 176.6 | 29.0 | 151.1 |
| 1.9 | 124.0 | 554.8 | 78.0 | 359.4 | 46.0 | 223.4 |
| 2.5 | 190.0 | 835.26 | 103.0 | 465.58 | 80.0 | 367.85 |
| 3.2 | 201.0 | 882.0 | 130.0 | 580.3 | 88.0 | 401.8 |
| 3.8 | 240.0 | 1047.7 | 170.0 | 750.3 | 96.0 | 435.8 |
| 5.08 | 339.0 | 1468.4 | 217.0 | 950.0 | 124.0 | 554.8 |
| 7.6 | 450.0 | 1940.0 | 286.0 | 1243.2 | 157.0 | 695.0 |
| 10.16 | 562.0 | 2415.9 | 357.0 | 1544.9 | 174.0 | 767.3 |
| 12.7 | 621.0 | 2666.6 | 413.0 | 1782.8 | 192.0 | 843.8 |
| Carga [%] | 835.26 kgf. [61.4%] | | 465.58 kgf. [34.2%] | | 367.85 kgf. [27%] | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

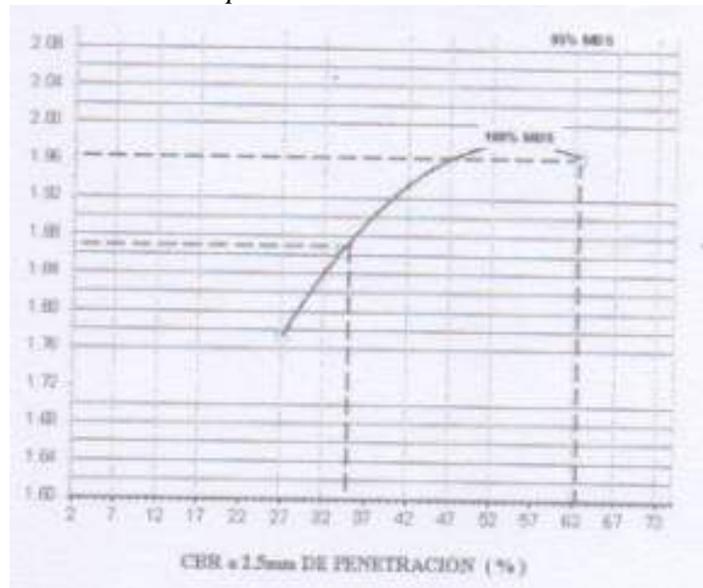
Tabla 35

Resumen de Resultados – C.B.R. – Experimental 4.00%

| Descripción | Resultado |
|---|------------------|
| Método De compactación | “C” |
| Máxima Densidad Seca (gr/ cm ³) | 1.964 |
| Optimo Contenido De Humedad (%) | 7.60 |
| CBR Al 100% De M.D.S (%) | 62.50 |
| CBR Al 95% De M.D.S (%) | 35.00 |

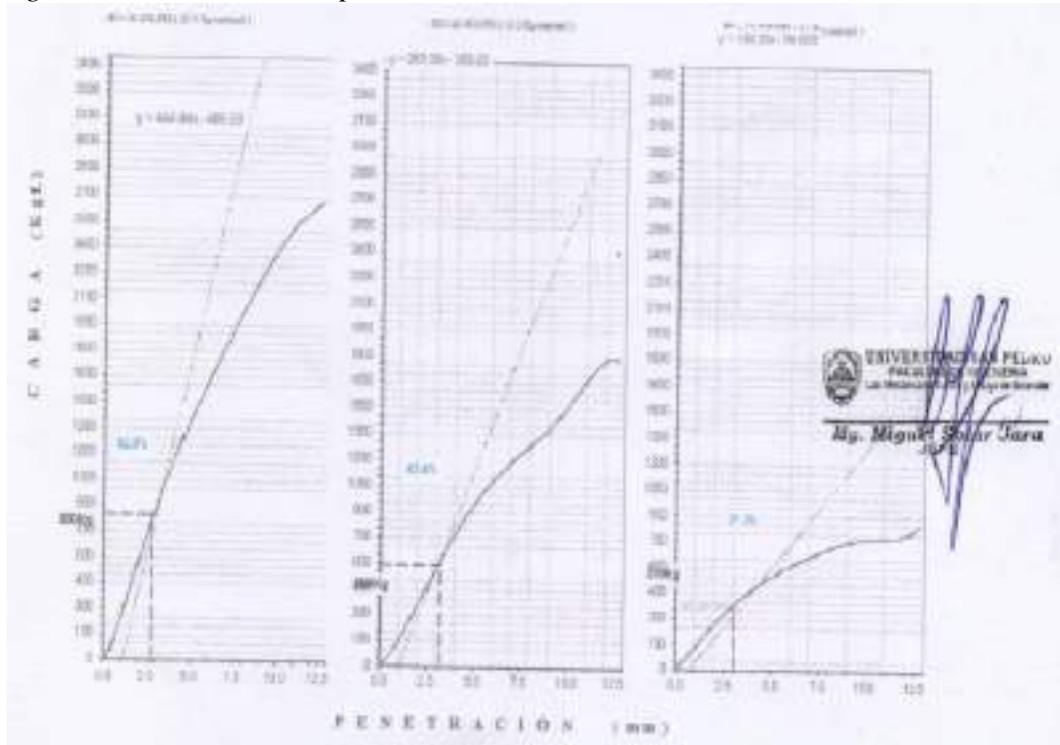
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 23
CBR A 0.1" de Penetración – Experimental 4.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 24
Carga Vs. Penetración – Experimental 4.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Límites de Atterberg - (Afirmado Patrón + 2%CBCA+2%CH) – Experimental 4.00%

Este ensayo se realizó según el procedimiento MTC – E110 (Determinación de Limite Líquido en Suelos) y procedimiento MTC – E111 (Determinación de Limite Plástico en Suelos e Índice de Plasticidad) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 36

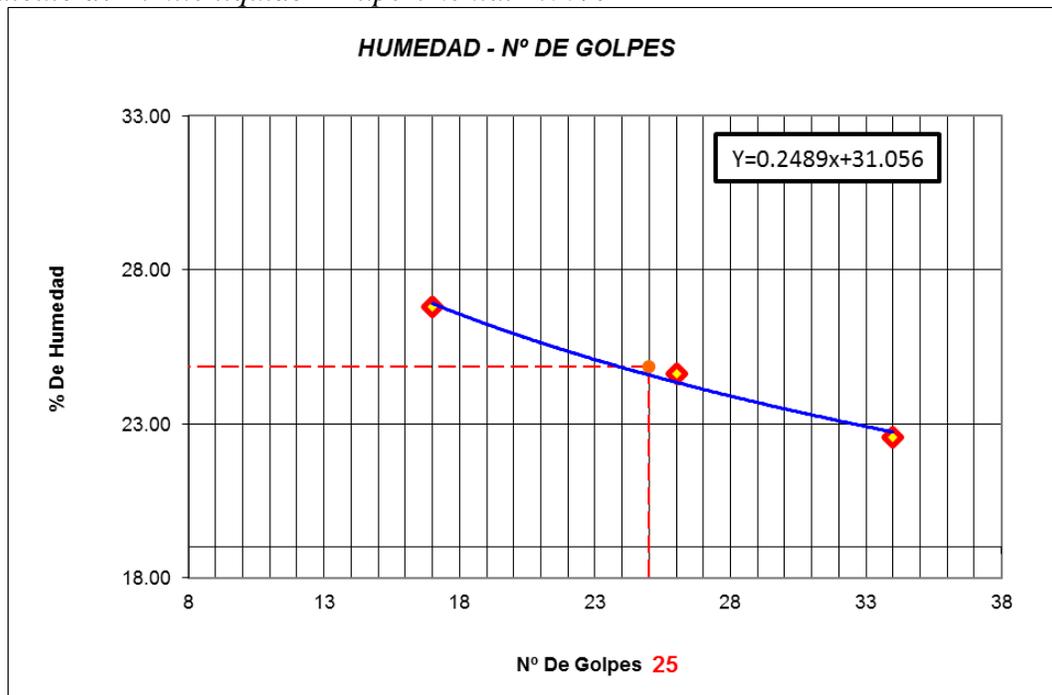
Ensayo de Limite Líquido – Experimental 4.00%

| Nº de Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 36.38 | 37.90 | 36.50 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 32.60 | 34.50 | 33.94 |
| Peso de Lata grs | 18.50 | 20.69 | 22.60 |
| Peso del Agua grs | 3.78 | 3.40 | 2.56 |
| Peso del Suelo Seco grs | 14.10 | 13.81 | 11.34 |
| % de Humedad | 26.81 | 24.62 | 22.57 |
| Numero de Golpes | 17 | 26 | 34 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Figura 25

Calculo de Limite líquido – Experimental 4.00%



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 37*Ensayo de Limite Plástico – Experimental 4.00%*

| Nº de Ensayo | 1 | 2 | 3 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Peso del Suelo Húmedo + Lata grs | 22.40 | 24.90 | 16.80 |
| Peso del Suelo Seco + Lata grs | 21.90 | 24.44 | 16.46 |
| Peso de Lata grs | 18.80 | 21.49 | 14.40 |
| Peso del Agua grs | 0.50 | 0.46 | 0.34 |
| Peso del Suelo Seco grs | 3.10 | 2.95 | 2.06 |
| % de Humedad | 16.13 | 15.59 | 16.50 |
| Limite Plástico | | 16.08 | |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Tabla 38*Resultados Limites de Atterberg – Experimental 4.00%*

| Ensayo | Resultado |
|------------------------------|-----------|
| Límite Líquido (%) | 24.88 |
| Límite Plástico (%) | 16.08 |
| Índice de Plasticidad Ip (%) | 8.80 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales - USP

Resumen General de Resultados – Experimental 4.00%**Tabla 39***Resumen de Resultados – Experimental 4.00%*

| MEZCLA | (%) DE ADICION DE CBCA - CH | ENSAYOS REALIZADOS | | | | | | | CBR (%) |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------|----------------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|------------|
| | | GRANULOMETRIA | | LIMITES ATTERBERG | | | PROCTOR MODIFICADO (gr/cm3) | | |
| | | SUCS | AASHTO | L.L | L.P. | I.P. | RESULTADO (gr/cm3) | C.O.H. (%) | |
| | | | | | | | | | |
| AF+CBCA+CH (EXPERIM.) | 4 | SP-CL | A-2(6) | 24.88 | 16.08 | 8.80 | 1.964 | 7.60 | 62.50 |

Fuente: Elaboración propia

Comparación de Resultados Obtenidos con solicitudes exigidas por el MTC para materiales a utilizar en pavimentos (Afirmado patrón adicionando ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CAL H. y 2%CBCA+2%CAL H.)).

De los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados se realiza una comparación para ver si se encuentran dentro de los parámetros que exige la normativa del MTC en cuanto a los materiales granulares a ser utilizados con fines de pavimentación.

Tabla 40

Resumen de Resultados – Patrón - Experimental 3.00% - Experimental 4.00%

| MEZCLA | (%) DE ADICION DE CBCA - CH | ENSAYOS SOLICITADOS POR MTC | | | | | | | CBR (%) |
|--|---|-----------------------------|-----------|----------------------|-------|------------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| | | GRANULOMETRIA | | LIMITES ATTERBERG | | | PROCTOR MODIFICADO (gr/cm3) | | |
| | | SUCS | AASHTO | LL | L.P. | I.P. | RESULTADO (gr/cm3) | C.O.H. (%) | |
| AF+CBCA+CH (PATRON) | 0 | SP-CL | A-2(6) | 34.40 | 22.67 | 11.73 | 2.020 | 8.80 | 50.00 |
| AF+CBCA+CH (EXPERIM.) | 3 | SP-CL | A-2(6) | 28.90 | 18.97 | 9.93 | 1.997 | 7.40 | 55.10 |
| AF+CBCA+CH (EXPERIM.) | 4 | SP-CL | A-2(6) | 24.88 | 16.08 | 8.80 | 1.964 | 7.60 | 62.50 |
| NORMATIVA AFIRMADO SECCION 301 MTC - 2013 | ---- | ----- | A-1 / A-2 | 35 % Max. | ----- | 4-9 % Max. | ----- | ----- | 40 % Min. |
| NORMATIVA SUB-BASE SECCION 301 MTC - 2013 | ---- | ----- | A-1 | 25 % Max. | ----- | 6 % Max. | ----- | ----- | 40 % Min. |

Fuente: Elaboración propia

Análisis y Discusión

ATD para determinar la temperatura de calcinación del Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).

De la figura N° 9 (Análisis Termo gravimétrico) se percibe dos importantes pérdidas de la masa según el aumento de la temperatura(deshidratación), el primero entre 90 y 130 °C y el segundo entre 250 y 340°C, luego del cual la pérdida de masa se torna lento hasta alcanzar los 880°C que pierde aproximadamente el 85% de su masa inicial.

De la figura N° 10 (Análisis calorimétrico) la curva muestra un pico endotérmico a aproximadamente 125°C lo que significa que se inicia el proceso de transición (de estado natural al cambio estructural), se genera la fusión de componentes estructurales con una reacción endotérmica entre 380 y 400°C. Posteriormente a 420°C se muestra el proceso de degradación del material.

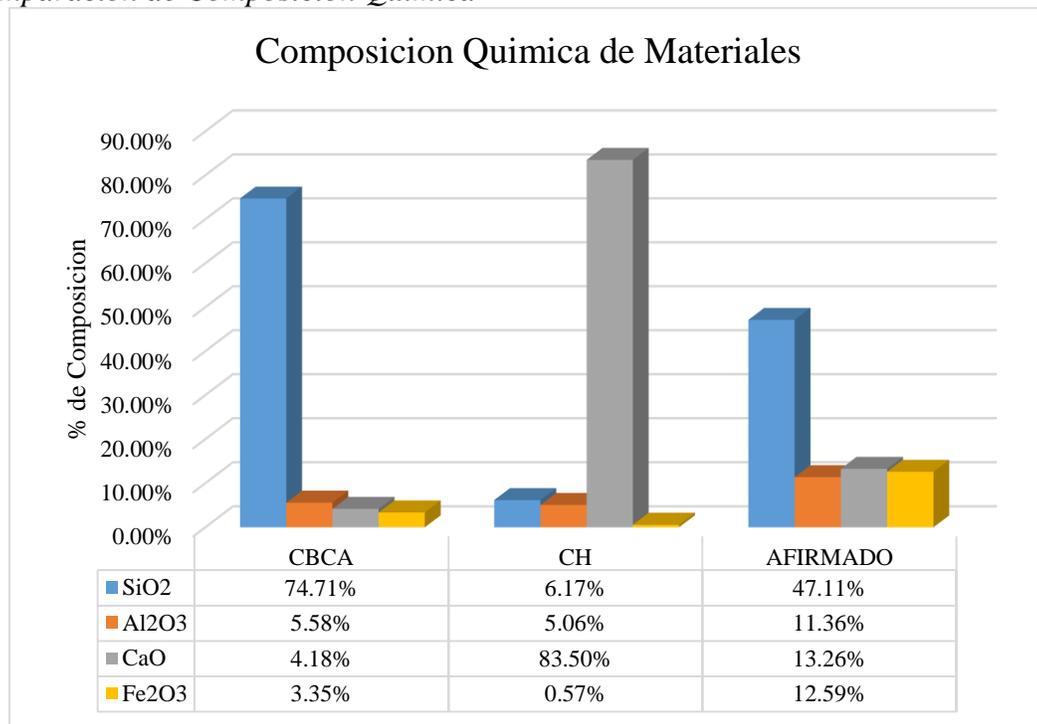
Según la tesis de **Carrasco, D. (2017)**. *“Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa - 2017”* De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que si es posible dar la estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar ya que mediante los ensayos realizados con las muestras del suelo del tramo de moro a Virahuanca podemos concluir que si mejora sus propiedades. En la presente tesis la muestras de BCA fueron calcinadas con una temperatura de 400°C.Mientras en la tesis de comparación las muestras de BCA necesitaron una temperatura de 450°C.Esto se puede atribuir a la composición química de cada muestra.

Composición química de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar(CBCA), Cal Hidratada(CH) y Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarney(AF), mediante la Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Para el análisis de los resultados obtenidos mediante el ensayo de FRX a los materiales se presenta el siguiente gráfico:

Figura 26

Comparación de Composición Química



Fuente: Elaboración propia

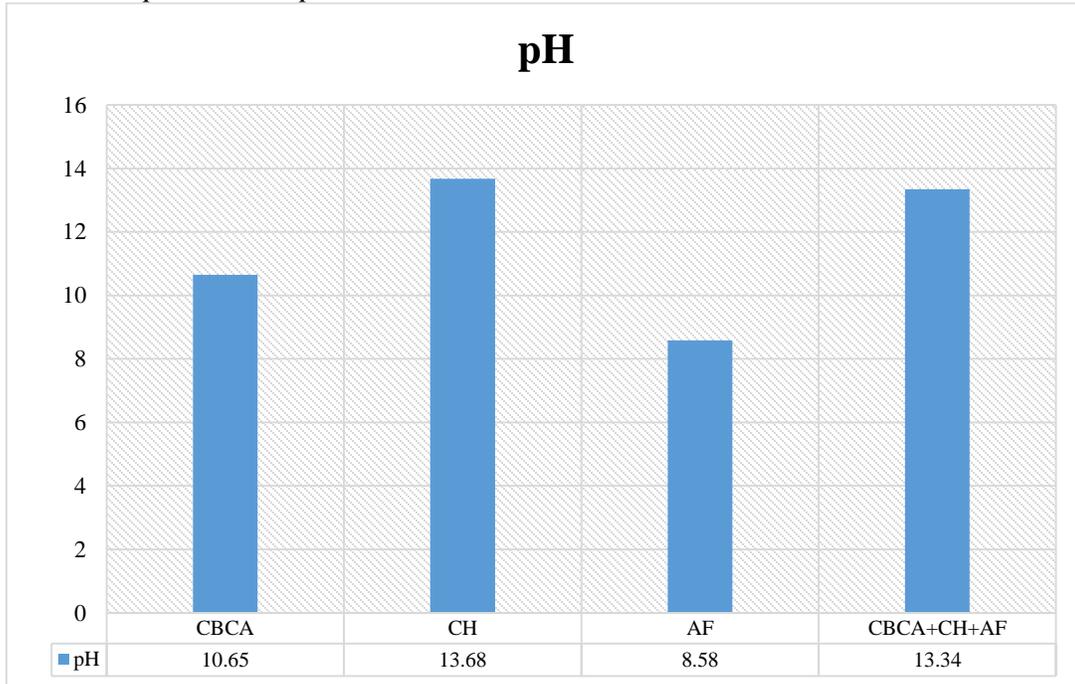
De la figura N° 26, se puede verificar que para la CBCA el óxido predominante es (SiO₂=74.705%), para la muestra de CH como principal óxido (CaO=83.503%) y en el AF los elementos de mayor relevancia son (SiO₂=47.105% - CaO=13.260% - Fe₂O₃=12.580%- Al₂O₃=11.36%).

Se puede observar que todas las muestras contienen óxidos de aluminio, calcio, silicio y hierro siendo esto un indicativo que las muestras estudiadas en combinación podrían tener propiedades puzolánicas.

**pH de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la
Cantera Tres Piedras – Huarmey.**

Figura 27

Análisis comparativo de pH



Fuente: Elaboración propia

De la figura N° 27, Se puede observar que los indicadores pH de CBCA (11.58), CH(13.34) , AF(8.36) y CBCA+CH+AF(13.34),están en el rango de alcalinidad con lo que se puede deducir que la adición de CBCA y CH al afirmado patrón generó el aumento del pH de este, lo que a su vez desarrolla la disolución de la sílice, calcio, hierro y el aluminio de los minerales arcillosos del suelo que, combinándose con los cationes libres de calcio y sílice producen silicatos hidratados de calcio(CSH), aluminatos hidratados de calcio (CAH) y sílicoaluminatos hidratados de calcio (CASH). Estos productos forman un gel que cementa las partículas del suelo, proceso que continúa transcurriendo siempre y cuando exista disponibilidad de sílice y cal en el suelo.

Propiedades mecánicas y físicas del afirmado Patrón y afirmado experimental (Cantera 3 Piedras –Huarney), adicionando ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada en sus dosificaciones de (1%CBCA+2%CAL H. y 2%CBCA+2%CAL H.)

Granulometría – Afirmado Patrón

De la tabla N° 9, se verifica que la distribución de partículas que componen el afirmado patrón, está dentro de los parámetros que exige el MTC para ser considerado como material de afirmados para vías no pavimentadas. Graduación A-2 (Afirmado – Especificaciones Técnicas MTC).

Se puede apreciar de la tabla N° 16, que el afirmado patrón según SUCS tiene una clasificación SP-CL (Arena pobremente graduada con arcillas de baja plasticidad).

Límites de Atterberg

Afirmado Patrón

Se puede apreciar de la tabla N° 15, que el afirmado patrón tiene un límite líquido (L.L.) de 34.40% y un índice de plasticidad (I.P.) de 11.73%, resultados que están fuera de los parámetros que exige el MTC de acuerdo a la tabla N° 43 para ser considerado como material a utilizar con fines pavimentación.

Estos resultados se deben a que el afirmado estudiado contiene en su estructura granulométrica arcillas de baja plasticidad en concordancia con la clasificación SUCS la cual indica que el suelo estudiado es SP-CL (Arena pobremente graduada con arcillas de baja plasticidad).

Con lo que se deduce que la arcilla contenida en el afirmado pasa del límite sólido al límite líquido con una alta cantidad de agua por lo que se necesita la incorporación de materiales que generen la acción puzolánica para controlar los límites de atterberg.

Afirmado Cantera 3 Piedras + 1.00 % de CBCA + 2.00% de CH - 3.00%

Se puede apreciar de la tabla N° 32, que el afirmado experimental con la adición de

3.00% (1.00% CBCA-2.00%CH) tiene un límite líquido (L.L.) de 28.29% y un índice de plasticidad (I.P.) de 9.93%, resultados que están fuera de los parámetros que exige el MTC para ser considerado como material a utilizar con fines pavimentación.

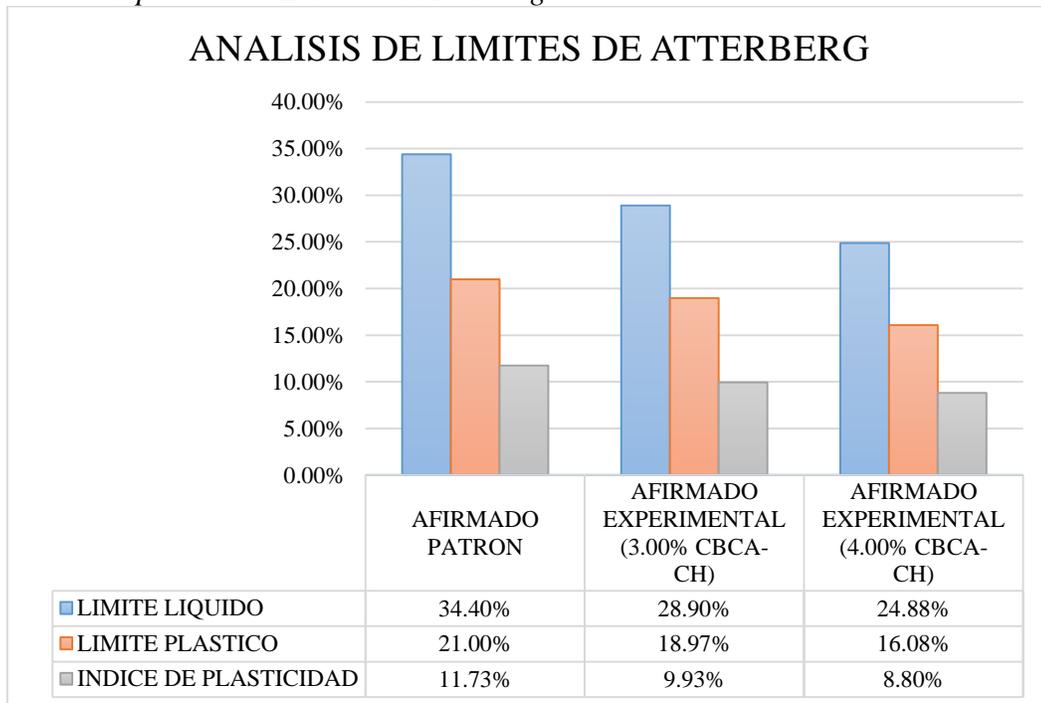
Afirmado Cantera 3 Piedras + 2.00 % de CBCA + 2.00% de CH - 4.00%

Se puede apreciar de la tabla N° 41, que el afirmado experimental con la adición de 4.00% (2.00% CBCA-2.00%CH) tiene un límite líquido (L.L.) de 24.88% y un índice de plasticidad (I.P.) de 8.80%, resultados que están dentro de los parámetros que exige el MTC para ser considerado como material a utilizar con fines pavimentación.

Análisis General de los Límites de Atterberg

Figura 28

Análisis Comparativo – Límites de Atterberg



Fuente: Elaboración propia

De la figura N° 28, se puede analizar que la variación de resultados entre el afirmado patrón y los experimentales, disminuye a medida que se incrementa la proporción de adición de CBCA-CH.

El fenómeno que se presenta para generar los cambios en los límites de Atterberg es debido al proceso de coagulación o floculación de las partículas del suelo y los componentes adicionados (CBCA-CH) formando nuevos productos químicos. Los principales componentes que reaccionan con el suelo son CaO (Oxido de Calcio) el cual está contenido en su mayoría en la cal hidratada y el SiO₂ (Dióxido de Silicio) el cual se encuentra en la CBCA. Este hecho conocido como “acción puzolanica” el cual depende de ciertas variables como clase de arcilla que compone el afirmado y cantidad adicionada de CBCA y CH.

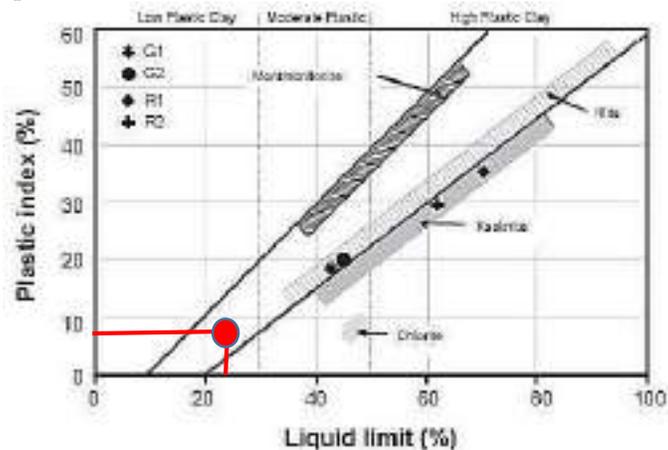
Clasificación de Suelo (AASHTO-SUCS)

De la tabla 16, se puede analizar que según la clasificación SUCS tenemos un suelo de clasificación SP-CL (Arena pobremente graduada con arcillas de baja plasticidad).

Así mismo de los datos de la tabla mencionada podemos determinar la clasificación de la arcilla que es parte de la composición de nuestro afirmado con el diagrama de Holtz y Kovacs.

Figura 29

Clasificación de tipo de arcilla



De la figura N° 29 se puede observar que la arcilla que compone el afirmado es de tipo illita lo que indica es un material que en su composición la predominancia es la sílice(silicato) y es una arcilla no expansiva.

De la tabla N° 17, se puede analizar que según la clasificación AASTHO tenemos un suelo de clasificación A-2(6) la cual está dentro de los parámetros que exige el MTC para ser considerado como material de afirmados para vías no pavimentadas. Graduación A-2 (Afirmado – Especificaciones Técnicas MTC - Carreteras de Segunda Clase y Trochas Carrozables).

Proctor Modificado

Afirmado Patrón

De la tabla 20, se puede verificar que, para la muestra de afirmado patrón, se obtuvo una máxima densidad seca (M.D.S.) de 2.020 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 8.80 %.

Afirmado Cantera 3 Piedras + 1.00 % de CBCA + 2.00% de CH – (3.00%)

De la tabla 27, se puede verificar que, para la muestra de afirmado experimental, se obtuvo una máxima densidad seca (M.D.S.) de 1.997 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 7.40 %.

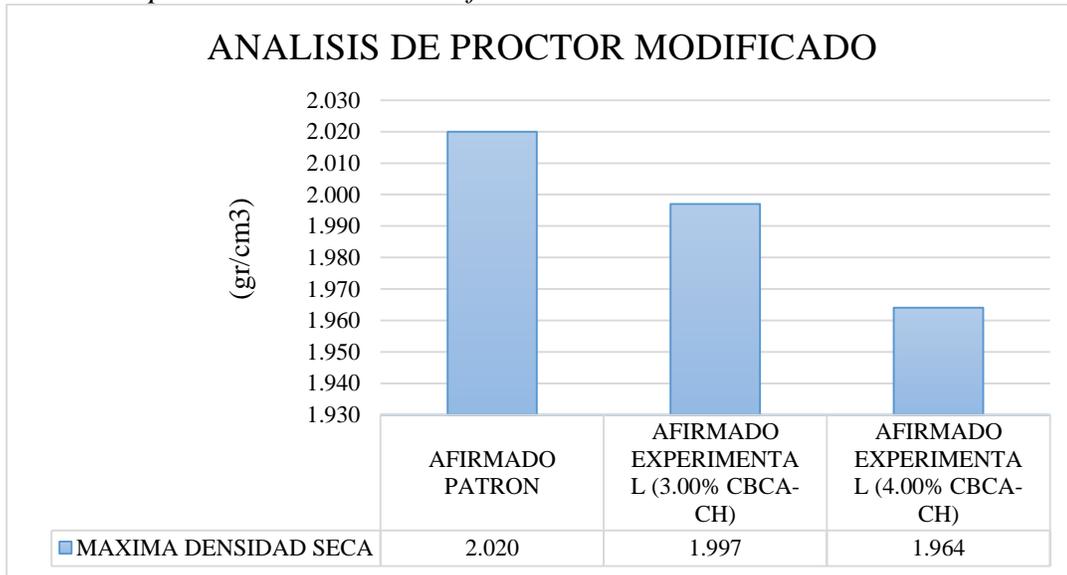
Afirmado Cantera 3 Piedras + 2.00 % de CBCA + 2.00% de CH – (4.00%)

De la tabla 36, se puede verificar que, para la muestra de afirmado experimental, se obtuvo una máxima densidad seca (M.D.S.) de 1.964 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 7.60 %.

Análisis y Discusión del Proctor Modificado

Figura 30

Análisis Comparativo – Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la densidad del afirmado con adición de CBCA-CH es debido a los cambios producidos por la aglomeración de las partículas y reacciones químicas que se manifiestan, se genera una disminución del 2.77% del peso volumétrico seco máximo de la mezcla Afirmado+1.00%CBCA+2.00%CH y del 3.90% de la mezcla Afirmado+2.00%CBCA+2.00%CH respecto a la del Afirmado natural, esto según los resultados obtenidos en esta investigación.

La disminución notada en la densidad puede atribuirse al efecto generado de la cal hidratada sobre la textura del afirmado.

En efecto, el resultado que la adición de cal hidratada y CBCA aumente la capacidad de resistencia de un suelo mientras reduce su densidad no debe sorprender. En el caso específico de un material la resistencia comúnmente aumenta con la densidad. Sin embargo, cual algún agente químico, tal como la cal, es incorporado a un suelo natural se forma un material de nuevas características, por lo que este puede poseer propiedades

físicas y químicas enteramente diferentes que el afirmado patrón, por lo tanto, este nuevo afirmado modificado tiene su densidad máxima particular la cual puede tener mayor resistencia que el afirmado no tratado, aunque este se encuentre más densificado.

De acuerdo a los ensayos realizados **Carrasco, D. (2017)**, concluye que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo arcilloso con adición de ceniza caña de azúcar alcanzo un valor de 1.75gr/cm³, el cual demuestra que la máxima densidad seca con adición estuvo por encima de la densidad seca del patrón que normalmente llega a 1.66gr/cm³, lo que representa una mejora en sus propiedades mecánicas a través de la compactación.

En nuestro caso la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo con de 4.00% adición de ceniza caña de azúcar y cal hidratada alcanzo un valor de 1.964 gr/cm³ la cual disminuyo con respecto al patrón la cual se obtuvo un valor de 2.020 gr/cm³. esto debido a las reacciones químicas que genera la cal.

Valor de Relación Soporte (C.B.R.)

Afirmado Patrón

De la tabla 22, se puede verificar que, para la muestra de afirmado patrón, se obtuvo un valor de C.B.R. 50.00 % referido al 100% de su máxima densidad seca (M.D.S.) de 2.020 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 8.80 %.

Afirmado Cantera 3 Piedras + 1.00 % de CBCA + 2.00% de CH - 3.00%

De la tabla 29, se puede verificar que, para la muestra de afirmado patrón, se obtuvo un valor de C.B.R. 55.10 % referido al 100% de su máxima densidad seca (M.D.S.) de 1.997 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 7.40 %.

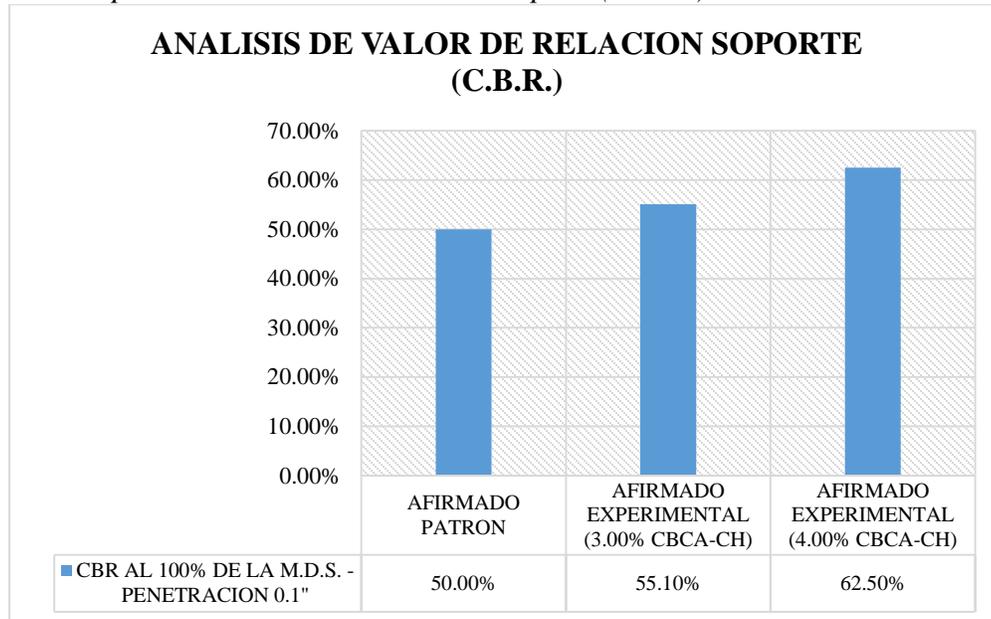
Afirmado Cantera 3 Piedras + 2.00 % de CBCA + 2.00% de CH - 4.00%

De la tabla 38, se puede verificar que, para la muestra de afirmado patrón, se obtuvo un valor de C.B.R. 62.50 % referido al 100% de su máxima densidad seca (M.D.S.) de 1.964 g/cm³ con un óptimo contenido de humedad (O.C.H.) de 7.60 %.

Análisis y Discusión de Valor de Relación Soporte (C.B.R.)

Figura 31

Análisis Comparativo – Valor de Relación Soporte(C.B.R.)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo de valor de relación de soporte del afirmado con adición de CBCA-CH es debido a las modificaciones producidas por la acumulación de las partículas y cambios químicos que se presentan, se generan un aumento del 5.10 % del valor de CBR de la mezcla Afirmado+1.00%CBCA+2.00%CH y del 12.50 % de la mezcla Afirmado+2.00%CBCA+2.00%CH respecto a la del Afirmado natural.

De la figura 31, se puede analizar que la variación de resultados del ensayo de valor de relación de soporte entre el afirmado patrón y los afirmados experimentales muestran un aumento significativo, debido a que el afirmado estudiado contiene en su estructura importantes cantidades de sílice (SiO₂ = 47.10%), alúmina (Al₂O₃ = 11.36%), calcio

(CaO = 13.26%) y otros elementos como el hierro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 12.58\%$), magnesio, etc. Estos elementos que presenta el afirmado patrón se complementan con la adición de CBCA que a su vez contiene como elemento principal sílice ($\text{SiO}_2 = 74.70\%$) y CH que tiene como elemento esencial calcio (CaO = 83.50 %). Estas circunstancias hacen posibles que la combinación de los materiales (Afirmado+CBCA+CH) en mención más el correcto incremento de contenido de humedad activen las propiedades puzolánicas. Las propiedades se fundamentan en que bajo condiciones de pH altos (Alcalinidad) provocan un efecto consistente en la reacción del calcio con la sílice y alúmina para producir productos cementantes aumentando la capacidad de soporte al corte por fuerzas externas aplicadas del afirmado estudiado. En el caso de la mezcla de la sílice y alúmina que vienen de las partículas de arcilla y CBCA al entrar en contacto con la cal, que proporciona el medio básico, lleva a formar silicatos y aluminatos de calcio hidratados. Se generan productos similares a los que se presentan durante el fraguado del cemento portland.

Behak, L., y Peres, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41. El objetivo fue estudiar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas, procurando encontrar una solución económica para pavimentos de bajo volumen de tránsito y resolver el problema ambiental de la disposición de la ceniza residual de la quema de la cáscara de arroz. Concluyendo lo siguiente se observó un importante aumento del CBR de la mezcla de suelo con 20% de CCA y 10% de cal, con 28 días de cura, respecto al del suelo natural. El valor de CBR obtenido para la mezcla fue de 25%, lo que permite afirmar que el material así producido podría ser empleado como capa de subbase de pavimentos.

Con respecto al artículo presentado por Behak, L., y Peres, W. , en nuestra tesis se

concluye que para cada tipo de suelo es necesario evaluar el porcentaje de material a adicionar según sus características y normas del país donde se aplicara . Se difiere en cuanto al porcentaje de cal adicionado, ya que en nuestra tesis adicionamos el 2% de CH obteniendo el mismo incremento de CBR (12.50%) en nuestro afirmado patrón.

Carrasco, D. (2017), concluye que el suelo arcilloso se logra estabilizar con la adición al 35% de ceniza de caña de azúcar, en relación al peso seco de la muestra del suelo y el óptimo contenido de humedad, alcanzando un CBR al 16.21%. La muestra patrón no es favorable pues su baja resistencia en comparación alcanza un valor de 4.16% de CBR.

En nuestra tesis la adición de CBCA y CH aumentan el valor de soporte del suelo de 50.00%(patrón) a 62.50%(CBCA-CH 4.00%) en comparación con la tesis de referencia el C.B.R. se incrementó en un 12.50% lo cual indica que se mejora esta propiedad.

Conclusiones

Para el presente estudio se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas del afirmado de la cantera Tres Piedras ubicada en la localidad de Huarmey, adicionando la combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal hidratada en un 3% y 4%, con los fines de su uso en pavimentación, según los requerimientos de calidad solicitados por el MTC. Los procedimientos utilizados fueron los que establece el Manual de Ensayo de Materiales – MTC concluyendo lo siguiente:

Del Objetivo General

La adición del 4.00% de la combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar (2.00%-CBCA) y cal hidratada (2.00%-CH) en el afirmado de la cantera 3 piedras- Huarmey, mejoran óptimamente las propiedades físico-mecánicas del mismo, mostrando incremento de la capacidad de soporte (C.B.R.) hasta en un 12.50% con respecto al suelo

original, a su vez se logró disminuir los límites de Atterberg (Índice de Plasticidad) de 11.73 % a 8.80%. Mejoras que son fundamentales para que el afirmado estudiado se encuentre en el rango de solicitudes técnicas que exige el MTC (Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos – Sección 301) para ser utilizado como **AFIRMADO** en vías no pavimentadas.

Esta investigación ha conllevado a solucionar el problema que se presenta como la falta de material granular natural que cumpla con las características exigidas por el MTC, para la construcción de pavimentos en vías locales de Huarmey. Por lo tanto, estaría dando una alternativa de solución sustentable con la utilización de nuevos materiales.

De los Objetivos Específicos

Ensayo de ATD para determinar la temperatura de calcinación del Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).

Se concluye que:

- La fusión de componentes estructurales de la muestra de BCA se da entre los 380°C y 400°C (activación térmica).
- Es necesario que la muestra de BCA se encuentre durante 4 horas a una temperatura de 400°C para su activación térmica.

Composición química de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarmey, mediante la Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Se concluye que:

- El óxido predominante para la CBCA es el DiÓxido de Silice ($\text{SiO}_2=74.705\%$).
- El óxido predominante para la CH es el Óxido de Calcio ($\text{CaO}=83.503\%$).
- Los óxidos predominantes para el AF son el DiÓxido de Silice, Óxido de Calcio, Trióxido de Hierro y Trióxido de Alumina ($\text{SiO}_2=47.105\%$ - $\text{CaO}=13.260\%$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.580\%$ - $\text{Al}_2\text{O}_3=11.36\%$).

- Todas las muestras contienen óxidos de alúmina, calcio, silicio y hierro siendo esto un indicativo que las muestras estudiadas en combinación generaron propiedades puzolánicas para mejorar las propiedades físico-mecánicas del afirmado de la cantera tres piedras.

pH de la ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Cal Hidratada y Afirmado de la Cantera Tres Piedras – Huarmey.

Se concluye que muestras estudiadas CBCA (pH = 10.65), CH (pH = 13.68) y AF (pH = 8.58), tienen un alto grado de alcalinidad, lo que favoreció en el desarrollo de la disolución del sílice, calcio, hierro y el aluminio, activándose la acción puzolanica en el afirmado de la cantera tres piedras.

Características físicas y mecánicas del afirmado Patrón (Cantera 3 Piedras – Huarmey) y características modificadas de Proctor Modificado, CBR y Límites de Atterberg con la adición de CBCA-CH en los porcentajes de 3.00% y 4.00%

De la Granulometría se concluye que:

El afirmado de la cantera Tres Piedras según AASTHO es un suelo Graduación A-2 Grava y Arena Limosa o Arcillosa de Aceptable a Mala, la cual está dentro de los parámetros de calidad que exige el MTC para utilizarse en carreteras no pavimentadas (Carreteras AFIRMADAS -Sección 301 – Especificaciones Técnicas MTC).

De Límites de Atterberg se concluye que:

El porcentaje de 3.00% de adición de la combinación de CBCA y CH, no mostró resultados satisfactorios para la muestra de afirmado estudiada, debido a que del grafico 20 se puede deducir que, tanto como el afirmado patrón y el afirmado experimental (3%) no están dentro de los parámetros en cuanto al límite líquido (L.L) que exige el MTC de acuerdo a la tabla N° 43 para ser considerado como material con fines de pavimentación (Afirmado).

Mientras que el porcentaje de 4.00% de adición de la combinación de CBCA y CH,

mostró resultados satisfactorios para la muestra de afirmado estudiada obteniendo un límite líquido (L.L) de 24.88% y un índice de plasticidad (IP) 8.88%, estos resultados están dentro del parámetro que exige el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para ser considerado como material a utilizar en pavimentos. (Ver Apéndice 01).

Del Valor de Relación de Soporte (C.B.R.) se concluye que:

La adición de CBCA y CH en el Afirmado de la cantera Tres Piedras, aumenta su capacidad de soporte, superando ampliamente las solicitudes técnicas exigidas por el MTC para su utilización en vías AFIRMADAS.

Los resultados del ensayo de valor de relación de soporte del afirmado con adición de CBCA-CH, genera un aumento del 5.10 % del valor de CBR, con la adición del 3.00% de la mezcla de CBCA-CH y del 12.50 % con la adición del 4.00% de la mezcla de CBCA-CH respecto a la del Afirmado natural.

De la figura 31, se concluye que todos los valores obtenidos del ensayo de valor de relación de soporte (C.B.R.) están dentro de los parámetros de calidad que exige el MTC, con respecto al material granular que se puede utilizar en carreteras no pavimentadas (Carreteras de Segunda Clase y Trochas Carrozables). CBR Min. 40.00 %. Referido al 100 % de la M.D.S. (Afirmado -Sección 301 – Especificaciones Técnicas MTC).

La mejora de la capacidad de soporte (CBR) del Afirmado de la cantera Tres Piedras está en relación al incremento de los porcentajes de sílice, calcio, alúmina y hierro que contienen la CBCA y CH.

Recomendaciones

Se recomienda modificar (aumentar) el porcentaje de adición de CBCA y CH de 4.00% a 6.00% y 8.00%, para incrementar las propiedades puzolanicas y así mejorar los límites de atterberg y cumplir con los parámetros exigidos por el MTC en cuanto a Bases y Subbases. (Ver Apéndice 02).

Se recomienda realizar los ensayos luego de un tiempo mayor de curado permanente a

las muestras de afirmado que fueron adicionadas con CBCA y CH, ya que según referencias bibliográficas este curado puede elevar el valor de relación de soporte (C.B.R.) de las muestras de afirmado experimentales. luego

Para finalizar cabe resaltar que esta investigación no agota el tema, se apertura una importante entrada al desarrollo de materiales alternativos para el sector construcción, por lo que se impulsa a continuar profundizando el estudio en esta línea de investigación, para lograr mayores y nuevos alcances sobre el tema planteado.

Referencias bibliográficas

- Behak, L., y Peres, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php>
- Calleja, J. (1968). Las Puzolanas. *ION*, 29-30 (1),340-351. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/revistas/rion/eaboutj.htm>
- Carrasco, D. (2017). *Estabilización de los Suelos Arcillosos Adicionando Cenizas de Caña de Azúcar en el Tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Chimbote, Perú.
- Cavana, M. (2017). *Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub – rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Huaraz, Perú.
- Cordeiro, C.G., y Kurtis, E.K. (2017). Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity. *Cement and Concrete Research*,97(6),41-49. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/journal/cement-and-concrete-research/vol/97/suppl/C>
- Crespo, V.C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=Db2SQbBHVPQC&printsec>
- Díaz, A., Carpio, M. y Chong, M. (2017) - *Prospección de recursos de rocas y minerales industriales en la región Ancash*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/551>
- Huezo, H, & Orellana, A. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en el salvador* (Tesis de pregrado – Ingeniero Civil). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos*. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013). Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Montejo, F.A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Recuperado de <https://www.libreriaingeniero.com/2018/02/ingenieria-de-pavimentos-para-carreteras-alfonso-montejo.html>
- Musso, M., Behak, L., y Piñeiro G. (2015). Selección de materiales para pavimentos usando mezcla de cal con cenizas de cáscara de arroz y de bagazo de caña de azúcar. *From Fundamentals to Applications in Geotechnics*, 15(1), 38-45. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?hl=en&lr=&id=DAxRCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Musso,+M.,+Behak,+L.>
- Norabuena, F. (2017). *Resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Huanroc-Macate* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada San Pedro, Chimbote, Perú.
- Valle, A. (2010) *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yasíferos*. (Tesis de Maestría en Caminos, Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Agradecimientos

Dedicatoria

A Dios

Por regalarme un proyecto sustentable para mi vida.

A mi Madre

Por ser el suelo de fundación en que toda estructura desearía edificarse.

A mi Hija

Por ser en mi vida esa mezcla perfecta entre ingeniería y arquitectura.

A mi Familia

Porque son las columnas confiables en la que descansan mis sueños.

Agradecimiento

A mis Docentes

Por haberme brindado sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi carrera, por haberme asesorado en la elaboración de la presente tesis y así poder aportar esta investigación a la sociedad.



SECCIÓN 301

Afirmados

Descripción

301.01

Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado) como superficie de rodadura de una carretera, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de canteras u otras fuentes. Incluye el suministro, transporte, colocación y compactación del material, en conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en el Proyecto y aprobados por el Supervisor, y teniendo en cuenta lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental.

Generalmente el afirmado que se especifica en esta sección se utilizará como superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas.

Materiales

301.02

Para la construcción de afirmados, con o sin estabilizadores, se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, establecidas en el Expediente Técnico y aprobadas por el Supervisor; así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias.

Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica,

terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Para el traslado del material de afirmado al lugar de obra, deberá humedecerse y cubrirse con lona para evitar emisiones de material particulado, que pudiera afectar a los trabajadores y poblaciones aledañas.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la [Tabla 301-01](#).

Tabla 301-01

| Tamiz | Porcentaje que pasa | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | A-1 | A-2 | C | D | E | F |
| 50 mm (2") | 100 | — | | | | |
| 37,5 mm (1½") | 100 | — | | | | |
| 25 mm (1") | 90-100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 19 mm (¾") | 65-100 | 80-100 | | | | |
| 9,5 mm (¾") | 45-80 | 65-100 | 50-85 | 60-100 | | |
| 4,75 mm (N.º 4) | 30-65 | 50-85 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 |
| 2,0 mm (N.º 10) | 22-52 | 33-67 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 |
| 425 µm (N.º 40) | 15-35 | 20-45 | 15-30 | 25-45 | 20-50 | 30-70 |
| 75 µm (N.º 200) | 5-20 | 5-20 | 5-15 | 5-20 | 6-20 | 8-25 |

Fuente: AASHTO M-147

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1" (2,5 mm)

Equipo

301.03

Según lo indicado en la [Subsección 400.03](#).



Requerimientos de construcción

301.04 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Según lo indicado en la [Subsección 400.04](#).

301.05 Preparación de la superficie existente

El material de afirmado se descargará cuando se compruebe que la plataforma sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva deberán ser corregidas.

301.06 Transporte y colocación del material

El Contratista deberá transportar y depositar el material de modo, que no se produzca segregación, evitando los derrames de material y por ende la contaminación de fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar, ni cause daño a las poblaciones aledañas.

La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase los 1.500 m del lugar de los trabajos de mezcla, conformación y compactación del material.

301.07 Extensión, mezcla y conformación del material

El material se dispondrá en un cordón de sección uniforme, donde será verificada su homogeneidad. Si es necesario construir combinando varios materiales, se mezclarán formando cordones separados para cada material en la vía, que luego se unirán para lograr su mezclado. Si fuere necesario humedecer o airear el material, para lograr la humedad de compactación, el Contratista empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje una humedad uniforme en el material. Después de mezclado, se extenderá en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos.

301.08 Compactación

Cuando el material tenga la humedad apropiada, se compactará con el equipo aprobado hasta lograr la densidad especificada. En áreas inaccesibles a los rodillos, se usarán apisonadores mecánicos hasta lograr la densidad requerida.



La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior.

No se extenderá ninguna capa de material, mientras no se haya realizado los controles topográficos y de compactación aprobados por el Supervisor en la capa precedente.

En esta actividad se tomarán los cuidados necesarios para evitar derrames de material que puedan contaminar las fuentes de agua, suelo y flora cercana al lugar de compactación. Los residuos generados por esta y las actividades mencionadas anteriormente, deben ser colocados en los depósitos de materiales excedentes, según se indica en la [Sección 209](#).

301.09 Apertura al tránsito

Sobre las capas en ejecución se prohibirá la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no fuere posible, el tránsito que necesariamente tenga que pasar sobre ellas se distribuirá en forma tal que no se concentren huellas de rodaduras en la superficie.

301.10 Aceptación de los trabajos

a. Controles

Según lo indicado en la [Subsección 400.07](#)

b. Calidad de los materiales

De cada procedencia de los materiales a utilizarse y para cualquier volumen previsto se tomarán, cuatro muestras para los ensayos y frecuencias que se indican en la [Tabla 301-02](#).

Tabla 301-02
Ensayos y Frecuencias

| Material o producto | Propiedades y Características | Método de ensayo | Norma ASTM | Norma AASHTO | Frecuencia (1) | Lugar de muestreo |
|---------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|--------------|-----------------------------|-------------------|
| Afirmado | Granulometría | MTC E 204 | C 136 | T27 | 1 cada 750 m ³ | Cantera (2) |
| | Límites de Consistencia | MTC E 111 | D 4318 | T89 | 1 cada 750 m ³ | Cantera (2) |
| | Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | C 131 | T96 | 1 cada 2.000 m ³ | Cantera (2) |
| | CBR | MTC E 132 | D 1883 | T193 | 1 cada 2.000 m ³ | Cantera (2) |
| | Densidad-Humedad | MTC E 115 | D 1557 | T180 | 1 cada 750 m ² | Pista |
| | Compactación | MTC E 117 MTC E 124 | D 1556 D 2922 | T191 T238 | 1 cada 250 m ² | Pista |

Notas:

- (1) O antes, sí por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad o característica.
- (2) Material preparado previo a su uso.

Los resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas en la [Subsección 301.02](#).

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los materiales que presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

c. Calidad del trabajo terminado

Los trabajos de afirmado terminados deberán presentar una superficie uniforme y ajustarse a las dimensiones, rasantes y pendientes establecidas en el Proyecto. La distancia entre el eje del Proyecto y el borde de la berma, no será inferior a la señalada en los planos. Este, además, deberá efectuar las siguientes comprobaciones:

1. Compactación

Las determinaciones de la densidad de la capa compactada se realizarán de acuerdo a lo indicado en la [Tabla 301-02](#) y los tramos



por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de 6 determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, con la aprobación del Supervisor.

Las densidades individuales (D_i) deberán ser, como mínimo el 100% de la densidad obtenida en el ensayo Próctor Modificado de referencia (MTC E 115).

$$D_i \geq D_e$$

La humedad de trabajo no debe variar en $\pm 2,0\%$ con respecto del Óptimo Contenido de Humedad, obtenido con el Próctor Modificado.

En caso de no cumplirse estos términos se rechazará el tramo.

Siempre que sea necesario, se efectuarán las correcciones por presencia de partículas gruesas, previamente al cálculo de los porcentajes de compactación.

La densidad de las capas compactadas, podrá ser determinada por cualquier método aplicable, de los descritos en las normas de ensayo MTC E 117, MTC E 124.

2. Espesor

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d$$

Además el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, cuando menos, igual al 95% del espesor del diseño, en caso contrario se rechazará el tramo controlado.

$$e_i \geq 0,95 e_d$$

Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación sobrepasen las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.

3. Rugosidad

La rugosidad de la superficie afirmada, se medirá en unidades IRI, la que no deberá ser superior a 5 m/km.



Medición

301.11

Según lo indicado en la [Subsección 400.08](#).

Pago

301.12

El pago se efectuará, según lo indicado en la [Subsección 400.10](#).

| Partida de pago | Unidad de pago |
|------------------------|--------------------------------|
| 301.A Afirmados | Metro cúbico (m ³) |



Trujillo, 06 de febrero del 2020

INFORME N° 76 - FEB-20

Solicitante: Henry Francis Carpio Salazar – Universidad San Pedro

RUC/DNI: 47486907

Supervisor:

1. MUESTRA: Bagazo caña de azúcar (1.0 gr)

| N° de Muestras | Código de Muestra | Cantidad de muestra ensayada | Procedencia |
|----------------|-------------------|------------------------------|-------------|
| 1 | BCA-76F | 21.5 mg | |

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 850 °C.
- Masa de muestra analizada: 21.5 mg.

Jefe de Laboratorio:

Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable:

Ing. Danny Chávez Novoa



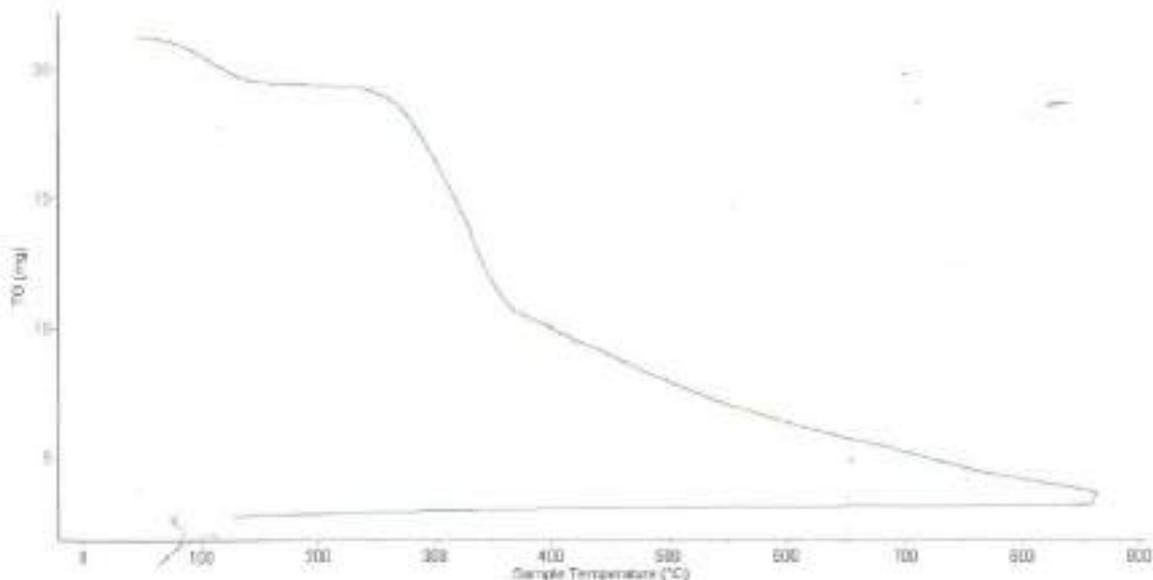


Trujillo, 06 de febrero del 2020

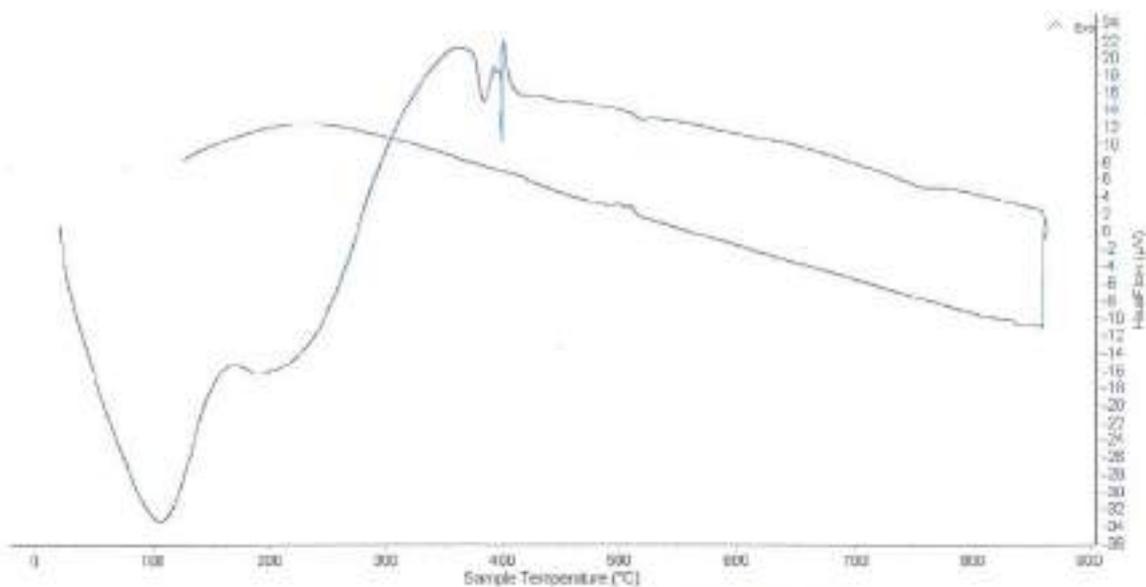
INFORME N° 76 - FEB-20

4. Resultados:

I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II- Curva Calorimétrica ATD



[Handwritten signature]



Trujillo, 06 de febrero del 2020

INFORME N° 76 - FEB-20

5. CONCLUSION:

1. Según el análisis termogravimétrico se muestra dos importantes pérdidas del material conforme se aumenta la temperatura, la primera evidencia se da en el rango entre 90 y 130°C y la segunda pérdida, aún más intensa, se da entre 250 y 340°C, después del cual el material pierde masa muy lentamente hasta completar la temperatura del ensayo. Se identifica una pérdida total de aproximadamente 85% de la masa inicial cuando se alcanza la máxima temperatura del ensayo.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, se puede mostrar un pico de absorción térmica a 125°C, una banda térmica muy ligera en torno a 200-230°C, posteriormente algunos picos de absorción se dan entre 380 y 400°C, estos como consecuencia de algún posible cambio estructural y de las características en el material.

Trujillo, 06 de febrero del 2020




Ing. Danny Mesías Chávez Novoa
Jefe de Laboratorio de Polímeros
Departamento Ingeniería de Materiales - UNT



| CALCINACION DE MATERIALES | |
|---------------------------|------------------------------|
| SOLICITANTE | CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS |
| DESCRIPCION | BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR |

| DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO | |
|---|----------|
| TEMPERATURA | 400 °C |
| TIEMPO DE CALCINACION A TEMP. CONSTANTE | 4 horas |
| PESO INICIAL | 15.806 g |
| PESO FINAL | 6.670 g |
| PERDIDA DE MASA POR CALCINACION (%) | 57.8 % |



[Handwritten Signature]
 Jorge Alejandro Barrantes Villanueva
 ING. DE MATERIALES
 R. CIP. N° 197384



Informe N° 08 - LAQ/2020

Análisis de ceniza de bagazo de caña de azúcar por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de ceniza de bagazo de caña de azúcar a pedido del Sr. **Carpio Salazar, Henry Francis**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

"Mejoramiento de las Propiedades del Afirmado de la Cantero Tres Piedras Adicionando Cenizas de Bagazo de Caña de Azúcar y Cal Hidratada para Fines de Pavimentación."

La muestra está en la forma de grano fino de color negro.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 6060 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de ceniza de bagazo de caña de azúcar. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se forman en un proceso de calcinación. La concentración total de estos óxidos resulta ser ligeramente mayor



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

que 100%. Esto indica que puede contener compuestos diferentes de óxidos y/o existe una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición mineral de la muestra se recomienda utilizar el análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de ceniza de bagazo de caña de azúcar en % de masa.

| Óxido | Concentración % masa | Normalizado al 100% |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Al ₂ O ₃ | 5.974 | 5.581 |
| SiO ₂ | 79.964 | 74.705 |
| P ₂ O ₅ | 1.578 | 1.474 |
| SO ₂ | 2.146 | 2.005 |
| ClO ₂ | 0.386 | 0.360 |
| K ₂ O | 7.973 | 7.448 |
| CaO | 4.477 | 4.182 |
| TiO ₂ | 0.376 | 0.352 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.020 | 0.019 |
| MnO | 0.107 | 0.100 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.589 | 3.353 |
| Ni ₂ O ₃ | 0.007 | 0.007 |
| CuO | 0.325 | 0.304 |
| ZnO | 0.062 | 0.058 |
| SrO | 0.029 | 0.027 |
| Y ₂ O ₃ | 0.004 | 0.003 |
| ZrO ₂ | 0.008 | 0.008 |
| BaO | 0.016 | 0.015 |
| Total | 107.040 | 100.00 |

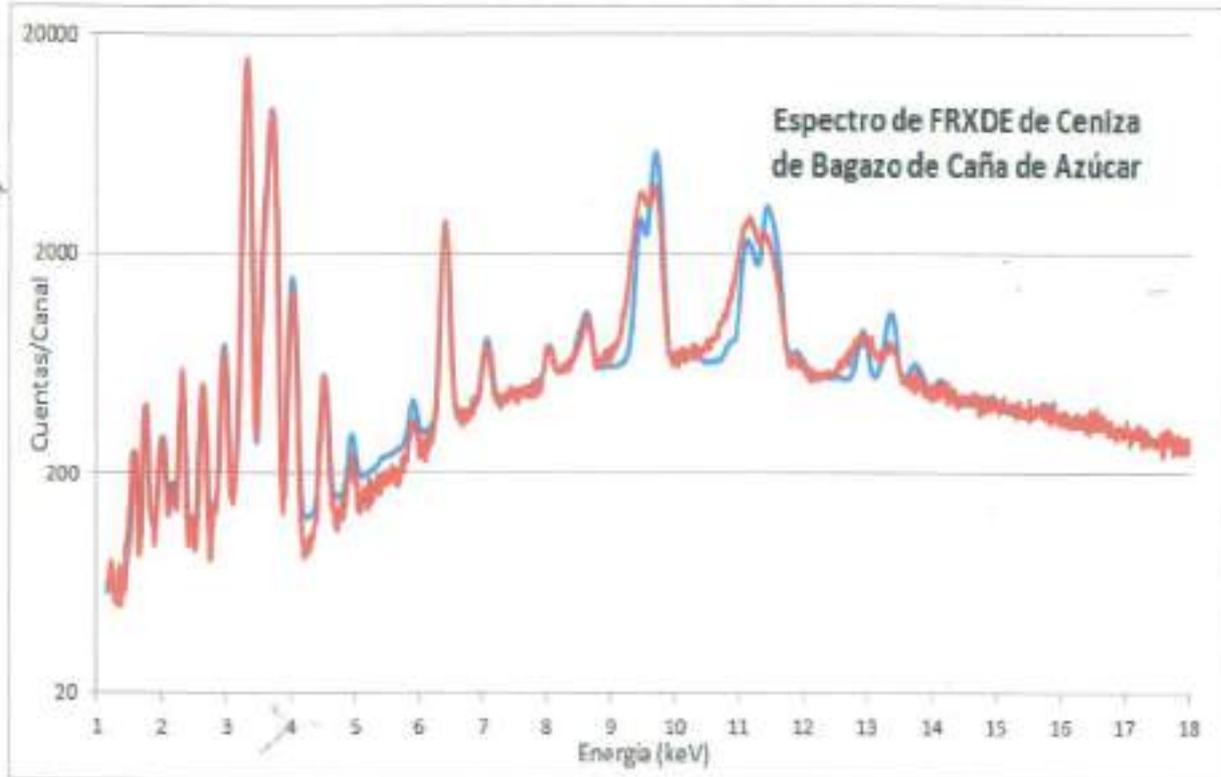


Figura 1. Espectro de FRXDE de ceniza de bagazo de caña de azúcar en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 13 de Febrero del 2020.



Informe N° 06 - LAQ/2020

Análisis de cal hidratada por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de cal hidratada a pedido del Sr. **Carpio Salazar, Henry Francis**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

**"Mejoramiento de las Propiedades del Afirmado de la Cantera Tres Piedras
Sustituyendo en 10% con Ceniza del Bagazo de Caña de Azúcar y Cal para Fines de
Pavimentación."**

La muestra fue previamente calcinada a 890°C por 3 h y 30 min y está en la forma de grano fino de color blanco.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 6060 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg ($Z=12$) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como



consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de cal hidratada. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total de los óxidos de los elementos que han sido identificados y



cuantificados. El sub-total de estos elementos es menor que 100 % , lo cual indica que puede haber compuestos de Na y/o Mg que esta técnica no puede detectar y/o hay compuestos diferentes de óxidos y/o una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles se sugiere aplicar un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de esta muestra de cal hidratada en % de masa.

| Óxido | Concentración % masa | Normalizado al 100% |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Al ₂ O ₃ | 4.373 | 5.065 |
| SiO ₂ | 5.324 | 6.166 |
| P ₂ O ₅ | 2.824 | 3.271 |
| SO ₂ | 0.618 | 0.715 |
| ClO ₂ | 0.024 | 0.027 |
| K ₂ O | 0.215 | 0.249 |
| CaO | 72.105 | 83.503 |
| TiO ₂ | 0.224 | 0.259 |
| V ₂ O ₅ | 0.004 | 0.006 |
| MnO | 0.033 | 0.038 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.488 | 0.565 |
| Ni ₂ O ₃ | 0.003 | 0.003 |
| CuO | 0.004 | 0.004 |
| ZnO | 0.017 | 0.019 |
| SrO | 0.031 | 0.036 |
| Y ₂ O ₃ | 0.003 | 0.004 |
| ZrO ₂ | 0.016 | 0.019 |
| PdO | 0.016 | 0.019 |
| BaO | 0.022 | 0.025 |
| Total | 86.351 | 100.00 |

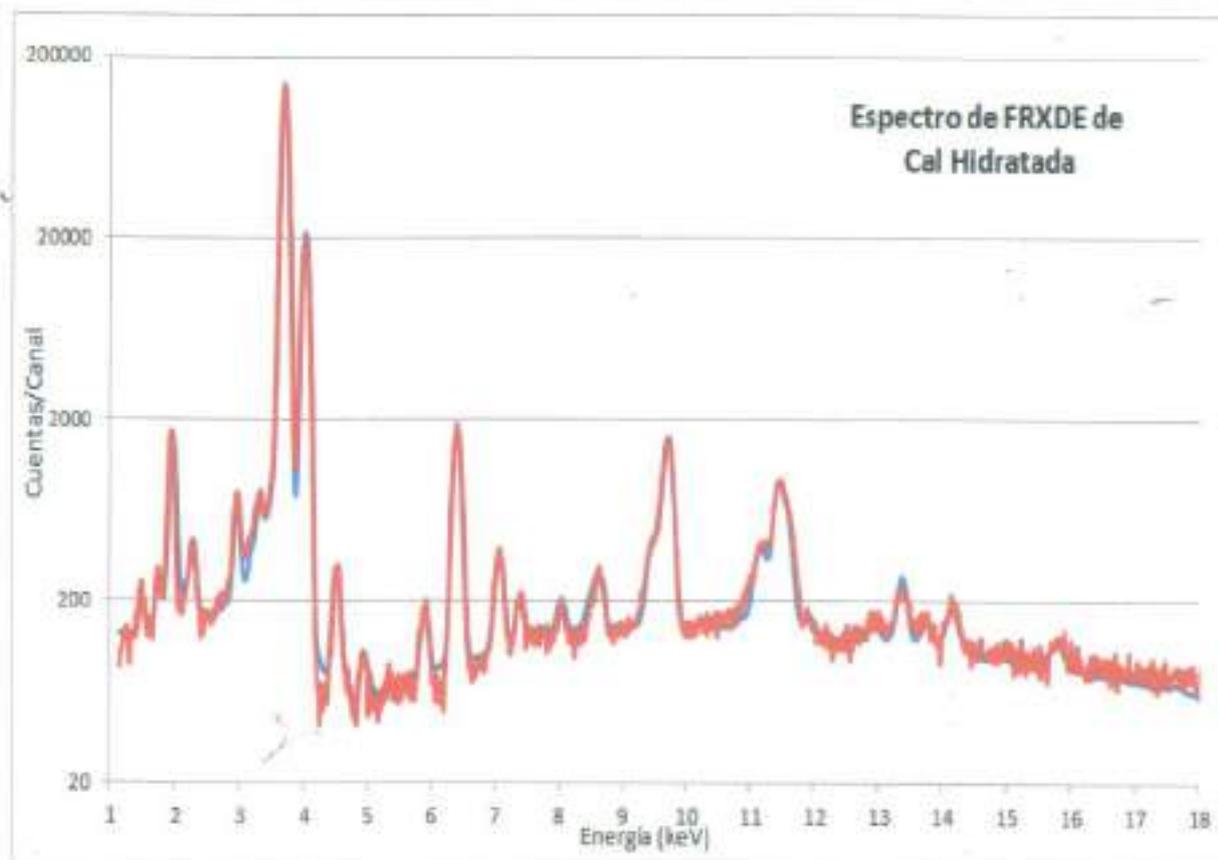


Figura 1. Espectro de FRXDE de muestra de cal hidratada en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría

Lima, 13 de Febrero del 2020



Informe N° 07 - LAQ/2020

Análisis de una muestra de afirmado de cantera por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de afirmado de cantera a pedido del Sr. **Carpio Salazar, Henry Francis**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Chimbote, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

**"Mejoramiento de las Propiedades del Afirmado de la Cantera Tres Piedras
Sustituyendo en 10% con Ceniza del Bagazo de Caña de Azúcar y Cal para Fines de
Pavimentación."**

La muestra procede de una cantera Tres Piedras, Huarmey, y está en la forma de grano fino de color marrón.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 3410 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como



consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de afirmado de cantera. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los potenciales óxidos presentes en la



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

muestra si es que ésta hubiera sido calcinada; este total está muy por debajo del 100% indicando que hay presentes compuestos orgánicos con elementos más livianos que Al.

Tabla 1. Composición elemental de afirmado de cantera en % de masa.

| Óxido | Concentración % masa | Normalizado al 100% |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Al ₂ O ₃ | 5.813 | 11.361 |
| SiO ₂ | 24.101 | 47.105 |
| P ₂ O ₃ | 0.667 | 1.303 |
| SO ₂ | 2.803 | 5.478 |
| ClO ₂ | 1.073 | 2.098 |
| K ₂ O | 1.694 | 3.311 |
| CaO | 6.785 | 13.260 |
| TiO | 0.550 | 1.074 |
| V ₂ O ₅ | 0.011 | 0.021 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.005 | 0.009 |
| MnO | 0.126 | 0.246 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.439 | 12.585 |
| Ni ₂ O ₃ | 0.007 | 0.014 |
| CuO | 0.599 | 1.171 |
| ZnO | 0.305 | 0.596 |
| As ₂ O ₃ | 0.010 | 0.020 |
| SrO | 0.017 | 0.034 |
| Y ₂ O ₃ | 0.057 | 0.132 |
| ZrO ₂ | 0.021 | 0.040 |
| La ₂ O ₃ | 0.072 | 0.141 |
| Total | 51.165 | 100.00 |

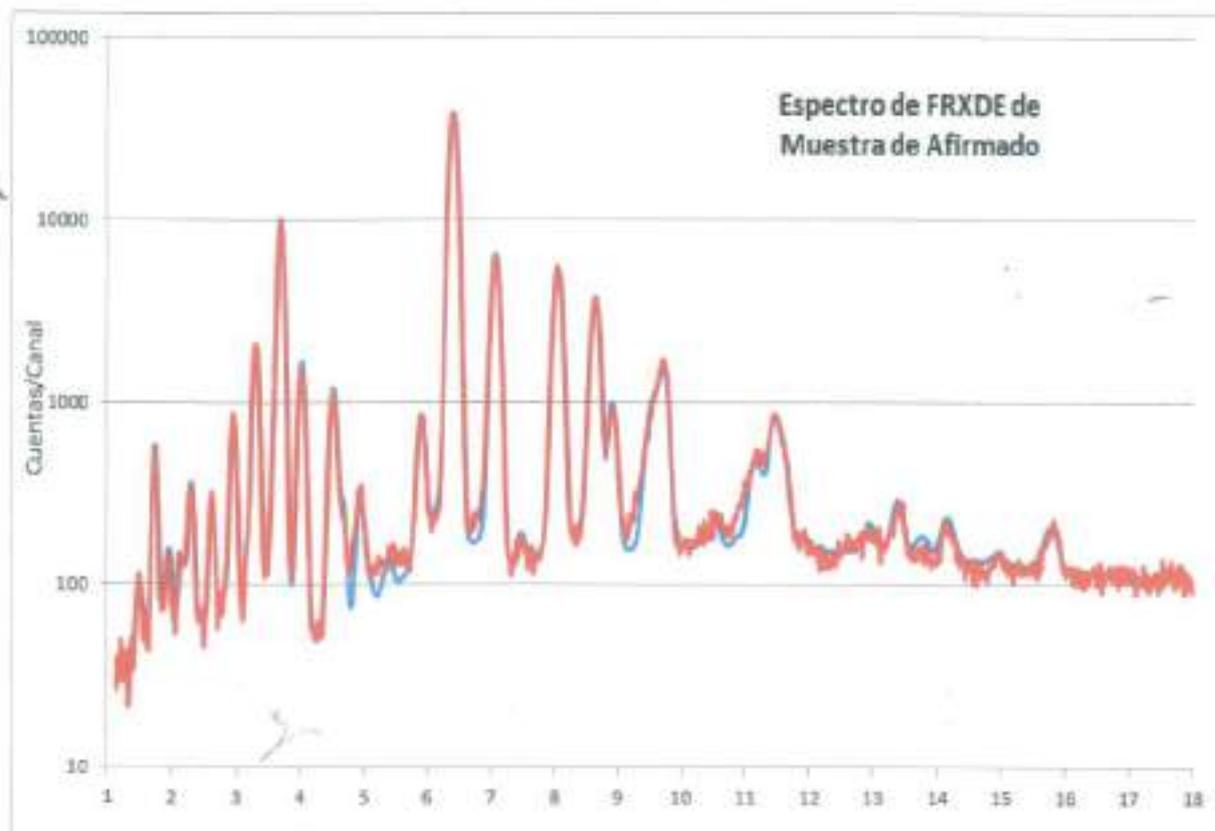


Figura 1. Espectro de FRXDE de afirmado de cantera en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 13 de Febrero del 2020



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES

“COLECBI” S.A.C.

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS Y DESARROLLO PESQUERO - PRODUCE

INFORME DE ENSAYO N° 20200311-005

Pág. 1 de 1

| | |
|---|---|
| SOLICITADO POR | : HENRY CAMPIO SALAZAR |
| DIRECCIÓN | : Las Delicias II Etapa Mc 01 Lote 16 Nuevo Chimbote, |
| NOMBRE DEL CONTACTO DEL CLIENTE | : NO APLICA |
| PRODUCTO DECLARADO | : ABAJO INDICADO |
| LUGAR DE MUESTREO | : NO APLICA |
| MÉTODO DE MUESTREO | : NO APLICA |
| PLAN DE MUESTREO | : NO APLICA |
| CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE EL MUESTREO | : NO APLICA |
| FECHA DE MUESTREO | : NO APLICA |
| CANTIDAD DE MUESTRA | : 04 muestras |
| PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA | : En bolsa de polietileno, cerrada. |
| CONDICIÓN DE LA MUESTRA | : En buen estado. |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2020-03-11 |
| FECHA DE INICIO DEL ENSAYO | : 2020-03-11 |
| FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO | : 2020-03-11 |
| LUGAR REALIZADO DE LOS ENSAYOS | : Laboratorio Físico Químico. |
| CÓDIGO COLECBI | : SS 200311-4 |

RESULTADO

| MUESTRAS | ENSAYO |
|---|--------|
| | pH |
| CAL HIDRATADA | 13,68 |
| AFIRMADO DE CANTERA TRES PIEDRAS | 6,58 |
| CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR | 10,65 |
| COMBINACIÓN DE CAL HIDRATADA + CENIZA DE BAGAZO + AFIRMADO DE CANTERA | 13,34 |

METODOLOGÍA EMPLEADA

pH : Potenciométrico.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
 - Proporcionadas por el Solicitante (X)
 - Muestras por COLECBI S.A.C. ()
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Diminencia por su perechibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías: SI () NO (X)
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación se emitirá un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negra y cursiva.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Marzo 12 del 2020.

GVR/jms

A. Gustavo Vargas Ramos
Gerente de Laboratorios
C.B.P. 329
COLECBI S.A.C.

LC-IMP-RIE
Rev. 05
Fecha 2016-07-01

EL INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR SIN LA APROBACIÓN DEL LABORATORIO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD

FIN DEL INFORME

COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt 7 I Etapa - Nuevo Chimbote - Teléfono: 043 310752

Celular: 998392893 - 998393974 - Apartado 127

e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe

Web: www.colecbi.com

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D422)**

SOLICITA BACH CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
TESIS MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
UBICACION HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
FECHA 26/05/2020

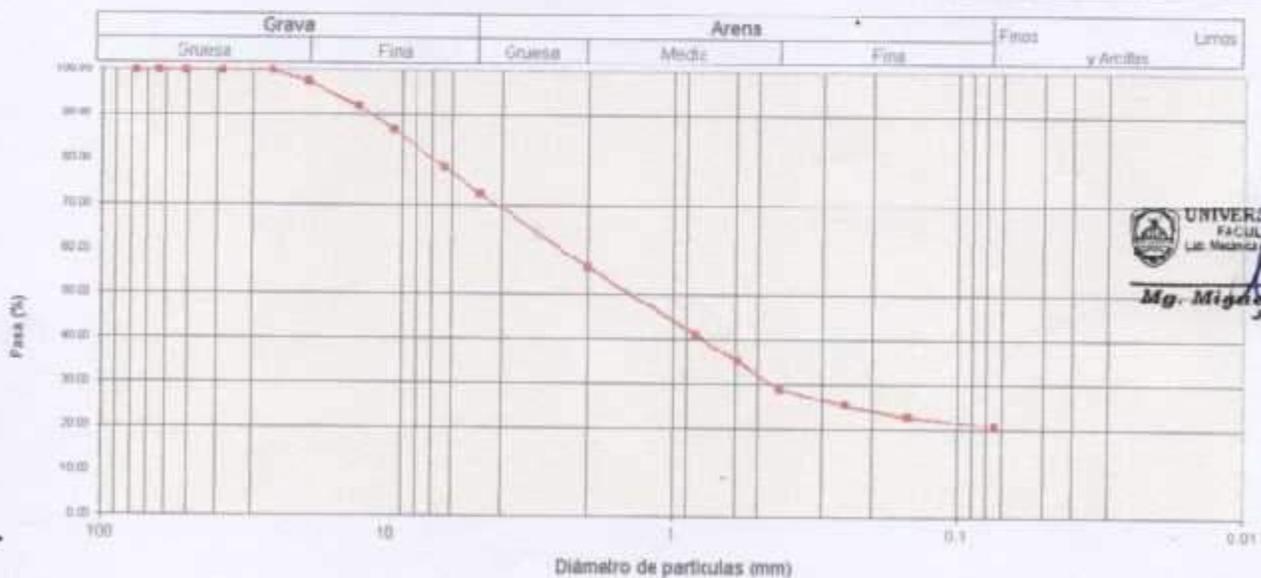
| | | |
|-------------------------|--------|-----|
| Peso Seco Inicial | 1500 | gr. |
| Peso Seco Lavado | 1186.9 | gr. |
| Peso perdido por lavado | 313.1 | gr. |

| |
|--|
| |
| |
| |

| Tamiz (Abertura) | Peso Retenido (gr.) | Retenido Parcial (%) | Retenido Acumulado (%) | Pasante (%) | Clasificación AASHTO |
|-------------------|---------------------|----------------------|------------------------|--------------|---|
| N° 2 1/2" (76.20) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | Material granular Exceente a bueno como subgrado A-2.5 Grava y arena arcillosa o limosa |
| N° 2" (50.80) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | |
| N° 1 1/2" (37.50) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | |
| N° 1" (25.00) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | |
| N° 3/4" (19.00) | 36.5 | 2.4 | 2.4 | 97.6 | Valor del índice de grupo (IG) = 0 |
| N° 1/2" (12.50) | 80.5 | 5.4 | 7.8 | 92.2 | Clasificación (S.U.C.S.) Suelo de partículas gruesas: Suelo de partículas gruesas con finos (suelo suco) |
| N° 3/8" (9.50) | 80.5 | 5.4 | 13.2 | 86.8 | |
| N° 1/4" (6.30) | 176.0 | 8.4 | 21.6 | 78.4 | Grava arcillosa con arena GC |
| N° 4 (4.75) | 98.0 | 5.7 | 27.3 | 72.7 | |
| N° 10 (2.00) | 249.0 | 16.6 | 43.9 | 56.1 | Peso tamiz N° 4 (%) : 56.1 |
| N° 20 (0.850) | 221.0 | 14.7 | 58.6 | 41.4 | Pasa tamiz N° 200 (%) : 20.9 |
| N° 30 (0.600) | 92.9 | 6.2 | 64.8 | 35.2 | D60 (mm) : 2.65 |
| N° 40 (0.425) | 93.0 | 6.2 | 71.0 | 29.0 | D30 (mm) : 0.448 |
| N° 60 (0.250) | 53.5 | 3.6 | 74.6 | 25.4 | D10 (mm) : |
| N° 100 (0.150) | 40.5 | 2.7 | 77.3 | 22.7 | Cu |
| N° 200 (0.075) | 27.5 | 1.8 | 79.1 | 20.9 | Cc |
| < 200 | 313.1 | 20.9 | 100.0 | 0.0 | |
| Total | 1500.0 | | | 100.0 | |

| | |
|-----------------------|-------|
| Limite líquido LL | 34.4 |
| Limite plástico LP | 22.67 |
| Índice plasticidad IP | 11.73 |

CURVA GRANULOMÉTRICA



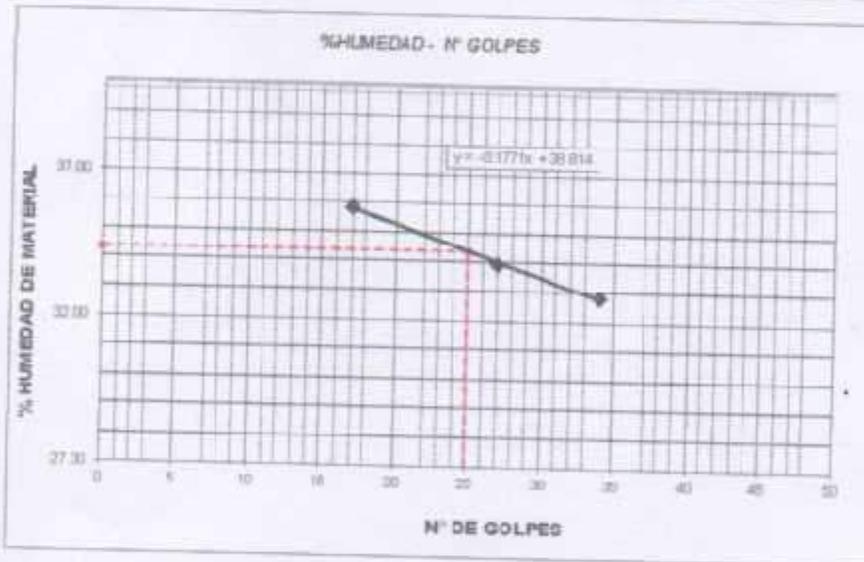

UNIVERSIDAD CAYETANO DE PEDRA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Lic. Magister en Ingeniería de Materiales
Mg. Miguel Solar Dara
 JEFE

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

(MTC E-110, E-111 ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA PROYECTO BACH: CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
UBICACIÓN MUESTRA MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMAO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
FECHA AFIRMADO 26/05/2020

| Nro. DE ENSAYO | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.) | 48.80 | 57.93 | 48.90 | 22.08 | 21.60 | 22.00 |
| PESO TARA + SUELO SECO (gr.) | 41.49 | 48.90 | 42.30 | 21.40 | 21.00 | 20.90 |
| PESO DE LA TARA (gr.) | 21.09 | 22.40 | 22.20 | 18.30 | 18.30 | 16.22 |
| PESO DEL AGUA (gr.) | 7.31 | 9.00 | 6.60 | 0.69 | 0.60 | 1.10 |
| PESO SUELO SECO (gr.) | 20.40 | 26.50 | 20.10 | 3.10 | 2.70 | 4.68 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 35.83 | 33.96 | 32.84 | 22.28 | 22.22 | 23.52 |
| Nro. DE GOLPES | 17 | 27 | 34 | 22.67 | | |



| LIMITE LIQUIDO | |
|---------------------------------------|-------|
| (MTC E-110, ASTM D-4318 y AASHTO T89) | |
| LL : % | 34.40 |

| LIMITE PLASTICO | |
|---------------------------------------|-------|
| (MTC E-111, ASTM D-4318 y AASHTO T90) | |
| LP : % | 22.67 |

| INDICE DE PLASTICIDAD | |
|-----------------------|-------|
| ASTM D-436 | |
| IP : % | 11.73 |


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Lab. Mecánica de Suelos, Estudio de Materiales

Mg. Miguel Solar Jara
 J.E.P.

CONTENIDO DE HUMEDAD
(ASTM D-2216)

SOLICITA BACH CARRO SALAZAR HENRY FRANCIS
PROYECTO MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO DE LA CARRETERA TRONCAL DE LAS PIEDRAS ADORNANDO
CERROS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
UBICACIÓN HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
MUESTRA AFRIMADO
FECHA 26/05/2028

| ENSAYO N° | M-1 | M-2 |
|--------------------------|--------|--------|
| Peso de tara + MH | 500.00 | 621.00 |
| Peso de tara + MS | 454.00 | 610.00 |
| Peso de tara | 198.00 | 68.00 |
| Peso del agua | 8.00 | 11.00 |
| MS | 296.00 | 544.00 |
| Contenido de humedad (%) | 2.03 | 2.02 |

NOTA : La muestra fue traída y realizada por el interesado en este Laboratorio.


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LIC. NEOLINDA DE TORRES / CARRERA DE MATERIAS
Mg. Miguel Solar Jara
JEFE

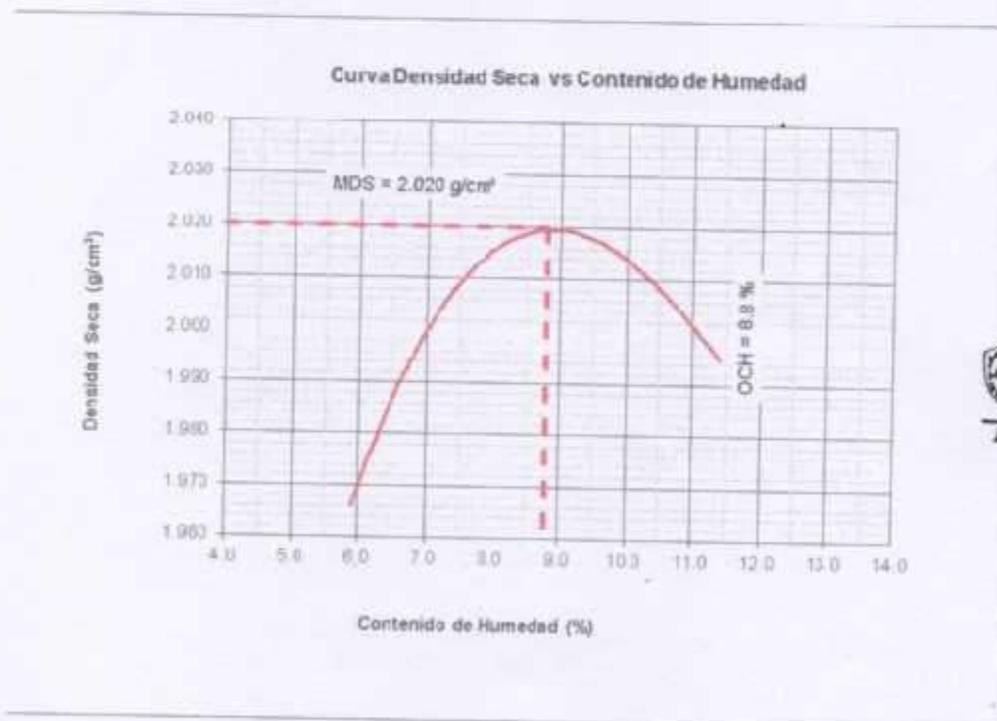
PROCTOR MODIFICADO

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : BACH CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO
 CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIAL : AFIRMADO NATURAL
 UBICACIÓN : HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
 FECHA : 26/05/2020

| Metodo Compactación: | "C" | Número de Golpes | | |
|---|------------------------------|------------------|--------|--------|
| Energía de Compactación Standar | 27.7 Kg.cm / cm ² | | | |
| 01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g) | 7426 | 7569 | 7729 | 7740 |
| 02 - Peso del Molde (g) | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 |
| 03 - Peso Suelo Humedo (g) | 4736.0 | 4879.0 | 5039.0 | 5056.0 |
| 04 - Volumen del Molde (cm ³) | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 |
| 05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm ³) | 2.082 | 2.145 | 2.215 | 2.222 |
| 06 - Tarro N° | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 554.7 | 657.2 | 661.4 | 550.0 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 533.0 | 617.8 | 602.1 | 502.6 |
| 09 - Peso del agua (g) | 21.7 | 39.4 | 49.3 | 47.4 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 164.1 | 63.7 | 103.1 | 65.6 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 368.9 | 554.1 | 499.0 | 417.0 |
| 12 - Contenido de Humedad (%) | 5.0 | 7.1 | 9.9 | 11.4 |
| 13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³) | 1.966 | 2.002 | 2.015 | 1.906 |

Contenido Optimo Humedad **8.8 %** Densidad Seca Maxima, **2.020 g/cm³**




UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
Mig. Miguel Solar Jara

RELACION DE SOPORTE - CBR
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA : BACH CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CARRETERA TIPO PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIAL : AFIRMADO NATURAL
 UBICACIÓN : HUARMAY - PROV. DE HUARMAY - ANCASH
 FECHA : 30/02/2020

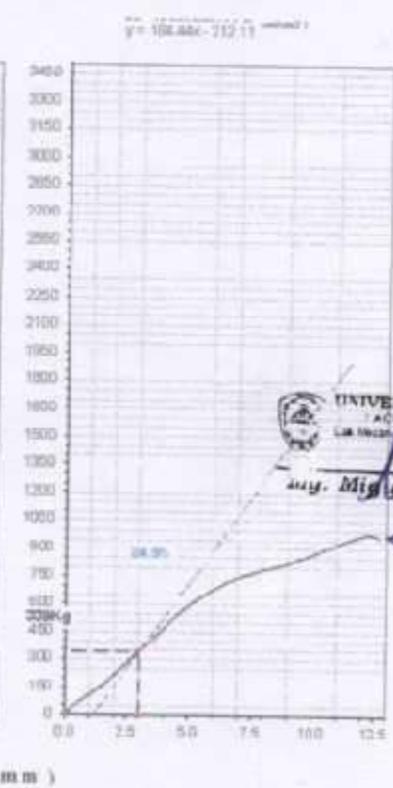
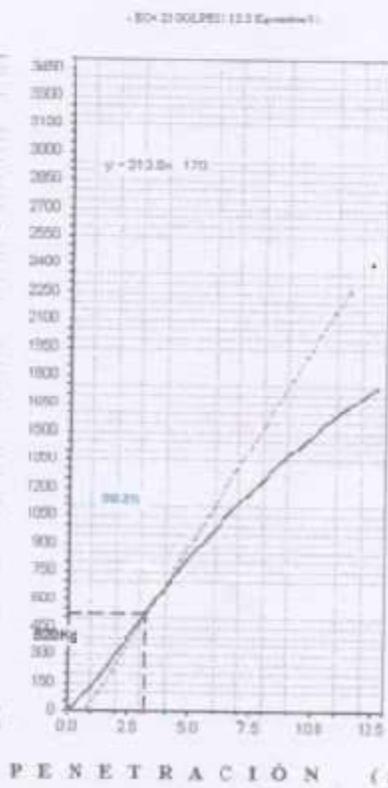
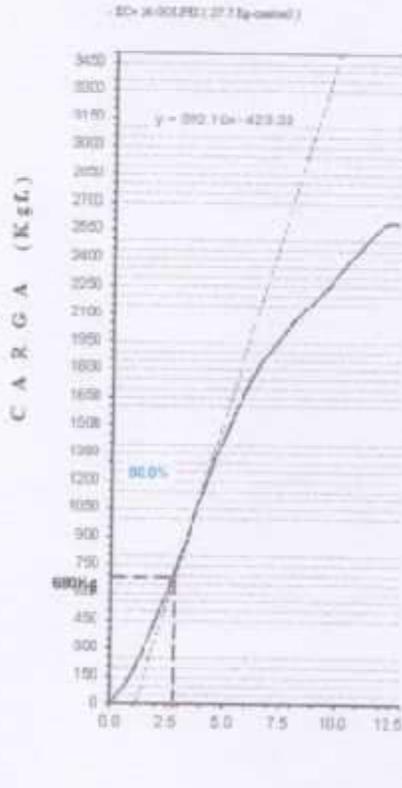
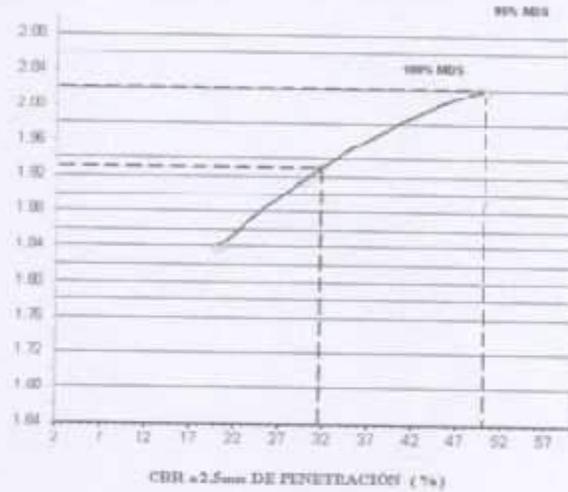
| Características | | | | | | |
|---|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Numero de Molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| Numero de Capas | 5 | | 5 | | 5 | |
| Numero de Golpes | 56 | | 25 | | 12 | |
| Energía Compactación [kg-cm]/cm ² | 27.7 | | 12.2 | | 6.1 | |
| Densidad Seca [CBR] | | | | | | |
| 01 - Peso suelo humedo + molde (g) | 9495.0 | | 9050.0 | | 9000.0 | |
| 02 - Peso del molde (g) | 4523.0 | | 4504.0 | | 3973.0 | |
| 03 - Peso suelo humedo (g) | 4972.0 | | 4546.0 | | 5027.0 | |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | | 2,180.000 | | 2,512.000 | |
| 05 - Densidad suelo humedo (g/cm ³) | 2.197 | | 2.085 | | 2.001 | |
| 06 - Tarro N° | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 505.0 | | 600.0 | | 704.5 | |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 471.4 | | 556.8 | | 653.0 | |
| 09 - Peso del agua (g) | 33.6 | | 43.2 | | 51.5 | |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.6 | | 65.4 | | 84.7 | |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 382.8 | | 491.4 | | 568.3 | |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 8.8 | | 8.8 | | 8.8 | |
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm ³) | 2.020 | | 1.917 | | 1.840 | |
| Saturación | | | | | | |
| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial | |
| Día 01 | 17-Oct-15 | 5.00PM | 0.05 | 0.03 | 0.02 | |
| Día 02 | 18-Oct-16 | 5.00PM | 0.05 | 0.05 | 0.06 | |
| Día 03 | 19-Oct-16 | 5.00PM | 0.06 | 0.06 | 0.08 | |
| Día 04 | 20-Oct-16 | 5.00PM | 0.12 | 0.18 | 0.29 | |
| Expansión, % | | | 2.6 | 3.9 | 8.3 | |
| Absorción | | | | | | |
| Numero de molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| 01 - Peso suelo humedo antes (g) | 4,972.0 | | 4,546.0 | | 5,027.0 | |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | 9,696.1 | | 9,258.9 | | 9,249.6 | |
| 03 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | | 4,504.0 | | 3,973.0 | |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | 5,173.1 | | 4,754.9 | | 5,278.6 | |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | 201.1 | | 208.9 | | 249.6 | |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | 4,570.8 | | 4,178.6 | | 4,622.4 | |
| 07 - Absorción de agua (%) | 4.4 | | 5.0 | | 5.4 | |
| Penetración | | | | | | |
| Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.62018 | | | | | | |
| Molde | 1 [56 Golpes] | | 2 [25 Golpes] | | 3 [12 Golpes] | |
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.63 | 20.0 | 112.9 | 15.0 | 91.7 | 13.0 | 83.2 |
| 1.3 | 53.0 | 253.1 | 34.0 | 172.4 | 26.0 | 138.4 |
| 1.9 | 90.0 | 410.3 | 59.0 | 278.6 | 39.0 | 193.6 |
| 2.5 | 150.0 | 665.29 | 89.0 | 405.09 | 58.0 | 274.37 |
| 3.2 | 186.0 | 818.3 | 118.0 | 520.8 | 79.0 | 363.6 |
| 3.8 | 244.0 | 1064.7 | 147.0 | 652.5 | 105.0 | 474.1 |
| 5.08 | 339.0 | 1488.4 | 169.0 | 831.0 | 130.0 | 580.3 |
| 7.6 | 464.0 | 1999.5 | 278.0 | 1200.7 | 176.0 | 775.8 |
| 10.16 | 542.0 | 2331.0 | 347.0 | 1502.4 | 199.0 | 873.5 |
| 12.7 | 601.0 | 2581.7 | 403.0 | 1740.3 | 221.0 | 967.0 |
| Carga (%) | 665.29 kgf. [48.9%] | | 406.09 kgf. [29.8%] | | 274.37 kgf. [20.2%] | |

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 L.B. Ingeniería Civil y Ensayo de Materiales

Mg. Miguel Solar Jara
 JEFE

RELACIÓN DE SOPORTE - CBR [ASTM D-1883]

| | | | | | |
|---|--|---|---------------|------------------------|--------|
| SOLICITA | MAYOR CAMINO SALAZAR ARROYO FRANCIS | MÉTODO DE COMPACTACIÓN | (ASTM D-1557) | | |
| TEJES | MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA | MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) | | | C |
| | CAMPO DE TRABAJO: PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS | ÓPTIMO CON RELACIÓN HUMEDAD (%) | | | 8.8 |
| DE CARA DE ASFALTAR Y CAL HERATAGA PARA TRINCHES DE PAVIMENTACIÓN | | CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%) | | | 50.0 |
| NATURAS: | AFIRMADO NATURAL | CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%) | | | 31.7 |
| | | EMBESADO | 4 das | ESPARSOS | 2.6 % |
| | | ABSORCIÓN | 4.4 % | HUMEDAD DE PENETRACIÓN | 13.2 % |
| | FECHA | 25-May-2012 | | | |




UNIVERSIDAD SAN FELIPE
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Laboratorio de Soportes y Ensayo de Materiales
 Ing. Miguel Solaz Jara

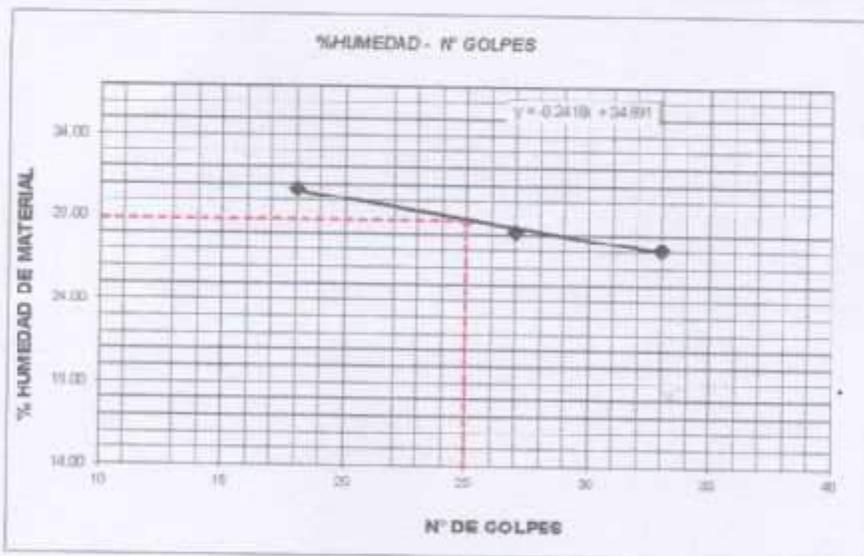
LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO
(MTC E-110,E-111,ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA TESIS BACH CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN

UBICACIÓN MUESTRA HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH

FECHA AFRMADO ADICION 1% C.B.C.A - 2% C.H.
26.05/2020

| Nro. DE ENSAYO | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.) | 38.80 | 36.50 | 35.10 | 21.95 | 21.95 | 21.95 |
| PESO TARA + SUELO SECO (gr.) | 34.10 | 32.60 | 31.60 | 21.40 | 21.40 | 21.40 |
| PESO DE LA TARA (gr.) | 18.80 | 18.80 | 18.70 | 18.50 | 18.50 | 18.50 |
| PESO DEL AGUA (gr.) | 4.70 | 3.90 | 3.50 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| PESO SUELO SECO (gr.) | 15.30 | 13.80 | 12.90 | 2.90 | 2.90 | 2.90 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 30.72 | 28.26 | 27.13 | 18.97 | 18.97 | 18.97 |
| Nro. DE GOLPES | 18 | 27 | 33 | 18.97 | | |



| | |
|--|---------|
| LIMITE LIQUIDO (MTC E-110,ASTM D-4318 y AASHTO T89) | |
| LL : | 28.90 % |
| LIMITE PLASTICO (MTC E-111,ASTM D-4318 y AASHTO T90) | |
| LP : | 18.97 % |
| INDICE DE PLASTICIDAD ASTM D-438 | |
| IP : | 9.93 % |


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 L. P. Huancayo - Calle 10 de Mayo 28 Huancayo
Mg. Miguel Solar Jara
 J.M.E.

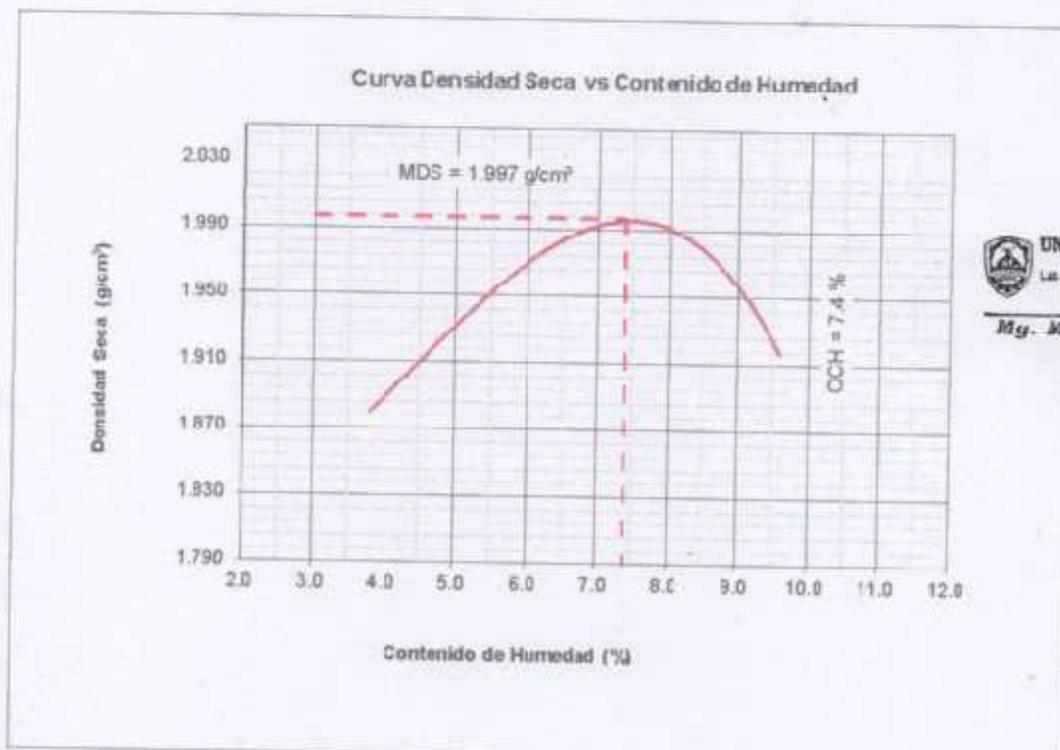
PROCTOR MODIFICADO-EXEPERIMETAL-1

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : BACH. CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO
 CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIAL : AFIRMADO NATURAL
 UBICACION : HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
 FECHA : 26/05/2020

| Metodo Compactación: | "C" | Número de Golpes | | 56 |
|---|------------------------------|------------------|--------|--------|
| Energía de Compactación Standar | 27.7 Kg.cm / cm ³ | | | |
| 01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g) | 7130 | 7360 | 7560 | 7470 |
| 02 - Peso del Molde (g) | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 |
| 03 - Peso Suelo Humedo (g) | 4440.0 | 4670.0 | 4870.0 | 4780.0 |
| 04 - Volumen del Molde (cm ³) | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 |
| 05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm ³) | 1.952 | 2.053 | 2.141 | 2.101 |
| 06 - Tarro N° | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 409.0 | 612.0 | 606.0 | 570.0 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 400.0 | 584.0 | 570.0 | 527.6 |
| 09 - Peso del agua (g) | 9.0 | 28.0 | 36.0 | 42.4 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 164.1 | 69.5 | 79.0 | 85.6 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 235.9 | 514.5 | 491.0 | 442.0 |
| 12 - Contenido de Humedad (%) | 3.8 | 5.4 | 7.3 | 9.6 |
| 13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³) | 1.880 | 1.948 | 1.995 | 1.917 |

Contenido Optimo Humedad 7.4 % Densidad Seca Maxima, 1.997 g/cm³



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Lic. Mecánica de Fluidos y Conservación de Materiales
 Mg. Miguel Solar Jara
 JEPF

RELACIÓN DE SOPORTE - CBR-EXEPERIMETAL-1
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA: BACH CARP10 SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRIGS PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIA: AFIRMADO NATURAL
 UBICACIÓN: HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
 FECHA: 20/05/2020

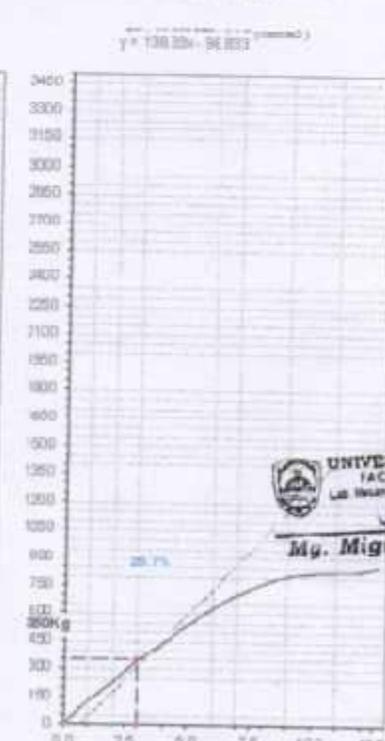
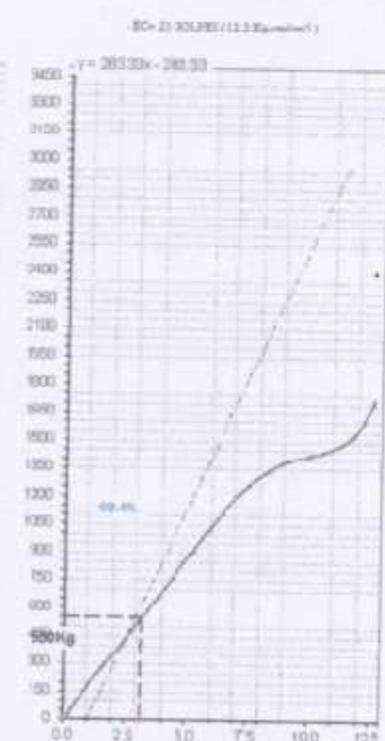
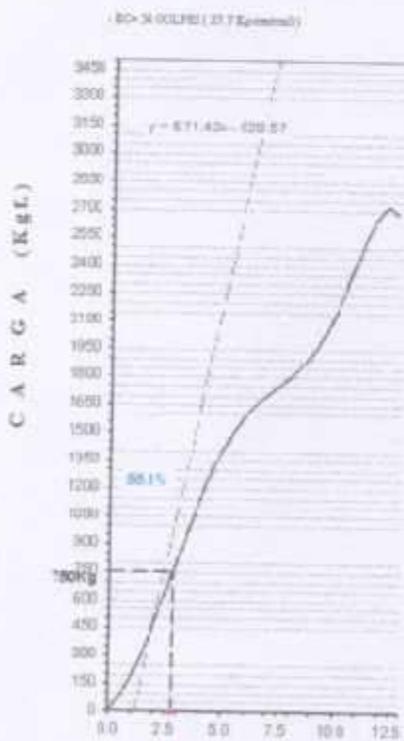
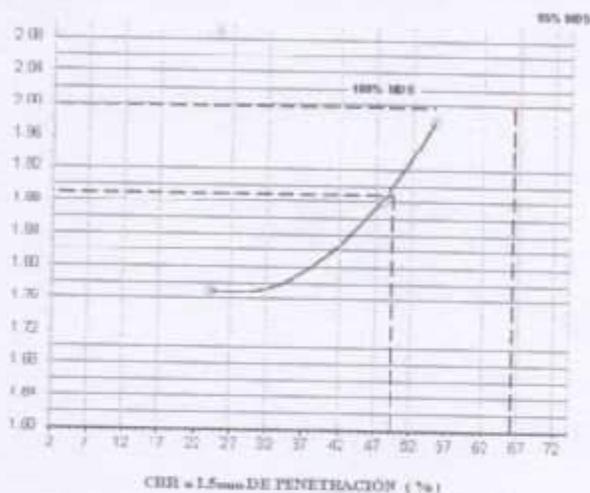
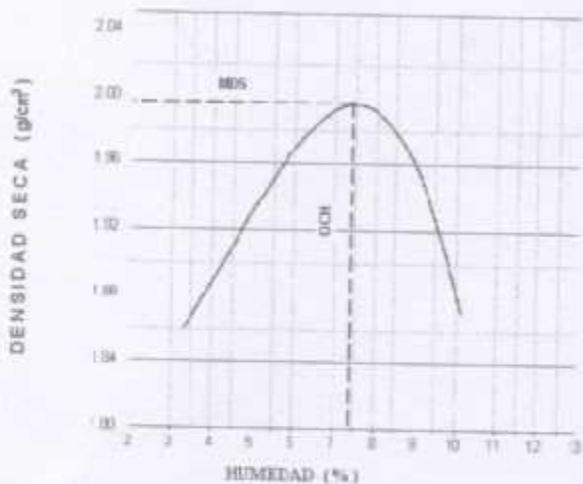
| Características | | | | | | |
|---|--------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Numero de Molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| Numero de Capas | 5 | | 5 | | 5 | |
| Numero de Golpe | 56 | | 25 | | 12 | |
| Energía Compactación [kg-cm]/cm ² | 27.7 | | 12.2 | | 6.1 | |
| Densidad Seca (CBR) | | | | | | |
| 01 - Peso suelo humedo + molde (g) | 9348.0 | | 8920.0 | | 8780.0 | |
| 02 - Peso del molde (g) | 4523.0 | | 4504.0 | | 3973.0 | |
| 03 - Peso suelo humedo (g) | 4825.0 | | 4418.0 | | 4787.0 | |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | | 2,180.000 | | 2,512.000 | |
| 05 - Densidad suelo humedo (g/cm ³) | 2.132 | | 2.026 | | 1.906 | |
| 06 - Tarro N° | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 449.0 | | 521.3 | | 649.9 | |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 422.5 | | 489.2 | | 608.6 | |
| 09 - Peso del agua (g) | 25.5 | | 32.1 | | 41.3 | |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.6 | | 85.4 | | 64.7 | |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 333.9 | | 423.8 | | 543.9 | |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 7.6 | | 7.6 | | 7.6 | |
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm ³) | 1.981 | | 1.883 | | 1.771 | |
| Saturación | | | | | | |
| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial | |
| Dia 01 | 20-Nov-18 | 4.00PM | 0.02 | 0.02 | 0.04 | |
| Dia 02 | 21-Nov-18 | 4.00PM | 0.04 | 0.03 | 0.05 | |
| Dia 03 | 22-Nov-18 | 4.00PM | 0.08 | 0.05 | 0.07 | |
| Dia 04 | 23-Nov-18 | 4.00PM | 0.08 | 0.10 | 0.10 | |
| Expansión, % | | | 1.8 | 2.2 | 2.2 | |
| Absorción | | | | | | |
| Numero de molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| 01 - Peso suelo humedo antes (g) | 4,825.0 | | 4,416.0 | | 4,787.0 | |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | 9,446.6 | | 9,026.7 | | 8,915.7 | |
| 03 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | | 4,504.0 | | 3,973.0 | |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | 4,923.6 | | 4,522.7 | | 4,942.7 | |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | 98.6 | | 106.7 | | 155.7 | |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | 4,482.7 | | 4,105.1 | | 4,449.2 | |
| 07 - Absorción de agua (%) | 2.2 | | 2.6 | | 3.5 | |
| Penetración | | | | | | |
| Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018 | | | | | | |
| Molde | 1 [56 Golpes] | | 2 [25 Golpes] | | 3 [12 Golpes] | |
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.63 | 20.0 | 112.9 | 15.0 | 91.7 | 14.0 | 87.4 |
| 1.3 | 60.0 | 202.9 | 40.0 | 197.9 | 28.0 | 146.9 |
| 1.9 | 103.0 | 465.6 | 85.0 | 389.1 | 45.0 | 219.1 |
| 2.5 | 140.0 | 622.80 | 100.0 | 452.83 | 69.0 | 321.11 |
| 3.2 | 210.0 | 920.2 | 115.0 | 516.6 | 76.0 | 360.9 |
| 3.8 | 250.0 | 1090.2 | 135.0 | 601.6 | 89.0 | 406.1 |
| 5.08 | 329.0 | 1425.9 | 210.0 | 920.2 | 124.0 | 554.8 |
| 7.6 | 410.0 | 1770.1 | 290.0 | 1260.2 | 168.0 | 741.8 |
| 10.16 | 512.0 | 2233.6 | 330.0 | 1430.1 | 187.0 | 822.5 |
| 12.7 | 624.0 | 2679.4 | 400.0 | 1727.6 | 195.0 | 856.5 |
| Carga (%) | 822.8 kgf. [45.8%] | | 452.83 kgf. [33.3%] | | 321.11 kgf. [23.6%] | |

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LÍNEA TECNOLÓGICA DE INGENIERIA EN PAVIMENTACION

Miguel Solar Jara
 JEFE

RELACION DE SOPORTE - CBR [ASTM D-1883]-EXEPERIMETAL-1

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------------|-------|--|--|--|--|--|----------|------------------|--|--------------------|---|------------------------|---------------|---|----------------------|----------------------|-------|---------------------------------|--|-----|------------------------------|--|------|-----------------------------|--|------|-----------|-------|---------------|--|--|-----------|--|--|-------|--|--|------------------------|--|--|-------|
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">SOLICITA</td> <td style="width: 50%;">BACH CARBO SALAZAR HENRY FRANCIS</td> </tr> <tr> <td>TESIS</td> <td>MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CARRERA TERCER SEMESTRE ACCIONES DE OBRAS DE OBRAS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DE CAÑA BRAZUCAS Y CAL HERATADA PARA INEL DEFAVORITACION</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL</td> <td>AFIRMADO NATURAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td>FECHA: 20-May-2020</td> </tr> </table> | SOLICITA | BACH CARBO SALAZAR HENRY FRANCIS | TESIS | MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA | | CARRERA TERCER SEMESTRE ACCIONES DE OBRAS DE OBRAS | | DE CAÑA BRAZUCAS Y CAL HERATADA PARA INEL DEFAVORITACION | MATERIAL | AFIRMADO NATURAL | | FECHA: 20-May-2020 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">MÉTODO DE COMPACTACION</td> <td style="width: 50%;">(ASTM D-1557)</td> <td style="width: 50%;">C</td> </tr> <tr> <td>MÁXIMA DENSIDAD SECA</td> <td>(g/cm³)</td> <td>1.957</td> </tr> <tr> <td>ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</td> <td></td> <td>7.4</td> </tr> <tr> <td>CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%)</td> <td></td> <td>55.1</td> </tr> <tr> <td>CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%)</td> <td></td> <td>43.4</td> </tr> <tr> <td>ABSORCIÓN</td> <td>2.2 %</td> <td>EMBEBIDO 42ml</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>EXPANSIÓN</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1.8 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>HUMEDAD DE PENETRACIÓN</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>5.5 %</td> </tr> </table> | MÉTODO DE COMPACTACION | (ASTM D-1557) | C | MÁXIMA DENSIDAD SECA | (g/cm ³) | 1.957 | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | | 7.4 | CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%) | | 55.1 | CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%) | | 43.4 | ABSORCIÓN | 2.2 % | EMBEBIDO 42ml | | | EXPANSIÓN | | | 1.8 % | | | HUMEDAD DE PENETRACIÓN | | | 5.5 % |
| SOLICITA | BACH CARBO SALAZAR HENRY FRANCIS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TESIS | MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CARRERA TERCER SEMESTRE ACCIONES DE OBRAS DE OBRAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | DE CAÑA BRAZUCAS Y CAL HERATADA PARA INEL DEFAVORITACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL | AFIRMADO NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FECHA: 20-May-2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÉTODO DE COMPACTACION | (ASTM D-1557) | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA | (g/cm ³) | 1.957 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | | 7.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%) | | 55.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%) | | 43.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ABSORCIÓN | 2.2 % | EMBEBIDO 42ml | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | EXPANSIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1.8 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | HUMEDAD DE PENETRACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5.5 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

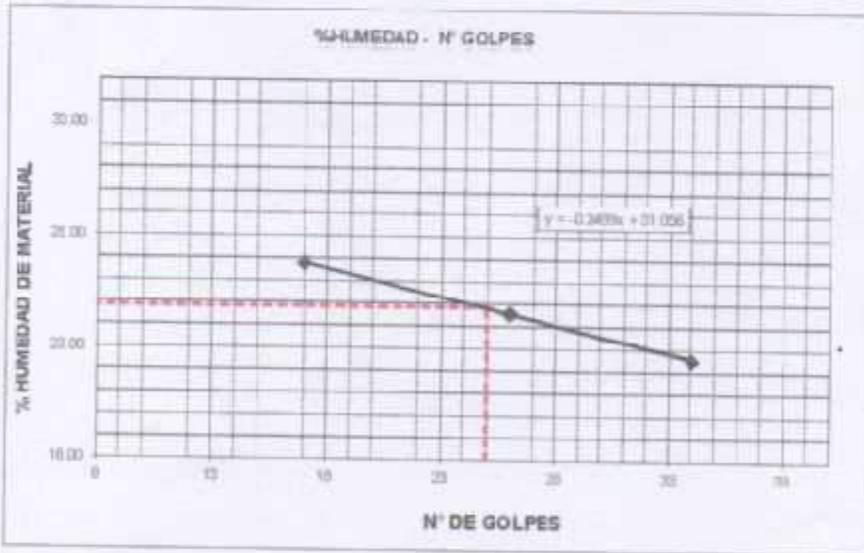



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Lab. Mecánica Suelos / Trabajo de Materiales
Mg. Miguel Salazar Jara
 JEFE

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO
(MTC E-110, E-111, ASTM D-4318 y MTC E-110, AASHTO T89, T90)

SOLICITA TESIS BACH: CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
UBICACIÓN MUESTRA MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO
 IZAS DE BAGAJO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
FECHA HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - ANCASH
 AFIRMADO ADICION 2% C.B.C.A - 2% C.H.
 26/05/2020

| Nro. DE ENSAYO | LIMITE LIQUIDO | | | LIMITE PLASTICO | | |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| PESO TARA + SUELO HUMEDO (gr.) | 38.38 | 37.90 | 38.50 | 22.40 | 24.90 | 18.80 |
| PESO TARA + SUELO SECO (gr.) | 32.80 | 34.50 | 33.94 | 21.90 | 24.44 | 16.43 |
| PESO DE LA TARA (gr.) | 18.50 | 20.69 | 22.60 | 18.60 | 21.49 | 14.40 |
| PESO DEL AGUA (gr.) | 3.78 | 3.40 | 2.58 | 0.50 | 0.48 | 0.34 |
| PESO SUELO SECO (gr.) | 14.10 | 13.81 | 11.34 | 3.10 | 2.95 | 2.08 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | 26.81 | 24.62 | 22.57 | 16.13 | 15.59 | 16.50 |
| Nro. DE GOLPES | 17 | 26 | 34 | 16.08 | | |



| | |
|---|---------|
| LIMITE LIQUIDO (MTC E-110, ASTM D-4318 y AASHTO T89) | |
| LL : | % 24.88 |
| LIMITE PLASTICO (MTC E-111, ASTM D-4318 y AASHTO T90) | |
| LP : | % 16.06 |
| INDICE DE PLASTICIDAD ASTM D-438 | |
| IP : | % 8.80 |


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 L. M. Macchoni Sotelo, Enriquez M. Sotelo
Mg. Miguel Soler Jara
 JEFE

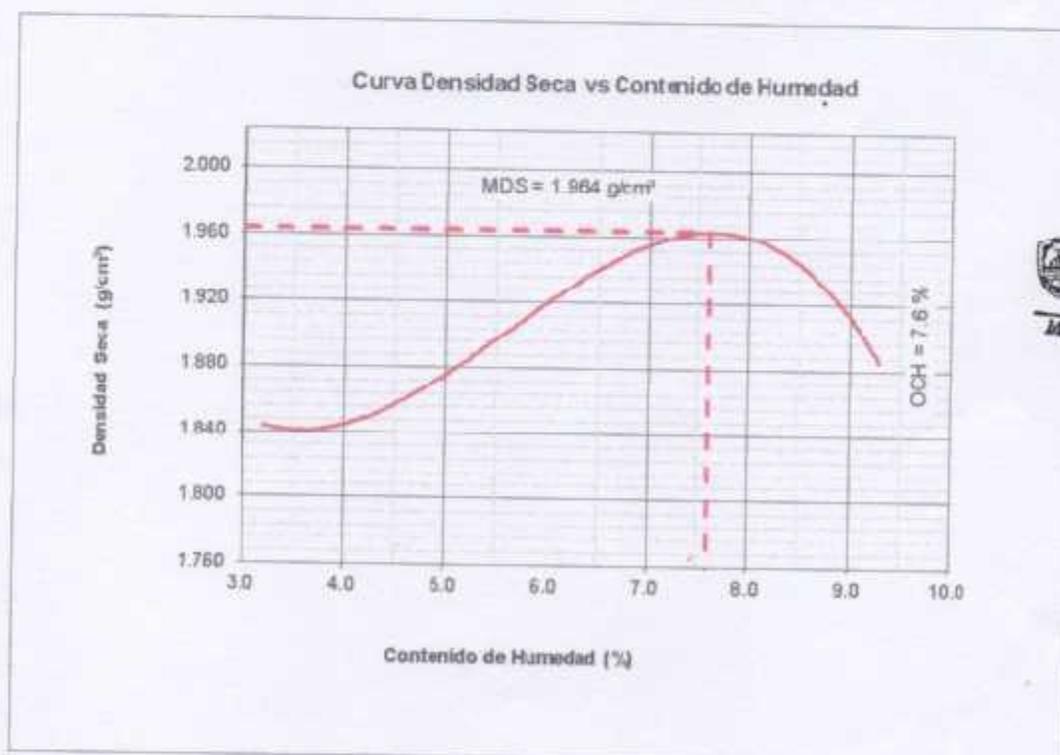
PROCTOR MODIFICADO-EXPERIMENTAL-2

NORMA ASTM D- 1557/ MTC E 115

SOLICITA : BACH-CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS : MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO
 CENZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIAL AFIRMADO NATURAL
 UBICACION : HUARMHEY - PROV. DE HUARMHEY - ANCASH
 FECHA : 26/05/2020

| Metodo Compactación: | "C" | Número de Golpes | | |
|---|--------|------------------------------|--------|--------|
| Energía de Compactación Standar | | 27.7 Kg.cm / cm ³ | | |
| 01 - Peso Suelo Humedo + Molde (g) | 7019 | 7289 | 7491 | 7380 |
| 02 - Peso del Molde (g) | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 | 2690.0 |
| 03 - Peso Suelo Humedo (g) | 4329.0 | 4599.0 | 4801.0 | 4690.0 |
| 04 - Volumen del Molde (cm ³) | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 | 2275.0 |
| 05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm ³) | 1.903 | 2.022 | 2.110 | 2.062 |
| 06 - Tarro N° | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 420.0 | 206.5 | 222.0 | 350.0 |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 412.0 | 199.0 | 212.0 | 610.6 |
| 09 - Peso del agua (g) | 8.0 | 7.5 | 10.0 | 39.4 |
| 10 - Peso del tarro (g) | 164.1 | 69.5 | 79.0 | 85.6 |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 247.9 | 129.5 | 133.0 | 425.0 |
| 12 - Contenido de Humedad (%) | 3.2 | 5.8 | 7.5 | 9.3 |
| 13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³) | 1.844 | 1.911 | 1.963 | 1.886 |

Contenido Optimo Humedad 7.6 % Densidad Seca Maxima, 1.964 g/cm³




UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Lab. Ingeniería de Suelos y Enjambres de Materiales
Mg. Miguel Salazar Jara
 JEFE

RELACION DE SOPORTE - CBR-EXEPERIMETAL-2
NORMA ASTM D- 1883

SOLICITA: BACH CARPIO SALAZAR HENRY FRANCIS
 TESIS: MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL HIDRATADA PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN
 MATERIAL: AFIRMADO NATURAL
 UBICACION: HUARMEY - PROV. DE HUARMEY - INCAISH
 FECHA: 26/05/2020

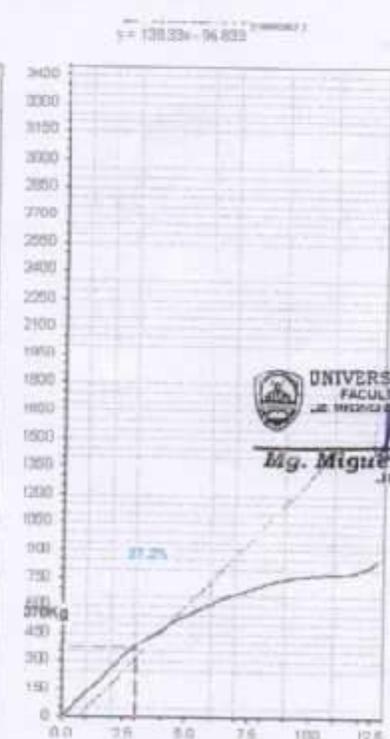
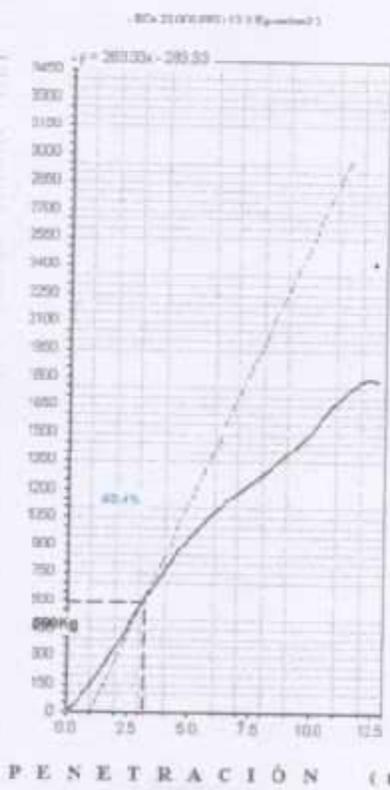
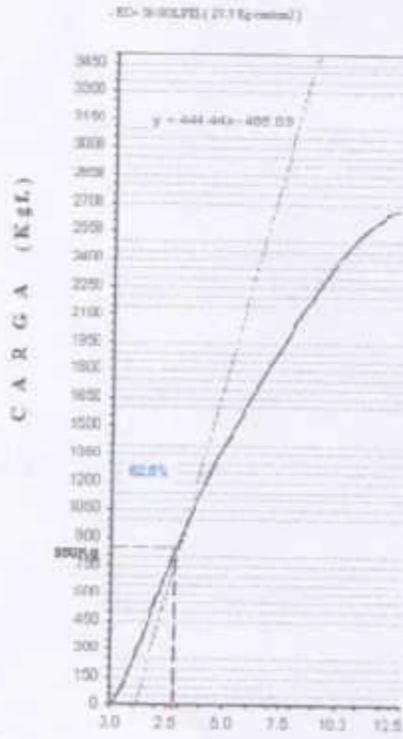
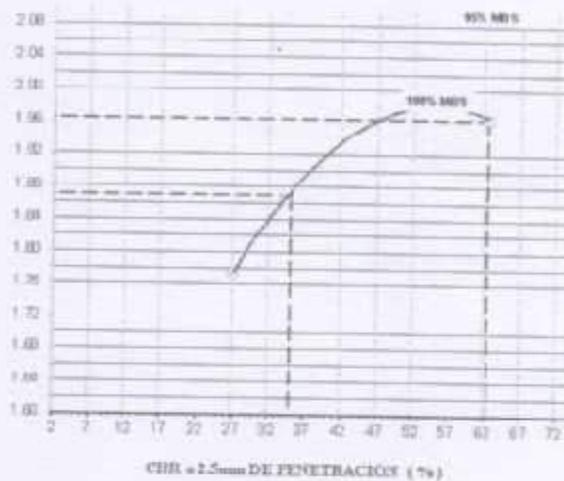
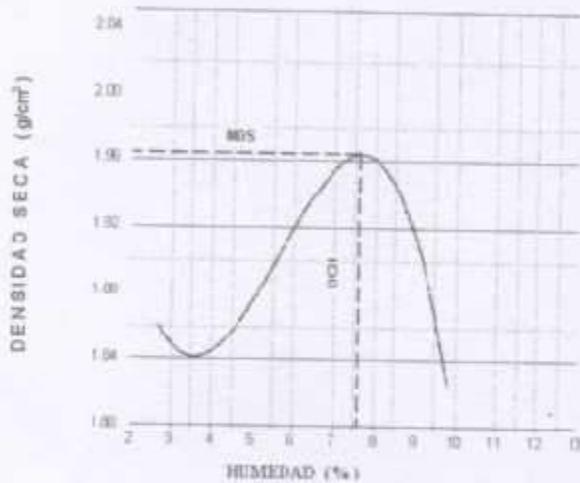
| Características | | | | | | |
|---|---------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Numero de Molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| Numero de Capas | 5 | | 5 | | 5 | |
| Numero de Golpe | 56 | | 25 | | 12 | |
| Energía Compactación [kg-cm/cm ²] | 27.7 | | 12.2 | | 6.1 | |
| Densidad Seca [CBR] | | | | | | |
| 01 - Peso suelo humedo + molde (g) | 9,313.0 | | 8,880.0 | | 8,770.0 | |
| 02 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | | 4,504.0 | | 3,973.0 | |
| 03 - Peso suelo humedo (g) | 4,790.0 | | 4,376.0 | | 4,797.0 | |
| 04 - Volumen de molde, cm ³ | 2,263.000 | | 2,180.000 | | 2,512.000 | |
| 05 - Densidad suelo humedo (g/cm ³) | 2.117 | | 2.007 | | 1.910 | |
| 06 - Tarro N° | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | |
| 07 - Peso suelo humedo + tarro (g) | 505.0 | | 807.3 | | 704.0 | |
| 08 - Peso suelo seco + tarro (g) | 475.5 | | 569.2 | | 658.6 | |
| 09 - Peso del agua (g) | 29.5 | | 38.1 | | 45.4 | |
| 10 - Peso del tarro (g) | 88.0 | | 65.4 | | 64.7 | |
| 11 - Peso suelo seco (g) | 386.6 | | 503.8 | | 593.9 | |
| 12 - Contenido de humedad (%) | 7.6 | | 7.6 | | 7.6 | |
| 13 - Densidad del suelo seco (g/cm ³) | 1.967 | | 1.866 | | 1.774 | |
| Saturación | | | | | | |
| Embebido | Fecha | Hora | Lec. Dial | Lec. Dial | Lec. Dial | |
| Dia 01 | 17-Nov-18 | 3.00PM | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Dia 02 | 18-Nov-18 | 3.00PM | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| Dia 03 | 19-Nov-18 | 3.00PM | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Dia 04 | 20-Nov-18 | 3.00PM | 0.09 | 0.11 | 0.09 | 0.09 |
| Expansión, % | | | 2.0 | 2.4 | 2.0 | |
| Absorción | | | | | | |
| Numero de molde | 1 | | 2 | | 3 | |
| 01 - Peso suelo humedo antes (g) | 4,790.0 | | 4,376.0 | | 4,797.0 | |
| 02 - Peso suelo embebido + molde (g) | 9,402.0 | | 8,977.6 | | 8,003.7 | |
| 03 - Peso del molde (g) | 4,523.0 | | 4,504.0 | | 3,973.0 | |
| 04 - Peso suelo embebido (g) | 4,870.0 | | 4,473.6 | | 4,930.7 | |
| 05 - Peso del agua absorbida (g) | 89.0 | | 97.6 | | 133.7 | |
| 06 - Peso del suelo seco (g) | 4,450.7 | | 4,068.3 | | 4,456.3 | |
| 07 - Absorción de agua (%) | 2.0 | | 2.4 | | 3.0 | |
| Penetración | | | | | | |
| Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.62018 | | | | | | |
| Molde | 1 [56 Golpes] | | 2 [25 Golpes] | | 3 [12 Golpes] | |
| PEN. (mm) | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] | Lec. Dial | Carga [Kgf.] |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.63 | 22.0 | 121.4 | 17.0 | 100.2 | 16.0 | 104.4 |
| 1.3 | 69.0 | 321.1 | 35.0 | 176.6 | 28.0 | 151.1 |
| 1.9 | 124.0 | 554.8 | 78.0 | 359.4 | 46.0 | 223.4 |
| 2.5 | 190.0 | 835.26 | 103.0 | 465.58 | 80.0 | 367.95 |
| 3.2 | 201.0 | 892.0 | 130.0 | 580.3 | 88.0 | 401.8 |
| 3.8 | 240.0 | 1047.7 | 170.0 | 750.3 | 96.0 | 435.8 |
| 5.08 | 339.0 | 1458.4 | 217.0 | 950.0 | 124.0 | 554.8 |
| 7.6 | 450.0 | 1940.0 | 286.0 | 1243.2 | 167.0 | 695.0 |
| 10.16 | 562.0 | 2415.9 | 357.0 | 1544.9 | 174.0 | 767.3 |
| 12.7 | 621.0 | 2686.6 | 413.0 | 1762.0 | 192.0 | 843.8 |
| Carga [%] | 835.26 kgf. [61.4%] | | 465.58 kgf. [34.2%] | | 367.85 kgf. [27%] | |


UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Calle Comercio 1400, Huancayo, Perú
 Mg. Miguel Solar Jara
 JEFE

RELACION DE SOPORTE - CBR [ASTM D-1883]-EXEPERIMETAL-2

| | |
|----------|---|
| SOLICITA | BAHIA CABO SAN JUAN HENRY PARRON |
| TEMA | MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO DE LA CANTERA EN LAS PRINCIPALES ADOSADERAS DEL CENITRO DE DISTRITO DE CABA VEJAZOAS Y CAL VERATASA PARA FINES DE PAVIMENTACION |
| MATERIAL | ASFALTO NATURAL |
| FECHA | 26-May-2020 |

| | | | |
|---------------------------------|----------------------|------------------------|-------|
| METODO DE COMPACTACION | (ASTM D-1557) | C | |
| MAQUINA DENSIDAD SECA | (g/cm ³) | 1.964 | |
| OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) | | 7.8 | |
| CBR AL 100% DE LA M.D.S. (%) | | 62.5 | |
| CBR AL 95% DE LA M.D.S. (%) | | 35.0 | |
| EMBRICO | *BAS | EXPANSION | 2.0 % |
| ABSORCION | 2.0 % | HUMEDAD DE PENETRACION | 2.5 % |




UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 JEFE DE LA ESCUELA DE INGENIERIA DE CARRETERAS Y OBRAS DE SANEAMIENTO
Mg. Miguel Solar Jara
 J.E.

**PANEL FOTOGRAFICO - TITULACION - 2020 - OBTENCION DE MATERIALES (AFIRMADO-
HUARMEY/BCA-NEPEÑA/CH-HUARAZ)**

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN"



EN LA VISTA LA EXTRACCION DEL MATERIAL GRANULAR (AFIRMADO) DE LA CANTERA TRES PIEDRAS- HUARMEY Y LA ENTREGA DE LA MUESTRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR BRINDADA POR LA EMPRESA AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A.



EN LA VISTA SE APRECIA LA ROCA CALCAREA EN ESTADO NATURAL DE LA CANTERA DIANA - PARIHUANCA - CARHUAZ - HUARAZ.

PANEL FOTOGRAFICO - TITULACION - 2020 - ENSAYO DE PH y ATD - LABORATORIO FISICO / QUIMICO.

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN"



EN LA VISTA SE APRECIAN LOS MATERIALES DESPUES DEL TAMIZADO POR LA MALLA # 140 Y # 200, ASI MISMO AL LABORATORIO QUIMICO COLECBI S.A.C. DONDE SE REALIZARAN EL ENSAYO DE DETERMINACION DE PH DE LAS MUESTRAS.



EN LA VISTA SE APRECIA EL MATERIAL OBTENIDO DEL PROCESO DE CALCINADO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR EN EL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE MATERIALES DE LA UNT .

PANEL FOTOGRAFICO - TITULACION - 2020 - ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG - AFIRMADO
(MUESTRA PATRON Y EXPERIMENTALES)

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN"



EN LA VISTA SE APRECIA EL PROCESO DE HIDRATACION DE LA MUESTRA PARA REALIZAR EL ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO (NORMA AASTHO T89/ MTC E110). ASI MISMO LOS EQUIPOS CON LOS CUALES SE REALIZARA EL ENSAYO.



EN LA VISTA SE APRECIA EL PESADO DE LA MUESTRA REALIZADA. ESTA PARA SER PUESTA AL HORNO Y REALIZAR EL CALCULO RESPECTIVO.

PANEL FOTOGRAFICO - TITULACION - 2020 - ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PATRON Y EXPERIMENTAL - ADICIONANDO 3.00% - 4.00% - CBCA-CH

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN"



EN LA VISTA SE APRECIAN LOS MATERIALES (C.B.C.A.-C.H.) A ADICIONAR AL AFIRMADO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO PATRON Y EXPERIMENTAL (NORMA ASTM D-1557/ MTC E115). TAMBIEN EL PROCESO DE COMPACTADO MEDIANTE EL PISON O MARTILLO MANUAL REALIZANDO 56 GOLPES SOBRE EL AREA DE AFIRMADO (PATRON - EXPERIMENTAL).



EN LA VISTA SE APRECIA EL PROCESO DE PESADO DE MOLDE MAS LA MUESTRA COMPACTADA. ESTE PROCEDIMIENTO DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN LA NORMA ASTM D-1557/ MTC E115. TAMBIEN LA COLOCACION DE LAS MUESTRAS AL HORNO.

PANEL FOTOGRAFICO - TITULACION - 2020 -ENSAYO DE C.B.R. - AFIRMADO (EXPERIMENTALES)
- ADICIONANDO 3.00% - 4.00% - CBCA-CH

"MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES DEL AFIRMADO DE LA CANTERA TRES PIEDRAS ADICIONANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CAL PARA FINES DE PAVIMENTACIÓN"



EN LA VISTA SE APRECIA EL TRABAJO DE PREPARADO DEL AFIRMADO ADICIONANDO LA CBCA - CH PARA REALIZAR EL ENSAYO DE VALOR DE LA RELACION DE SOPORTE EXPERIMENTAL SEGÚN LO INDICADO EN (C.B.R. NORMA ASTM D-1883/ MTC E132).



EN LA VISTA SE APRECIA LAS MUESTRAS EN LOS MOLDES CORRESPONDIENTES. PARA SU SATURACION DURANTE 96 HORAS PARA LUEGO PROCEDER A REALIZAR EL ENSAYO DE PENETRACION SEGÚN LO INDICADO EN (C.B.R. NORMA ASTM D-1883/ MTC E132). (AFIRMADO - EXPERIMENTAL 3% - 4% CBCA-CH).