



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Estudio comparativo de estabilización material granular con emulsión
asfáltica y aditivo organosilano con cemento en conservaciones viales,
Ancash – 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Civil

AUTORA:

Villegas Rojas, Karen Yvette (ORCID: 0000-0003-4628-9041)

ASESOR:

Mg. Villegas Martínez, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-9573-0182)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios que siempre me ha brindado su protección, a mi persona por ser persistente en las metas propuestas y también a mi familia por el apoyo incondicional.

Agradecimiento

A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar; a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar siendo mi apoyo incondicional en todo momento.

A las profesionales a modelos a seguir; quién con su vasta y extensa me apoyaron para lograr el gran anhelo de titularme como ingeniero civil.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	11
II. MARCO TEÓRICO.....	14
III. METODOLOGÍA.....	27
3.1 Tipo y diseño de Investigación.....	27
3.2 Variables y Operacionales	28
3.3 Población, muestra y muestreo	30
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección De datos	31
3.5 Procedimiento.....	33
3.6 Método de Análisis de Datos	57
3.7 Aspectos Éticos	57
IV. RESULTADOS.....	58
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	76
VI.CONCLUSIONES	86
VII.RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS.....	89
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas para emulsiones asfálticas según MTC	22
Tabla N° 2: Requisitos de calidad de Cemento portland	24
<i>Tabla 3: Matriz de Operacionalización de Variables</i>	30
Tabla 4: Ensayo de laboratorio para recolección de datos.....	32
Tabla 5: Criterios de diseño para mezclas de suelo – emulsión asfáltica	48
Tabla 6: Fuentes de material Granular identificado a la largo de tramo 1.1	58
Tabla 7: Resultados de ensayos de calidad de canteras de acuerdo a Especificaciones Técnicas	59
Tabla 8: Resumen de determinación de Coeficiente Estructural en relación de CBR de material Granular.....	60
Tabla 9: Resumen de resultado de efectos de la ascensión capilar del material Granular	62
Tabla 10: Resumen de calidad de los agregados para uso con emulsión asfáltica	64
Tabla 11: Contenido de agua en la emulsión asfáltica	65
Tabla 12: Resultados de humedades para recubrimiento	65
Tabla 13: Resultados de humedades de compactación	66
Tabla 14: Resultados de diseños de suelo – emulsión asfáltica	66
Tabla 15: Resumen de calidad de los agregados para uso con emulsión asfáltica	67
Tabla 16: Dosificación óptima para suelo-aditivo químico organosilano y cemento	68
Tabla 17: Resultados de Estabilidad Marshall de estabilización de material granular con el contenido óptimo de emulsión asfáltica	69
Tabla 18: Resultados de Coeficiente Estructural de material granular con el contenido óptimo de emulsión asfáltica.....	69
Tabla 19: Resultados de absorción y ascensión capilar.....	70
Tabla 20: Resultados de CBR de estabilización de material granular con aditivo organosilano y cemento portland	72
Tabla 21: Coeficiente estructural - Aditivo químico y cemento	73
Tabla 22: Resultado de absorción por capilaridad y ascensión capilar de material estabilizado con 0.75 l/m ³ aditivo organosilano y 1% cemento.....	74

Tabla 23: Discusión de resultados de propiedades físicas y mecánicas del material granular por cada agente estabilizador	76
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Concepto de conservación	19
Figura N° 2: Minerales que componen el cemento portland.....	24
Figura 3: Estudio de fuentes de material granular en tramo1 sector 1.1	34
Figura 4: Caracterización y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de material granular	36
Figura 5: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante CBR para un material granular	36
<i>Figura 6: Ensayo de ascensión capilar de material granular natural a 1 día y 5 días</i>	38
Figura 7: Fichas técnicas de emulsión asfáltica y aditivo organosilano.....	38
Figura 8: Ensayos de ensayos de recubrimiento para determinar el cantidad aproximada de emulsión asfáltica	42
Figura 9 : Determinación de humedad de compactación	44
<i>Figura 10: Preparación de especímenes suelo emulsión para determinar la variación de contenido de asfalto</i>	45
Figura 11: Ensayos d las a los especímenes suelo emulsión para determinar la variación de contenido de asfalto	46
Figura 12: Gráficos para diseño de suelo-emulsión	47
Figura 13: Diseño de Estabilizaciones con aditivo químico y cemento	50
Figura 14: Ensayo de absorción por capilaridad y ascensión capilar de material granular natural y estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo organosilado con cemento	51
Figura 15: Proceso de elaboración de testigos y ensayo Marshall para determinar estabilidad Marshall de material granular estabilizado con 3.3 % de emulsión asfáltica	52
Figura 16: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante Estabilidad Marshall para un suelo – asfalto método AASHTO-93	53

Figura 17: Ensayo de CBR de material granular estabilizado con 0.75 l/m ³ de aditivo organosilano con 1% de cemento	54
Figura 18: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante % de CBR para un suelo – emulsión asfáltica AASHTO-93.....	55
Figura N° 19: Descripción de Flujo de procedimiento de ejecución de investigación por fases.....	56
Figura 20: Resultados del cálculo de coeficiente estructural de un material granular por ábaco de metro AASHTO.....	61
Figura 21: Resultados del cálculo de coeficiente estructural de un material granular por Abaco de metro AASHTO a través de estabilidad Marshall.....	70
Figura 22: Resultados de coeficiente estructural de un material estabilizado con 0.75 l/m ³ y 1% cemento por ábaco del meto AASHTO -93 a través de CBR	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Natural.....	62
Grafico 2: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Estabilizado con Emulsión Asfáltica	71
Grafico 3: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Estabilizado con 0.75 l/m ³ aditivo organosilano y 1% cemento	75
Grafico 4: Discusión de resultados de requisito de Estabilidad Saturada en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto.....	77
Grafico 5: Discusión de resultados de requisito de pérdida de estabilidad en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto.....	77
Grafico 6: Discusión de resultados de requisito porcentaje de recubrimiento en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto	78
Grafico 7: Discusión de resultados de requisito de CBR (0.1", 100% MDS) en relación a los requisitos del EG-2013.....	78
Grafico 8: Discusión de resultados de expansión en relación a los requisitos de EG-2013	79

Grafico 9: Discusión de resultados de absorción por capilaridad por ascensión capilar de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural	80
Grafico 10: Discusión de resultados de altura de ascensión de agua por capilaridad de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural	80
Grafico 11: Discusión de resultados de coeficiente de aporte estructural de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural	81
Grafico 12: Discusión de resultados de absorción por capilaridad por ascensión capilar material granular con 0.75 l/m ³ de aditivo organosilano y 1% cemento respecto al material granular natural	82
Grafico 10: Discusión de resultados de altura de ascensión de agua por capilaridad respecto al material granular natural	82
Grafico 14: Discusión de resultados de coeficiente de aporte estructural material granular con 0.75 l/m ³ de aditivo organosilano y 1% cemento respecto al material granular natural	83
Grafico 15: Evaluación de Absorción capilar del material Granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.....	84
Grafico 16: Evaluación de altura de ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.	84
Grafico 17: Evaluación de Coeficiente Estructural de material Granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.	85

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar el estudio comparativo de la estabilización del material granular con emulsiones asfálticas y aditivo organosilano con cemento mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93 para determinar el mejor estabilizador. Al ser una investigación de carácter aplicado y experimental manipulable donde se sometió al material granular a dos agentes estabilizadores emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento; con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas y determinar el mejor agente estabilizador, a partir de la análisis de resultados de ensayos de laboratorio y cálculo de coeficiente estructural según AASHTO-93.

Para lograr dicho objetivo se realizó la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de material granular y se sometió a una evaluación de acuerdo a los requisitos de las Especificaciones Técnicas del Manual de Carreteras del MTC (EG-2013), se diseñó y determinó la dosificación óptima de los agentes estabilizadores con el material granular, para finalmente determinar el coeficiente de soporte estructural, absorción y ascensión capilar de agua por cada agente estabilizador. Obteniendo resultado de diseño de 3.3 % emulsión asfáltica y 0.75 l/m³ aditivo organosilano con 1% cemento; y con respecto a los resultados de la mezcla de material granular estabilizado con 3.3% emulsión asfáltica se incrementó un 120 % de coeficiente de soporte estructural, se redujo de 96.4 % de absorción de agua y 99.6 % de ascensión capilar de agua en relación al material granular natural y de la estabilización de material granular con 0.75 l/m³ aditivo organosilano + 1 % de cemento se incrementó el 24% de coeficiente de soporte estructural, se redujo el 99 % absorción de agua y el 100 % de ascensión capilar de agua en relación al material granular natural. Concluyendo que el mejor agente estabilizador para este proyecto que por sus características técnicas requerida, afectaciones climatologías intensas y tipo de solución (material de base) es la mezcla de aditivo organosilano y cemento, debido que mejoró todos sus propiedades físicas y mecánicas del material granular obteniendo mejores resultados de absorción de agua y ascensión capilar por ende tiene mayor resistencia a la efectos del agua.

Palabras clave: Estabilización, emulsión asfáltica, organosilano

ABSTRACT

The present research aims to carry out the comparative study of the stabilization of granular material with asphalt emulsions and organosilane additive with cement by means of laboratory tests and the AASHTO-93 method to determine the best stabilizer. Being a applied and experimental investigation where the granular material was subjected to two stabilizing agents asphalt emulsion and organosilane additive with cement; in order to improve its physical and mechanical properties and determine the best stabilizing agent, based on the analysis of laboratory test results and calculation of the structural coefficient according to AASHTO-93.

To achieve this objective, the evaluation of the physical and mechanical properties of granular material was carried out and it was subjected to an evaluation in accordance with the requirements of the Technical Specifications of the MTC Highway Manual (EG-2013), the dosage was designed and determined. Optimization of the stabilizing agents with the granular material, to finally determine the coefficient of structural support, absorption and capillary rise of water for each stabilizing agent. Obtaining design result of 3.3% asphalt emulsion and 0.75 l / m³ organosilane additive with 1% cement; and with respect to the results of the mixture of granular material stabilized with 3.3% asphalt emulsion, a 120% structural support coefficient was increased, there was a reduction of 96.4% of water absorption and 99.6% of capillary rise of water in relation to the material. natural granular and stabilization of granular material with 0.75 l / m³ organosilane additive + 1% cement increased by 24% of coefficient of structural support, water absorption was reduced by 99% and capillary rise of water in 100% in relation to natural granular material. Concluding that the best stabilizing agent for this project that due to its required technical characteristics, intense weather conditions and type of solution (base material) is the mixture of organosilane additive and cement, because it improved all its physical and mechanical properties of the granular material obtaining better results of water absorption and capillary ascension therefore it has greater resistance to the effects of water.

Keywords: Stabilization, asphalt emulsion, organosilane

I. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial a nivel internacional y nacional es el medio primario de comunicación y de intercambio económico entre los pobladores. El desarrollo y progreso de una nación, depende entonces de la importancia que se dé el mantenimiento y construcción de las vías terrestres. Muchas carreteras de la amplia red vial peruana se encuentran a nivel de trocha carrozable o está afirmada, que implica una alta inversión el llevarlas a niveles de los pavimentos convencionales.

En ese sentido el presente trabajo de investigación se orienta en la problemática actual de la infraestructura vial del Perú, en el área de pavimentos, donde se encuentran los, caminos y carreteras a nivel de trochas, afirmados, en otros; desarrollar soluciones técnicas de pavimentos y aportar información con nuevas alternativas tecnologías con respecto al empleo de agentes estabilizadores en materiales granulares. Con la finalidad de recuperar, mejorar y asegurar una adecuada infraestructura vial que permita mejorar los tiempos de viajes y la comodidad a la población usuaria.

El problema de investigación surge de la falta desarrollo de la infraestructura vial que se ve reflejada en la realidad de nuestro país y el auge de las nuevas soluciones técnicas que se vienen estudiando e implementando para el mejoramiento y recuperación los caminos, carreteras a nivel de trochas afirmadas.

En este estudio se presenta dos propuestas de agente estabilizadores para una material granular seleccionado en cantera, con el fin de mejorar las condiciones naturales, a través de la evaluación resultados de ensayos de laboratorio para evaluar las sus propiedades físicas y mecánicas; de acuerdo a las Normativa peruana del MTC (Especificaciones Técnicas EG-2013) que permitirá elegir el mejor agente estabilizador y fundamentar la presente investigación.

En tal sentido, se propone realizar el estudio comparativo de la estabilización de un material granular con tres diferentes estabilizadores mediante ensayos de laboratorio; para mejorar su capacidad de soporte del material granular y elegir técnicamente el mejor agente estabilizador. De esta manera aportar información del mejor uso de estabilizador para materiales granulares.

Es por ello que en la actualidad investigación se ha planteado el siguiente problema general ¿En qué medida el estudio comparativo de la estabilización de material granular con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento a través de ensayos de laboratorio y método AASHTO, permitirá elegir el mejor estabilizador? Asimismo, los problemas específicos ¿En qué medida la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular definen la aplicación de los agentes estabilizadores ?, ¿En qué medida el diseño y determinar la dosificación óptima de los agentes estabilizados afecta en las propiedades físicas y mecánicas del material granular?, ¿Determinar estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación permitirá elegir el mejor agente estabilizador? y ¿Determinar CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento en su óptima dosificación permitirá elegir el mejor agente estabilizador?

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Metodológica

Esta investigación se realizó con el fin de aportar información respecto a las metodologías empleados para elegir el mejor agente estabilizador de materiales granulares mediante un estudio comparativo de los ensayos de laboratorio, y así mejorar las propiedades del material granular tanto físicas y mecánicas para ser usados en el mejoramiento y recuperación de la infraestructura vial a través proyecto de conservaciones viales.

Técnica

Esta investigación se realiza con el fin de optimizar de manera eficiente las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares naturales de origen pétreo que no cumplen con las características técnicas requeridas para ser usado individualmente en el mejoramiento y recuperación de la infraestructura. Para ello se emplearán agente estabilizadores con emulsión asfáltica y aditivo orgasilano con cemento, los que permitirán mejorar las propiedades del material granular tanto

físicas y mecánicas así como mejorar su comportamiento frente las afectaciones climatológicas porque brindará impermeabilidad del pavimento.

Económica

Esta investigación se realiza con el fin de reducir los costos los proyectos de mejoramiento y recuperación de la infraestructura, ya que, con la evaluación de agentes estabilizadores para mejorar las propiedades del material granular tanto físicas y mecánicas de los permitan el aprovechamiento de los materiales propios de la zona y no requerir el transporte de materiales de otros fuentes que ocasionen una mayor inversión en transporte y adquisición de los mismos.

Social

Esta investigación se realiza con el fin brindar nuevas propuestas tecnológicas para el mejoramiento y la recuperación de la infraestructura vial a nivel de trocha carrozable o afirmada, que permitirá na optimar la calidad de vida a la población de influencia. Optimizando el tiempo de viaje y la comodidad del usuario, así como mejorar el desarrollo de la población trayendo mejores oportunidades para las comunidades como el acceso a zonas alejados.

OBJETIVOS:

Objetivo general: Realizar el estudio comparativo de la estabilización del material granular con emulsiones asfálticas y aditivo organosilano con cemento mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93; Asimismo, los **Objetivos específicos:** Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material granular a fin de aplicar los agente estabilizadores. Diseñar y determinar la dosificación óptima de los agentes estabilizadores con el material granular. Determinar estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación. Determinar CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento a en su optima dosificación.

HIPOTESIS

Hipótesis General: Es posible determinar el mejor agente estabilizador de un material granular realizando un estudio comparativo de la estabilización de material granular con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento, mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93; Asimismo, las hipótesis específicas: Las propiedades físicas y mecánicas del material granular deben cumplir las mismas las propiedades físicas y mecánicas para cada agente estabilizador. El diseño y la dosificación óptima de cada agente estabilizador afecta en las propiedades físicas y mecánicas del material granular. Con la evaluación de la estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación, permitirá determinar el mejor agente estabilizador. Con la evaluación de CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento se determinará el mejor agente estabilizador.

II. MARCO TEÓRICO

REFERENCIA

Como **antecedente nacionales** tenemos a Fredy & Carlos (2019), teniendo como objetivo analizar la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica a fin de comparar resultados de su aplicación a una base granular a través de ensayos de laboratorio. **La metodología** es de tipo aplicada y de diseño experimental. Para ello consideraron la estabilización de la base granular con cemento portland con una dosificación 4%, 6% y 8% y con respecto a la emulsión asfáltica con una dosificación 3%, 5% y 7%; determinar su óptimo contenido por cada estabilizador y se sometiéndolo a una evaluación de soporte estructural mediante el ensayo de CBR. Obteniendo **resultados** en relación a una muestra patrón de suelo natural de CBR de 65.1%, que al estabilizarlo con un 5.8% de emulsión asfáltica se obtuvo un CBR de 75.3% y al estabilizar con 5% de cemento portland se obtuvo un CBR de 153.5; en base a estos resultados también realizaron el diseño de espesores de pavimento obteniendo un espesor de capa de 30 cm estabilizado con emulsión

asfáltica y un espesor de 35 cm estabilizado con cemento portland. La **conclusión** que técnicamente y económicamente la estabilización con emulsión asfáltica es el más competente para la estabilización de la base granular.

A Mario (2018), teniendo como objetivo realizar un análisis comparativo técnico económico entre los diseños de capas granulares estabilizadas con emulsión y cemento portland bajo el método AASHTO 1993. La **metodología** es de tipo descriptiva – explicativa y de diseño experimental. Se realizó el diseño del pavimento material granular existente en plataforma más material granular seleccionado de cantera estabilizándolo con cemento portland al 2%, 3 % 4% y con emulsión asfáltica al 3%, 3.3 %, 3.6 %. Ambos diseños se sometieron a una evaluación de capacidad portante expresada en valores de coeficiente estructurales individual; mediante los ensayos de compresión no confinada para la estabilización con cemento portland y ensayo de tracción directa para la estabilización con emulsión asfáltica. **Obteniendo resultados** del incremento del 50 % del coeficientes de aporte estructural del material existen estabilización con cemento portland y con respecto a las estabilización con emulsión asfáltica se incrementó en un 25 % el coeficientes de aporte estructural del material existe. La **conclusión** es que mediante el estudio comparativo se determinó que la estabilización con cemento portland presenta la mejor característica de relación de soporte (CBR), también señala que al aumentar la resistencia disminuye el espesor de capa.

A Jubertt & Humberto (2011), teniendo como **objetivo** elegir el mejor estabilizador luego de realizar el estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicado estabilizador: emulsión asfáltica, cal y cemento portland, aplicado para el tipo de suelos característico del tramo de investigación seleccionada en la carretera. La **metodología** es de tipo aplicativa y de diseño experimental. Para la evaluación técnica se consideró individualmente la estabilización de base con los siguientes estabilizadores: cal al 2%,3% y 5%, cemento al 5% y base más emulsión asfáltica al 4.3 %; a partir de dicha mezclas se realizaron el estudio comparativo con los ensayos de proctor, CBR, resistencia a la compresión simple y resistencia a la tracción a cada uno de los estabilizadores. La **conclusión** es que se obtuvo estabilización con Cal (5%) con un incremento respecto a material granular del 83.5

%, de resistencia a la tracción indirecta la estabilización con cemento portland (5%) con un incremento respecto al material granular de 100 % y de compresión simple la estabilización con cemento portland (5%) con un incremento respecto al material granular de 400 %. Finalmente se concluye que, de acuerdo a una evaluación técnica de los ensayos obtenidos por cada estabilizador el mejor estabilizador en esta investigación es cemento portland y de acuerdo a una evaluación económica también por presenta un menor costo.

Jessica G. & Eduardo C. (2020), teniendo como **objetivo** Analizar la mejora de la capacidad de soporte del suelo en la base del pavimento industrial con distintas dosificaciones del aditivo químico Terrasil en el almacén de concentrados mineros Logisminsa en el distrito de Ventanilla. **La metodología** es de tipo aplicativa y de diseño experimental. Para la cual se desarrolló la determinación de las especificaciones técnicas de los agregados, características geotécnicas del suelo a tratar, se determinó la influencia del aditivo químico en el suelo y se estabilizó el suelo con diferentes porcentajes de incorporación de aditivos químicos. **Obteniendo resultados** de la estabilización con solo aditivo químico Terrasil se alcanzó los valores mínimos de resistencia del suelo con dosificaciones de 0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³ obteniendo valores de CBR de 93.5%, 103.2% y 107.9% respectivamente y con la estabilización de la combinación: suelo-Terrasil con dosificaciones de 0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³ con el 1% cemento, se obtuvo CBR de 112.6%, 117.1% y 120.3% respectivamente. **La conclusión** del análisis de la capacidad de soporte del suelo se determinó que con la estabilización de aditivo químico terrasil (0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³) aumentando el valor de CBR en relación al suelo en estudio en un 7.5%, 17.2% y 21.1%, con la estabilización de aditivo químico terrasil (0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³) mas 1% cemento aumento valores de CBR en un 31.0 %, 36.2 % y 39.88 %,asimismo señala que el uso de aditivo químico terrasil 0.75 l/m³ + 1 % cemento es la dosificación óptima para este tipo de estabilización.

ÁMBITO INTERNACIONAL

Ramos, J. y Lozano, J. (2019) Colombia. Donde estudia el comportamiento y propiedades de suelos naturales en la construcción de la infraestructura así como la influencia de la estabilización de los suelos arcillosos en el mejoramiento de sus propiedades estructurales, Para ello realiza la estabilización de los suelos con dos tipos de aditivos como la cal y cenizas de carbón a un concentración de 10 %, 20 % y 40% en relación al suelo. Adicionalmente se realizó a evaluación con ensayos de compresión confinada y corte directo que permitieron determinar las propiedades mecánicas de las mezclas, evidenciando una mejora en el comportamiento mecánico del material arcilloso. Concluyendo que en términos de resistencia y costo la ceniza muestra ser el mejor agente estabilizador ya que aumente en un 50%.

Almeida, F y Sánchez, E. (2011) En su tesis desarrollo el estudio de la estabilización del suelo con el uso de emulsión asfálticas catiónicas de rotura lenta en la vía las Mercedes – Puerto Nuevo. Donde realiza la estabilización de material natural con 5,10, 15, 20% de emulsión asfáltica y estudia sus propiedades físicas y mecánicas, concluyendo que a mayores porcentajes de emulsión la absorción de agua disminuye es decir la disminución de la permeabilidad.

Gutiérrez, J. y Cerón, E. (2020). En su tesis desarrolla el análisis de la optimización de los suelos con aditivo químico terrasil para un pavimento. Donde se realizó el análisis de los materiales de cantera para mejorar sus propiedades con la estabilización con aditivo químico terrasil compuesto por orgasilano a una concentración 0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³, obteniendo resultados de las mezclas incremento su CBR en 7.5 %, 17.2 % y 21.1 % respectivamente; también realizaron mezclas de suelo, terrasil y cemento al 1% a una concentración de 0.5 l/m³, 0.75 l/m³ y 0.9 l/m³ de aditivo químico obteniendo resultados mayores de CBR en 26.6%, 31.1% y 34.3% compara si solo se usa aditivo químico solo.

ARTICULOS CIENTIFICOS

Rodríguez, E y Rondón, H. (2006), en la presente investigación se realizó el estudio de la influencia de la estabilización de subbase granular con la adición de PVC respecto al comportamiento de sus propiedades. Para ello se consideró los ensayos

de Proctor y CBR y se comparó el comportamiento del material natural. Concluyendo un incremento del 1.8% en el CBR del material granular, así como cambio de peso unitario y mayor resistencia y menor peso.

Rivera, J. y Aguirre, A. (2020), en la presente artículo de investigación se detalla el estudio de la estabilización químicas de suelos. Donde describe los métodos tradicionales de estabilizaciones químicas, como estabilizaciones con cemento portland, cal, cenizas volantes, escorias siderúrgicas de alto horno, sales; también describe las ventajas y desventajas de cada estabilización. Concluyendo que la implementación de cementantes activados alcalinamente, su viabilidad técnica, los impactos ambientales asociados y los retos que se deben superar para lograr posicionarlos como una alternativa sostenible para procesos geotécnicos.

Tejada, E. (2011). En la presente artículo de investigación se realiza el estudio del aditivo químico empleado para la estabilización de suelos arcillosos de subrasante en carreteras, donde realizó el análisis de los suelos arcillosos de alta compresibilidad y se estabilizó de acuerdo al manual de 2% de cemento más 4.8 ml del aditivo químico para 1.0 kg de suelo por estabilizar. Obteniendo un incremento del 4.4 % de CBR, también incrementa el nivel de ascensión capilar y finalmente aumenta considerablemente la resistencia a la compresión axial hasta 7.0 kn/m² a un tiempo de curado de 7, 14 y 28 días. Finamente se concluye el incremento de todas las propiedades de los suelos arcillosos de alta compresibilidad.

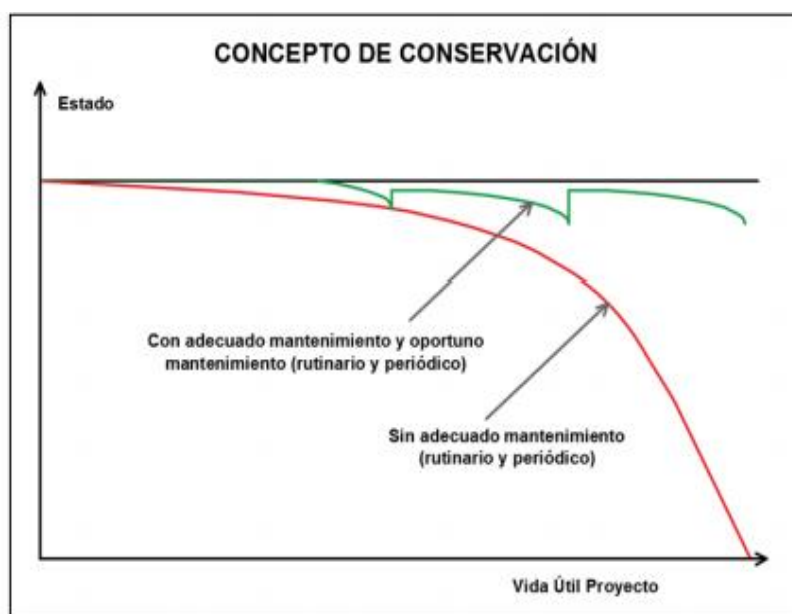
GENERALIDADES

CONSERVACIONES VIALES

La conservación vial son obras de ingeniería en la infraestructura vial que contempla un conjunto de actividades, que requieren ejecutarse cada vez que se detecta un deterioro de la infraestructura los cuales deben ser atendidas de forma inmediata, y que debe ser mejorados en poco tiempo de ejecución desde el momento en que es detectado.

Los objetivos de la conservación vial es el mantenimiento de las intervenciones efectuadas en la construcción, la recuperación, la rehabilitación y el mantenimiento periódico de la infraestructura vial; así como asegurar la transpirabilidad permanente con seguridad, comodidad y economía. Como se detalla gráficamente en la Figura N° 2.

Figura 1: Concepto de conservación



Fuente: Experiencia de Conservación de Carreteras - 2011

Las conservaciones viales requieren la utilización de agregados de calidad y cumplan con las especificaciones de acuerdo al Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los cuales son cada vez más difíciles de ubicar

y resultan de mayor inversión económica. Esta situación afecta principalmente a los caminos y carreteras no pavimentadas con superficies de grava y tierra.

CARRETERAS NO PAVIMENTADAS: Es aquella infraestructura vial que tienen una capa delgada de asfalto o material granular estabilizado mediante aditivos, pero que no pasaron por un proceso de pavimentación. De acuerdo al manual de diseño para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, considera que básicamente se utilizarán los siguientes materiales y tipos de superficie de rodadura:

Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.

Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo.

Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo).

Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:
Grava con superficie estabilizada con materiales como: cal, aditivos químicos y otros. Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, cal, aditivos químicos y otros.

ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE MATERIALES GRANULARES: Es la utilización de productos o aditivos químicos estabilizadores que presentan como alternativas para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos o materiales granulares con el fin de modificar las propiedades existentes haciéndolos capaces de cumplir el mejor forma los requisitos deseados para el uso en el mejoramiento de la infraestructura vial, especialmente buscado un buen comportamiento esfuerzo de formación.

Las propiedades del material granular que se intentan modificar a través de un proceso de estabilización son: estabilidad volumétrica, resistencia, compresibilidad, durabilidad y permeabilidad.

Las estabilizaciones con agentes estabilizantes, consiste en llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo y materiales granulares con la cual se determina el tipo y cantidad de agente estabilizantes así como el procedimiento para efectuar la estabilización.

ESTABILIZADORES DE SUELOS

EMULSIÓN ASFÁLTICA

Es un producto derivado del asfalto. Consiste en una emulsión de asfalto en un medio acuoso, utilizando un solvente químico para estabilizar la mezcla.

La emulsión es del tipo catiónica de rotura lenta (CSS-1h). Al mezclar la emulsión al agregado húmedo, la fase acuosa se separa de los glóbulos de asfalto debido a la carga eléctrica superficial de los agregados. Una vez evaporada toda el agua de la emulsión, el asfalto que ha recubierto al suelo recupera sus propiedades originales, otorgándoles a la mezcla una mayor cohesión, así como resistencia mecánica a la flexión, compresión y tracción.

COMPOSICIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Cemento Asfáltico: es el componente principal de la emulsión asfáltica entre del 55% al 70 % de la misma. Para ello la emulsión asfáltica es preciso que cumpla con las características químicas, físicas y reológicas para uso como agente estabilizador y también debe ser compatible con el agente emulsificante para la estabilidad de la emulsión.

El Agua: es un componente que tiene la función de humedecer y disolver; permite la adherencia con otras sustancias y modera las reacciones químicas; es características permiten la formulación y producción de una emulsión dentro de los parámetros de calidad.

El Emulsificante: es el componente esencial y el de menor porcentaje de la emulsión asfáltica. Su principal función de evitar coalescencia y estabilizar (unión de globulos de cemento asfáltico); también permite el rompimiento oportuno para la solidificación y cambia la tensión superficial en la superficie de contacto.

TIPO DE EMULSIONES

Emulsiones de Rotura Lenta

La emulsión es del tipo catiónica de rotura lenta (CSS-1h), tal como lo sugiere el MTC en el Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos (2014). Al mezclar la emulsión al agregado húmedo, la fase acuosa se separa de los glóbulos de asfalto debido a la carga eléctrica superficial de los agregados. Una vez evaporada toda el agua de la emulsión, el asfalto que ha recubierto al suelo recupera sus propiedades originales, otorgándoles a la mezcla una mayor cohesión, así como resistencia mecánica a la flexión, compresión, y tracción.

El asfalto emulsionado cumple con las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC, en la Sección 301.E (Suelos estabilizados con emulsión asfáltica) como se detalla en la tabla N°01.

Tabla 1: Especificaciones técnicas para emulsiones asfálticas según MTC

CARACTERÍSTICAS	NORMA	TOLERANCIAS	
		CCS – 1h	
		Mín	Máx
Viscosidad Saybort Furol a 77°F (25°C). s	MTC E 403	20	100
Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %	MTC E 404	-	1
Carga de partícula	MTC E 407	Positivo	
Prueba de Tamiz, %	MTC E 405	-	0.1
Mezcla por Cemento, %	ASTM D 6935	-	2.0
Destilación			
Residuo, %	MTC E 401	57	-
Pruebas sobre el Residuo de Destilación			
Penetración, 77°F (25°C), 100g, 5s	MTC E 304	40	90
Ductibilidad, 77°F (25°C), 5cm/min, cm	MTC E 306	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	MTC E 302	97.5	-

Fuente: EG-2013 (MTC)

ADITIVO QUIMICO ORGANOSILADO

Es un producto líquido viscoso de color amarillento. El aditivo está compuesto por organosilanos, y es capaz de reaccionar con los suelos a nivel molecular. Forma enlaces Si–O-Si (siloxano) con las moléculas de la superficie, cuya elevada fortaleza aporta una eficacia prolongada en el tiempo. El producto genera una membrana transpirable, que confiere propiedades hidrófobas, al mismo tiempo que permite la evaporación del agua. Además, mejora la adherencia con polímeros y betunes y elimina el índice de plasticidad de los suelos.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Organosilanos: 65% - 70%

Alcohol bencílico (CAS#100-51-6): 25% - 27%

Etilenglicol (CAS#107-21-1): 3% - 5%

Características técnicas

Aspecto Líquido

Color Amarillo pálido

Punto de inflamación >75°C

Temperatura de autoignición 399°C

Densidad: 1,01 g/ml

Solubilidad en agua: completa

pH: Disolución al 10%: neutra o ligeramente ácida

Viscosidad (a 25°C): 100cps – 500cps

CEMENTO PORTLAND

El cemento es un material fino de color gris, con propiedades de resistencias, variaciones volumétricas y durabilidad. Los componentes principales del cemento portland son I cemento portland son silicatos y aluminatos de calcio, estos componentes se asocian químicamente como el óxido de calcio (CaO), la sílica (Si O₂), alúmina (Al₂ O₃) y el óxido de hierro (Fe₂ O₃).” (P.25). Como se detalla en la Figura N° 2 la composición de acuerdo a sus porcentajes de cada elemento:

Figura N° 2: Minerales que componen el cemento portland

Mineral	Símbolo	Porcentaje
Oxido de calcio	Cao	62.5% - 64.5%
Oxido de silicio	SiO ₂	19% - 22%
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃	4% - 6%
Oxido de fierro	Fe ₂ O ₃	3% - 3.5%
Oxido de magnesio	MgO	0.9% - 2.9%
Anhídrido sulfúrico	SO ₃	2.3% - 2.6%

Fuente: Aliaga, F. & Soriano, C.

Para la estabilización de suelos debe emplear el cemento Portland que cumpla las características o requerimientos de calidad señalados por las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG 2013 del MTC. Para los ensayos de estabilización se utilizó un cemento portland tipo I. como se detalla en la tabla N° 2.

Tabla N° 2: Requisitos de calidad de Cemento portland

Composición química	Método de ensayo aplicable	Tipos de cemento				
		I	II	III	IV	V
Dióxido de Silicio(SiO ₂), % mín.	334.086	-	20,0 (C,D)	-	-	-
Óxido de aluminio(Al ₂ O ₃) % máx.		-	6,0	-	-	-
Óxido Férrico(Fe ₂ O ₃)% máx.		-	6,0 (C,D)	-	6,5	-
Óxido de Mangnesio(MgO) % máx.		6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Trióxido de Azufre(SO ₃)% máx. (A)						
Cuando C ₃ A ≤8%		3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
Cuando C ₃ A >8%		3,5	(B)	4,5	(B)	(B)
Pérdida por ignición,% máx.		3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Residuo insoluble, % máx.	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
Silicato Tricálcico (C ₃ S) %(máx) (E)	Véase Anejo C	-	-	-	35 (C)	-
Silicato Dicálcico (C ₂ S) %(mín) (E)		-	-	-	40 (C)	-
Aluminato Tricálcico (C ₃ A) %(máx) (E)		-	8	15	7 (C)	5 (D)
Alumino-ferrito tetracálcico más dos veces el Aluminato Tricálcico (C ₄ AF+2(C ₃ A))) ó Solución Sólida (C ₄ AF+C ₂ F) máx.		-	-	-	-	25 (D)

Fuente: EG-2013 Sección 539

Características del proyecto en marco de Reconstrucción

A partir del Fenómeno del Niño Costero del 2017 (FEN 2017) y del decreto supremo N°091-2017-PCM, el consejo de ministros aprobó el Plan Integral de la Reconstrucción con Cambios-PIRCC de conformidad con lo establecido en la ley N°30556, el cual responde al portafolio de intervenciones por región publicado en la web de la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios.

Así mismo, en el 24° Directorio de la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios, de fecha 22.11.2017, se expuso la necesidad de atender a la mayor brevedad un conjunto de intervenciones en las regiones afectadas por el Fenómeno del Niño Costero 2017; estableciéndose la priorización de las actividades con el espíritu de realizar proyectos que permitan ofrecer soluciones de carácter temporales de atención inmediata a la infraestructura dañada de tal forma que permitan recuperar las condiciones iniciales de servicio de las vías.

En ese sentido el Ministerio de Transportes y comunicaciones desarrollo proyectos en el marco de Reconstrucción por afectaciones del FEN 2017, donde su alcance era la ejecución de proyectos que ofrecen soluciones temporales de atención inmediata a la infraestructura dañada por el Fenómeno del Niño, en tanto se desarrollen soluciones definitivas que requieren de mayores plazos para su atención.

Dentro de este contexto, se encuentra el proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Infraestructura Vial - Paquete 5R-Ancash-Tramo 1: Emp.PE-1NQ (Dv. Lacramarca) - La Aguada - Las Cruces – Lacramarca - Santa Ana - Quitacocha – Huaylas - Emp.PE-3N (San Diego) L=158 Km, Tramo 2: Emp.PE-3N (Huacaschuque) – Lacrabamba - Dv. Conchucos – Pampas – Consuzo - L.D. La Libertad (LI-115 a Pampa el Condor) Tramo: 59+000 – 106+900”, ubicado en la región de Ancash.

Imagen N°01 Panel fotográfico de la plataforma existente de tramo 1: sector 1.1: km 0+000 - km 61+897.66



km 0+730



km 31+240



km 45+218



km 58+300

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de Investigación

Tipo de investigación

La investigación según la finalidad es una investigación aplicada, ya que a través de la recopilación y evaluación de los resultados de los pruebas de laboratorio, se logra resultados de la influencia de cada agente estabilizador emulsión asfáltica, aditivo organocilano y cemento portland en el material granular y elegir el mejor agente estabilizador; los cuales nos permiten extender los conocimiento de las diferentes soluciones técnicas aplicables en conservaciones viales.

Según - (CONCYTEC 2018) Conocimiento científicos, los médios (metodología, protocolo y/o tecnologías)

Diseño de investigación:

La investigación es experimental, ya que realiza una evaluación del material granular de origen pétreo en función de sus propiedades físicas y mecánicas, para modificarlas aplicando agentes estabilizadores como emulsión asfáltica y aditivo organocilano con cemento; con el fin de ganar, a partir de la análisis de resultados de ensayos de laboratorio y método AASHTO-93, encontrar la seguridad necesaria para validar la presente investigación.

Nivel:

El nivel de la investigación es explicativa, porque se realiza la descripción de los procedimientos de diseño de las mezclas estabilizadas, así como relata los resultados del material granular natural estabilizado con emulsión asfáltica, aditivo organocilano y cemento portland, asimismo mediante la verificación de hipótesis e interpretaciones y las conclusiones finales para la presente investigación.

También es descriptiva, porque se especifica el empleo de agentes estabilizadores a diferentes dosificaciones y los métodos de diseño que se van a emplear por cada estabilizador; el que permitirá evaluar mejor las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de laboratorio, para que finalmente se realice la interpretación los resultados y la comparación de los mismos, que permitirá elegir el mejor estabilizador.

Enfoque de investigación:

Se fundamenta en la construcción y medición de dimensiones, indicadores e índices de variables y de sus relaciones y también poder medir una determinada población y muestras

3.2 Variables y Operacionales

VARIABLE INDEPENDIENTE:

Estabilizadores

Definición Conceptual: Los estabilizadores son un complemento de paisajismo de origen químico con el fin de mejorar, reforzar y estabilizar suelos y/o materiales granulares. El estabilizador de suelos sirve para uso en gravas y brindad mejoras para que los materiales se conserven firmes y estables frente a las inclemencias del tiempo. (Fuente: Asphalt Institute, Asphalt Emulsion Manufacture. "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19". USA

Definición Operacional: Los estabilizadores son agentes que a cierta dosificación, manipulación o tratamiento se logra optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares de origen natural; por el aprovechamiento de sus mejores cualidades con el fin de mejorar la capacidad de soporte de los materiales naturales.

Material granular:

Definición Conceptual: Es la información de las propiedades físicas y mecánicas que debe presentar el material granular de origen pétreo, compuesto por material gruesos, arena y material fino distribuidas en diferentes proporciones y los que pueden ser usados en la rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial.(Fuente: Especificaciones Técnicas de Manual de Carreteras de MTC – EG 2013)

Definición Operacional: Para estudiar las propiedades físicas y mecánicas del material granular se realizan mediante ensayos de laboratorio que permite la caracterización del material granular para su estabilización y utilización como material de base en un pavimento.

VARIABLE DEPENDIENTE

Estabilización de material Granular con emulsión asfáltica:

Definición Conceptual: es el mejoramiento de materiales granulares mediante la incorporación de emulsiones asfálticas, incrementa la capacidad portante, la resistencia al desplazamiento por la acción del clima (agua). (Fuente: Instituto del Asfalto).

Definición Operacional: es el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con la adición de emulsión asfáltica, que permitirán ser utilizados como material de base en un pavimento.

Estabilización de material Granular con aditivo organosilano con cemento

Definición Conceptual: Consiste en la incorporación de aditivos químicos específicos, los cuales se incorporan al suelo a tratar según las especificaciones técnicas del producto. Al incorporar este aditivo se busca la modificación de las características del suelo; y obtener una mejor capacidad de respuesta ante las cargas a las que estará sometido, tanto en la etapa de construcción como de servicio. (Fuente: Gutiérrez, J. y Cerón, Eduardo” Tesis análisis de la optimización del suelo de la base con Aditivo químico terrasil para el diseño de pavimentos Industriales del almacén de concentrados mineros – Almacenes logisminsa, Ventanilla – Callao”

Definición Operacional: es el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con la adición de aditivo orgasilano con cemento, que permitirán ser utilizados como material de base en un pavimento.

En la siguiente tabla se detalla dimensiones, indicadores, escala e instrumentos de cada de cada variable desarrolladas en el presente investigación, ver tabla 3

Tabla 3: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTOS
Estabilizadores	Emulsión asfáltica	Densidad (gr/cm ³) Viscosidad 25°C (cps) Ductilidad (cm) Prueba de Tamiz (%)	Intervalo	Ficha Técnica y Certificado de Calidad de Emulsión asfáltica
	Aditivo organosilano + cemento	Densidad (gr/ml) pH Viscosidad 25°C (cps)	Intervalo	Ficha Técnica y Certificado de calidad de aditivo Organosilano Ficha Técnica y Certificado de calidad de Cemento
Estudio de material granular	Caracterización de material granular	Granulometría Índice de Plasticidad Absorción ascensión capilar CBR	Razón	Balanza Horno Equipo de Absorción Equipo CBR
Estabilización de material Granular + emulsión asfáltica	Estabilidad Marshall Coeficiente de soporte estructural Absorción ascensión capilar	lb 1/cm % cm	Razón	Prensa Marshall Equipo de Absorción Equipo de Capilaridad
Estabilización de material Granular + Aditivo organosilano con cemento	CBR Coeficiente de soporte estructural Absorción Ascensión capilar	% 1/cm % cm	Razón	Prensa CBR Equipo de Absorción Equipo de Capilaridad

Fuente: Elaboración propia

3.3 Población, muestra y muestreo

POBLACIÓN

Definición teoría:

Está constituida por un conjunto de personas o elementos que poseen características comunes (criterios de selección: inclusión y exclusión), que son estudiadas por el investigador, las mismas que permitan realizar las generalizaciones a partir de la observación de la muestra

Materiales granulares existentes en las conservaciones viales a nivel de trocha y afirmado, los cuales necesitan ser rehabilitadas y mejoradas, con materiales naturales que cumplan el comportamiento estructural de los materiales para base proyecto de Mejoramiento y Rehabilitación de la Infraestructura Vial - Paquete 5R-

Ancash-Tramo 1: Emp.PE-1NQ (Dv. Lacramarca) - La Aguada - Las Cruces – Lacramarca - Santa Ana - Quitacocha – Huaylas - Emp.PE-3N (San Diego) L=158 Km, Tramo 2: Emp.PE-3N (Huacaschuque) – Lacrabamba - Dv. Conchucos – Pampas – Consuzo - L.D. La Libertad (LI-115 a Pampa el Condor) Tramo: 59+000 – 106+900”, ubicado en la región de Ancash.

MUESTRA

Es el material granular de origen natural presentes en Tramo 1: sector 1.1: km 0+000 - km 61+897.66 del proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Infraestructura Vial - Paquete 5R

MUESTREO

El muestreo no probabilístico por conveniencia de acuerdo a la norma ASTM D 1559 para emulsión asfáltica y norma ASTM-D1883 para aditivo organosilano con cemento.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección De datos

Técnicas de Investigación

Documentos: Artículos de investigación, Tesis a nivel nacional e internacional, boletines informativos, manuales internacionales

Bibliotecas Virtuales

Ensayos de laboratorios de suelos realizados

Instrumentos de Recolección De Datos

Tomas de muestras en campo

Formatos en hojas de cálculo (Excel)

Laboratorio de suelos

Ensayos de laboratorio de suelos y otros como se detalla en la tabla N° 5

Tabla 4: Ensayo de laboratorio para recolección de datos

ENSAYOS DE LABORATORIO				
MATERIALES	ENSAYOS DE LABORATORIO	METO DE ENSAYO	ASTM /AASHTO	
Material Granular	Análisis Granulométrico	MTC E 204	ASTM D422	
	Porcentaje Que Pasa La Malla N°200	MTC E 202		
	Limites de Consistencia	MTC E 110	ASTM D4318	
		MTC E 111		
	Contenido de Humedad	MTC E 108	ASTM D2216	
	Abrasión los Ángeles	MTC E 207		
	Peso Específico y Absorción de Piedra	MTC E 206	ASTM C 128	
	Peso Específico y Absorción de Arena	MTC E 205	ASTM C 128	
	Pérdida con Sulfato de Magnesio en Gruesos		MTC E 209	ASTM C 88-05
	Pérdida con Sulfato de Magnesio en Fino			
	Impurezas Orgánicas		ASTM C40-04	
	Materia Orgánica	MTC E 118	AASHTO T 267	
	Sulfatos Solubles Piedra			
	Sulfatos Solubles Arena			
	Proctor Modificado - Compactación	MTC E 115	ASTM D1557	
California Bearing Ratio (CBR)	MTC E 132	ASTM D1883		

ENSAYOS DE LABORATORIO			
MATERIALES	ENSAYOS DE LABORATORIO	METO DE ENSAYO	ASTM /AASHTO
Estabilización de material Granular con emulsión asfáltica	Contenido residuo de asfalto	MTC E 502	ASTM D2172
	Peso Específico		ASTM D2726
	Marshall	MTC E 506 MTC E 508 MTC E 5010	ASTM D1559
Estabilización de material Granular con aditivo organosilano y cemento	California Bearing Ratio (CBR)	MTC E 132	ASTM D1883
	Proctor Modificado - Compactación	MTC E 115	ASTM D1557

Fuente: Elaboracion Propia

Validez

La validez de la presente investigación se garantiza mediante:

- Acreditación de un especialista de Suelos y Pavimentos que contemple la experiencia en el área de investigación.
- Acreditación de los laboratorio con sus respectivos profesionales técnicos campo y laboratorio para la realización de los ensayos de laboratorios.
- Las normas técnicas especificadas en el Manual de Carreteras del ministerio de Transportes y Comunicación EG-2013

Confiabilidad

La confiabilidad de la presente investigación se garantizó mediante:

- Certificados de calidad de los productos a emplear (agentes estabilizados, agua)
- Certificado de Calibración de los equipos de laboratorio de acuerdo a sus frecuencias de calibración.
- Laboratorios de suelos que contemplen procedimientos de trabajos y certificación de los mismos.

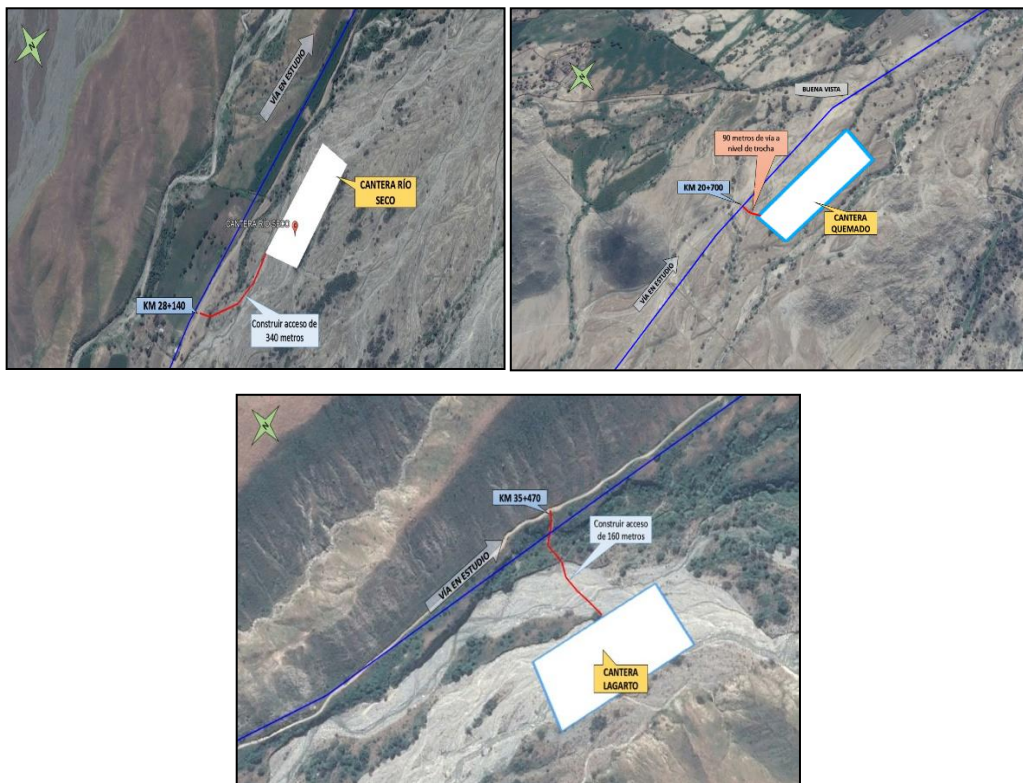
3.5 Procedimiento

Para la presente investigación se realizará de acuerdo al siguiente procedimiento y por fases:

Fase I: Reconocimiento e identificación de fuentes de material granular natural de origen pétreo de diversa naturaleza: aluvionales, coluviales, fluviales, y de roca fracturada a lo largo del Tramo 1: sector 1.1: km 0+000 - km 61+897.66 del proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Infraestructura Vial - Paquete 5R. El que consistió en la localización y estudio de bancos de materiales de agregados pétreos para la conformación de capas para pavimento y mejoras sus características físicas - mecánicas y de resistencia de los materiales existentes. Para la ubicación de las fuentes de materiales granulares se hizo el reconocimiento de la zona comprendida en el proyecto, siendo las características requeridas el tener los volúmenes de materiales necesarios, pero principalmente

con las propiedades geotécnicas señaladas por las especificaciones técnicas de las actividades a efectuar, así como la accesibilidad y estado de las vías de acceso. Identificando en el tramo 1 sector 1.1 3 fuentes de material granular como se detalla en la figura 3

Figura 3: Estudio de fuentes de material granular en tramo1 sector 1.1



Para el presente investigación se consideró una sola fuente de material granular cantera Río Seco que cumplen con la ubicación, potencia de explotación es decir volúmenes de materiales necesarios, accesibilidad tanto técnico como ambiental y principalmente con las propiedades geotécnicas señaladas por las especificaciones técnicas de las actividades a efectuar.

Una vez identifica la fuente de material granular se procedió a tomar las muestras selectiva en campo y fueron trasladados al laboratorio para realizar su caracterización y la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de laboratorio respecto a los usos propuestos, para ello se utilizó los requisitos de las Especificaciones Generales del Manual de Carreteras del MTC (EG-2013).

Fase II: Trabajos de Laboratorio; esta fase más importante porque se realizó la caracterización y la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas del material granular mediante ensayos de laboratorio respecto a los usos propuestos de estabilización con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento, para ello se utilizó los requisitos de las Especificaciones Generales del Manual de Carreteras del MTC (EG-2013).

A continuación, se detalla los ensayos realizados de acuerdo a sus las normas:

Ensayos estándar

- Análisis granulométrico de agregados (MTC E 204)
- Material que pasa malla N° 200 (MTC E 202)
- Límites de consistencia (MTC E 111)
- Contenido de humedad (MTC E 108)

Ensayos especiales

- Proctor modificado (MTC E 115)
- California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132)
- Cantidad de material fino que pasa el tamiz 75 μm (MTC E 202)
- Abrasión (MTC E 207)
- Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203)
- Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

Ensayos químicos

- Gravedad específica y absorción agregado grueso (MTC E 206)
- Gravedad específica y absorción agregado fino (MTC E 205)
- Peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203)
- Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

En función a la gradación (análisis granulométrico) y a los Límites de Consistencia de los materiales se emplean dos métodos para la clasificación de suelos:

- Clasificación SUCS (ASTM D 2487)
- Clasificación AASHTO (ASTM D 3282)

Los ensayos seleccionados de caracterización del material granular son de acuerdo a los requerimientos mínimos por cada agente estabilizador empleados de acuerdo a Manual de Carreteras EG-2013, como se muestra en la imagen N°4

Figura 4: Caracterización y evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de material granular



Una vez obtenido el CBR de material granular se procede al cálculo de coeficiente estructura como material granular mediante el método AASHTO-93 por medio de figuras (ábacos) que correlacionan valores de CBR (0.01”) al 100 %, confiabilidad o Módulo Resiliente; con el objetivo de comparar posteriormente los resultados ver figura N°. Para ello se realizaron ensayos de Proctor Modificado (MTC E 115), para determinar sus Máximas Densidades Secas y Óptimos Contenidos de Humedad. Luego se procedió a realizar los ensayos de capacidad de soporte CBR (MTC E 132) del material granular.

Figura 5: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante CBR para un material granular

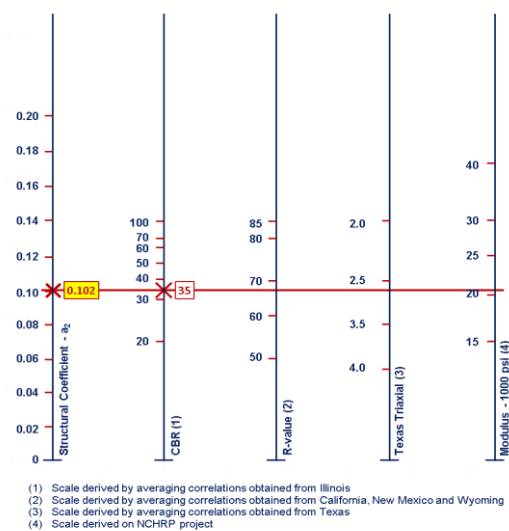


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters

Fuente: AASHTO-93

También se procedo a determinar los efectos de la ascensión capilar del material granular., que consiste en la capacidad que tiene el agua de elevar su nivel en el suelo en temporadas de alta precipitación pluvial o ante la presencia de aguas freáticas, es la ascensión capilar; esto sucede debido a que los diminutos espacios vacíos continuos en los suelos actúen como tubos capilares, produciendo el efecto de la tensión superficial que provoca la ascensión del agua en contra de la gravedad.

En tal sentido mediante las siguientes pruebas de laboratorio se busca establecer los elementos estabilizadores que mayor protección brindarán a la estructura de pavimento en servicio.

Para tal efecto nos hemos basado en la norma UNE-EN13755-2008 “Métodos de ensayo para piedra natural - Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica” y su fundamento, para direccionarlo a nuestro proyecto.

Para la cual se ha elaborado testigos de 10 cm de diámetro y 11,6 cm de alto, estos fueron colocados sobre una bandeja con una piedra porosa debajo de la misma, la característica de esta piedra es permitir que el agua fluya fácilmente en sentido vertical por ascensión capilar, debido a que sus poros son uniformes e invariables, además de servir como un aislante protector para que no haya contacto directo entre suelo y el agua en la bandeja.

Se realizó el registro diario del incremento de peso en el suelo estabilizado en una balanza, así como el registro de la altura alcanzada por el agua para determinar visualmente la ascensión capilar. En las siguientes imágenes se muestra la ascensión capilar en los testigos en los diferentes intervalos del ensayo. Como se detalla en la figura N°6.

Figura 6: Ensayo de ascensión capilar de material granular natural a 1 día y 5 días



En esta fase también se realizó la evaluación de cada agente estabilizador emulsión asfáltica y aditivo organosilano de acuerdo a su ficha técnica y certificado de calidad emitido por cada proveedor; teniendo esta información se procedió a evaluarlos en relación a los requisitos establecidos en las Especificaciones Técnicas del Manual de carreteras EG-2013, como de detalla en la figura N° 7.

Figura 7: Fichas técnicas de emulsión asfáltica y aditivo organosilano

TerraSil
FICHA TECNICA

BREM Cia. Ltda.
Environmental Solutions

Zyden

FICHA TECNICA		Código: MF-CSS-1H																						
BITUPER S.A.C.	Emulsión Asfáltica Cationica Tipo Superestable CSS-1H	Revisión: Mayo 2013 Hecho por: Lina Coronel Página: 1 de 1																						
<p>Emulsión Cationica de Rotura Lenta CSS-1H, que tiene muy buena habilidad para mezclar con un agregado, sin dejar al asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión esta dentro de la clasificación de las LENTAS, permitiendo alcanzar una buena trabajabilidad. Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.</p> <p>Aplicaciones</p> <p>Slurry Seal, mezclas densas, estabilizaciones, riegos de liga, etc. (previa recomendación del proveedor)</p> <p>CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Composición</td> <td>Asfalto y agua</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Marrón oscuro</td> </tr> <tr> <td>Aspecto</td> <td>Líquido viscoso</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica a 20 °C</td> <td>0,95</td> </tr> </table> <p>ESPECIFICACIONES ASTM D 2397</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s</td> <td>20 - 100</td> </tr> <tr> <td>Sedimentación, 5 días, %</td> <td>9,9 % máx.</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %</td> <td>1,0 % máx.</td> </tr> <tr> <td>Tamizado, %</td> <td>0,1 % máx.</td> </tr> <tr> <td>Residuo asfáltico, %</td> <td>57 % mín.</td> </tr> </table> <p>Prueba sobre el residuo de ensayo de destilación:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)</td> <td>40 - 90</td> </tr> <tr> <td>Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.</td> <td>40 mín.</td> </tr> </table> <p>(1) La penetración cambia al variar el tipo de PEN</p> <p>ALMACENAMIENTO</p> <p>Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 60 °C</p>			Composición	Asfalto y agua	Color	Marrón oscuro	Aspecto	Líquido viscoso	Gravedad específica a 20 °C	0,95	Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s	20 - 100	Sedimentación, 5 días, %	9,9 % máx.	Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %	1,0 % máx.	Tamizado, %	0,1 % máx.	Residuo asfáltico, %	57 % mín.	Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)	40 - 90	Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.	40 mín.
Composición	Asfalto y agua																							
Color	Marrón oscuro																							
Aspecto	Líquido viscoso																							
Gravedad específica a 20 °C	0,95																							
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s	20 - 100																							
Sedimentación, 5 días, %	9,9 % máx.																							
Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %	1,0 % máx.																							
Tamizado, %	0,1 % máx.																							
Residuo asfáltico, %	57 % mín.																							
Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)	40 - 90																							
Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.	40 mín.																							

Una vez evaluado el material granular y los agentes estabilizadores emulsión asfáltica y aditivo organosilano se procede con el diseño de mezclas de material granular estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento de acuerdo a las normativas y métodos elegidos para cada estabilizador, el cual consiste en mezclar los compenes de la estabilización y someter a pruebas de laboratorios que permitan determinar el contenido óptimo de cada agente

estabilizador por cada material granular. Detallando el procedimiento por cada agente estabilizador:

El diseño y determinación de óptimo contenido de emulsión asfáltica con material granular con el método del Instituto del Asfalto. Para determinar la dosis óptima de los elementos estabilizados, se efectuaron mezclas de suelo - emulsión asfáltica. Para ello se usó una emulsión asfáltica de rotura lenta (CSS-1h) y se moldearon diferentes testigos de suelo-emulsión, con dosis variables de asfalto. Se emplearon referencialmente para el proceso del ensayo los Manual Series N° 19 “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas” y Manual Series N° 14 “Manual de Mezclas Asfálticas en Frío” del Asphalt Institute (AI); cumpliéndose todo lo requerido en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 del MTC, Sección 301.E Suelos Estabilizados con Emulsión Asfáltica, como: Estabilidad Marshall, Pérdida de Estabilidad y Recubrimiento.

Cabe mencionar que el método de diseño de mezclas de suelo-emulsión del Instituto del Asfalto (Manual Series N° 14) está basado en las investigaciones conducidas por la Universidad de Illinois. El objetivo de este método de diseño es darle a la mezcla la resistencia requerida para soportar las repetidas aplicaciones de carga sin sufrir deformaciones permanentes excesivas, así como darle a la mezcla la mejor resistencia posible frente a los efectos de la humedad. El método de diseño del Instituto del Asfalto en los 6 pasos siguientes:

- Ensayos de calidad a los agregados
- Ensayos de calidad a la emulsión asfáltica
- Tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica
- Contenido de humedad de compactación
- Variación del contenido de asfalto residual
- Selección del óptimo contenido de asfalto residual
- Ensayos de calidad a los agregados

Según el Instituto del Asfalto, se puede usar una gran variedad de materiales para las mezclas con emulsión asfáltica, incluyendo piedra chancada, material proveniente de rocas fracturadas, gravas, arenas, arenas limosas, escorias, agregados reutilizados, relaves de minerales u otros materiales inertes. No

obstante, al tratarse de un suelo estabilizado se utilizó solamente el material natural zarandeado por la malla 1" para el diseño en laboratorio.

Tal como se especificó en el Ítem 2, los agregados cumplen con los requisitos para mezclas de suelo-emulsión de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC y del manual del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE)

- **Ensayos de calidad a la emulsión asfáltica**

Según el método del Instituto del Asfalto, la elección del tipo de emulsión asfáltica para un proyecto en particular se basa en la habilidad de ésta para adherirse al agregado. Algunos factores que afectan a esta capacidad de la emulsión son los siguientes:

- Tipo de agregado
- Gradación de los agregados y características de los finos
- Contenido de humedad natural del agregado
- Disponibilidad del agua en obra.

Para la presente investigación se eligió una emulsión asfáltica de rotura lenta (CSS-1h) tal como lo recomienda el MTC en el Manual de Carreteras: Suelos y Pavimentos (2014). Asimismo, esta emulsión cumple también con todos los requerimiento de calidad exigidos en las EG-2013, también del MTC.

En el procedimiento de diseño del Instituto del Asfalto, es necesario conocer los porcentajes de agua y asfalto residual presentes en la emulsión asfáltica. Por ello se realizó el ensayo de Agua en Emulsiones Asfálticas (MTC E 402 – 2016).

- **Tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica**

Según el método del Instituto del Asfalto (MS N° 14), es necesario determinar una dosis de emulsión asfáltica tentativa que servirá para los ensayos preliminares de recubrimiento y determinación del óptimo contenido de humedad de compactación. La cantidad de emulsión se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P = (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times 0.7$$

Donde:

P: porcentaje de la emulsión asfáltica respecto al peso del agregado seco.

A: porcentaje del agregado retenido en la malla N° 8.

B: porcentaje del agregado pasante de la N° 8 y retenido en la N° 200.

C: porcentaje del agregado pasante de la malla N° 200.

La habilidad del asfalto a recubrir al agregado depende en gran medida de la humedad natural de este último, especialmente en aquellas mezclas con altos porcentajes de finos. Por ello se realizó una evaluación preliminar de la emulsión seleccionada para el diseño de mezcla a través de ensayos de recubrimiento, utilizando el contenido de asfalto residual tentativo calculado. Con este fin se prepararon especímenes utilizando el contenido de asfalto residual tentativo y se evaluó visualmente el recubrimiento como un porcentaje del área total.

A continuación, se detalla el procedimiento del ensayo de recubrimiento:

- Se obtuvieron muestras representativas de la emulsión asfáltica.
- Se obtuvieron también muestras representativas de los agregados de cada cantera.
- Se preparó a los agregados separándolos entre los siguientes tamices: 1", ¾", ½", 3/8" y N° 4.
- Se calculó la humedad natural de los agregados.
- Se prepararon por lo menos dos porciones de mezclas de agregados por cada cantera. El peso de cada porción fue de 1200 g. Se cuidó que las porciones reflejaran la misma gradación que la mezcla original de cada cantera.
- Se incorporó a una de las porciones de cada cantera 3% de agua, respecto al peso del agregado seco.
- Se añadió la cantidad de emulsión asfáltica correspondiente al contenido de asfalto residual tentativo.
- Se calculó el contenido de humedad antes de la emulsión sumando la humedad natural del agregado con el porcentaje de agua añadida.

Ejemplo:

Contenido de humedad natural = 0.5 %

Porcentaje de agua añadida = 3 %

Contenido de humedad antes de la emulsión = 3,5 %

- iSe secó la muestra al horno y se prepararon nuevas porciones, esta vez con un porcentaje de agua añadida de 1% mayor al usado en las porciones anteriores.
- Se calificó la apariencia de la mezcla visualmente estimando el porcentaje de área recubierta con asfalto respecto del área superficial del agregado total. Las mezclas que obtuvieron más del 50% de recubrimiento se consideraron aceptables.
- Se eligió como el mínimo contenido de humedad antes de la mezcla, al contenido de humedad en el que la mezcla de suelo-emulsión alcanza al menos el 50% de recubrimiento. Esto debido a que, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC y al método del Instituto del Asfalto, se debe cubrir como mínimo el 50% del agregado total preparado. Como se detalla en las figuras N° 8

-

Figura 8: Ensayos de ensayos de recubrimiento para determinar el cantidad aproximada de emulsión asfáltica



- **Contenido de humedad de compactación**

Se sabe que las propiedades de las mezclas están estrechamente relacionadas a la densidad de los especímenes compactados, por lo que es necesario optimizar el contenido de humedad de compactación para maximizar las propiedades deseadas de la mezcla.

Para ello, usando también el contenido de asfalto residual tentativo se ensayaron testigos con diferentes humedades de compactación, y se obtuvieron Óptimos Contenido de Humedad de Compactación para cada cantera. Como se muestra en la figura N° 9.

El método de preparación de especímenes para este ensayo se detalla a continuación:

- Se prepararon 3 especímenes por cada contenido de humedad de compactación. Se utilizaron 5 contenidos de humedad con incrementos de 1% por cada cantera.
- Se limpiaron cuidadosamente los moldes y el martillo de compactación
- Se recombino el agregado en porciones de 1.2 kg, respetando las gradaciones originales de cada cantera.
- Se realizaron los siguientes cuatro cálculos por cada contenido de humedad de compactación:

1) Peso del agregado:

$$\frac{a}{100 - b} \times 100$$

2) Peso de la emulsión asfáltica:

$$\frac{a \times c}{d}$$

3) Peso del agua añadida antes de la emulsión:

$$a \left(f - b - \frac{e \times c}{d} \right) / 100$$

4) Peso de la pérdida de agua para la compactación:

$$a \left(\frac{f - g}{100} \right)$$

Dónde: a: peso del agregado seco, b: contenido de humedad natural, c: contenido de asfalto residual tentativo, d : porcentaje de asfalto residual en la emulsión, e : porcentaje de agua en la emulsión = 100 – d, f : mínimo contenido de humedad antes de la mezcla, g : contenido de humedad de compactación

- Se añadió el volumen de agua calculado al agregado y se mezcló. Luego se añadió la cantidad de emulsión asfáltica calculada y se volvió a mezclar cuidadosamente.

- Se dejaron secar las mezclas al aire libre o usando un ventilador lento, hasta llegar a los contenidos de humedad de compactación deseado por cada cantera. Se removieron y se pesaron cada 10 minutos para controlar el peso de las mezclas.
- Se compactaron los especímenes en el aparato compactador de Marshall. Para ello se dosificaron cuidadosamente las mezclas en el molde y se aplicaron 50 golpes con el martillo de compactación por cada cara. Se extrajeron las mezclas con sus respectivos moldes de la máquina de compactación.
- Se dejó curar a las mezclas por 1 día en sus moldes a temperatura ambiente. Después, se extrajeron los especímenes del molde y se calcularon sus pesos específicos secos utilizando la norma ASTM D 2726, método por desplazamiento de agua.
- Se graficaron los pesos específicos secos de las mezclas asfálticas versus los contenidos de humedad de compactación. El punto en donde se da la máxima densidad es el óptimo contenido de humedad de compactación de cada cantera.

Figura 9 : Determinación de humedad de compactación



- Variación del contenido de asfalto residual

Se prepararon mezclas de suelo - emulsión asfáltica, variando el contenido de asfalto residual y usando el mínimo contenido de humedad antes de la mezcla requerido y el óptimo contenido de humedad de compactación. En total se prepararon 6 especímenes por cada contenido de asfalto residual y 5 contenidos de asfalto residual por cada diseño a cada cantera. Estos contenidos de asfalto

partieron del contenido de asfalto residual tentativo además de dos incrementos y dos decrementos de 1%., como se observa en la figura N° 10

El procedimiento para preparar los especímenes es similar al paso anterior, con únicamente las siguientes diferencias:

- Se prepararon 6 especímenes por cada contenido de asfalto residual.
- A medida que varían los contenidos de asfalto residual, los contenidos de humedad total de la mezcla también lo hacen. Por ello se dejaron secar los especímenes lo suficiente para alcanzar el óptimo contenido de humedad de compactación en todas las muestras.
- Se curaron los especímenes por 1 día en el molde a temperatura ambiente, y luego 1 día más en el horno a 38° C

Figura 10: Preparación de especímenes suelo emulsión para determinar la variación de contenido de asfalto



Para completar los diseños se realizaron algunos ensayos y análisis de los que se obtuvieron los siguientes datos por cada espécimen:

- Peso específico
- Estabilidad Marshall, en seco
- Estabilidad Marshall, en húmedo
- Porcentaje de vacíos
- Absorción de humedad

Para efectuar estos análisis de vacíos y densidad se realizaron ensayos de peso específico según la norma ASTM D 2726 a cada espécimen, antes de ejecutar el ensayo de estabilidad Marshall.

Luego de los ensayos de peso específico, 3 de los 6 especímenes preparados por cada contenido de asfalto se ensayaron inmediatamente en la máquina de

Marshall. Se siguieron los siguientes pasos para realizar este ensayo a cada cantera:

- Se determinó el peso del espécimen curado
- Se limpiaron los cabezales de la máquina de estabilidad de Marshall
- Se colocó uno de los especímenes en el cabezal inferior y luego se colocó el cabezal superior.
- Se aplicó la carga al espécimen a una tasa de deformación de 50,8 mm por minuto. Se anotó la carga a la que el espécimen falló.
- Se colocó el espécimen fallado en un tazón y se secó en el horno a 93° C. Luego se pesó el espécimen seco y se calculó el contenido de humedad luego del ensayo.

Los otros 3 de los 6 especímenes por cada contenido de asfalto residual se sometieron a saturación al vacío y a inmersión según el siguiente procedimiento:

- Cada espécimen se colocó por separado en el aparato de vacíos y una vez dentro se cubrió con agua.
- Se evacuó el desecador hasta 100 mmHg y se mantuvo a dicha presión por una hora.
- Se liberó lentamente el vacío y se dejó el espécimen sumergido en agua por otra hora más.
- Se ensayó luego el espécimen en la máquina de estabilidad de Marshall

Figura 11: Ensayos de las a los especímenes suelo emulsión para determinar la variación de contenido de asfalto



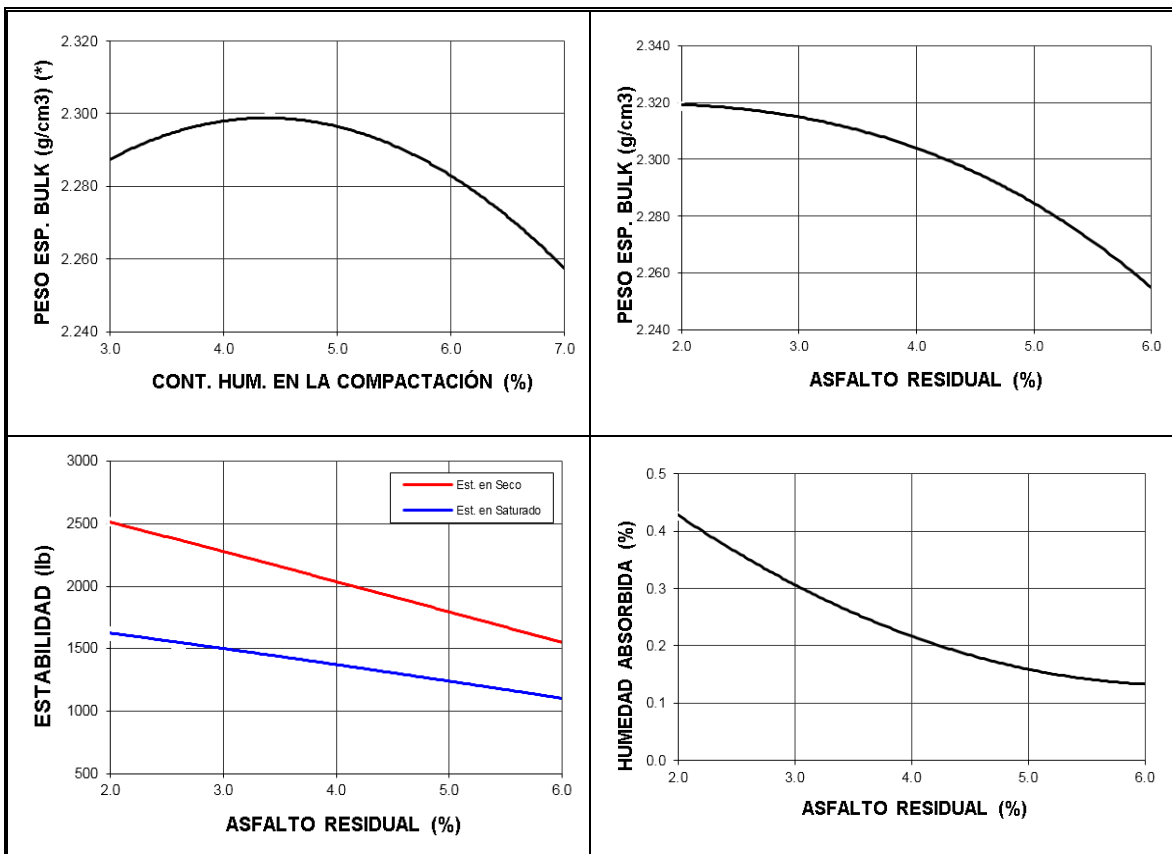
- **Selección del óptimo contenido de asfalto residual**

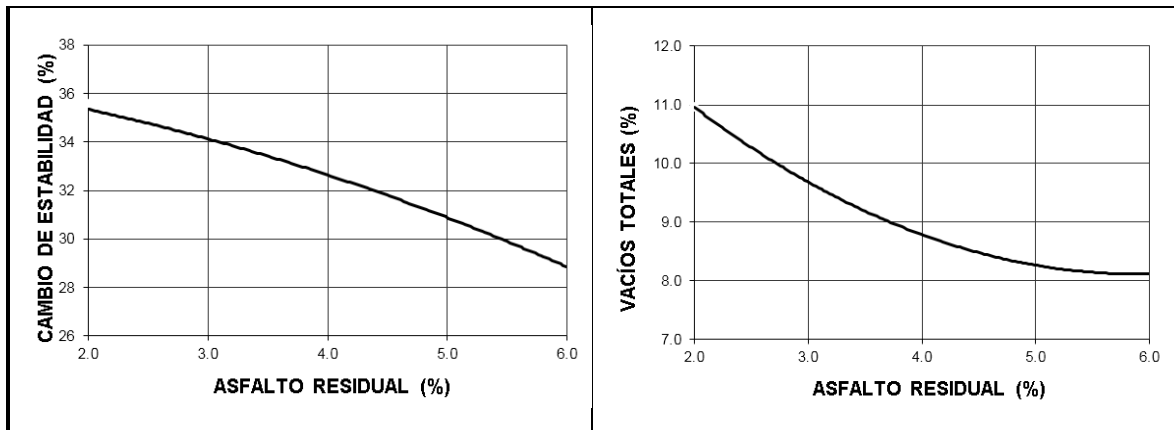
Antes de graficar los resultados de las estabilidades Marshall, estas se corrigieron multiplicándolas por un factor de corrección en función al volumen de cada espécimen. Luego se prepararon 6 gráficos, que se indican a continuación, por cada diseño y se unieron los puntos en cada una con una curva.

- Estabilidades en seco y en húmedo versus contenido de asfalto residual
- Porcentaje de pérdida de estabilidad versus contenido de asfalto residual
- Peso específico seco versus contenido de asfalto residual
- Porcentaje de humedad absorbida versus contenido de asfalto residual
- Porcentaje de vacíos totales versus contenido de asfalto residual

En la figura N° 12 se muestran ejemplos de los gráficos que se elaboraron para determinar el óptimo contenido de asfalto residual.

Figura 12: Gráficos para diseño de suelo-emulsión





Fuente: Elaboración propia

Según el Instituto del Asfalto el óptimo contenido de asfalto residual se elige generalmente como el que otorga una máxima estabilidad en húmeda y a partir de ahí se comprueban los demás parámetros y se incrementa o reduce de ser necesario. Los parámetros o criterios de diseño para una mezcla de suelo – emulsión asfáltica son los siguientes:

Tabla 5: Criterios de diseño para mezclas de suelo – emulsión asfáltica

Parámetro del diseño	Mínimo	Máximo
Estabilidad, N (lb)	2224 (500)	-
Porcentaje de pérdida de estabilidad	-	50
Porcentaje de recubrimiento	50	-

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-14), y Documento

Técnico – Soluciones Básica en Carreteras No Pavimentadas

El diseño y determinación de óptimo contenido de aditivo organosilano con cemento y material granular con el método de CBR. Para determinar la dosis óptima de los elementos estabilizantes en el agregado se efectuaron mezclas de agregados con aditivos químicos y cemento en diferentes dosificaciones, para lo cual se emplearon las metodologías recomendadas por los fabricantes de los aditivos, es decir el método del CBR (MTC E 132 - 2016) y de acuerdo de acuerdo a la Tesis “Análisis de la optimización del suelo de la base con aditivo químico terrasil para el diseño de pavimentos industriales del almacén de concentrados mineros – almacenes LOGISMINSa, Ventanilla – Callao “ de

Gutiérrez, J. y Cerón, E. (2020). Donde desarrolla el análisis de la optimización de los suelos con aditivo químico organosilano – Terrasil para un pavimento. Los requerimientos técnicos a cumplir se han tomado del Documento Técnico - Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas, para los tipos de estabilizadores de suelo y parámetros máximos y/o mínimos.

Requisitos del Documento Técnico del MTC:

1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132)
2. Expansión $\leq 0,5\%$

(*) CBR corresponde a la penetración de 0,1”

- Procedimiento con ensayo CBR (MTC E 115 y MTC E 132)

En primer lugar, se determinaron las características de los agregados de las canteras antes de ser estabilizados, con el objetivo de comparar posteriormente los resultados. Se realizaron ensayos de Proctor Modificado (MTC E 115 – 2016) del material granular, para determinar sus Máximas Densidades Secas y Óptimos Contenidos de Humedad. Luego se procedió a realizar los ensayos de CBR (MTC E 132 - 2016) en el material granular.

Como primer paso se efectuaron ensayos de Proctor Modificado (MTC E 115 – 2016) a los agregados mezclados con cada dosificación, esto para obtener la MDS y el OCH de cada muestra estabilizada.

A continuación, se prepararon testigos para CBR usando las dosificaciones señaladas. A diferencia del ensayo de CBR original (MTC E 132 – 2016), los moldes fueron dejados al ambiente por 7 días, para completar el proceso de curado con el aditivo. Luego se sumergieron en agua por 4 días, para finalmente ser ensayadas en la prensa de CBR. Como se detalla en la figura N°13

Figura 13: Diseño de Estabilizaciones con aditivo químico y cemento



Fase IV: Análisis de material granular estabilizado; consiste en someter a ambos materiales estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento una vez determinado su óptimo contenido, a ensayos de laboratorio para determinar las modificaciones a sus propiedades físicas y mecánicas de material granular natural, para ello se sometieron a ensayo de absorción por capilaridad, ascensión capilar y estabilidad Marshall (emulsión asfáltica) o CBR (aditivo organosilano y cemento) que permitió determinar el coeficiente estructural. Como se detalla cada procedimiento de ensayo ejecutado por agente estabilizador

- **Ascensión capilar en material granular estabilizado**

Para tal efecto nos hemos basado en la norma UNE-EN13755-2008 “Métodos de ensayo para piedra natural - Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica”. Este ensayo fue ejecutado para determinar la ascensión capilar y absorción del material granular estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento.

Para la cual se ha elaborado testigos de 10 cm de diámetro y 11,6 cm de alto, estos fueron colocados sobre una bandeja con una piedra porosa debajo de la misma, la característica de esta piedra es permitir que el agua fluya fácilmente en sentido vertical por ascensión capilar, debido a que sus poros son uniformes e invariables, además de servir como un aislante protector para que no haya contacto directo entre suelo y el agua en la bandeja.

Se realizó el registro diario del incremento de peso en el suelo estabilizado en una balanza, así como el registro de la altura alcanzada por el agua para determinar visualmente la ascensión capilar. En las siguientes imágenes se muestra la ascensión capilar en los testigos en los diferentes intervalos del ensayo. Como se detalla en la figura N°14

Figura 14: Ensayo de absorción por capilaridad y ascensión capilar de material granular natural y estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo organosilado con cemento



- **Coeficiente Estructural mediante Estabilidad Marshall de material granular estabilizado con emulsión asfáltica.**

Una vez obtenido el contenido óptimo de emulsión asfáltica, se procede a determinar la Estabilidad Marshall del material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica por el método del Instituto del Asfalto. Manual Series MS-14: Asphalt Cold Mix Manual. Para ello se realizó la elaboración de 3 especímenes se ensayaron inmediatamente en la máquina de Marshall. Se siguieron los siguientes pasos de determinación del peso del espécimen curado, se limpiaron los cabezales de la máquina de estabilidad de Marshall, se colocó uno de los especímenes en el cabezal inferior y luego se colocó el cabezal superior, se aplicó la carga al espécimen a una tasa de deformación de 50,8 mm por minuto. Se anotó la carga a la que el espécimen falló, se colocó el espécimen fallado en un tazón y se secó en el horno a 93° C. Luego se pesó el espécimen seco y se

calculó el contenido de humedad luego del ensayo. Como se detalla en la figura 15.

Figura 15: Proceso de elaboración de testigos y ensayo Marshall para determinar estabilidad Marshall de material granular estabilizado con 3.3 % de emulsión asfáltica



Determinado la estabilidad Marshall se procede al cálculo de coeficiente estructura como suelo – asfalto mediante el método AASHTO-93 por medio de figuras (ábacos) que correlacionan valores Estabilidad, confiabilidad o Módulo Resiliente; con el objetivo de comparar posteriormente los resultados ver figura N°16.

Figura 16: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante Estabilidad Marshall para un suelo – asfalto método AASHTO-93

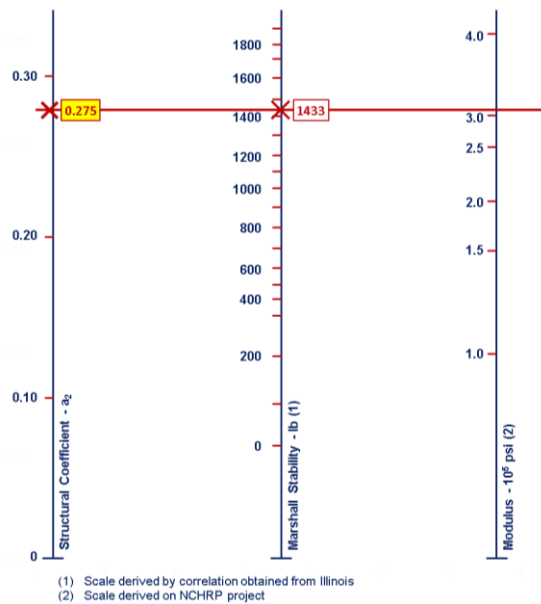


Figure 2.9. Variation in a_2 for Bituminous-Treated Bases with Base Strength Parameter

Fuente : AASHTO-93

- **Coeficiente Estructural mediante CBR de material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento en su optima dosificación.**

Una vez obtenido el contenido óptimo de aditivo organosilano con cemento, se procede a determinar CBR de material granular estabilizado con 0.75l/m³ aditivo organosilano con 1% de cemento por el método MTC E-132 del Manual de ensayos de Materiales del MTC -2016.

Para ello requirió determinar su máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad. A continuación, se prepararon testigos para CBR usando las dosificaciones señaladas. A diferencia del ensayo de CBR original (MTC E 132 – 2016), los moldes fueron dejados al ambiente por 7 días, para completar el proceso de curado con el aditivo. Luego se sumergieron en agua por 4 días, para finalmente ser ensayadas en la prensa de CBR. Como se muestra el procedimiento de CBR en la figura N°17

Figura 17: Ensayo de CBR de material granular estabilizado con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano con 1% de cemento



Determinado el CBR se procede al cálculo de coeficiente estructura como suelo – aditivo químico mediante el método AASHTO-93 por medio de figuras (ábacos) que correlacionan valores CBR, confiabilidad o Módulo Resiliente; con el objetivo de comparar posteriormente los resultados, como se detalla en la figura N°18.

Figura 18: Abaco para determinar variación de coeficiente estructural mediante % de CBR para un suelo – emulsión asfáltica AASHTO-93

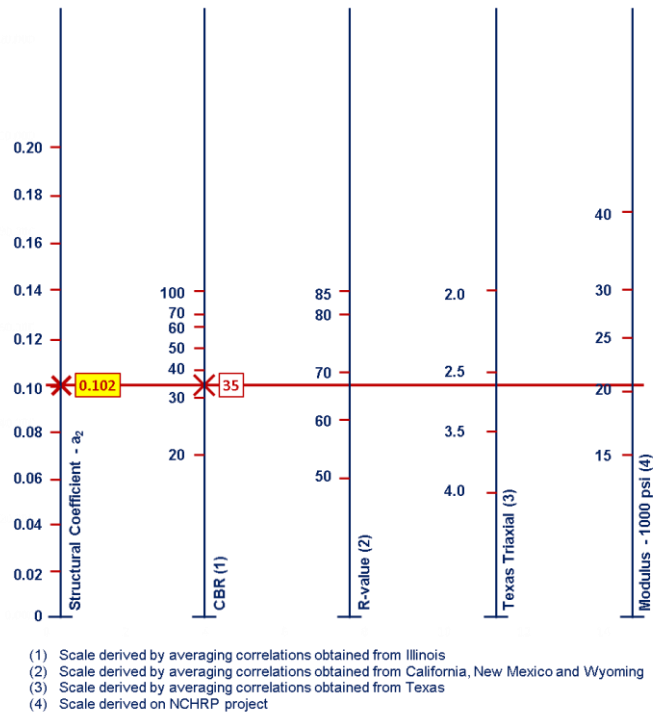
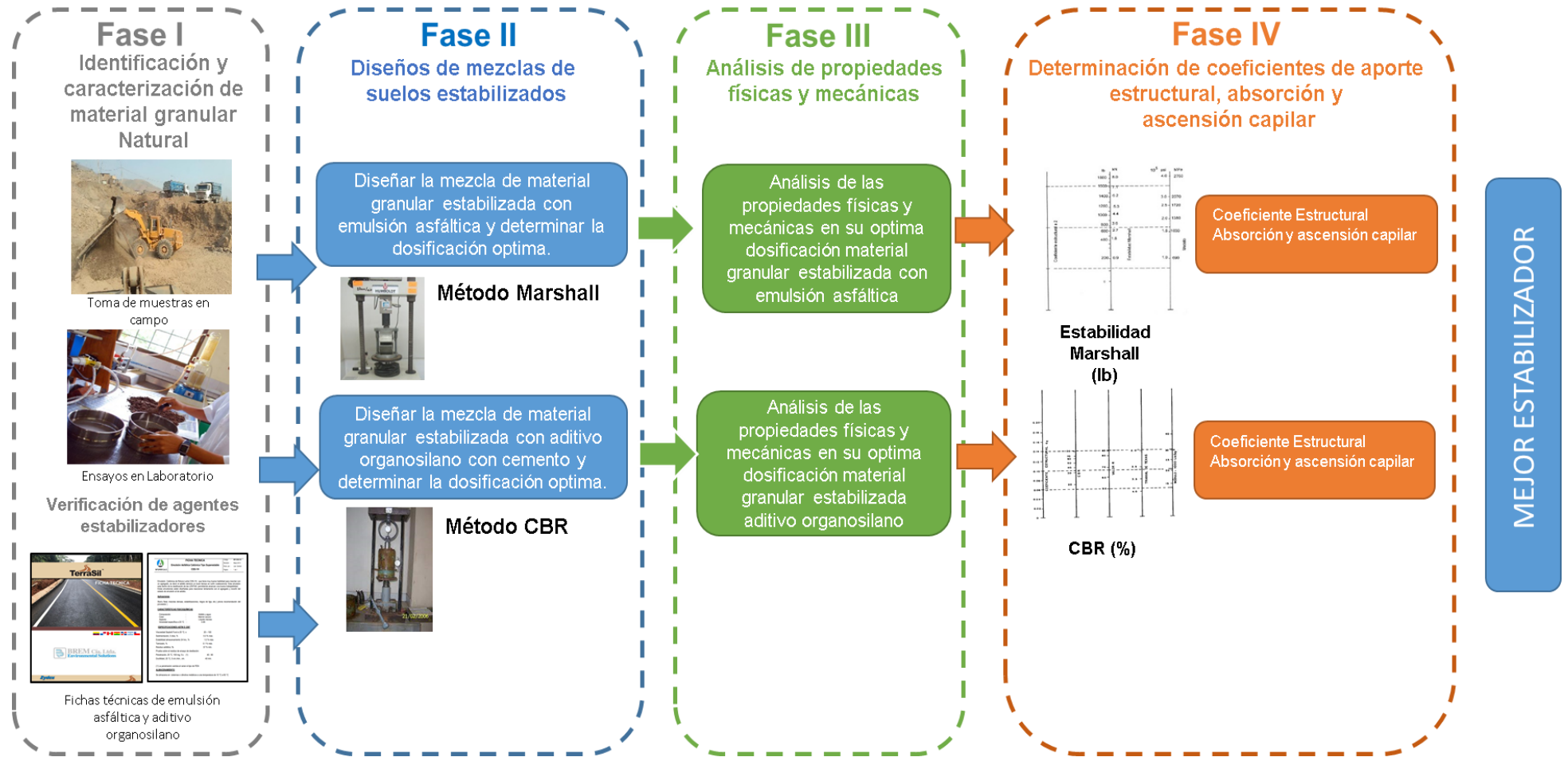


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters

Fuente: AASHTO-93

Figura N° 19: Descripción de Flujo de procedimiento de ejecución de investigación por fases



Fuente: por el autor

3.6 Método de Análisis de Datos

El método de análisis involucra: recolectar información de campo y de laboratorio, evaluar de acuerdo a los métodos de diseño seleccionados, una vez obtenida dicha información se procederá a un estudio comparativo mediante dos ensayos de laboratorio que determinaran el coeficiente de soporte y la impermeabilidad de los materiales estabilizados los cuales determinaran el mejor agente estabilizados para un material granular. Todos estos resultados se analizarán mediante programa Microsoft Excel.

3.7 Aspectos Éticos

En la presente investigación se emplearan los siguientes métodos éticos para asegurar la fiabilidad de la investigación:

- El estudio investigativo es de propiedad intelectual es decir autoría propia.
- El estudio será sometido a la evaluación del Turnitin que garantiza la integridad académica
- Los ensayos de laboratorio serán realizado en laboratorio certificados y contarán los equipos de laboratorio sus certificados de calibración actualizados.

IV. RESULTADOS

El desarrollo de la presente investigación tuvo el fin de dar a conocer técnicamente el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares con distintas alternativas de estabilización. Así como aplicarlos en este tipo de proyecto en el marco de reconstrucción de infraestructura viales afectadas por el FEN 2017 con el fin de la recuperación, mejora y asegurar una adecuada transitabilidad para el transporte de mercancías y pasajeros que se encuentra dentro del área de influencia del proyecto, en las zonas afectadas por el Fenómeno del Niño Costero.

En ese sentido, el presente capítulo se muestra los resultados obtenidos de acuerdo a los procedimientos de trabajo de los ensayos realizados con el fin de cumplir con los objetivos propuestos de la presente investigación:

Estudio Fuentes de Material Granular - Canteras

El cual consistió en la localización y estudio de bancos de materiales de agregados pétreos. Para la ubicación de las fuentes de materiales granulares se hizo el reconocimiento de la zona comprendida en el proyecto, siendo las características requeridas el tener los volúmenes de materiales necesarios, pero principalmente con las propiedades geotécnicas señaladas por las especificaciones técnicas. Obteniendo los siguientes resultados de la evaluación fuentes de material granular en el tramo 1, sector 1.1. Ver tabla N° 6

Tabla 6: Fuentes de material Granular identificado a la largo de tramo 1.1

TRAMO	ITEM	FUENTES DE MATERIAL GRANULAR	UBICACIÓN
1.1	1	Cantera Quemado	Km 20+700
	2	Cantera Rio Seco	Km 28+140
	3	Cantera la Roca	Km 35+470

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra la identificación de tres fuentes de material granular a lo largo del tramo 1.1. Los materiales obtenidos fueron analizados visualmente durante el trabajo de campo para identificar sus propiedades básicas.

Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular a fin de aplicar los agente estabilizadores.

Los resultado obtenidos son de la evaluación de la propiedades físicas y mecánicas de las tres fuentes de material granular obtenido en el estudio de canteras, los cuales fueron sometidos a una evaluación respecto a los requerimiento mínimos señaladas en las Especificaciones Generales del Manual de Carreteras del MTC (EG-2013) para el uso propuesto, es decir para ser estabilizado con emulsión asfáltica, aditivo organosilano y cemento. Los cuales se observa en la tabla 7.

Tabla 7: Resultados de ensayos de calidad de canteras de acuerdo a Especificaciones Técnicas

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTERA QUEMADO	CANTERA RÍO SECO	CANTERA LAGARTO	PARÁMETROS SEGÚN MANUAL DE CARRETERAS “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN”		
				Estabilización Con Aditivo Químico	Estabilización Con Cemento	Estabilización Con Emulsión Asfáltica
				Porcentaje que pasa la malla n°200 (%)	12.2	2.1
Límite líquido - pasa la malla n°40 (%)	NP	NP	NP	39.0% máx	39.0% máx	-
Índice de plasticidad - pasa la malla n°40 (%)	NP	NP	NP	6% - 12%	17.0% máx	9.0% máx
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	-	-	-
Clasificación SUCC	GP- GM	GP- GM	GP- GM	-	-	-
Abrasión (%)	15	14	17.3	50.0% máx	50.0% máx	50.0% máx
Pérdida con sulfato de magnesio en gruesos (%)	9.4	1.8	8.0	18.0% máx	18.0% máx	18.0% máx
Pérdida con sulfato de magnesio en finos (%)	7.5	5.6	12.2	15.0% máx	15.0% máx	15.0% máx
Materia orgánica (%)	NT	NT	NT	NT	NT	-
Sulfatos solubles piedra (%)	0.0132	0.0226	0.0457	0.2% máx	0.2% máx	0.6% máx
Sulfatos solubles arena (%)	0.1132	0.0376	0.0454	0.2% máx	0.2% máx	0.6% máx

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se muestra la caracterización de materiales granulares cantera quemado, río seco y lagarto los cuales de acuerdo a su clasificación SUCC son materiales granulares pobremente graduados, asimismo se han obtenido los resultados de los ensayos requeridos por cada agente estabilizados y también se han identificado los parámetros mínimos y máximos requeridos por cada ensayo.

- Coeficiente Estructural

Los resultados obtenidos de coeficiente estructura como material granular se realizó mediante el método AASHTO por medio de figuras (ábacos) que correlacionan valores de CBR (0.01”) al 100 % se obtuvieron los siguientes valores como se detalla en la tabla 8.

Tabla 8: Resumen de determinación de Coeficiente Estructural en relación de CBR de material Granular

IDENTIFICACIÓN	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	CBR (0.01”)		CBR (0.02”)		Coeficiente Estructura 1/pulg	Coeficiente Estructura 1/cm
			95%	100%	95%	100%		
Material Granular Cantera Río Seco	2.328	5.5	28	35	36.5	48.0	0.102	0.040

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se observa, resultados densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad que permitieron determinar el CBR de material granular, que para el cálculo de coeficiente estructural se empleó los valores de CBR (0.01”) al 100 % de compactación de fue de 35 % y aplicado los ábacos de AASHTO-93 se obtuvo un coeficiente estructura de 0.040 cm⁻¹. Como se detalla en la figura 20.

Figura 20: Resultados del cálculo de coeficiente estructural de un material granular por ábaco de metro AASHTO

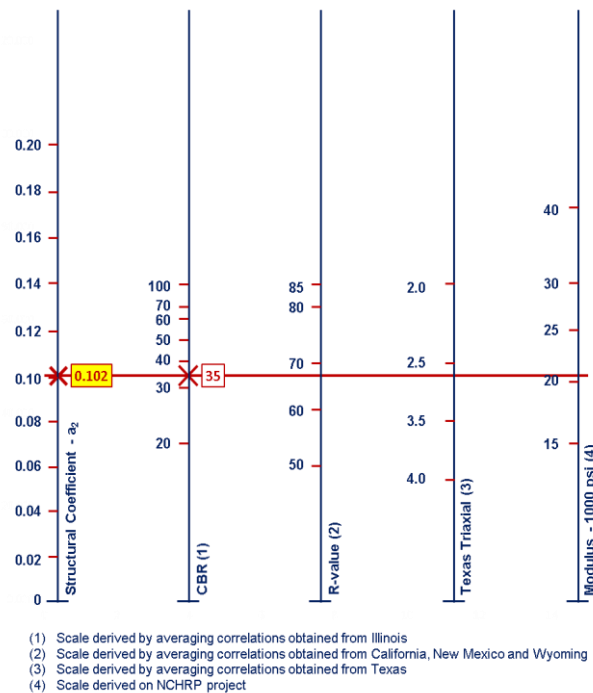


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters

Fuente: AASHTO - 93

En la presenta figura de detalla la determinación del coeficiente estructural a través del ábaco AASHTO-93 mediante los resultados de CBR (0.01") 100% obtenido.

- Efectos de la ascensión capilar de material granular

Lo resultados obtenidos de efecto de la ascensión capilar en un material granular se realizaron empleando la norma UNE-EN13755-2008 "Métodos de ensayo para piedra natural - Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica"; donde se obtuvieron resultados de absorción de agua y/o resistencia a los efectos del agua de los materiales granulares. Como se detalla en la tabla 9

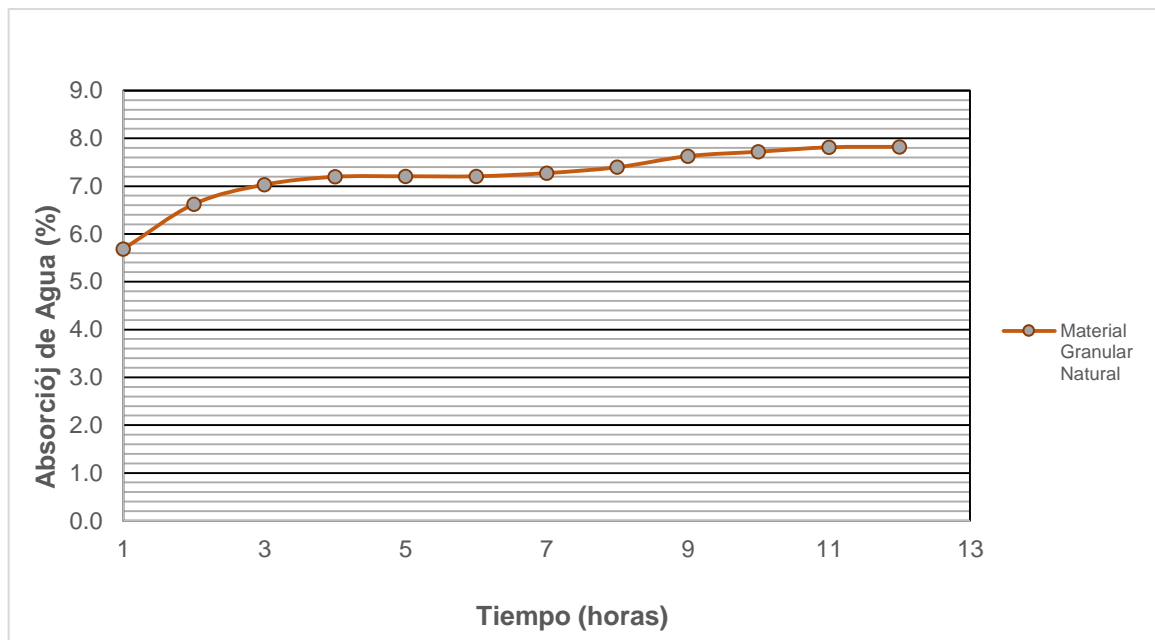
Tabla 9: Resumen de resultado de efectos de la ascensión capilar del material Granular

TIEMPO	MATERIAL GRANULAR NATURAL	
	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)
1 hora	5.7	9.5
2 horas	6.6	10.6
3 horas	7.0	11.6
4 horas	7.2	11.6
5 horas	7.2	11.6
6 horas	7.2	11.6
12 horas	7.3	11.6
1 día	7.4	11.6
2 días	7.6	11.6
3 días	7.7	11.6
4 días	7.8	11.6
5 días	7.8	11.6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra resultados se ensayos de absorción de agua por capilaridad y altura de ascensión capilar del material granular en periodos de 1 hora hasta 5 días. Asimismo en el grafico 1 se detalla resultados de ascensión capilar versus al tiempo.

Grafico 1: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Natural



Fuente: elaboración propia

Este gráfico se verifica que el porcentaje de la capacidad de absorción de agua de los materiales granulares crece rápidamente hasta término del ensayo 5 días hasta alcanzar valores de 7.8 % de absorción de agua aproximadamente. Por lo tanto se deduce que el material granular por sí solo no contempla la resistencia necesaria para efectos del agua.

Diseñar y determinar la dosificación óptimos de los agentes estabilizadores con el material granular

Para obtener resultados del diseño y dosificación óptima para la mezcla de material granular con emulsión asfáltica se realizó mediante el método Instituto del Asfalto (estabilidad Marshall) y con respecto al aditivo químico y cemento se realizó mediante el método de CBR, los cuales detalla por agente estabilizador:

Diseño y determinación de contenido óptimo de material granular estabilizado con emulsión asfáltica

Los resultados obtenidos del diseño de mezcla de suelo con emulsión asfáltica así como la obtención de su óptimo contenido, se realizó de acuerdo al Manual Series N° 19 “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas” y Manual Series N° 14 “Manual de Mezclas Asfálticas en Frío” del Asphalt Institute (AI); cumpliéndose todo lo requerido en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-

2013 del MTC, Sección 301.E Suelos Estabilizados con Emulsión Asfáltica, como: Estabilidad Marshall, Pérdida de Estabilidad y Recubrimiento. Obtenido los siguientes resultados de acuerdo al procedimiento de trabajo:

- **Resultado de ensayos de calidad a los agregados**

Resultados obtenidos son del material granular de las canteras rio seco, en relación de requisitos para mezclas de suelo-emulsión de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC y del manual del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE), como se muestra en la tabla N°10

Tabla 10: Resumen de calidad de los agregados para uso con emulsión asfáltica

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANERA RÍO SECO	ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	EVALUACIÓN
Porcentaje que pasa la malla n°200 (%)	2.1	10.0% Máx	Cumple
Índice de plasticidad - pasa la malla n°40 (%)	NP	9.0% Máx	Cumple
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	-	-
Abrasión (%)	14	50.0% Máx	Cumple
Pérdida con sulfato de magnesio en gruesos (%)	1.8	18.0% Máx	Cumple
Pérdida con sulfato de magnesio en finos (%)	5.6	15.0% Máx	Cumple
Sulfatos solubles piedra (%)	0.0226	0.6% Máx	Cumple
Sulfatos solubles	0.0376	0.6% Máx	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se muestra resultado de ensayos de laboratorio del material granular y los requisitos mínimos y máximos de la estabilización de material granular con emulsión asfáltica.

- **Resultado de ensayos de calidad a la emulsión asfáltica**

Los resultados obtenidos corresponde a las propiedades físicas y químicas requeridas para la emulsión asfáltica de acuerdo al Instituto de Asfalto para uso

en la estabilización de suelos, los cuales se obtuvieron de las ficha técnica y certificado de calidad de la emulsión asfáltica emplear CSS-1h, como se detalla en la tabla 11

Tabla 11: Contenido de agua en la emulsión asfáltica

MUESTRA	PORCENTAJE DE PESO DE AGUA (%)	PORCENTAJE DE PESO DE ASFALTO RESIDUAL (%)
Emulsión Asfáltica CSS-1h	39.1	60.9

Fuente: elaboración propia

En la tabla se muestra resultados de porcentajes de agua y asfalto residual presentes en la emulsión asfáltica. Por ello se realizó el ensayo de Agua en Emulsiones Asfálticas (MTC E 402 – 2016).

- **Resultado del tipo y cantidad aproximada de emulsión asfáltica**

Los resultados obtenidos son de acuerdo al método del Instituto del Asfalto (MS N° 14), donde determina la dosis de emulsión asfáltica tentativa que servirá para los ensayos preliminares de recubrimiento y determinación del óptimo contenido de humedad de compactación. Como se detalla en la tabla 12

Tabla 12: Resultados de humedades para recubrimiento

IDENTIFICACIÓN	% PASA MALLA N° 200	ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA			
		CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL TENTATIVO (%)	HUMEDAD NATURAL (%)	HUMEDAD PARA RECUBRIMIENTO (%)	RECUBRIMIENTO (%)
Cantera Río Seco	2.3	3.3	1.7	3.2	90

Fuente: Elaboración propia

En la tabla, se muestran los resultados de los porcentajes de humedad y asfalto obtenido tentativamente con la expresión del Instituto del Asfalto para conseguir como mínimo el 50% de Recubrimiento.

- **Resultados de contenido de humedad de compactación**

Los resultados obtenidos son las propiedades de las mezclas que están estrechamente relacionadas a la densidad de los especímenes compactados,

por lo que es necesario optimizar el contenido de humedad de compactación para maximizar las propiedades deseadas de la mezcla. Como se detalla en la tabla 13

Tabla 13: Resultados de humedades de compactación

IDENTIFICACIÓN	% PASA MALLA N° 200	ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA		
		Contenido De Asfalto Residual Tentativo (%)	Humedad Natural (%)	Contenido De Humedad De Compactación (%)
Cantera Río Seco	2.3	2.0	1.7	4.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestran los porcentajes de asfalto obtenidos tentativamente con la expresión del Instituto del Asfalto para conseguir como mínimo el 50% de recubrimiento y el contenido de humedad determinado para lograr la compactación óptima.

- **Resultado de óptimo contenido de asfalto residual y emulsión**

Estos resultados se obtiene del graficar los resultados de las estabilidades Marshall, y corrigiéndola con la multiplicación por un factor de corrección en función al volumen de cada espécimen. Como se detallan en tabla 14

Tabla 14: Resultados de diseños de suelo – emulsión asfáltica

IDENTIFICACIÓN	% PASA MALLA N° 200	ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA					
		Óptimo Contenido Asfalto Residual (%)	Estabilidad En Seco (Lb)	Estabilidad En Saturado (Lb)	Pérdida De Estabilidad (%)	Recubri miento (%)	Optimo contenido de emulsión (%)
Cantera Río Seco	2.3	2 %	1924	1540	25	60	3.3 %

Fuente: Elaboración propia

En la tabla, se muestra el óptimo contenido de emulsión asfáltica para el material granular estabilizado que es de 3.3%, la dosis obtenida cumple con todos los requisitos señalados en el Manual de Carreteras y el Documento Técnico – Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas.

Diseño y determinación de contenido óptimo de material granular estabilizado con aditivo químico organosilano con cemento.

Los resultados obtenidos del diseño de mezcla de suelo con aditivo organosilano y cemento así como la obtención de su óptimo contenido, se realizó de acuerdo al método de CBR (MTC-115 y NTC-132); cumpliéndose todo lo requerido en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013 del MTC, Suelos Estabilizados con aditivo químico, como: CBR mínimo, expansión. Obtenido los siguientes resultados de acuerdo al procedimiento de trabajo:

- Resultados de calidad del material granular

Se obtuvieron resultado de la características físicas y mecánicas de los materiales granulares de las canteras Río Seco antes de ser estabilizados, se evaluaron en relación de requisitos para mezclas de suelo-aditivo organosilano y cemento de las Especificaciones Técnicas EG-2013 del MTC y del manual del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE). Como se observa en la tabla 15

Tabla 15: Resumen de calidad de los agregados para uso con emulsión asfáltica

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTERA RÍO SECO	Estabilización Con Aditivo Químico	Estabilización Con Cemento	Evaluación
Límite líquido - pasa la malla n°40 (%)	NP	39.0% máx	39.0% máx	Cumple
Índice de plasticidad - pasa la malla n°40 (%)	NP	6% - 12%	17.0% máx	Cumple
Abrasión (%)	14	50.0% máx	50.0% máx	Cumple
Pérdida con sulfato de magnesio en gruesos (%)	1.8	18.0% máx	18.0% máx	Cumple
Pérdida con sulfato de magnesio en finos (%)	5.6	15.0% máx	15.0% máx	Cumple
Materia orgánica (%)	NT	NT	NT	Cumple
Sulfatos solubles piedra (%)	0.0226	0.2% máx	0.2% máx	Cumple
Sulfatos solubles arena (%)	0.0376	0.2% máx	0.2% máx	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se muestra resultado de ensayos de laboratorio del material granular y los requisitos mínimos y máximos de la estabilización de material granular con aditivo organosilano y cemento

- **Resultados de óptimo contenido de aditivo organosilano y cemento**

Los resultados obtenidos fueron de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y la referencia tesis “Análisis de la optimización del suelo de la base con aditivo químico terrasil para el diseño de pavimentos industriales del almacén de concentrados mineros – almacenes LOGISMINSA, Ventanilla – Callao “de Gutiérrez, J. y Cerón, E. (2020), como se detalla en la tabla 16.

Tabla 16: Dosificación óptima para suelo-aditivo químico organosilano y cemento

COMPOSICIÓN	ADITIVO QUIMICO ORGANOSILANO	CEMENTO PORTLAN
Dosificación recomendada por fabricante y referencia	0.75 l/m3	1 %

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra resultado del diseño de la material granular estabilizado con aditivo organosilano y cemento, con la obtención de óptimo contenido de aditivo químico organosilano y cemento.

Determinación de estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación.

Una vez determinado el contenido óptimo de 3.3 %emulsión asfáltica, se obtuvieron los resultados de estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción y ascensión capilar del material granular estabilizado.

- **Resultado de Estabilidad Marshall**

Lo resultado obtenido son del material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica y de acuerdo a la metodología Asphalt Institute. Manual Series MS-14: Asphalt Cold Mix Manual. Como se observa en la tabla 17.

Tabla 17: Resultados de Estabilidad Marshall de estabilización de material granular con el contenido óptimo de emulsión asfáltica

IDENTIFICACIÓN	% PASA MALLA N° 200	ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL (%)	ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA				
			ÓPTIMO CONTENIDO ASFALTO RESIDUAL	ESTABILIDAD EN SECO	ESTABILIDAD EN SATURADO	PÉRDIDA DE ESTABILIDAD	RECUBRIMIENTO
			(%)	(lb)	(lb)	(%)	(%)
Cantera Río Seco	2.3	3.3%	2.0	1624	1231	35	60

Fuente: elaboración Propia

En la tabla se observa los resultado del ensayo Marshall del material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica, los cuales que permitieron obtener una estabilidad saturada mínima de 1231 (lb).

- **Resultados de coeficiente estructural**

Los cuales se obtuvieron mediante el método AASHTO-93 que por medio de figuras (ábacos) se correlacionaron los valores de estabilidad en seco (lb) y se obtuvo el coeficiente estructural. Como se detalla en la tabla 18.

Tabla 18: Resultados de Coeficiente Estructural de material granular con el contenido óptimo de emulsión asfáltica

EMULSIÓN ASFÁLTICA				
MATERIAL GRANULAR	ÓPTIMO CONTENIDO DE EMULSIÓN (%)	ESTABILIDAD	COEFICIENTE	COEFICIENTE
		PROMEDIO	ESTRUCTURAL	ESTRUCTURAL
		(lb)	(1/pulg)	(1/cm)
Cantera Río Seco	3.3	1231	0.253	0.100

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se observa el resultado de coeficiente estructural de material estabilizado con 3.3 % de emulsión asfáltica determinado, que para el cálculo se empleó el valor de estabilidad húmeda de 1231 (lb) que aplicado los ábacos de AASHTO-93 se obtuvo un coeficiente estructura de 0.100 cm⁻¹. Como se detalla en la figura 21.

Figura 21: Resultados del cálculo de coeficiente estructural de un material granular por Abaco de metro AASHTO a través de estabilidad Marshall

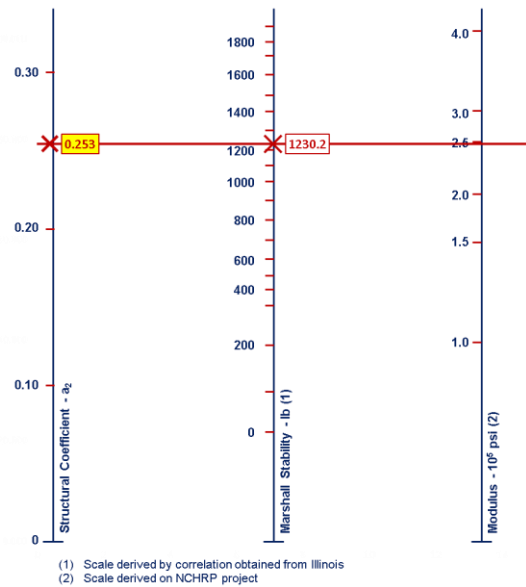


Figure 2.9. Variation in a_2 for Bituminous - Treated Bases with Base Strength Parameter

Fuente: AASHTO-93

- **Resultados de efectos de la ascensión capilar de material granular**

Los resultados obtenidos de efecto de la ascensión capilar en un material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica se realizaron empleando la norma UNE-EN13755-2008 "Métodos de ensayo para piedra natural - Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica"; donde se obtuvieron resultados de absorción de agua (resistencia a los efectos del agua de los materiales granulares) y la ascensión capilar. Como se detalla en la tabla 19

Tabla 19: Resultados de absorción y ascensión capilar

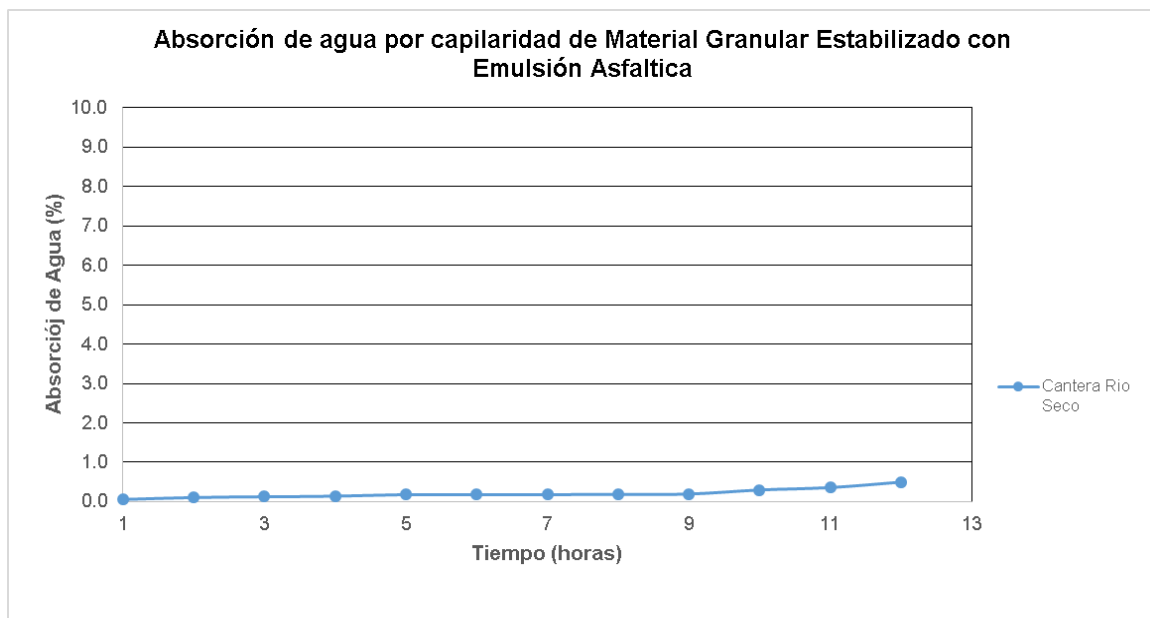
TIEMPO	Cantera Río Seco	
	EMULSIÓN ASFÁLTICA	
	3.3 % de emulsión asfáltico	
	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)
1 hora	0.1	0.0
2 horas	0.1	0.0
3 horas	0.1	0.0

4 horas	0.1	0.0
5 horas	0.2	0.0
6 horas	0.2	0.0
12 horas	0.2	0.0
1 día	0.2	0.0
2 días	0.2	0.0
3 días	0.3	0.0
4 días	0.4	0.0
5 días	0.5	0.0

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se muestra resultados de ensayos de absorción de agua por capilaridad (%) y altura de ascensión capilar (cm) del material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica en periodos de 1 hora hasta 5 días. Asimismo en el gráfico 2 se detalla los resultados de ascensión capilar versus al tiempo.

Grafico 2: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Estabilizado con Emulsión Asfáltica



Fuente: elaboración propia

En la imagen se observa que el porcentaje de la capacidad de absorción de agua de los materiales granulares estabilizado con 3.3 % de emulsión asfáltica se

hasta el término del ensayo a 5 días solo llega alcanzar valores de 0.5 % de absorción de agua para la material granulares estabilizados con emulsión asfáltica procedente de la canteras Rio Seco.

Determinar la capacidad de soporte CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento a en su optima dosificación.

Una vez determinado el contenido óptimo de 0.75 l/m³ de aditivo organosilano con 1% de cemento, se obtuvieron los resultados de CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción y ascensión capilar del material granular estabilizado. Como se describe a continuación.

- Resultados de Capacidad de soporte CBR

Lo resultado obtenido son del material granular estabilizado con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano con 1% de cemento portland y de acuerdo a la metodología del Manual de Carreteras de MTC (EG-2013), los que se observa en la tabla 20.

Tabla 20: Resultados de CBR de estabilización de material granular con aditivo organosilano y cemento portland

MATERIAL GRANULAR	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ADITIVO + CEMENTO				
			0.75 l/m ³ + 1.0 % Cemento				
			CBR (%)				EXPANSIÓN (%)
			0.01"		0.2"		
			95 %	100 %	95%	100%	
Cantera Rio Seco	2.325	5.4	60.9	120	76.4	149.1	S/E

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se observa, resultados densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad que permitieron determinar el CBR de material granular estabilizado con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano y 1% de cemento, los cuales permitieron obtener un CBR (0.01") al 100 % de 120 %

Resultado de coeficiente estructural

Los cuales se obtuvo mediante el método AASHTO-93 que por medio de figuras (ábacos) se correlacionaron los valores de 120 % CBR (100% MDS, 0.01”) y se obtuvo el coeficiente estructural. Como se detalla en la tabla 22.

Tabla 21: Coeficiente estructural - Aditivo químico y cemento

ADITIVO QUÍMICO (ORGANOSILANO)+CEMENTO			
DOSIF.: 0.75 l/m ³ (organosilanos) + 1% cemento			
MATERIAL GRANULAR	CBR (0.1”, 100%) (%)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (1/pulg)	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (1/cm)
Cantera Rio Seco	120	0.150	0.059

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se observa el resultado de coeficiente estructural de material estabilizado con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano y 1% de cemento, señalando que para el cálculo se empleó el valor de CBR (0.1”, MDS 100%) que es de 120% y que aplicado los ábacos de AASHTO-93, se obtuvo un coeficiente estructura de 0.056 cm⁻¹. Como se detalla en la figura 22.

Figura 22: Resultados de coeficiente estructural de un material estabilizado con 0.75 l/m³ y 1% cemento por ábaco del método AASHTO -93 a través de CBR

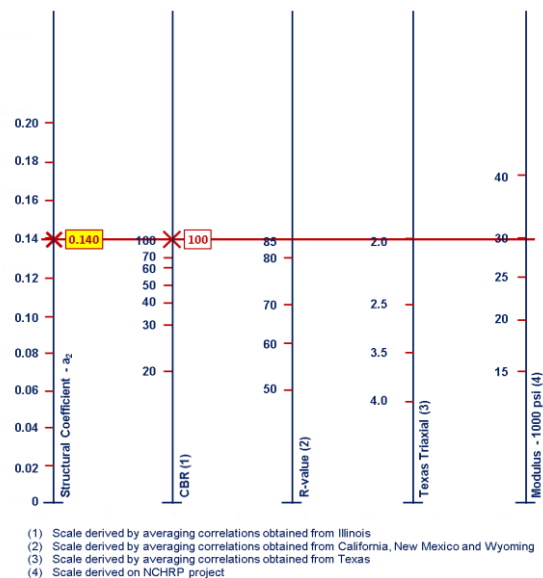


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a₂) with Various Base Strength Parameters

Fuente: AASHOTO-93

- **Resultados de efectos de la ascensión capilar**

Lo resultados obtenidos de efecto de la ascensión capilar en un material granular estabilizado con 0.75 l/m³ aditivo organosilano y 1% cemento se realizaron empleando la norma UNE-EN13755-2008 “Métodos de ensayo para piedra natural - Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica”; donde se obtuvieron resultados de absorción de agua (resistencia a los efectos del agua de los materiales granulares) y la ascensión capilar. Como se detalla en la tabla 22

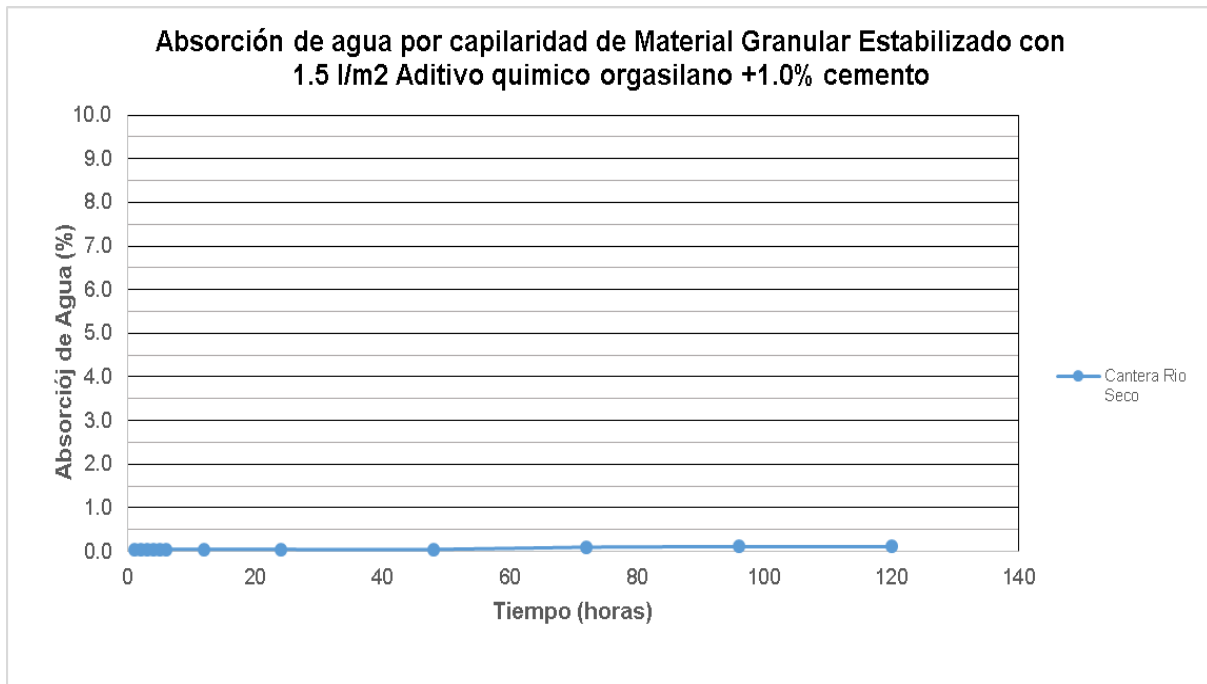
Tabla 22: Resultado de absorción por capilaridad y ascensión capilar de material estabilizado con 0.75 l/m³ aditivo organosilano y 1% cemento

TIEMPO	Cantera Río Seco	
	ADITIVO + CEMENTO	
	0.75 l/m ³ + 1.0 % Cemento	
	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)
1 hora	0.0	0.0
2 horas	0.0	0.0
3 horas	0.0	0.0
4 horas	0.0	0.0
5 horas	0.0	0.0
6 horas	0.0	0.0
12 horas	0.0	0.0
1 día	0.0	0.0
2 días	0.0	0.0
3 días	0.1	0.0
4 días	0.1	0.0
5 días	0.1	0.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra resultados se ensayos de absorción de agua por capilaridad (%) y altura de ascensión capilar (cm) del material granular estabilizado con 0.75 l/m³ aditivo organosilano y 1% cemento en periodos de 1 hora hasta 5 días. Asimismo en el grafico 3 se detalla los resultados de ascensión capilar versus al tiempo.

Grafico 3: Absorción de agua por capilaridad de Material Granular Estabilizado con 0.75 l/m³ aditivo organosilano y 1% cemento



Fuente: elaboración propia

En la imagen se observa que el porcentaje de la capacidad de absorción de agua de los materiales granulares estabilizado con 0.75 l/m³ aditivo organosilano y 1% cemento hasta el término del ensayo a 5 días solo llega alcanzar valores de 0.1% de absorción de agua para la material granulares de la canteras Rio Seco.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tuvo como objetivo general realizar el estudio comparativo de la estabilización del material granular con emulsiones asfálticas y aditivo organosilano con cemento mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO -93. Para la cumplir con el objeto general, se ejecutaron actividades que permitieron desarrollar el presente estudio.

De la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular a fin de aplicar los agente estabilizadores, primero se identificaron tres fuentes de material granular cantera quemado, rio seco y lagarto, que de evaluación y discusión de los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas del material granular versus las los requisitos establecidos en las Especificaciones Generales del Manual de carreteras del MTC (EG-2013) por agente estabilizadores emulsión asfáltica y aditivo químico con cemento, así como los requisitos de estudio de canteras es decir disponibilidad, potencia y acceso por cantera, se determinó que la fuente de material granular que cumplía con todos es la cantera Rio Seco. Como se evidencia en la tabla 23

Tabla 23: Discusión de resultados de propiedades físicas y mecánicas del material granular por cada agente estabilizador

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTERA RÍO SECO	PARÁMETROS SEGÚN MANUAL DE CARRETERAS "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN"					
		Estabilización con aditivo químico		Estabilización con cemento portland		Estabilización con emulsión asfáltica	
		Especificación	Evaluación	Especificación	Evaluación	Especificación	Evaluación
Porcentaje que pasa la malla n°200 (%)	2.1	-	-	-	-	10.0% máx	CUMPLE
Límite líquido - pasa la malla n°40 (%)	NP	39.0% máx	CUMPLE	39.0% máx	CUMPLE	-	-
Índice de plasticidad - pasa la malla n°40 (%)	NP	6% - 12%	CUMPLE	17.0% máx	CUMPLE	9.0% máx	CUMPLE
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-
Abrasión (%)	14	50.0% máx	CUMPLE	50.0% máx	CUMPLE	50.0% máx	CUMPLE
Pérdida con sulfato de magnesio en gruesos (%)	1.8	18.0% máx	CUMPLE	18.0% máx	CUMPLE	18.0% máx	CUMPLE
Pérdida con sulfato de magnesio en finos (%)	5.6	15.0% máx	CUMPLE	15.0% máx	CUMPLE	15.0% máx	CUMPLE
Materia orgánica (%)	NT	NT	CUMPLE	NT	CUMPLE	-	-
Sulfatos solubles piedra (%)	0.0226	0.2% máx	CUMPLE	0.2% máx	CUMPLE	0.6% máx	CUMPLE
Sulfatos solubles arena (%)	0.0376	0.2% máx	CUMPLE	0.2% máx	CUMPLE	0.6% máx	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Del diseño y determinación de contenido óptimo de material granular estabilizado con emulsión asfáltica y aditivo químico organosilano con cemento, en la presente investigación se realizó por dos métodos; para la estabilización con emulsión asfáltica mediante el método de Instituto de Asfalto, donde se obtuvo 3.3% de emulsión asfáltica como dosificación óptima de la estabilización con material granular. De los resultados obtenidos se realizó la evaluación y análisis resultados en relación a los parámetros mínimos requeridos del diseño de acuerdo Manual Series N° 19 “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas” y Manual Series N° 14 “Manual de Mezclas Asfálticas en Frío” (AI), determinado que se cumplieron con los requerimientos de diseño, como se detalla en los Grafico 4, 5 y 6

Grafico 4: Discusión de resultados de requisito de Estabilidad Saturada en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto



Grafico 5: Discusión de resultados de requisito de perdida de estabilidad en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto

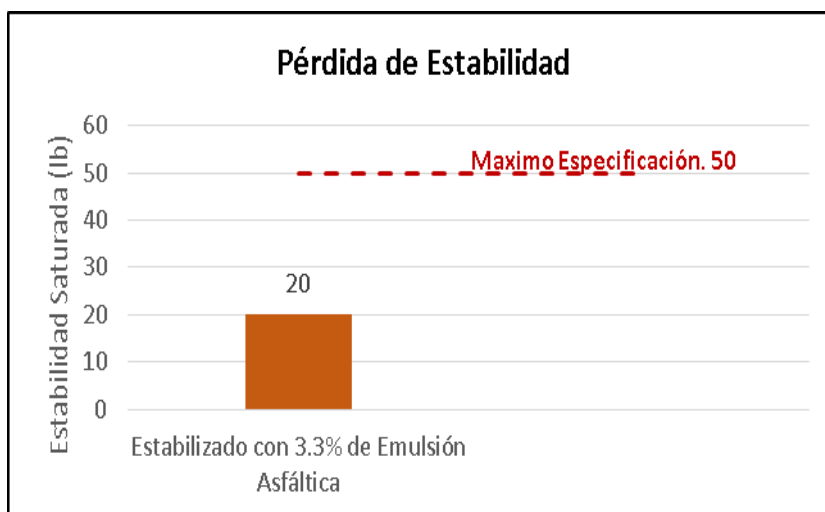


Grafico 6: Discusión de resultados de requisito porcentaje de recubrimiento en relación a los requisitos del Manual de Instituto de Asfalto



Fuente: elaboración propia

Con respecto a la estabilización con aditivo organosilano y cemento se realizó mediante el método de soporte estructural CBR (MTC E 132) donde se obtuvo 0.75l/m³ y 1% cemento portland como dosificación óptima de la estabilización con material granular. De los resultados obtenidos se realizó la evaluación y análisis resultados en relación a los parámetros mínimos requeridos de diseño de acuerdo al manual de carreteras del Ministerio de Transportes y comunicaciones (EG-2013), determinado que se cumplieron con los requerimientos de diseño, como se detalla en los Gráficos 7 y 8

Grafico 7: Discusión de resultados de requisito de CBR (0.1", 100% MDS) en relación a los requisitos del EG-2013

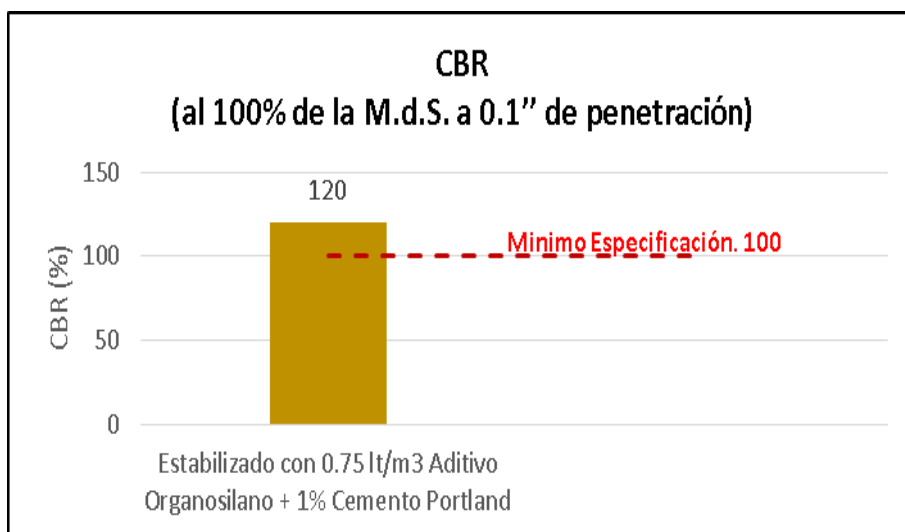
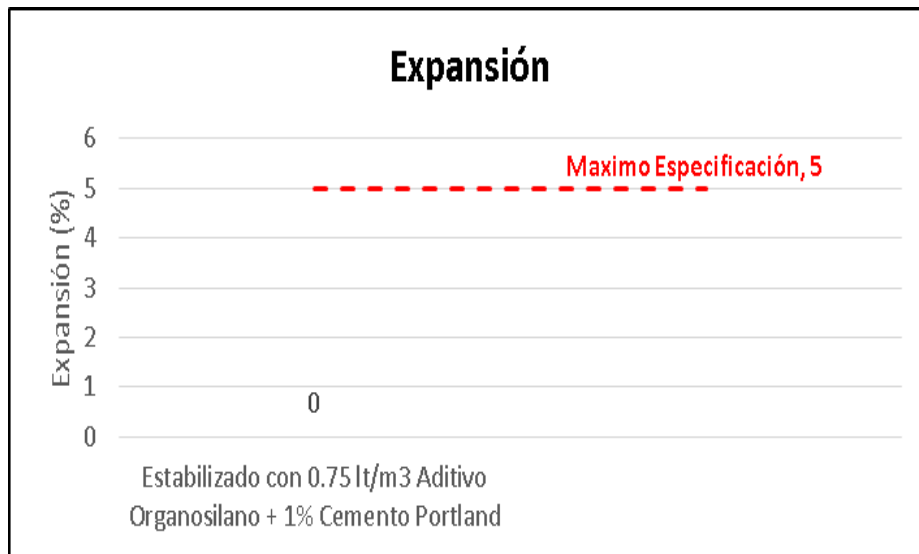


Grafico 8: Discusión de resultados de expansión en relación a los requisitos de EG-2013

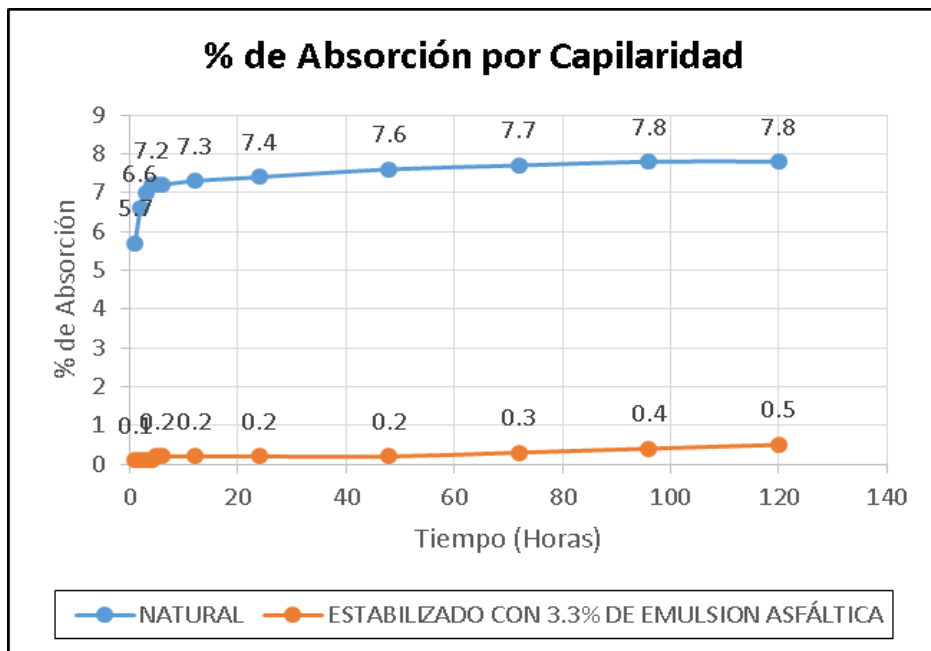


Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos las contenido óptimo de los agentes estabilizadores, se realizó el estudio comparativo de la estabilización del material granular con 3.3 % emulsiones asfálticas y 0.75 l/m³ de aditivo organosilano + 1% cemento mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93, permitió determinar el mejor agente estabilizador.

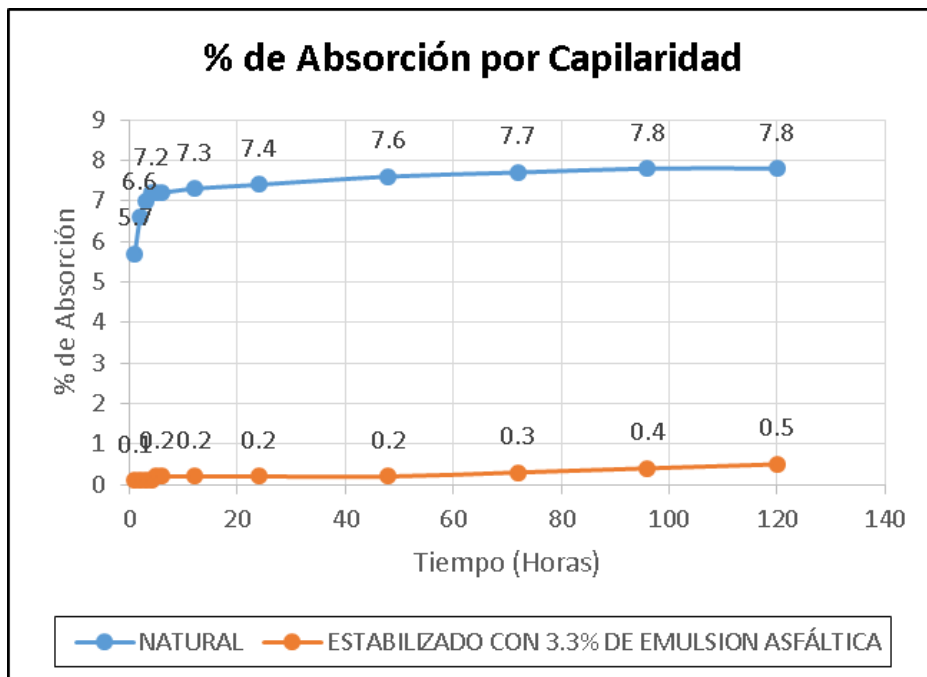
De acuerdo a los resultados obtenidos de la estabilización del material granular con 3.3 % emulsiones asfálticas, a través ensayos de laboratorio como absorción, ascensión capilar y estabilidad Marshall el que permitió determinar el coeficiente estructural por el método AASHTO-93, se verifica que los agregados absorberán menos agua por ascensión capilar, y por ende tiene mayor resistencia a los efectos de agua y con ello brindaran mayor protección a las estructura del pavimento en servicio, así como el incremento significativo en la resistencia mecánica de los materiales granulares por ende mejora su coeficiente estructural. Como se detalla en los gráficos 9, 11 y 12

Grafico 9: Discusión de resultados de absorción por capilaridad por ascensión capilar de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural



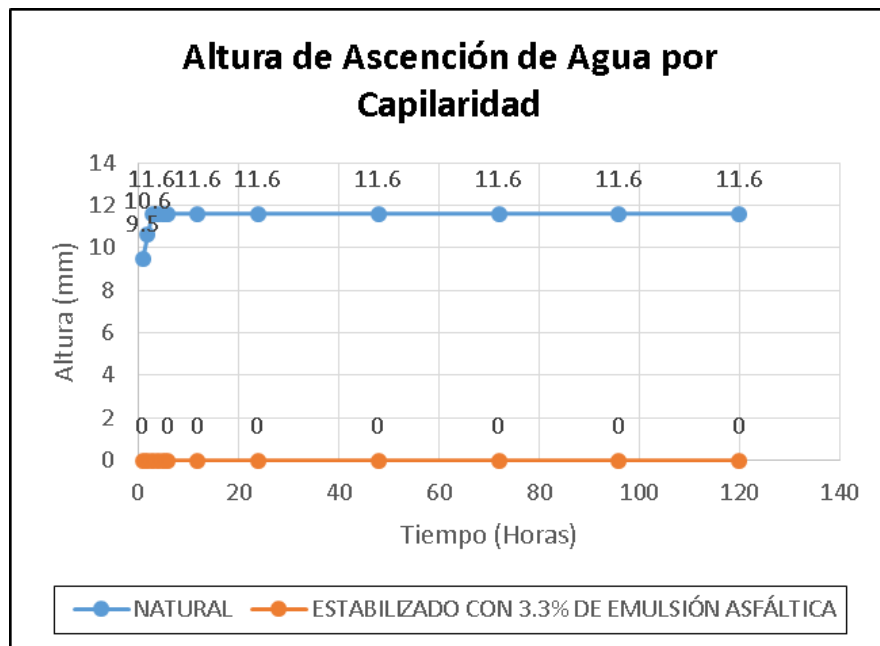
Fuente: Elaboración propia

Grafico 10: Discusión de resultados de altura de ascensión de agua por capilaridad de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural



Fuente: Elaboración propia

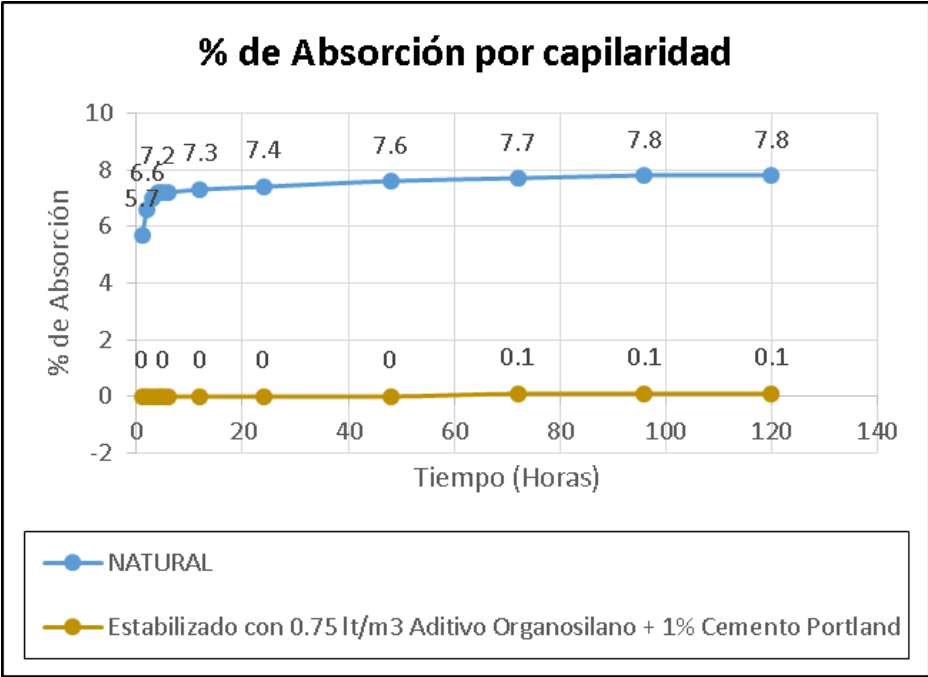
Grafico 11: Discusión de resultados de coeficiente de aporte estructural de material granular estabilizado con 3.3% de emulsión asfáltica respecto al material granular natural



Fuente: Elaboración propia

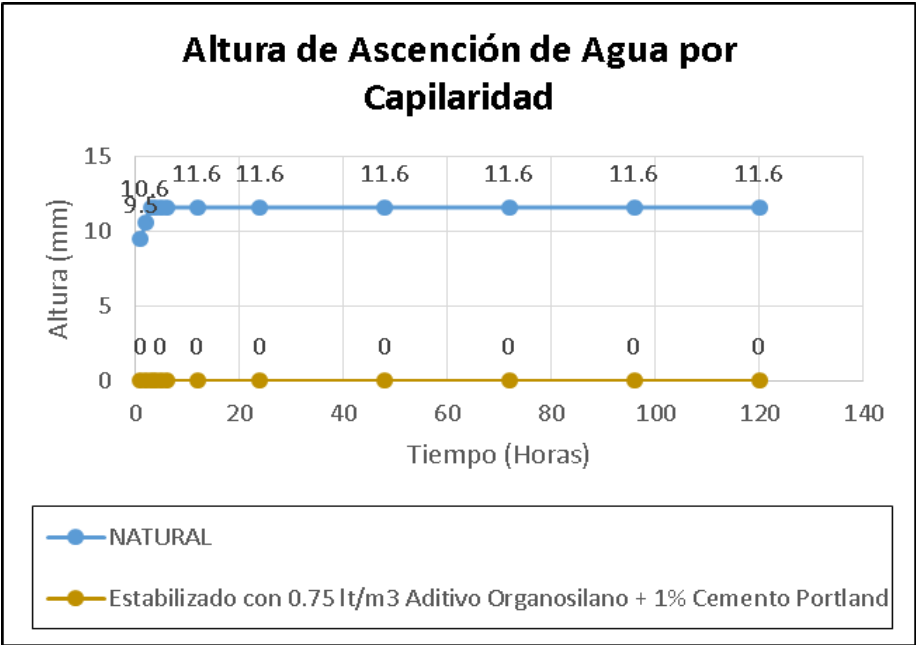
De acuerdo a los resultados obtenidos de la estabilización del material granular con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano y 1% cemento, a través ensayos de laboratorio de absorción, ascensión capilar y CBR el que permitió determinar el coeficiente estructural por el método AASHTO-93, se verifica que los agregados absorberán menos agua por ascensión capilar, y por ende tiene mayor resistencia a los efectos de agua y con ello brindaran mayor protección a las estructura del pavimento en servicio, así como el incremento significativo en la resistencia mecánica de los materiales granulares por ende mejora su coeficiente estructural. Como se detalla en los gráficos 12, 13 y 14

Grafico 12: Discusión de resultados de absorción por capilaridad por ascensión capilar material granular con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano y 1% cemento respecto al material granular natural



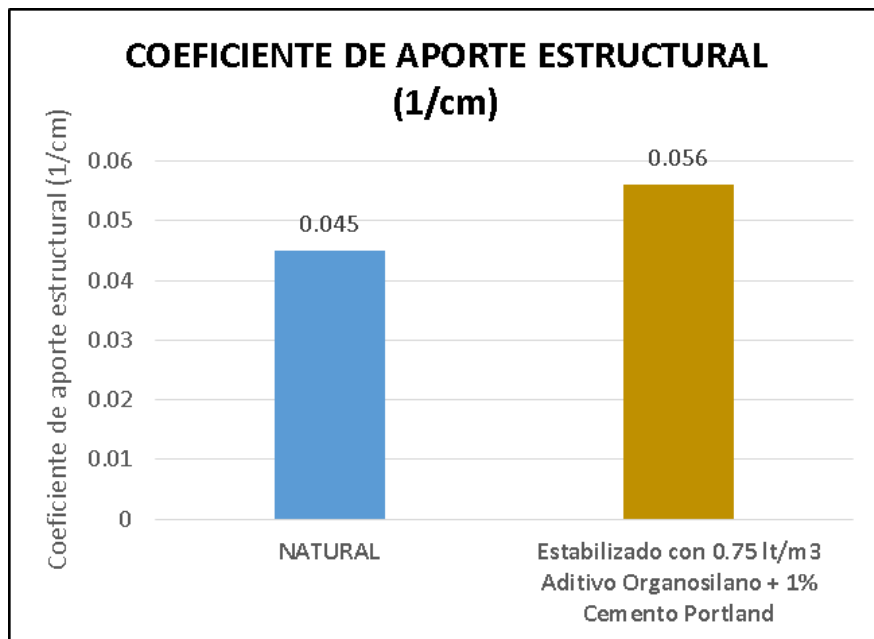
Fuente: Elaboración propia

Grafico 13: Discusión de resultados de altura de ascensión de agua por capilaridad respecto al material granular natural



Fuente: Elaboración propia

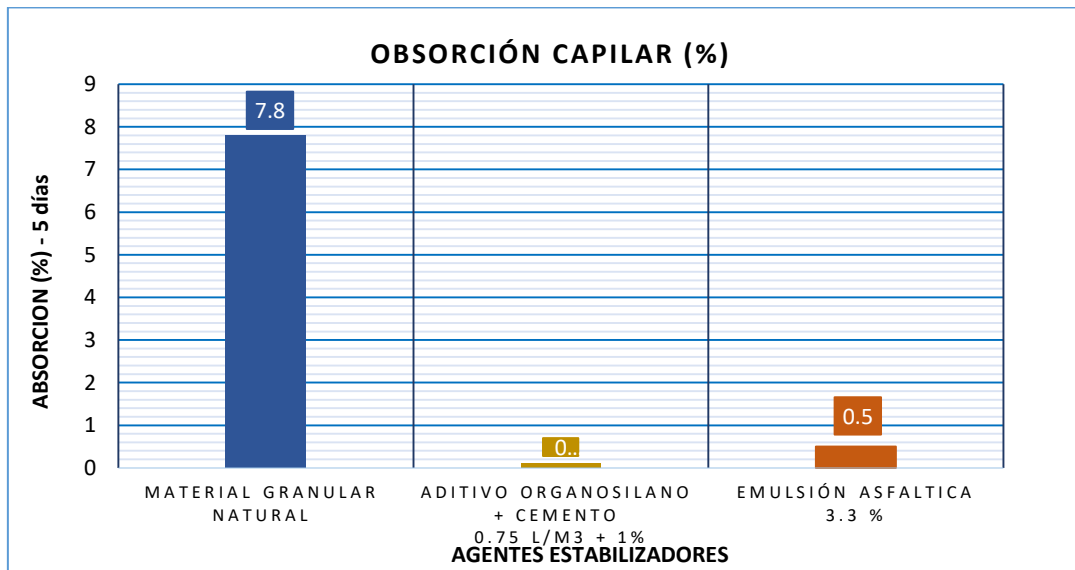
Grafico 14: Discusión de resultados de coeficiente de aporte estructural material granular con 0.75 l/m³ de aditivo organosilano y 1% cemento respecto al material granular natural



Fuente: Elaboración propia

Determinar el mejor agente estabilizador para este tipo de estudio comparativo basado en una evaluación técnica de resultados de laboratorio, es una decisión que garantiza la calidad, durabilidad, prosperidad y el éxito de un proyecto, por tal motivo se debe considerar también los agentes externo y/o lugar de desarrollo del proyecto. Para ello se realizó la evaluación de resultado obtenidos de ensayos de laboratorio de absorción, ascensión capilar y coeficiente estructural de material granulado estabilizado de emulsión asfáltica y aditivo químico organosilano con cemento. De los resultado obtenidos de absorción capilar ambos agente estabilizadores generan que los materiales granulares absorben menos agua por ascensión capilar, pero el aditivo químico organosilano es el que mejor comportamiento ha tenido para la absorban de menos agua por ascensión capilar y por ende tiene mayor resistencia a la efectos del agua. Como se detalla en el grafico 15.

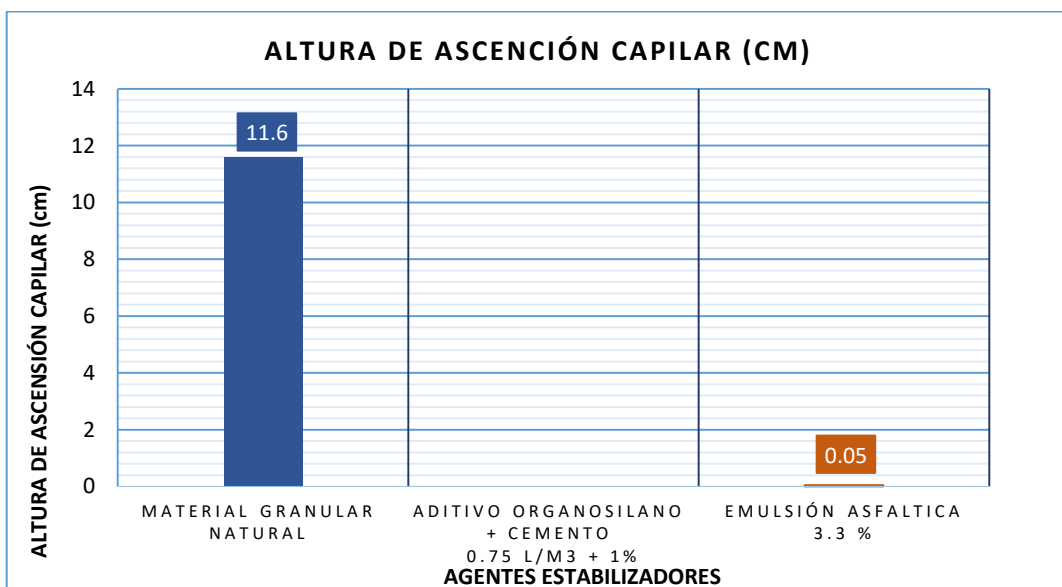
Grafico 15: Evaluación de Absorción capilar del material Granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.



Fuente: Elaboración Propia

Del resultado obtenido de ascensión capilar muestra que la ascensión del agua para la estabilización con emulsión asfáltica es relativamente baja; sin embargo, en la estabilización con aditivo organosilano con cemento no se da la ascensión capilar (o es mínima). Como se detalla en el grafico 16.

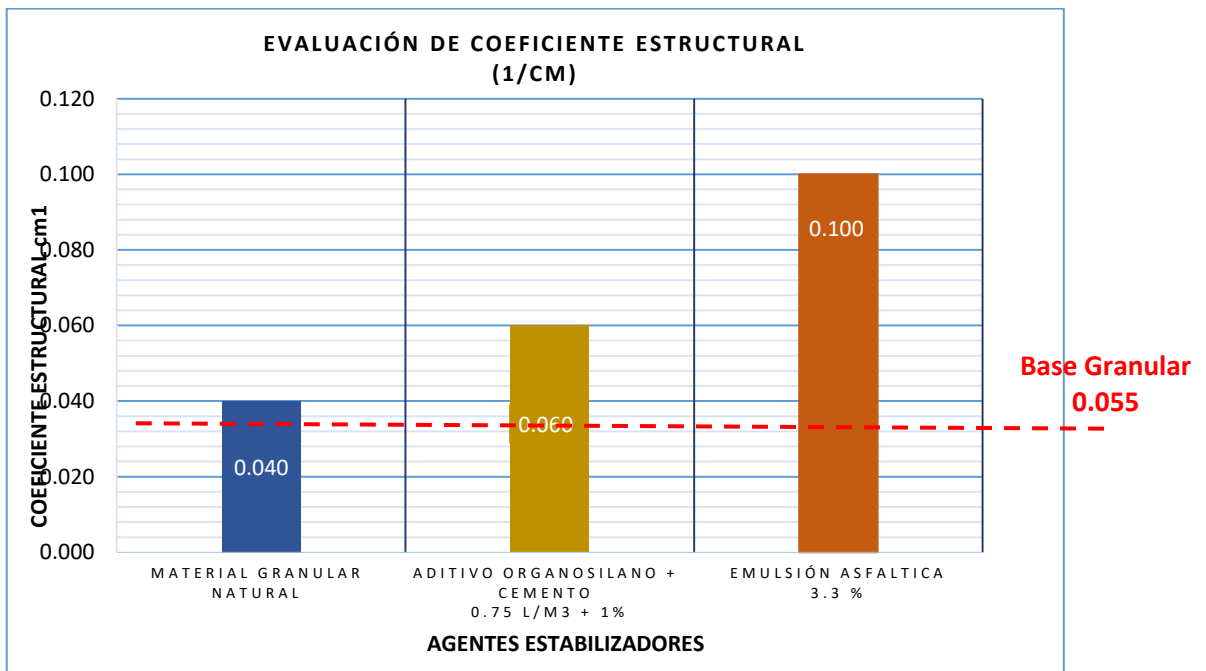
Grafico 16: Evaluación de altura de ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente de los resultados de coeficiente estructural calculado conforme al procedimiento AASHTO mediante estabilidad Marshall para el material estabilizado con emulsión asfáltica y CBR para el material granular estabilizado con aditivo organosilano y cemento, muestra que para ambos agentes estabilizadores presenta un incremento representativo a la resistencia mecánica de tal manera que el material granular estabilizado con ambos agentes estabilizadores cumple con el coeficiente estructural requerido para ser usado como material como base granular de acuerdo al Manual de Carreteras del MTC (EG-2013) . Como se detalla en el grafico 17.

Grafico 17: Evaluación de Coeficiente Estructural de material Granular estabilizado con emulsión y aditivo organosilano + cemento y natural.



Fuente: Elaboración propia

VI.CONCLUSIONES

De la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular a fin de aplicar los agente estabilizadores emulsión asfáltica, aditivo organosilano y cemento, se determinó que, de las tres fuentes de material granular identificadas en el proyecto y a las que se sometieron a contrastación con los requisitos del manual de carreteras (EG-2013); solo cumplió una cantera (Rio Seco) para uso con agentes estabilizadores empleados. En ese sentido las propiedades físicas y mecánicas de material granular influye de manera directa para elegir los agentes estabilizadores así como en el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas durante el proceso de estabilización de material granular.

El diseño de mezcla para la estabilización de material granular se realizó mediante el método Marshall para emulsión asfáltica y método de CBR para el aditivo organosilano y cemento, obteniendo la dosificación óptima de 3.3 % de emulsión asfáltica y de 0.75 l/m³ de aditivo organosilano + 1% cemento.

De la estabilización de material granular con 3.3 % emulsión se obtuvo un incremento de 120 % de coeficiente de soporte estructural, una reducción de 96.4 % de absorción de agua y una reducción de 99.6 % de ascensión capilar de agua en relación al material granular natural. Evidencia así un incremento representativo de las propiedades físicas y mecánicas las cuales permitieron determinar el mejor agente estabilizador.

De la estabilización de material granular con 0.75 l/m³ aditivo organosilano + 1 % de cemento se obtuvo un incremento de 24% de coeficiente de soporte estructural, una reducción de 99 % absorción de agua y una reducción de 100 % de ascensión capilar de agua en relación al material granular natural. Evidencia así un incremento muy representativo de esta propiedad física y mecánica las cuales permitieron determinar el mejor agente estabilizador.

Según el estudio comparativo de la estabilización del material granular con emulsiones asfálticas y aditivo organosilano con cemento, mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93 se determinó que el mejor agente estabilizador

para este proyecto que por sus características técnicas requerida, afectaciones climatologías intensas y tipo de solución (material de base) es la mezcla de aditivo organosilano y cemento, debido que mejoró todos sus propiedades físicas y mecánicas del material es decir cumplió los requisitos de para un material granular (Coeficiente Estructura Min de 0.055 cm^{-1}) y obtuvo mejores resultados de absorción de agua y ascensión capilar por ende tiene mayor resistencia a la efectos del agua.

VII.RECOMENDACIONES

Para la evaluación de los agentes estabilizadores de materiales granulares no sólo implica la obtención de adecuados resultados de resistencia en laboratorio o coeficiente estructural, sino el tener la capacidad hidrófoba (repele el agua) para contrarrestar los efectos en la estructura del pavimento de las precipitaciones pluviales y aguas freáticas. El cual garantiza la durabilidad o permanencia de la estructura. Protección superficial del pavimento estabilizado a los efectos abrasivos de las condiciones ambientales (humedad, lluvias), así como de los neumáticos de los vehículos.

Realizar investigaciones adicionales respecto al análisis de costos de cada solución técnicas propuestas para afianzar la elección de agentes estabilizadores así como el proceso de aplicación en campo.

Para la elección del mejor agente estabilizador se debe considerar la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas, sino el uso y fin del material granular a estabilizar, así como las propiedades principales para cumplir con los requerimiento de cada proyecto en particular.

REFERENCIAS

- Ullate, A. (2017). (Boletín Técnico). “Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito empleando productos no tradicionales” mayo 2017. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/908>
- Gutiérrez, C. (2010). (Tesis de pregrado). “Estabilización Química de Carreteras no Pavimentadas en el Perú y Ventajas Comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) Frente al Cloruro de Calcio”. Recuperado de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/116/gutierrez_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, E. & Rondó, H. (2006). (Artículo). “Influencia de la inclusión de desechos de PVC sobre el CBR de material granular tipo subbase” diciembre 2006. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v5n9/v5n9a03.pdf>.
- Rivera, F. y Aguirre, A. (2020). (Artículo). “Estabilización química de suelos – Materiales convencionales y activados alcalinamente”. 10 de Junio 2020. Recuperado de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530/3417
- Ramos, J. Lozano, J. (2019). (Tesis). “Estabilización de suelos mediante aditivos alternativo”. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24277/1/ESTABILIZACION%CC%81N%20DE%20SUELO%20MEDIANTE%20ADITIVOS%20ALTERNATIVOS%20CORREGIDO%20FINAL%202.0.pdf>
- Gutiérrez, J. y Cerón (2020). (Tesis), E. Análisis de la optimización del suelo de la base con aditivo químico terrasil para el diseño de pavimentos industriales del almacén de concentrados mineros – Almacenes Logisminsa, Ventanilla – Callao. Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas. Recuperado de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652276/Guti%C3%A9rrez_RJ.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- TERRASILTECH (2017). Fundamentos de Tecnología Terrasil para pavimentos. Obtenido de <http://www.TERRASILtech.com/>. (Consulta: 15 de julio de 2018).

TERRASILTECH. (2018). Ingeniería y Tecnología de estabilización para pavimentos. Santiago de Chile.

Angulo, D. y Rojas, H. (2016). Ensayo de fiabilidad con aditivo TERRASIL para la estabilización del suelo en el AA.HH. El Milagro, 2016. Recuperado de Repositorio Ucp: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/142>

De la Cruz, L y Salcedo, K. (2016). Estabilización de Suelos Cohesivos por Medio de Aditivos (eco road 2000) para pavimentación en palian – Huancayo – Junín - Huancayo.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2003). Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras (EM 2000). (Consulta: 05 de julio de 2018). Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG2013). Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuala.

De la Torre, M. (2018). (Tesis) “Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial puno Tacna tramo Tarata – Capazo – Mazocruz”. Universidad San Ignacio de Loyola.

Rojas, H. (2016). (Tesis). “Ensayo de fiabilidad con aditivo proes para la estabilización del suelo en el Aa. Hh el Milagro, 2016”. Universidad Científica del Perú.

Aliaga, F. y Soriano, C. (2019) (Tesis). “Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares”. Universidad Ricardo Palma.

Fernández, H. (2017). (Tesis). “Efecto del aditivo Terrazyme en la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes en la zona de expansión de la ciudad de Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca.

Gutiérrez, C. (2010). (Tesis). “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de calcio”. Universidad Ricardo Palma.

Cari, H. (2018) (Tesis). “Optimización de espesores de pavimentos utilizando emulsión asfáltica, caso de estudio: vía de ingreso a la Universidad Peruana Unión-filial Juliaca”. Universidad Peruana Unión.

Almeida, F. y Sánchez, E. (2011) (Tesis). “Estabilización de suelos con uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. Caso de estudio vía las mercedes – Puerto nuevo, Provincia de Santo Domingo de los Tsachiles”. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Ccora, J. y Montenegro, H. (2011). (Tesis). “Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal y cemento -carretera Cañete - Chupaca: tramo km 152+000 - 158+000”. Universidad Nacional de Ingeniería.

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA


ESTUDIO COMPARATIVO DE ESTABILIZACIÓN DE MATERIAL GRANULAR CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y ADITIVO ORGANOSILANO CON CEMENTO EN CONSERVACIONES VIALES, ANCASH - 2021

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENCIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente			
¿En qué medida el estudio comparativo de la estabilización de material granular con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento a través de ensayos de laboratorio y método AASHTO-93, permitirá elegir el mejor estabilizador?	Realizar el estudio comparativo de la estabilización del material granular con emulsiones asfálticas y aditivo organosilano con cemento mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93.	Es posible determinar el mejor agente estabilizador de un material granular realizando un estudio comparativo de la estabilización de material granular con emulsión asfáltica y aditivo organosilano con cemento, mediante ensayos de laboratorio y método AASHTO-93	Estabilizadores	Emulsión asfáltica	Densidad (gr/cm ³) Viscosidad 25°C (cps) Ductilidad (cm) Prueba de Tamiz (%)	Ficha Técnica y Certificado de Calidad de Emulsión asfalta
				Aditivo organosilano + cemento	Densidad (gr/ml) pH Viscosidad 25°C (cps)	Ficha Técnica y Certificado de calidad de Aditivo Organosilano Ficha Técnica y Certificado de calidad de Cemento
			Material granular	Caracterización de material granular	Gragulometria Índice de Plasticidad Absorción CBR	Tamices, Balanza Equipo Casa Grande Equipo de de Absorción Equipo de CBR
Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Especifico	Variable dependiente			
¿En qué medida la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del material granular definen la aplicación de los agentes estabilizadores?	Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material granular a fin de aplicar los agente estabilizadores.	Las propiedades físicas y mecanizas del material granular deben cumplir las mismas las propiedades físicas y mecánicas para cada agente estabilizador	Estabilización de material Granular con emulsión asfáltica	Estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural)	lb (1/cm)	Prensa Marshall
				Absorción	%	Equipo de Absorción
¿En qué medida el diseño y determinar la dosificación optima de los agentes estabilizados afecta en las propiedades físicas y mecánicas del material granular?	Diseñar y determinar la dosificación óptima de los agentes estabilizadores con el material granular	El diseño y la dosificación optima de cada agente estabilizador afecta en la propiedad físicas y mecánicas del material granular		ascensión capilar	%	Equipo de Capilaridad
¿Determinar estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación permitirá elegir el mejor agente estabilizador?	Determinar estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación	Con la evaluación de la estabilidad Marshall (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con emulsión asfáltica en su óptima dosificación, permitirá determinará el mejor agente estabilizador.	Estabilización de material Granular con aditivo organosilano con cemento	CBR (coeficiente de soporte estructural)	% (1/cm)	Prensa CBR
				Absorción	%	Equipo de Absorción
¿Determinar CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento en su óptima dosificación permitirá elegir el mejor agente estabilizador?	Determinar CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento a en su optima dosificación	Con la evaluación de CBR (coeficiente de soporte estructural), absorción, ascensión capilar del material granular estabilizado con aditivo organosilano con cemento se determinará el mejor agente estabilizador.		ascensión capilar	%	Equipo de Capilaridad

ANEXO N° 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLES

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
Estabilizadores	Definición Conceptual: Los estabilizadores son un complemento de paisajismo de origen químico con el fin de mejorar, reforzar y estabilizar suelos y/o materiales granulares. El estabilizador de suelos sirve para uso en gravas y brindad mejoras para que los materiales se conserven firmes y estables frente a las inclemencias del tiempo. (Fuente: Asphalt Institute, Asphalt Emulsión Manufacture. "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series N° 19". USA	Los estabilizadores son agentes que a cierta dosificación, manipulación o tratamiento se logra optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares de origen natural; por el aprovechamiento de sus mejores cualidades con el fin de mejorar la capacidad de soporte de los materiales naturales.	Emulsión asfáltica	Densidad (gr/cm ³) Viscosidad 25°C (cps) Ductilidad (cm) Prueba de Tamiz (%)	Intervalo	Ficha Técnica y Certificado de Calidad de Emulsión asfáltica	<p style="text-align: center;">Tipo de investigación: Aplicada</p> <p style="text-align: center;">Diseño de investigación: Experimental</p> <p style="text-align: center;">Nivel: El nivel de la investigación explicativa y descriptiva</p>
			Aditivo organosilano + cemento	Densidad (gr/ml) pH Viscosidad 25°C (cps)	Intervalo	Ficha Técnica y Certificado de calidad de Aditivo Organosilano Ficha Técnica y Certificado de calidad de Cemento	
Estudio de material granular	Es la información de las propiedades físicas y mecánicas que debe presentar el material granular de origen pétreo, compuesto por material gruesos, arena y material fino distribuidas en diferentes proporciones y los que pueden ser usados en la rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial. (Fuente: Especificaciones Técnicas de Manual de Carreteras de MTC – EG 2013)	Para estudiar las propiedades físicas y mecánicas del material granular se realizan mediante ensayos de laboratorio que permite la caracterización del material granular para su estabilización y utilización como material de base en un pavimento.	Caracterización de material granular	Gragulometría Índice de Plasticidad Absorción ascensión capilar CBR	Razón	Balanza Horno Equipo de Absorción Equipo CBR	
Estabilización de material Granular + emulsión asfáltica	Es el mejoramiento de materiales granulares mediante la incorporación de emulsiones asfálticas, incrementa la capacidad portante, la resistencia al desplazamiento por la acción del clima (agua). (Fuente: Instituto del Asfalto).	es el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con la adición de emulsión asfáltica, que permitirán ser utilizados como material de base en un pavimento.	Estabilidad Marshall Coeficiente de soporte estructural Absorción ascensión capilar	lb 1/cm % cm	Razón	Prensa Marshall Equipo de Absorción Equipo de Capilaridad	
Estabilización de material Granular + Aditivo organosilano con cemento	Consiste en la incorporación de aditivos químicos específicos, los cuales se incorporan al suelo a tratar según las especificaciones técnicas del producto. Al incorporar este aditivo se busca la modificación de las características del suelo; y obtener una mejor capacidad de respuesta ante las cargas a las que estará sometido, tanto en la etapa de construcción como de servicio. (Fuente: Gutiérrez, J. y Cerón, Eduardo" Tesis análisis de la optimización del suelo de la base con Aditivo químico terrasil para el diseño de pavimentos Industriales del almacén de concentrados mineros – Almacenes logisminsa, Ventanilla – Callao")	Es el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del material granular con la adición de aditivo organosilano con cemento, que permitirán ser utilizados como material de base en un pavimento.	CBR Coeficiente de soporte estructural Absorción Ascensión capilar	% 1/cm % cm	Razón	Prensa CBR Equipo de Absorción Equipo de Capilaridad	

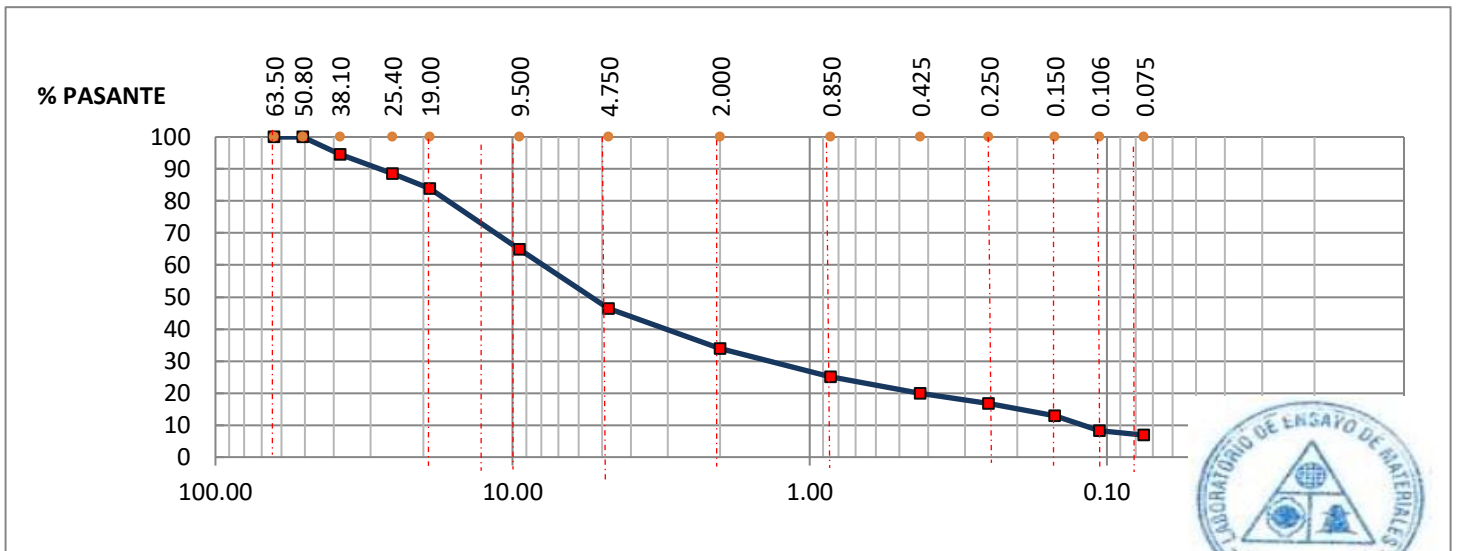
ANEXO N° 3: CERTIFICADOS DE ENSAYOS

	INFORME	Código	M-FT-67
	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1de1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas Expediente N° : T-81-1-21
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021" Fecha de Ensayo : 1/11/21
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash Fecha de Emisión : 24/11/21
Identificación Muestra : Cantera-Río Seco

REPORT DE ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRIA POR TAMIZADO American Society for Testing and Materials D6913

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
2.5"	63.50	0.0	0.00	0.0	100.0	Grava bien graduada con limo y arena
2"	50.80	0.0	0.00	0.0	100.0	
1 1/2"	38.10	352.6	5.50	5.50	94.5	
1"	25.40	375.0	5.85	11.35	88.6	
3/4"	19.00	305.8	4.77	16.12	83.9	
% de Contenido						
3/8"	9.500	1220.5	19.04	35.16	64.8	Contenido de Grava = 53.6%
Nº 4	4.750	1184.6	18.48	53.64	46.4	Contenido de Arena = 39.5 %
Nº 10	2.000	800.0	12.48	66.12	33.9	Contenido de Limo = 6.9 %
Nº20	0.850	560.3	8.74	74.86	25.1	Limite Liquido = N/P %
Nº 40	0.425	333.3	5.20	80.06	19.9	Limite Plastico = N/P %
Nº60	0.250	206.4	3.22	83.28	16.7	Indice de Plasticidad = N/P %
CLASIFICACION						
Nº 100	0.150	244.9	3.82	87.10	12.9	SUCS: GW - GM
Nº 140	0.106	296.2	4.62	91.72	8.3	AASHTO: A-2-4(1)
Nº 200	0.075	90.4	1.41	93.13	6.9	Humedad : 2.4 %
< Nº 200	FONDO	440.4	6.87	100.00	0.0	




Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea totalidad.
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
la muestra fue proporcionada por el cliente.


TECNICO DE LABORATORIO



ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO


OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD


JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-71
	ENSAYO DE CBR	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1 de 1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas Expediente N° : T-81-2-21
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021" Fecha de Ensayo : 01/11/21
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash Fecha de Emisión : 24/11/21
Identificación Muestra : Cantera -Río Seco

ENSAYO DE CBR ASTM D-1883

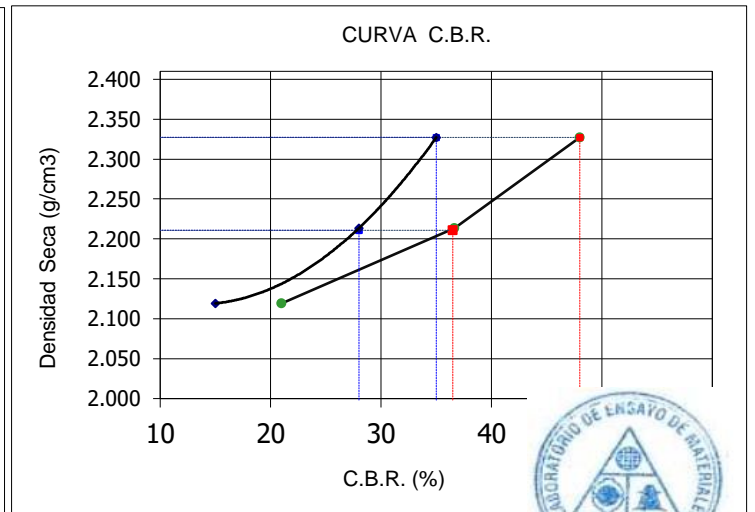
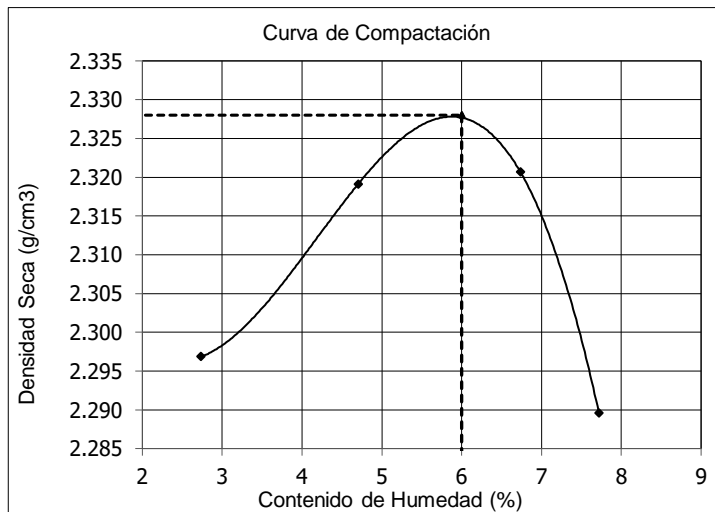
Muestra: Patron

Muestra (Golpes)	Densidad Seca (g/cm ³)	Penetración (")	C.B.R. (%)	Penetración (")	C.B.R. (%)	Expansión (%)
56	2.327	0.1	35	0.2	48	NO PRESENTA
25	2.214	0.1	28	0.2	37	
10	2.119	0.1	15	0.2	21	

Máxima Densidad Seca Próctor	2.328	g/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad Próctor	5.5	%

0.1"	C.B.R. al 100 % de la Máxima Densidad Seca	35.0	%
	C.B.R. al 95 % de la Máxima Densidad Seca	28.0	%

0.2"	C.B.R. al 100 % de la Máxima Densidad Seca	48.0	%
	C.B.R. al 95 % de la Máxima Densidad Seca	36.5	%



Observaciones:

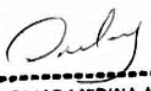
El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados .
La muestra fue proporcionada por el cliente

TECNICO DE LABORATORIO



ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO




OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD



JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-114
	MEZCLA ASFALTICAS EN FRÍO METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1de1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021"
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash
Identificación Muestra : Cantera - Río Seco

Expediente N° : T-81-8-21
Fecha de Ensayo : 01/11/21
Fecha de Emisión : 24/11/21

MEZCLA ASFALTICAS EN FRÍO METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

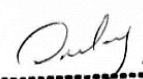
Características de la mezcla asfáltica en frío			
Nº de golpes	50		
Contenido de asfalto residual (%)	2.0	2.0	2.0
Contenido de emulsion asfáltica (%)	3.3	3.3	3.3
Peso específico seco (g/cm ³)	2.331	2.336	2.321
Estabilidad modificada seca (ib)	1595	1624	1540
Estabilidad modificada saturada (ib)	1231	1340	1512
Pérdida de estabilidad (%)	35	35	35
Vacio (Aire mas agua) (%)	11.0	10.5	10.1
Humedad Absorbida (%)	0.3	0.3	0.2
Recubrimiento (%)	60		
Humedad Óptima para Compactación (%)	4.4		
Temperatura Máx. Mezcla de laboratorio (°c)	Temperatura Ambiente		





Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
La muestra fue proporcionada por el cliente

TECNICO DE LABORATORIO
 <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> ADELA CHIPANA TAIPE TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO
 <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> OMAR MEDINA ABANTO JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD
 <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA INGENIERO CIVIL Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-112
	MÉTODOS Y PRÁCTICAS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ASFALTOS EMULSIONADOS	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1 de 1

Solicitante	: Yvette Villegas Rojas	Expediente N°	: T-81-7-21
Nombre de Proyecto	: "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021"	Fecha de Ensayo	: 01/11/21
Ubicación del Proyecto	: Región de Ancash	Fecha de Emisión	: 24/11/21
Identificación Muestra	: Cantero - Río Seco		

MÉTODOS Y PRÁCTICAS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA ASFALTOS EMULSIONADOS ASTM D7403

Muestra	Porcentaje de peso de agua (%)
Emulsion Asfáltica CSS - 1h	39.1



Observaciones:


El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
 El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
 La muestra fue proporcionada por el cliente

TECNICO DE LABORATORIO



ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO




OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD



JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAJAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-71
	ENSAYO DE CBR	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1 de 1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas Expediente N° : T-81-3-21
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021" Fecha de Ensayo : 01/11/21
Fecha de Emisión : 24/11/21
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash
Identificación Muestra : Cantera - Río Seco

ENSAYO DE CBR ASTM D-1883

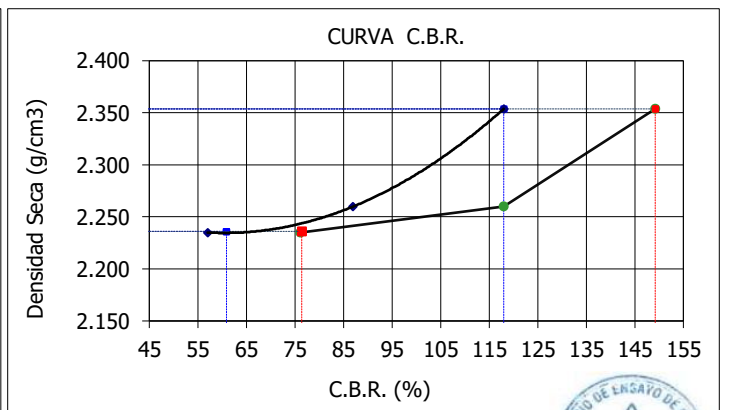
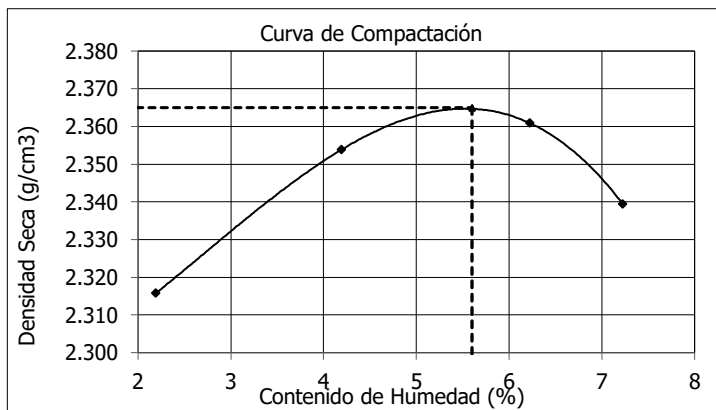
Muestra: aditivo

Muestra (Golpes)	Densidad Seca (g/cm ³)	Penetración (")	C.B.R. (%)	Penetración (")	C.B.R. (%)	Expansión (%)
56	2.354	0.1	118	0.2	149	NO PRESENTA
25	2.260	0.1	87	0.2	118	
10	2.235	0.1	57	0.2	76	

Máxima Densidad Seca Próctor	2.365	g/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad Próctor	5.6	%

0.1"	C.B.R. al 100 % de la Máxima Densidad Seca	118.0	%
	C.B.R. al 95 % de la Máxima Densidad Seca	60.9	%

0.2"	C.B.R. al 100 % de la Máxima Densidad Seca	149.2	%
	C.B.R. al 95 % de la Máxima Densidad Seca	76.4	%




Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados.
La muestra fue proporcionada por el cliente

TECNICO DE LABORATORIO



ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO


OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD

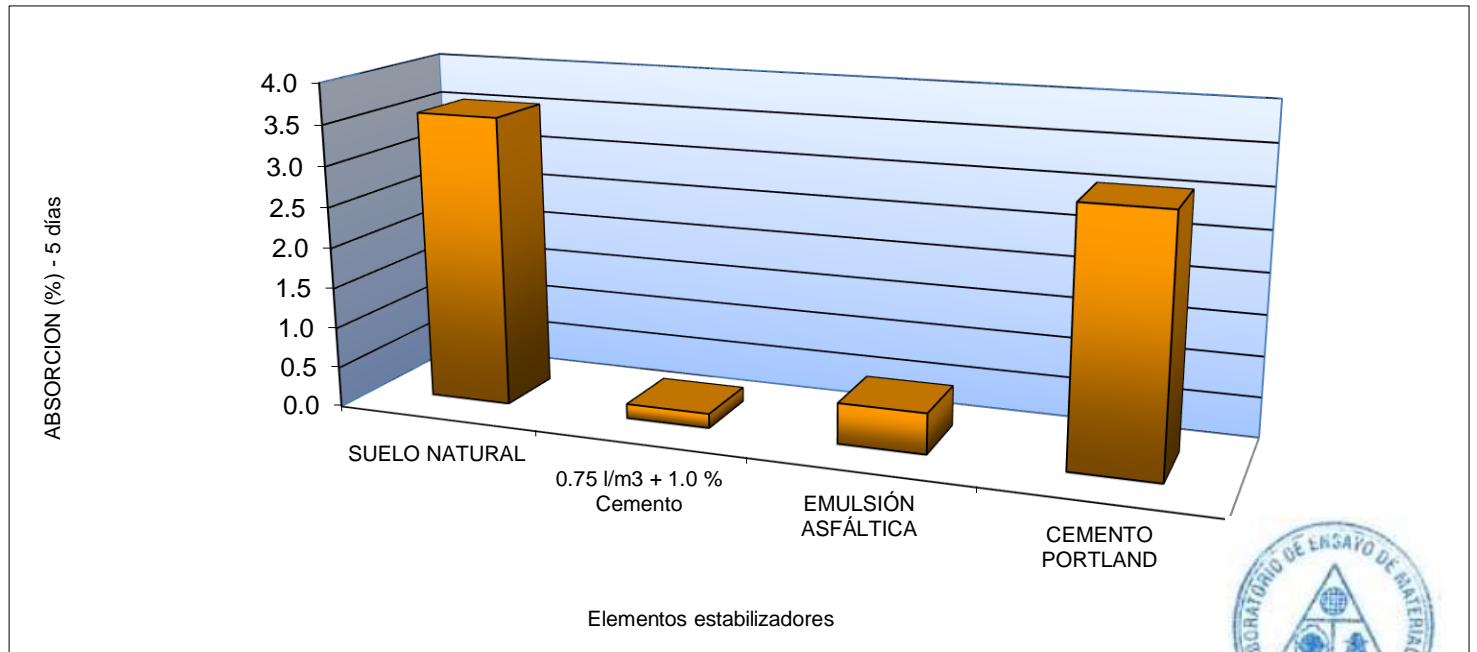

JORGE FRANCISCO RAMÍREZ JAJAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-110
	DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1de1

Solicitante	: Yvette Villegas Rojas	Expediente N°	: T-81-5-21
Nombre de Proyecto	: "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021"	Fecha de Ensayo	: 01/11/21
Ubicación del Proyecto	: Región de Ancash	Fecha de Emisión	: 24/11/21
Identificación Muestra	: Cantera -Rio seco		

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA UNE-EN 13755:2002

TIEMPO	CANTERA - Rio Seco		
	SUELO NATURAL	ADITIVO + CEMENTO	EMULSIÓN ASFÁLTICA
		0.75 l/m3 + 1.0 % Cemento	2% de asfalto residual
Absorción de agua (%)	Absorción de agua (%)	Absorción de agua (%)	
5 días	3.6	0.2	0.5




Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
 El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
 La muestra fue proporcionada por el cliente.

TECNICO DE LABORATORIO



 ADELA CHIPANA TAIPE
 TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO


 OMAR MEDINA ABANTO
 JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD


 JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAJAJA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. del CIP N° 84286

	INFORME	Código	M-FT-109
	DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1de1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas Expediente N° : T-81-4-21
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021" Fecha de Ensayo : 01/11/21
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash Fecha de Emisión : 24/11/21
Identificación Muestra : Cantera -Rio Seco

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA UNE-EN 13755:2002

TIEMPO	CANTERA - Rio seco					
	SUELO NATURAL		ADITIVO + CEMENTO		EMULSIÓN ASFÁLTICA	
			0.75 l/m ³ + 1.0 % Cemento		2% de asfalto residual	
	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)	Absorción de agua (%)	Altura de Ascensión Capilar (cm)
1 hora	5.7	9.5	0.0	0.0	0.1	0.0
2 horas	6.6	10.6	0.0	0.0	0.1	0.0
3 horas	7.0	11.6	0.0	0.0	0.1	0.0
4 horas	7.2	11.6	0.0	0.0	0.1	0.0
5 horas	7.2	11.6	0.1	0.0	0.2	0.0
6 horas	7.2	11.6	0.1	0.0	0.2	0.0
12 horas	7.3	11.6	0.1	0.0	0.2	0.0
1 día	7.4	11.6	0.1	0.0	0.2	0.0
2 días	7.6	11.6	0.1	0.0	0.2	0.0
3 días	7.7	11.6	0.2	0.0	0.3	0.0
4 días	7.8	11.6	0.2	0.0	0.4	0.0
5 días	7.8	11.6	0.2	0.0	0.5	0.0




Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
La muestra fue proporcionada por el cliente.


TECNICO DE LABORATORIO



.....
ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO


.....
OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD


.....
JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

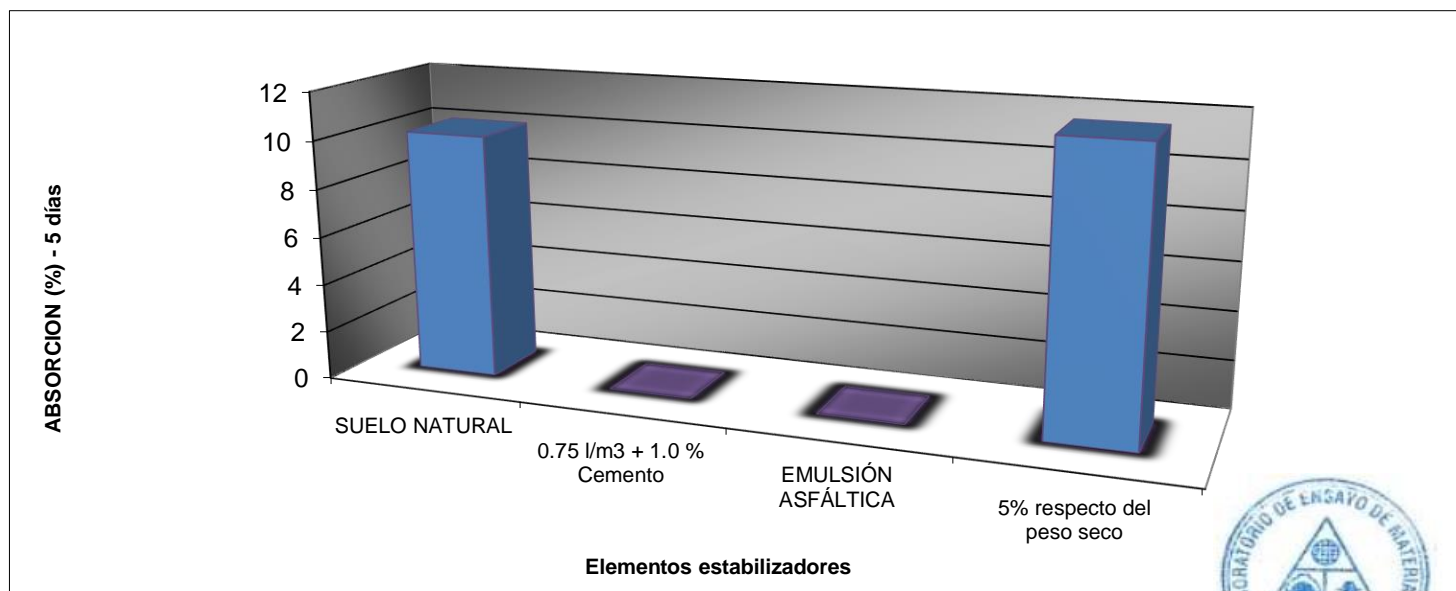
	INFORME	Código	M-FT-111
	DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA	Versión	00
		Fecha	02/09/2021
		Páginas	1de1

Solicitante : Yvette Villegas Rojas
Nombre de Proyecto : "Estudio Comparativo de Estabilización Material Granular con Emulsión Asfáltica y Aditivo Organosilano con Cemento en Conservaciones Viales, Ancash - 2021"
Ubicación del Proyecto : Región de Ancash
Identificación Muestra : Cantera -Rio seco

Expediente N° : T-81-6-21
Fecha de Ensayo : 01/11/21
Fecha de Emisión : 24/11/21

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA UNE-EN 13755:2002

TIEMPO	CANTERA-Rio seco		
	SUELO NATURAL	ADITIVO + CEMENTO	EMULSIÓN ASFÁLTICA
		0.75 l/m ³ + 1.0 % Cemento	2% de asfalto residual
	Altura de Ascensión Capilar (cm)	Altura de Ascensión Capilar (cm)	Altura de Ascensión Capilar (cm)
5 días	11.6	0.0	0.0




Observaciones:

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.
La muestra fue proporcionada por el cliente.


TECNICO DE LABORATORIO


.....
ADELA CHIPANA TAIPE
TEC. DE LABORATORIO

JEFE DE LABORATORIO


.....
OMAR MEDINA ABANTO
JEFE DE LABORATORIO

CONTROL DE CALIDAD


.....
JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAJAJA
INGENIERO CIVIL
Reg. del CIP N° 84286

ANEXO N° 04: CERTIFICADOS CALIDAD Y CALIBRACIÓN

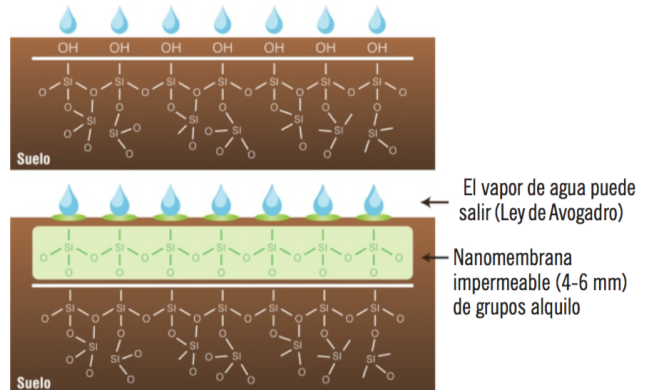


FICHA TECNICA



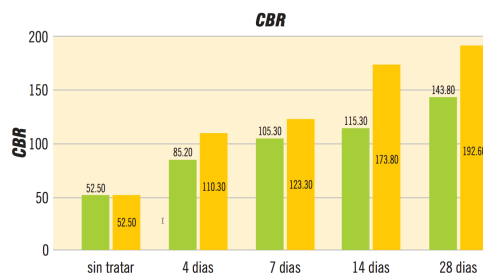
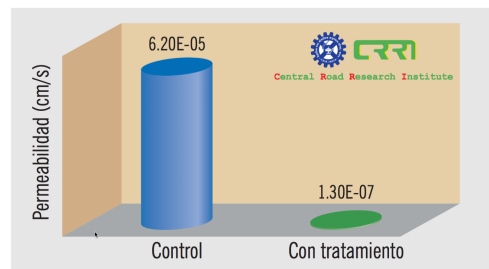
IMPERMEABILIZACIÓN TRANSPIRABLE DE SUBBASES, SUELOS Y TALUDES

1. La solución de agua con TerraSil se esparce sobre la superficie de suelo a tratar.
2. Los grupos de silano hidrolizado (SiOH) penetran profundamente en el suelo debido a que éste es hidrófilo (afin al agua), en esta etapa.
3. Al curar, se generan cadenas de alquilo siloxano que crean una nanomembrana que repele al agua en estado líquido, pero permite su paso como vapor.



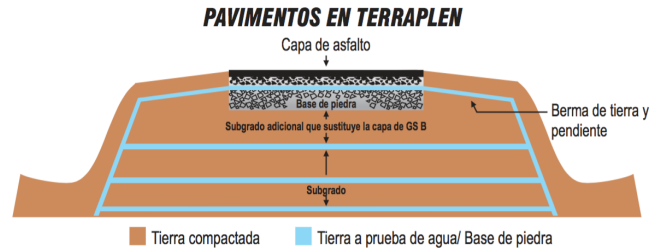
BENEFICIOS DE TERRASIL

- Elimina la capilaridad y la entrada de agua desde la parte superior.
- Reduce permeabilidad, manteniendo la transpirabilidad y elimina la expansividad e hinchamiento.
- **Mantiene los valores de CBR en seco, aún en condiciones de inmersión.** Mantiene la resistencia de las subbases, e incrementa la resistencia a la deformación al mantener los valores friccionales entre limos, arenas y partículas de arcilla.
- Controla la erosión de los suelos en taludes y bermas



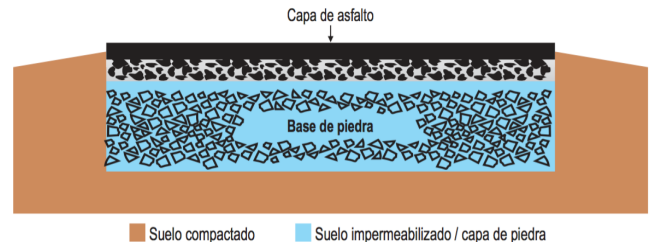
TRATAMIENTO TIPO SANDWICH

Aplicar solución de TerraSil mediante dos ciclos de riego- dejar secar-riego sobre suelos compactados previamente (densidad superior al 95% del contenido de humedad óptimo). El primer riego impermeabiliza aproximadamente un 90%-95% de la superficie. El segundo riego asegura la saturación del 100% de la superficie del suelo, penetrando e impermeabilizando las microgrietas.



TRATAMIENTO TIPO ESTABILIZADO

Calcular la solución apropiada de TerraSil en el agua de compactación y realizar una estabilización por vía húmeda, mezclando la solución de agua y TerraSil con el suelo, para luego compactar y sellar.



DOSIFICACION

CBR Suelo	Dosificación 0.5 Kg/m ³	Dosificación 1 Kg/m ³	Dosificación 0.5 Kg/m ³ +1% cemento
Malo (CBR 1-6)	Mejora consigue (CBRx3)	Mejora óptica consigue (CBRx5)	Recomendada consigue CBR de 15% a 20%
Medio (CBR 6-15)	Mejora consigue (CBRx5)	Mejora óptica consigue (CBRx7)	Recomendada consigue CBR de 60% a 80%
Bueno (CBR 15-50)	Mejora consigue (CBR > 75%)	Mejora óptica consigue (CBR <> 80%)	CBR > 120%

APLICACIONES

- Bases para carreteras, y firmes de asfalto y hormigón (concreto)
- Caminos sin pavimentar- Rurales, Minería, Vertederos
- Áreas de construcción, terraplenes, balsas, canales, etc...
- Campos solares y Termosolares

ALMACENAMIENTO Y DURACION

TerraSil debe ser almacenado entre 5-45 oC (41-113oF) en una zona cubiera y protegida de la acción del sol, calor, ignición, chispas, lluvia y acumulación de agua. El contenedor debe cerrarse completamente tras cada uso. La duración es de 24 meses.



BITUPER S.A.C.

FICHA TECNICA

Emulsión Asfáltica Catiónica Tipo Superestable CSS-1H

Código : **BP-CSS-1H**

Revisión : Mayo 2013

Rvdo. por : Lab. Central

Página : 1 de 1

Emulsión Catiónica de Rotura Lenta CSS-1H, que tiene muy buena habilidad para mezclar con un agregado, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia. Esta emulsión esta dentro de la clasificación de las LENTAS. permitiendo alcanzar una buena trabajabilidad. Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.

Aplicaciones

Slurry Seal, mezclas densas, estabilizaciones, riegos de liga, etc.(previa recomendación del proveedor)

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Composición	:	Asfalto y agua
Color	:	Marrón oscuro
Aspecto	:	Líquido viscoso
Gravedad específica a 20 °C	:	0.95

ESPECIFICACIONES ASTM D 2397

Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s	20 – 100
Sedimentación, 5 días, %	5.0 % máx.
Estabilidad almacenamiento 24 hrs., %	1.0 % máx.
Tamizado, %	0.1 % máx.
Residuo asfáltico, %	57 % mín.
Prueba sobre el residuo de ensayo de destilación:	
Penetración, 25 °C, 100 mg, 5 s (1)	40 - 90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm.	40 mín.

(1) La penetración cambia al variar el tipo de PEN

ALMACENAMIENTO

Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 60 °C