

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO,
COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA
CANTERA LAS HUANGAS-BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO
AFIRMADO ESTABILIZADO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Bach. LUIS KARLO NICOLAI TORRES ANGULO

ASESOR:

M.Cs. Ing. MANUEL LINCOLN MINCHÁN PAJARES

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Bach. TORRES ANGULO, Luis Karlo Nicolai
DNI: 73133094
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. Asesor: M.Cs. Ing. MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
Facultad: Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
" INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO, COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA LAS HUANGAS-BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO AFIRMADO ESTABILIZADO"
6. Fecha de evaluación: 26/06/2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 9%
9. Código Documento: oid: 3117:470094776
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 27/06/2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombre: MINCHÁN PAJARES, Manuel Lincoln
DNI: 26704942



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 27/06/2025 22:45:13-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO, COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA LAS HUANGAS - BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO AFIRMADO ESTABILIZADO.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0427-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 30 de julio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **cinco días del mes de agosto de 2025**, siendo las quince horas (3:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Vocal : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO, COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA LAS HUANGAS - BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO AFIRMADO ESTABILIZADO*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil *LUIS KARLO NICOLAI TORRES ANGULO*, asesorado por el M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares, para la obtención del Título Profesional


Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 6 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 17 PTS DIECISIETE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de 17 (DIECISIETE) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 16:20 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Presidente


Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal


Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario


M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Asesor

COPYRIGHT © 2025 by
LUIS KARLO NICOLAI TORRES ANGULO.
Todos los derechos Reservados

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis.

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor, el Ingeniero Manuel Lincoln Minchán Pajares, cuya guía experta y apoyo constante fueron fundamentales para llevar a cabo esta tesis. Su dedicación, paciencia y conocimiento fueron una inspiración constante.

A mis padres, quienes siempre han sido mi fuente inagotable de amor, apoyo y motivación, les estoy enormemente agradecido. Su sacrificio y aliento constante han sido la fuerza impulsora detrás de este logro. Gracias por creer en mí y por ser mi pilar en cada paso del camino.

Agradezco también a todos aquellos amigos y familiares que me brindaron su apoyo, ya sea moral o académico, durante este arduo proceso. Cada palabra de aliento y gesto amable ha sido invaluable.

A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la escuela de Ingeniería Civil, me llevo muchos recuerdos y conocimientos preciados, que forjaron mi camino profesional

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del Problema	1
1.3 Hipótesis General	2
1.4 Justificación de la investigación	2
1.5 Alcances o delimitación de la investigación.....	2
1.6 Limitaciones.....	2
1.7 Objetivos.....	2
1.7.1. Objetivo General	3
1.7.2. Objetivos Específicos	3
1.8 Descripción de contenido de los capítulos	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes Teóricos	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.3. Antecedentes Locales	6
2.2 Bases Teóricas	7
2.2.1. Los Suelos	7
2.2.2. Ensayos en Mecánica de Suelos.....	13
2.2.3. Estabilización de Suelos con Cemento y Aceite Sulfonado	22

2.3 Definición de términos básicos.....	25
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación	27
3.2 Época de la Investigación	29
3.3 Metodología de la Investigación.....	29
3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación	29
3.3.2. Población y muestra del estudio	30
3.3.3. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	31
3.3.4. Procedimiento	34
3.3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de los resultados	34
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
4.1 Clasificación de suelos	41
4.2 Límites de Atterberg.....	41
4.3 Proctor modificado.....	41
4.4 Capacidad de soporte (CBR).....	42
4.5 Contrastación con la hipótesis	42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1 CONCLUSIONES	44
5.2 RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistema de clasificación AASHTO.	10
Tabla 2: Símbolos para identificación de suelos SUCS.	11
Tabla 3: Clasificación según SUCS.	12
Tabla 4: Tamaño estándares de tamices.....	14
Tabla 5: Cargas unitarias patrón – CBR.	21
Tabla 6: Requerimientos de calidad para material de afirmado.	22
Tabla 7: Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento.....	23
Tabla 8: Especificaciones y parámetros para aceites sulfonados	23
Tabla 9: Cartilla dosificación de aditivo PROES.	24
Tabla 10: Ubicación geográfica del proyecto de investigación.....	27
Tabla 11: Coordenadas del punto de muestreo del material de la cantera las Huangas.....	27
Tabla 12: Dosificaciones propuestas para la investigación.	30
Tabla 13: Ensayos a realizar a las muestras.	31
Tabla 14: Ensayo contenido de humedad.....	35
Tabla 15: Ensayo análisis granulométrico	35
Tabla 16: Ensayo límites de atterberg de la muestra en estado natural.....	36
Tabla 17: Clasificación del afirmado según AASHTO y SUCS.	36
Tabla 18: Proctor modificado del material de la cantera las Huangas.....	36
Tabla 19: CBR del material de la cantera las Huangas al 95% DSM(0,1”).....	37
Tabla 20: CBR del material de la cantera las Huangas al 100% DSM(0,1”).....	37
Tabla 21: CBR del material de la cantera las Huangas al 95% DSM(0,2”).....	38
Tabla 22: CBR del material de la cantera las Huangas al 100% DSM(0,2”).....	38
Tabla 23: Ensayo contenido de humedad de la muestra sin aditivo.....	58
Tabla 24: Ensayo límites de atterberg de la muestra sin aditivo.	58
Tabla 25: Análisis Granulométrico de la muestra sin aditivo.	59
Tabla 26: Proctor Modificado de la muestra sin aditivo.....	60

Tabla 27: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de la muestra sin aditivo.	61
Tabla 28: Proctor Modificado, 2%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).	63
Tabla 29: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).....	64
Tabla 30: Proctor Modificado, 2.0%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).	66
Tabla 31: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.0%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).....	67
Tabla 32: Proctor Modificado, 2.5%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).	69
Tabla 33: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.5%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).....	70
Tabla 34: Proctor Modificado, 2.5%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).	72
Tabla 35: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.5%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).....	73
Tabla 36: Proctor Modificado, 3.0%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).	75
Tabla 37: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 3.0%(cemento)+0.30 Lt/m ³ (proes).....	76
Tabla 38: Proctor Modificado, 3.0%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).	78
Tabla 39: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 3.0%(cemento)+0.35 Lt/m ³ (proes).....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cálculo del límite líquido de un suelo (N° golpes Vs humedad %)	16
Figura 2: Curva para cálculo de índice de CBR	20
Figura 3: Gráfica de DS vs CBR	21
Figura 4: Mapa Político de la zona de estudio	28
Figura 5: Ubicación satelital de la cantera las Huangas	29
Figura 6: Variación del CBR 95 % DMS con 0.1" de penetración	39
Figura 7: Variación del CBR 100 % DMS con 0.1" de penetración	39
Figura 8: Variación del CBR 95 % DMS con 0.2" de penetración	40
Figura 9: Variación del CBR 100 % DMS con 0.2" de penetración	40
Figura 10: Cantera Las huangas-Bambamarca	51
Figura 11: Obtención de la muestra de la cantera las Huangas	51
Figura 12: Ensayo de análisis granulométrico de la muestra sin aditivo	52
Figura 13: Ensayo de límite líquido de la muestra sin aditivo	52
Figura 14: Ensayo de limite plástico de la muestra sin aditivo	53
Figura 15: Ensayo de Proctor modificado de la muestra sin aditivo	53
Figura 16: Medición de cantidad de aditivo proes para el ensayo de proctor modificado	54
Figura 17: Compactación por capas del ensayo de CBR	54
Figura 18: Peso del cemento para el ensayo de CBR de la muestra con aditivos	55
Figura 19: Mezclado de agua y aditivo proes para el ensayo de CBR	55
Figura 20: Peso de la muestra compactada del ensayo de CBR	56
Figura 21: Carga penetración del ensayo de CBR de la muestra sin aditivo	56

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del cemento portland tipo I y aceite sulfonado, como agentes estabilizantes del material de la cantera las Huangas-Bambamarca para su empleo como afirmado estabilizado; con el fin de cumplir dicho objetivo se extrajo el material de la cantera y se realizó los ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y california bearing ratio(CBR); además se usó la combinación de dos aditivos en las dosificaciones de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I(respecto al peso seco del material de cantera) y aditivo proes en las proporciones de 0.30 litros/m³ y 0.35 litros/m³(respecto al volumen del material de cantera), con el fin de mejorar la capacidad portante del material; el resultado de CBR al 100% DSM(0,1") sin aditivo es de 56.52%; al incluir aditivos en la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.30 litros/m³(proes) los valores de CBR al 100% DSM(0,1") obtenidos fueron respectivamente 128.93%, 151.25% y 165.13% mientras que al incluir aditivos en la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.35 litros/m³(proes) los valores de CBR al 100% DSM(0,1") obtenidos fueron respectivamente 146.50%, 169.55% y 184.13%; analizando los resultados anteriores se concluye que al agregar estas dosificaciones se supera el CBR mínimo de 100% exigido por el MTC-2015 para ser utilizado como afirmado estabilizado.

Palabras claves: CBR, aceite sulfonado, cemento, afirmado, cantera.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of portland cement type I and sulfonated oil as stabilizing agents of the material from the Las Huangas-Bambamarca quarry for its use as stabilized aggregate; in order to meet this objective, the material was extracted from the quarry and tests of moisture content, granulometric analysis, liquid limit, plastic limit, modified proctor and California bearing ratio (CBR) were carried out; in addition, the combination of two additives was used in dosages of 2%, 2.5% and 3% of portland cement type I (with respect to the dry weight of the quarry material) and proes admixture in the proportions of 0.30 liters/m³ and 0.35 liters/m³(with respect to the volume of the quarry material), in order to improve the bearing capacity of the material; the result of CBR at 100% DSM(0.1") without additive is 56.52%; by including additives in the dosage of 2%, 2.5% and 3% of portland cement type I and 0.30 liters/m³(proes) the values of CBR at 100% DSM(0.1") obtained were respectively 128.93%, 151.25% and 165.13% while by including additives in the dosage of 2%, 2.5% and 3% of portland cement type I and 0.35 liters/m³(proes) the CBR values at 100% DSM(0.1") obtained were respectively 146.50%, 169.55% and 184.13%; analyzing the above results it is concluded that by adding these dosages the minimum CBR of 100% required by the MTC-2015 to be used as stabilized affirmed is exceeded.

Keywords: CBR, sulfonated oil, cement, affirmed, quarry.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la ciudad de Bambamarca, al igual que en muchas zonas rurales de la región de Cajamarca, se depende mucho de su red de carreteras no pavimentadas. Sin embargo, el principal problema de este tipo de vías es la corta duración de la vida útil de sus afirmados. Las frecuentes lluvias en la región son un factor en el deterioro de estas vías no pavimentadas, reduciendo la capacidad de soporte del terreno. Esta situación se debe también a que el material de cantera de cerro que se utiliza en el mantenimiento de dichas carreteras presenta un CBR cuyo valor apenas logra cumplir con las especificaciones mínimas; es por ello que se deben buscar alternativas para aumentar el CBR y, de esta forma, lograr que el tiempo de vida útil de dichos afirmados sea mayor.

Una buena alternativa de solución es el uso de soluciones básicas, referido a la aplicación de estabilizadores al material de cantera, con la finalidad de que la carretera no pavimentada tenga una mejor capacidad de soporte, aumente la vida útil y preste un mejor nivel de serviciabilidad.

En el presente trabajo de investigación se propone la utilización de cemento portland tipo I y aceite sulfonado como agentes estabilizantes para determinar cómo influye en el mejoramiento del CBR del afirmado. Para ello, se tomará el material extraído de la cantera las Huangas, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc y distrito de Bambamarca.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I y aceite sulfonado, como agentes estabilizantes del material granular de la cantera Las Huangas-Bambamarca para su empleo como afirmado estabilizado?

1.3 Hipótesis General

La incorporación de cemento portland tipo I en los porcentajes de 2%, 2.5% y 3% y aceite sulfonado en las proporciones de 0.30 lt/m³ y 0.35 lt/m³ al material de la cantera Las Huangas-Bambamarca, aumenta el CBR en un valor mayor al 100% para su empleo como afirmado estabilizado.

1.4 Justificación de la investigación

El estudio aporta información sobre el mejoramiento de la capacidad de soporte al usar cemento portland tipo I y aceite sulfonado en el material de cantera, verificando si esta estabilización logra cumplir con los estándares mínimos para ser usado como afirmado estabilizado según el MTC 2015(Soluciones Básicas). Con los resultados, se podrá estructurar una propuesta concreta destinada a mejorar la capacidad de soporte al utilizar cemento Portland tipo I y aceite sulfonado en el material de cantera, verificando si esta estabilización logra cumplir con los estándares mínimos para ser utilizado como afirmado estabilizado. Debido a la falta de información local relevante, se llevó a cabo esta investigación para abordar la carencia de datos específicos en el ámbito local, lo cual contribuye de forma importante a cerrar esta falta de conocimiento.

1.5 Alcances o delimitación de la investigación

El estudio se desarrolló con material de la cantera las Huangas el cual se encuentra en la ciudad de Bambamarca. Dicho material se estabilizó usando cemento portland tipo I en los porcentajes de 2%, 2.5% y 3%(respecto al peso seco del material de cantera) y aceite sulfonado en las proporciones de 0.30 lt/m³ y 0.35 lt/m³(respecto al volumen del material de cantera).

1.6 Limitaciones

No se realizó el ensayo de Abrasión al material granular de la cantera las Huangas.

1.7 Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del cemento portland tipo I y aceite sulfonado, como agentes estabilizantes del material granular de la cantera las Huangas-Bambamarca para su empleo como afirmado estabilizado.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físico-mecánicas del material sin aditivos de la cantera las Huangas-Bambamarca
- Obtener la capacidad portante del material de la cantera las Huangas-Bambamarca sin la incorporación de aditivos.
- Obtener la capacidad portante del material de la cantera las Huangas-Bambamarca con la incorporación de aditivos.

1.8 Descripción de contenido de los capítulos

La presente investigación tiene la siguiente estructura:

Capítulo I: Se aborda la introducción, donde se plantea y formula el problema de investigación, se presenta la hipótesis, se justifica la importancia de la investigación, se delimitan los alcances y limitaciones, y se establecen los objetivos del estudio.

Capítulo II: Describe el marco teórico, donde se presentan los antecedentes teóricos relevantes para la investigación y se define la teoría y sus bases fundamentales.

Capítulo III: Se lleva a cabo la descripción de los materiales utilizados y se expone la metodología empleada, se detalla el procedimiento de la investigación, se realiza el tratamiento y análisis de los datos recopilados, y se presentan los resultados obtenidos.

Capítulo IV: Se efectúa el análisis y discusión de los resultados obtenidos, contrastándolos con la teoría empleada y explicando sus implicaciones.

Capítulo V: Corresponde a la exposición de las conclusiones y las recomendaciones contrastando los resultados y objetivos de la presente investigación.

Referencias bibliográficas: Se incluye una lista de las fuentes consultadas y citadas a lo largo del trabajo de investigación.

Anexos: En esta sección se incorporan materiales adicionales que complementan y respaldan la investigación, como tablas, gráficos, fichas técnicas, etc.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Páez y Díaz (2019), realizaron en Colombia la investigación “Influencia de la adición de aceite sulfonado en la respuesta dinámica a pequeñas deformaciones de un material granular arcilloso”, tuvo como objetivo verificar que la influencia del aceite que ejerce una notable influencia principalmente en la modificación microestructural del material con la consecuencia de pérdida de humedad; para las muestras evaluadas a 0 días, con humedad óptima, la fricción entre partículas y las fuerzas electroquímicas, asociadas a la matriz fina, aportan resistencia durante la aplicación de esfuerzos, este comportamiento da como resultado un aumento de la capacidad de soporte entre 47% y 62%.

Bojaca y Velasco (2024), en su investigación “Estudio del comportamiento físico-mecánico de base granular estabilizada con aditivo proes”, concluye que la dosificación 0.30 l/m³ permite obtener un CBR que no solo cumple con las especificaciones de la base granular clase C sino del mismo modo permite tener un material de mayor capacidad cumpliendo también los requisitos de la Clase A y clase B ya que se obtienen un aumento del 74.03% del CBR inicial, de las dosificaciones de 0.40 l/m³ y 0.50 l/m³ concluye que estos de igual manera generan un aumento de la capacidad portante del material debido a que a mayores cantidades de aditivo se genera una mayor capacidad de soporte.

2.1.2. *Antecedentes Nacionales*

Hurtado y Ortega (2021). En su tesis “Estabilización del Afirmado con Aceite Sulfonado y Cemento para el Diseño Vial en Soccos, Ocobamba, - Chincheros, Apurímac – 2021”, concluye que en lo que corresponde a la estabilización de suelos con un CBR al 100%, la muestra 1 (M1) con adición de aceite sulfonado (0.30 lt/m³) más cemento (55 kg/m³) dio un (200%), la muestra 2 (M2) con adición de aceite sulfonado (0.30 lt/m³) más cemento (60 kg/m³) dio un (223%) por

último la muestra 3 (M3) con adición de aceite sulfonado (0.32 lt/m³) más cemento (65 kg/m³) dio un (270%), todos estos valores han superado enormemente el valor patrón.

Echarri (2022), en su tesis de investigación “Influencia del aditivo Proes (aceite sulfonado) en la estabilización del material de cantera como afirmado del camino vecinal Chitapampa-Kallarayan- Patabamba, Cusco - 2022”, concluye que los valores del ensayo CBR con la inclusión del aditivo líquido Proes más Cemento, aumenta sustancialmente de 41% en muestra natural y con el aditivo más cemento de 120.4% y 128.4%, teniendo mejores resultados en las propiedades mecánicas, (por la presencia de gravas mezcladas con cemento). Por lo expuesto se concluye que la influencia del aditivo Proes actúa de manera positiva incrementando el valor de CBR en una penetración de carga de 0.1” (2.5mm), en cumplimiento de los suelos estabilizados con productos químicos.

Barreto y Taco (2021), en su investigación sobre “Estabilización de base granular con aceite sulfonado y cemento portland tipo I del camino vecinal “Huasahuasi - Hacienda Calla”, Tarma- Junín, km 3+000 km 4+000”, concluye que el uso del aceite sulfonado 0.30 L/m³ + 1.5% de cemento Portland tipo I, mejora notablemente su capacidad portante de 45.42% a 120.64% al 100% de la máxima densidad seca y al 95% de la máxima densidad seca de 29.00% a 103.00%.

2.1.3. Antecedentes Locales

Tasilla (2023), en su tesis “Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal emp. ca. 1459 (la Colpa)- Agopampa Huacariz, Huacariz- Agocucho” en donde:

Al incluir aditivos en la dosificación de 1 bolsa/m³ de cemento portland tipo I y 0.40 litros/m³ de aceite sulfonado (proes) el CBR alcanzó sus valores máximos y son; C1: 149.77%, C2: 145.15%, C3: 138.65%, C4: 147.65%; analizando los resultados anteriores se verifica que la

variación del aditivo líquido en 0.05 Lt aumenta proporcionalmente al CBR en una variación de 19.73% a 36.39%, se concluye que el uso de los aditivos influye positivamente en el afirmado, aumentando su CBR en más de 20%.

Cadillo (2024), en su tesis de investigación “Estabilización de suelos para pavimento usando aditivo químico en tramo de mejoramiento del corredor vial alimentador N°11, región Cajamarca” concluye que con la adición de estabilizadores se determinó valor de CBR = 140 % superándose con esto sustancialmente el valor mínimo (CBR > 100%). Además, el ensayo de resistencia a la compresión simple se obtuvo $R_7 = 18.99 \text{ kg/cm}^2$. Esto se debe a que el ensayo R_7 se realiza en condición no confinada a los 7 días de curado. Ambos parámetros de control se hicieron incorporando a la mezcla suelo con aceite sulfonado 0.20 lt/m³ + cemento 1.60%, con esto se cumplió con requisitos de Tecnología PROES (CBR > 100 % y $R_7 > 1.8 \text{ Mpa}$).

Bustamante y Guevara (2023) en su investigación sobre “Análisis en resistencia y economía de la aplicación de aceite sulfonado y un inhibidor de polvo empleados como plan de mejora en bases tratadas con cemento en el Proyecto de Corredor Vial N° 11 en Cutervo – Cajamarca en el 2023” concluye que la incorporación de aditivos PROES y NEO SOIL DUST en las dosificaciones de 0.10, 0.20 y 0.25 lt/m³, garantizan el cumplimiento de los parámetros de CBR establecidos en el capítulo 3, sección 301.C del MTC, debido a que con el aditivo PROES se obtuvieron CBR de 117%, 165% y 198%, así mismo, con el aditivo NEO SOIL DUST se lograron CBR de 101%, 129% y 164% para las dosificaciones antes mencionadas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Los Suelos

Se puede definir el suelo como el resultado de la descomposición y transformación experimentada por las rocas y los materiales fragmentados a lo largo del tiempo; los suelos están en un estado constante de evolución, sometidos a cambios y procesos tanto físicos como biológicos, que dan lugar a la formación de una variedad de tipos de suelos (Braja, 2013).

2.2.1.1. Clasificación del Suelo

2.2.1.1.1. Sistema de Clasificación AASHTO

El sistema establece un método para categorizar suelos en conjuntos, fundamentado en los análisis de laboratorio que incluyen la granulometría, el límite líquido y el índice de plasticidad. Dentro de cada conjunto, la evaluación se lleva a cabo utilizando un parámetro denominado "índice de grupo" (MTC, 2016).

La AASHTO M 145 – 91, establece un método de clasificación del suelo en siete grupos distintos, tomando en cuenta la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad, la evaluación del suelo en cada grupo se realiza mediante el cálculo del "índice de grupo" y está ligado en gran parte en los límites de Atterberg, este se obtiene a partir de la fórmula descrita:

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

Donde:

IG: índice de grupo

F: porcentaje que pasa el tamiz 75 μ m (No. 200), expresado como un número entero.

Este porcentaje está basado solo en el material que pasa el tamiz 75 mm (3").

LL: límite líquido

IP: índice de plasticidad

Según La AASHTO M 145 – 91, se presentan dos términos; en el primero, $(F-35)[0.2+0.005(LL-40)]$, podemos observar que es el índice parcial de grupo calculado con el LL; el segundo $,0.01(F-15)(IP-10)$, determinado por el índice de plasticidad; para los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7, solo se utiliza el segundo término en el cálculo.

El MTC (2014), establece que en la clasificación del índice de grupo, se considera crítico un límite líquido igual o superior a 40 y un índice de plasticidad igual o superior a 10, el resultado

del índice de grupo se debe informar como el número entero más cercano, además no existe un límite superior para el valor del índice de grupo obtenido mediante la fórmula antes mencionada; establece un índice de grupo de cero significa un suelo muy bueno y un índice \geq a 20, es un suelo no utilizable para caminos.

Tabla 1: Sistema de clasificación AASHTO.

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos que pasa el tamiz No.200)					Materiales de limo y arcilla (Más del 35% que pasa el tamiz n°200)				
	A-1		A-3		A-2		A-4	A-5	A-6	A-7*
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5, A-7-6
Análisis por tamices, porcentaje que pasa:										
2.00 mm (No.10)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 mm (No.40)	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-
75 µm (No.200)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín
características de la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (No. 40)										
Límite líquido	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx.	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de materiales constitutivos significativos	Fragmentos de roca, grava y arena	Arena fina	Grava y arena limosas plásticas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación general como subrasante	Excelente a bueno					Regular a malo				

Fuente: Norma MTC (2014)

2.2.1.1.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Según el MTC (2016), el enfoque concebido por el Dr. Arturo Casagrande implica la utilización de la textura del suelo para asignar términos descriptivos como "GW" para grava bien graduada, "GC" para grava arcillosa, "GP" para grava mal graduada, entre otros. Este método se basa en la identificación de las propiedades estructurales y de plasticidad de los suelos, y en su agrupación en función de su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería; la clasificación de los suelos se fundamenta en la identificación por símbolos según lo siguiente:

Tabla 2: Símbolos para identificación de suelos SUCS.

Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Areno
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos y arcilla
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduado
P	Mal graduado
PL	Turba y suelos altamente orgánicos

Fuente: DAS (2012).

Según Hernández (2008), se establecen distintas fracciones de suelos, como cantos rodados, gravas, arena y finos (limo o arcilla). Los límites precisos entre estas diferentes fracciones y los aspectos descriptivos, descripciones y criterios de clasificación de laboratorio se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 3: Clasificación según SUCS.

DIVISIÓN	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO				
SUELO DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es RETENIDO en la malla número 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es RETENIDA por la malla N°4.	GRAVAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	GW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 4 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30) ² /D10*D60				
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.				GP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de gradación para GW.		
		GRAVAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo Mt)	GM	d u		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" I.P. mayor que 7	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.		
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.						
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa PASA por la malla N°4.	ARENAS LIMPIAS (poco ó nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de tamaños intermedios	SW	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos		FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA N° 200 Menos del 5% : GW, GP, SW, SP. Más de 12% : GM, GC, SM, SC. De 5% al 12% : Casos de frontera se requiere el uso de símbolos dobles.	Coeficiente de uniformidad Cu : mayor de 6 Coeficiente de curvatura Cc : entre 1 y 3 Cu= D60/D10 ; Cc= (D30) ² /D10*D60			
			Predominio de un tamaño ó un tipo de tamaño , con ausencia de algunos intermedios.					SP	Gravas mal gradadas, mezclas de grava y arena con poco ó nada de finos	No satisfacen todos los requisitos de gradación para SW.	
		ARENAS CON FINOS (cantidad apreciable de partículas finas)	Fracción fino poco ó nada plástica (para identificarla vease grupo Mt)	SM	d u			Gravas limosas, mezclas de grava, arena y arcilla.	Debajo de "A" I.P. menor que 4 Arriba de "A" I.P. mayor que 7	Arriba de "A" y con I.P. entre 4 y 7 casos de frontera, uso de símbolos dobles.	
			Fracción fina plástica (para identificarla vease grupo CL)	SC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.						
SUELO DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material PASA en la malla numero 200	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40										
	LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LIQUIDO menor de 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (característica al rompimiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (reacción al agitado)	TENACIDAD (consistencia cerca del límite plástico)		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos ó arcillosos ligeramente plásticos.		G = gravas, M = limo, O = orgánicos, W = bien gradadas, S = arenas, C = arcilla, P = mal gradado, L = baja compresibilidad, H = alta compresibilidad.			
		Nula ó ligera	Rápida alenta	Nula	ML						
		Media a alta	Nula a muy lenta	media	CL				Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.				
	LIMOS Y ARCILLAS LÍMITE LIQUIDO mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, limos micaceos ó diatomeos, limos elásticos.	INDICE PLASTICO				
		Alta a muy alta	Nula a muy lenta	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media ó alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
	SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Fácilmente identificable por su color, olor, sensación esponjosa y, frecuentemente , por su textura fibrosa.			Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.					
								<p>CARTA DE PLASTICIDAD</p>			

Fuente: Norma MTC (2016).

2.2.2. Ensayos en Mecánica de Suelos

2.2.2.1. Contenido de Humedad

Se establece el procedimiento de ensayo para calcular el contenido de humedad de un suelo. El término "contenido de humedad" se refiere a la proporción, expresada en porcentaje, entre el peso del agua contenido en una determinada cantidad de suelo y el peso de las partículas sólidas presentes; este método operativo se encarga de determinar el peso de agua eliminado al secar el suelo húmedo hasta alcanzar un peso constante en un horno controlado a una temperatura de 110 ± 5 °C; El peso del suelo restante después del secado en el horno se utiliza como el peso de las partículas sólidas. La disminución de peso debida al proceso de secado se considera como el peso del agua presente en el suelo (MTC, 2016).

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

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

W = es el contenido de humedad, (%)

M_{cws} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M_{cs} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

M_c = es el peso del contenedor, en gramos

M_w = es el peso del agua, en gramos

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

2.2.2.2. Análisis Granulométrico

Juárez y Rico (2005), argumenta que la granulometría como el procedimiento de medir las dimensiones y masas de los granos con el fin de explorar su procedencia y sus propiedades mecánicas. Estas mediciones se efectúan siguiendo una escala granulométrica previamente establecida.

Según el MTC (2016), en el procedimiento del análisis granulométrico manual, se realiza un movimiento alternativo de los tamices de un lado a otro; esta acción garantiza que la muestra se mantenga en constante movimiento sobre las mallas. Al desmontar los tamices, es necesario verificar si el proceso ha concluido, esto se establece cuando no más del 1 % de los elementos retenidos pasa a través de la malla durante un minuto de tamizado, aplicándolo de manera individual en cada tamiz. Si hubiera partículas atrapadas en la malla, se deben liberar utilizando un pincel o cepillo, y luego se incorporan a lo que ha quedado retenido en el tamiz; este procedimiento se divide en dos fases: el análisis de la parte gruesa, donde se emplean tamices desde 3 pulgadas hasta el tamiz N° 4; y la fracción fina, que abarca desde el tamiz N° 10 hasta el N° 200.

Tabla 4: *Tamaño estándares de tamices*

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760

N° 10	2,000
N° 20	0.840
N° 40	0.425
N° 60	0.260
N° 140	0.106
N° 200	0.075

Fuente: MTC (2014).

2.2.2.3. Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg determinan la sensibilidad del comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad, estableciendo los puntos de transición entre los tres estados de consistencia: líquido, plástico y sólido. Estos límites son definidos en función de la humedad y caracterizan las propiedades del suelo.

Los límites de Atterberg son:

Límite Líquido (LL): Este límite, determinado mediante el ensayo MTC E 110, establece la humedad crítica en la que el suelo transita del estado plástico al estado líquido.

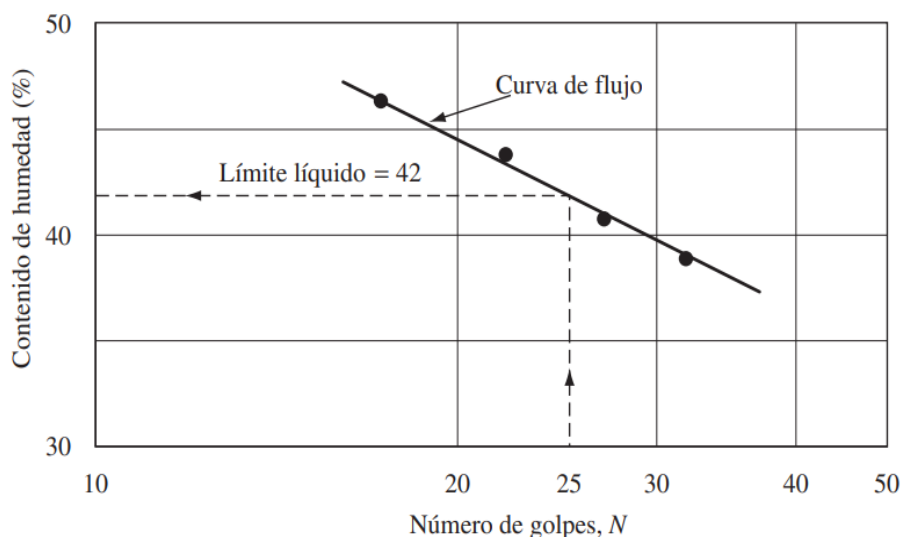
Límite Plástico (LP): El límite plástico, evaluado con el ensayo MTC E 111, señala el contenido de humedad en el que el suelo cambia su comportamiento de plástico a sólido.

2.2.2.3.1. Limite Líquido

El MTC (2014), determina que es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja

caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo; el valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

Figura 1: Cálculo del límite líquido de un suelo (N° golpes Vs humedad %).



Fuente: Braja (2013).

2.2.2.3.2. Límite Plástico

Según el MTC (2016), el término límite plástico (L.P.) se refiere a la humedad mínima requerida para moldear cilindros de suelo con un diámetro de aproximadamente 3.2 mm (1/8 pulgadas), al rodar este suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, como vidrio esmerilado, sin que los cilindros se desintegren. Este procedimiento de ensayo es esencial en varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar la fracción de granos finos de los suelos (ver clasificaciones SUCS y AASHTO) y para especificar la parte granular de los materiales de construcción; el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad son ampliamente utilizados en conjunto con otras propiedades del suelo para establecer correlaciones con su comportamiento ingenieril. Estos parámetros son esenciales para evaluar aspectos como compresibilidad, permeabilidad, capacidad de compactación, contracción-expansión y resistencia al corte en distintos contextos de ingeniería.

$$W = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

Dónde:

W_w : Peso del agua presente en la muestra. Se calcula mediante la diferencia entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca.

W_s : Peso de la muestra seca.

2.2.2.4. Índices obtenidos a partir de los límites de consistencia

2.2.2.4.1. Índice de plasticidad.

Según el MTC (2016), el índice de plasticidad de un suelo se puede conceptualizar como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico, y se expresa matemáticamente como:

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

L.P. son valores enteros. Cuando no sea posible determinar el límite líquido o el límite plástico, el índice de plasticidad se indica mediante las iniciales NP (no plástico). Asimismo, si el límite plástico resulta ser igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad también se registra como NP (no plástico).

2.2.2.5. Ensayo Proctor Modificado

Según Gómez y Silva (2020), el ensayo de Proctor desempeña un rol significativo en el control de calidad de la compactación del suelo. Este procedimiento implica compactar una muestra de suelo en un cilindro de volumen conocido, variando su contenido de humedad para obtener distintos puntos. En este proceso, se llega a un punto máximo donde se determina la densidad seca máxima y el nivel de humedad óptimo.

Es esencial elegir un método de ensayo para establecer la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado, utilizando una energía de compactación específica. Se ofrecen tres métodos alternativos para lograr esto. La elección del método a emplear debe ser especificada en las indicaciones del material a ser sometido al ensayo. En situaciones donde no se especifica el método, la selección se basará en la granulometría del material, utilizando las siguientes tres mallas: 3/4 pulgadas, 3/8 pulgadas y N° 4.

MÉTODO "C"

- Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 56
- Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).

2.2.2.6. Valor de Soporte California (CBR)

Según NTP 339.145 (2014) este método de prueba cubre la determinación del C.B.R. de los materiales sub base y base del pavimento a partir de muestras compactadas de laboratorio. El método de prueba se destina principalmente a evaluar la resistencia de los materiales que tienen un tamaño máximo de partículas de 3/4" pero no se limita a este tamaño, cuando se deben

hacer ensayos de materiales con un tamaño de partícula mayor que 3/4", este método permite modificar la gradación del material de modo que todo el material utilizado para la prueba pase el tamiz 3/4", este método de ensayo proporciona la determinación del C.B.R. de un material con un contenido óptimo de agua o un rango de contenido de agua de una prueba de compactación específica y un peso unitario seco específico. El peso unitario seco específico se da como un porcentaje del peso unitario seco máximo determinado por los métodos de prueba proctor estándar o modificado.

Según NTP 339.145 (2014) este método de prueba cubre la determinación del C.B.R. de los materiales sub base y base del pavimento a partir de muestras compactadas de laboratorio. El método de prueba se destina principalmente a evaluar la resistencia de los materiales que tienen un tamaño máximo de partículas de 3/4" pero no se limita a este tamaño, cuando se deben hacer ensayos de materiales con un tamaño de partícula mayor que 3/4", este método permite modificar la gradación del material de modo que todo el material utilizado para la prueba pase el tamiz 3/4", este método de ensayo proporciona la determinación del C.B.R. de un material con un contenido óptimo de agua o un rango de contenido de agua de una prueba de compactación específica y un peso unitario seco específico. El peso unitario seco específico se da como un porcentaje del peso unitario seco máximo determinado por los métodos de prueba proctor estándar o modificado. Para la preparación de la muestra y los especímenes se determinó usar el método "C.

El MTC (2016) indica que, la preparación del molde, se compacta el material contenido en el molde, usando el contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo proctor modificado con 56, 25 y 12 golpes de compactación, el fin es graficar curvas que representen la relación entre el peso específico y la relación de capacidad de soporte; una vez listo los especímenes de CBR se sumergirá colocando el vástago, deformímetro y la sobrecarga total debe ser menor a 4,54 kg y mayor a 2.54 kg para asegurar resultados precisos y representativos de las condiciones

reales; se registra la primera lectura, tomando nota del día y la hora, se sumerge por 4 días; y para el porcentaje de expansión se usa la fórmula:

$$\% \text{ Expansión} = \left(\frac{L2 - L1}{127} \right) \times 100$$

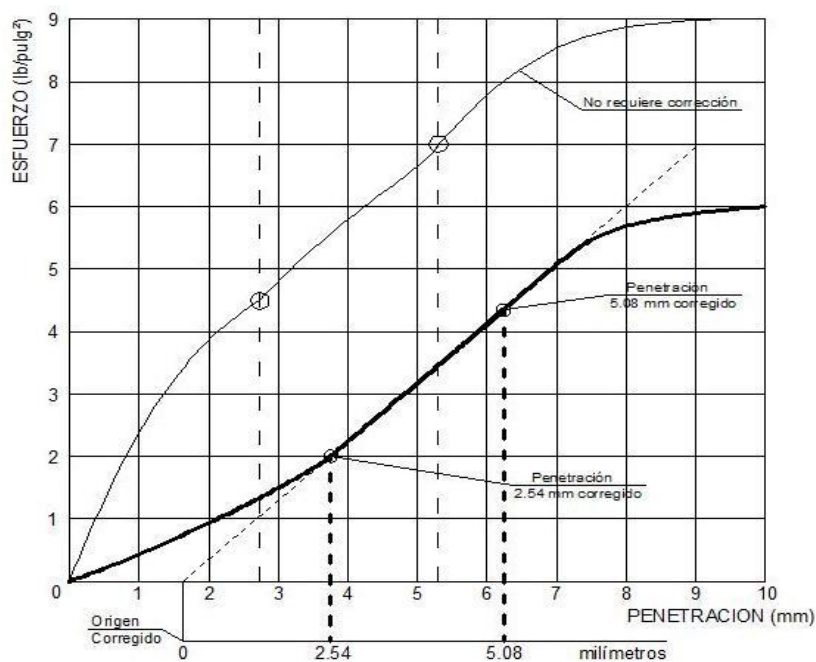
Donde

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

El MTC (2016) continúa describiendo que, se drena el agua por lo menos 15 min, luego se procederá a realizar la prueba de penetración, para ello, se utilizará un pistón con un diámetro de 2 pulgadas la velocidad de penetración aplicada será de aproximadamente 0.05 pulgadas (1.27 mm); de los valores obtenidos se dibuja la curva de esfuerzo vs penetración; además si dicha gráfica tuviese puntos de inflexión se corrige (véase la siguiente figura).

Figura 2: Curva para cálculo de índice de CBR.



Fuente: Norma MTC (2016).

El MTC (2016) sigue argumentando, si no presenta punto de inflexión no se corrige la curva y se toman los valores de 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2"), luego se halla el valor de la relación de soporte (índice resistente CBR), el cálculo se realiza comparando el tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el material laboratorio y una muestra patrón con las mismas penetraciones; el MTC nos presenta las características de la muestra patrón en la siguiente tabla:

Tabla 5: Cargas unitarias patrón – CBR.

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

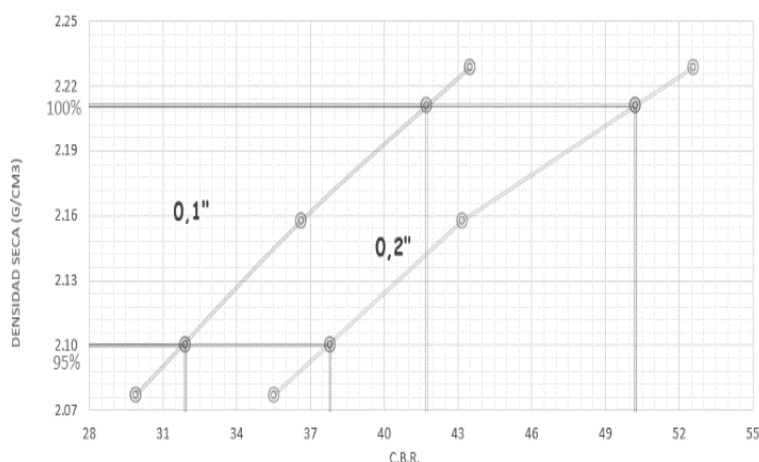
Fuente: Norma MTC (2016).

Se usa las siguientes relaciones para calcular el CBR:

$$\text{CBR}\% = \frac{\text{PRESION APLICADA}}{\text{PRESION PATRON}}$$

La relación se usa tanto para el 0.1" y 0.2", se halla el CBR de estas penetraciones y se grafican junto a las densidades secas máximas obtenidas de cada espécimen de CBR a 12, 25 y 56 golpes.

Figura 3: Gráfica de DS vs CBR.



Fuente: Norma MTC (2016).

Finalmente, mediante el gráfico se obtiene los valores de CBR para el 95% de la densidad seca máxima (0,1"); CBR para el 100 % de la densidad seca máxima (0,1"); CBR para el 95% de la densidad seca máxima (0,2"); CBR para el 100 % de la densidad seca máxima (0,2").

Tabla 6: *Requerimientos de calidad para material de afirmado.*

Ensayo	Requisitos de calidad
Límite Líquido:	35% máx. (MTC E 110)
Índice de Plasticidad:	4-9% (MTC E 111)
CBR (1):	40% mín. (MTC E 132)

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG-2013

2.2.3. Estabilización de Suelos con Cemento y Aceite Sulfonado

La estabilización de afirmado tiene por finalidad, mejorar la vida útil y nivel de servicio de las superficies de rodadura de las carreteras no pavimentadas, esto implica mejorar los siguientes problemas; rápido deterioro por efecto del tránsito y el clima, emisión de polvo; baches, ahuellamientos, etc.

2.2.3.1. Cemento

Yaun (2023) argumenta que, el cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico que floclula las partículas del afirmado logrando la separación de agua existente y el suelo.

Se usa las siguientes tablas para verificar el requerimientos y dosificación de la estabilización con cemento:

Tabla 7: Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento.

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Norma MTC (2014).

2.2.3.2. Aceite Sulfonado

Según Páez y Díaz (2019), son líquidos solubles en agua que, cuando se incorporan al suelo, reducen las propiedades expansivas y el efecto cohesivo de las fracciones finas, lo que permite que las partículas se reorganicen en fracciones gruesas.

Tabla 8: Especificaciones y parámetros para aceites sulfonados

Suelo estabilizado con	Parámetros
Aceites sulfonados	1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión \leq 0.5%

Fuente: Norma MTC (2015).

Tabla 9: Cartilla dosificación de aditivo PROES.

Tipo de suelo	Pasante por la malla n°200	Índice de plasticidad	Dosificación	
			Aceite sulfonado (Proes)	Aditivo Sólido (Cemento)
Arenas (finas, medias y gruesas)	< 10%	N.P.	Entre 0,22 y 0,30lt/m3	Entre 40 y 65Kg/m3
Arcillas	≥ 50%	≥ 15%	Entre 0,22 y 0,33lt/m3	Entre 30 y 70kg/m3
Arcilla Expansivas	≥ 70%	≥ 25%	Entre 0,25 y 0,35 lt/m3	Entre 25 y 65kg/m3 de cal viva
Limos	≥ 50%	≥ 10%	Entre 0,22 y 0,30lt/m3	Entre 40 y 70kg/m3
Maicillos (Arena limosa)	< 20%	Varía entre 1%y 10%	Entre 0,25 y 0,30lt/m3	Entre 40 y 65kg/m3
Bases estabilizadas	≥ 10% - 12%	≥ 3%	Entre 0,22 y 0,30 lt/m3	Entre 40 y 65 kg/m3
Bases Granulares	< 10%	N. P.	Entre 0,22 y 0,30lt/m3	Entre 40 y 65kg/m3

Fuente: Especificaciones técnicas Proes (2020).

Para dosificación del aceite sulfonado se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Aditivo Proes (ml)} = \frac{\text{Espécimen de ensayo(kg)}}{\text{MDS} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)} \times \text{Aditivo} \left(\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}\right)$$

2.2.3.3. Propiedades de un Suelo Estabilizado

2.2.3.3.1. Resistencia

Según Tasilla (2023), es importante resaltar que la estabilización es una técnica aplicada con el propósito de incrementar la capacidad de resistencia de los suelos. Uno de los objetivos más comunes es fortalecer sus características. Dentro de las estrategias más utilizadas para

mejorar las resistencias, se incluyen la estabilización mecánica, la estabilización química y la compactación.

2.2.3.3.2. Durabilidad

De acuerdo con Tasilla (2023), la durabilidad del suelo se refiere a su capacidad para resistir los efectos del clima, la erosión y la abrasión causada por el tráfico, estos factores representan los desafíos a los que se enfrenta una superficie de rodadura a lo largo del tiempo, por lo general, los problemas de durabilidad están estrechamente vinculados a la capa de rodadura de los caminos o carreteras, estos fenómenos pueden tener un impacto tanto en los suelos naturales como en los que han sido mal estabilizados, por tanto, la selección apropiada del estabilizador y la correcta dosificación son factores esenciales para mitigar los efectos adversos y asegurar la durabilidad a largo plazo de las superficies terrestres en diversas aplicaciones de ingeniería y construcción.

2.3 Definición de términos básicos

- **Cemento portland tipo I:** Impermeabilizante usado para el cuidado del afirmado estabilizado frente a la abrasión e intemperización (PROESTECH, 2020). Este tipo de cemento comúnmente utilizado en la construcción. Es uno de los tipos básicos de cemento Portland y se caracteriza por su versatilidad y resistencia. Este tipo de cemento es adecuado para una amplia gama de aplicaciones, incluidas estructuras de concreto, pavimentos, elementos prefabricados y morteros.
- **Aceite sulfonado:** Los aceites sulfonados son líquidos solubles en agua que, cuando se incorporan al suelo, reducen las propiedades expansivas y el efecto cohesivo de las fracciones finas, lo que permite que las partículas se reorganicen en fracciones gruesas.
- **Material granular:** el material granular seleccionado se usa como superficie de rodadura de una carretera, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados,

debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada (MTC, 2013).

- **Afirmado estabilizado:** La estabilización de afirmado tienen por finalidad, mejorar la vida útil y nivel de servicio de las superficies de rodadura de las carreteras no pavimentadas, esto implica mejorar los siguientes problemas; rápido deterioro por efecto del tránsito y el clima, emisión de polvo; baches, ahuellamientos, etc.(MTC, 2015).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación Geográfica de la Investigación

La investigación se realizó usando el material extraído de la cantera Las Huangas, ubicada en el kilómetro 4+220 de la carretera Bambamarca-Llaucan en el distrito Bambamarca, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca (**Figura 4**); de esta cantera se extrajo muestra en estado natural, posteriormente se realizaron algunos ensayos en el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca y la otra parte en el laboratorio externo "Guersan Ingenieros SRL".

Tabla 10: *Ubicación geográfica del proyecto de investigación*

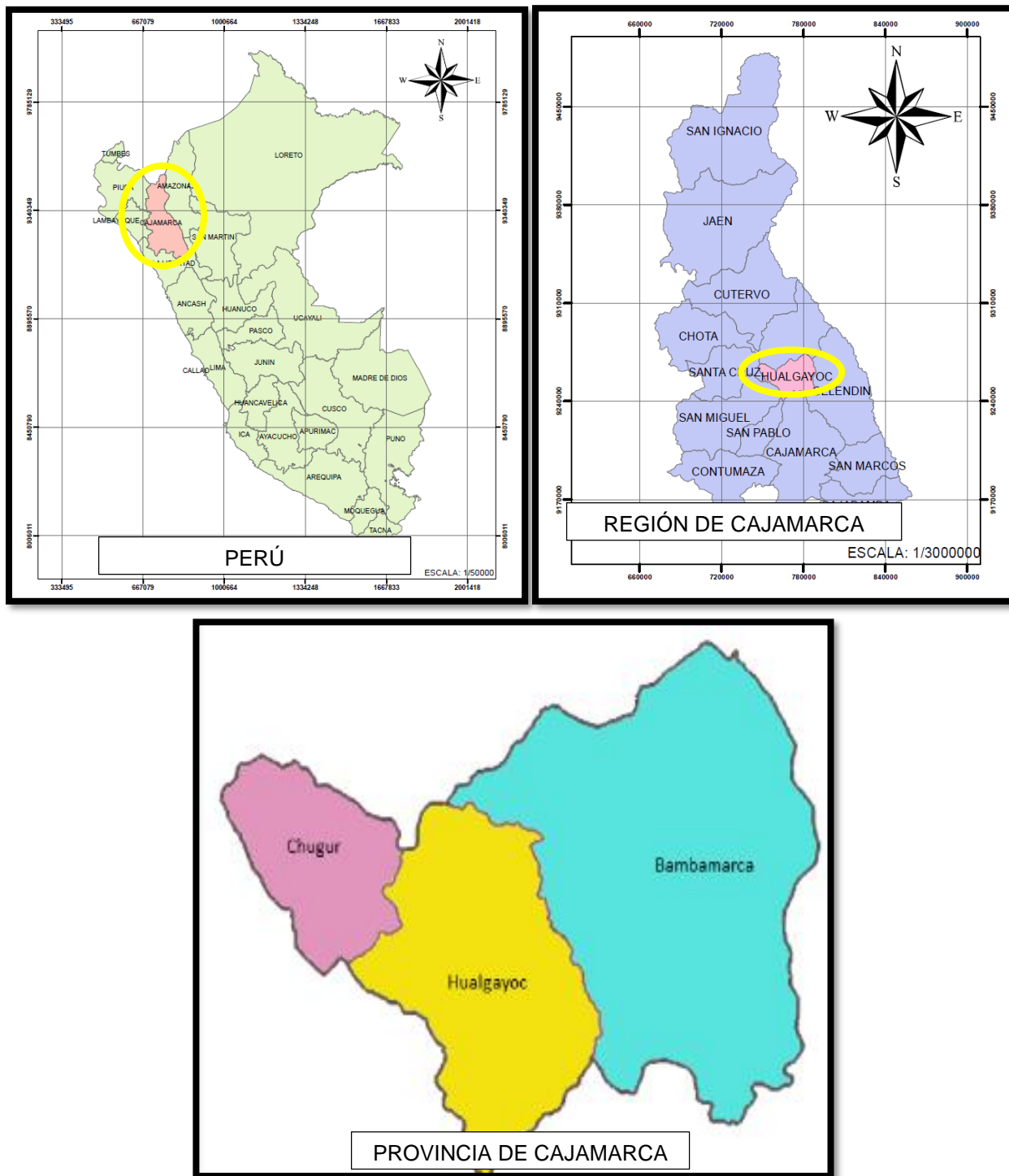
Ubicación Geográfica	
Departamento/Región	Cajamarca
Provincia	Hualgayoc
Distrito	Bambamarca

De la cantera Las Huangas se extrajo material para los ensayos de laboratorio y el punto de muestreo tuvo coordenadas UTM como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 11: *Coordenadas del punto de muestreo del material de la cantera las Huangas*

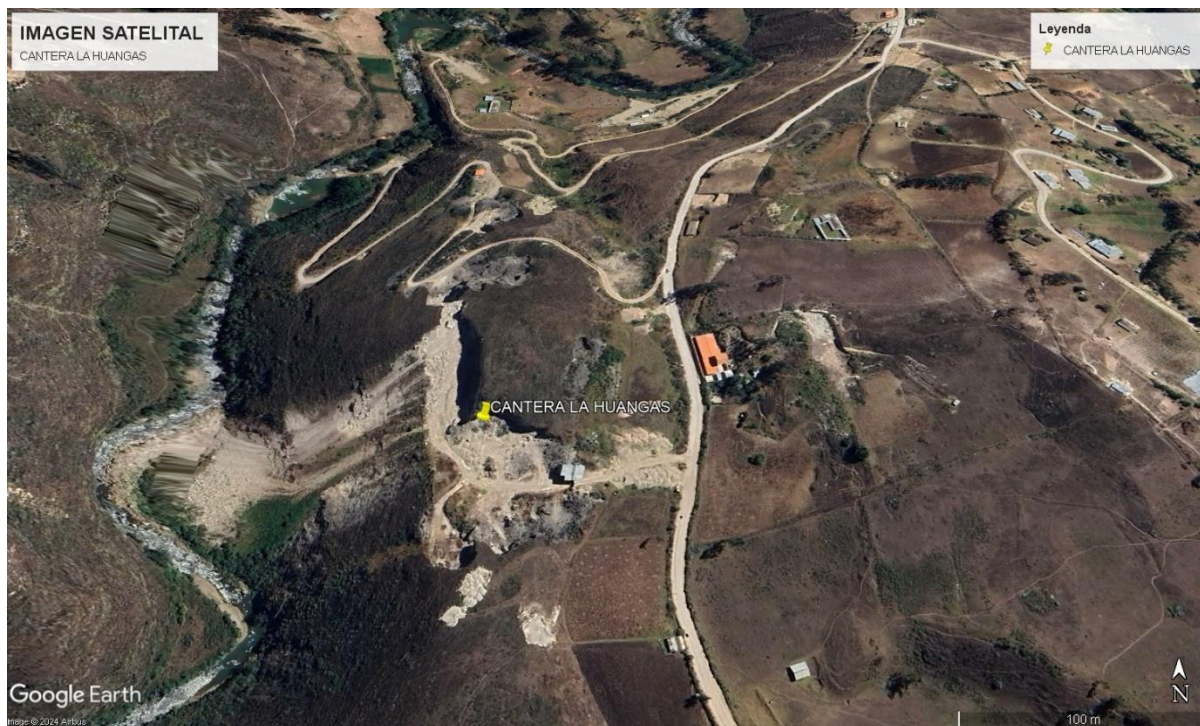
Coordenadas UTM	
Norte	9257000.00 m.
Este	773749.00 m.

Figura 4: Mapa Político de la zona de estudio



Fuente: ArcMap.

Figura 5: *Ubicación satelital de la cantera las Huangas*



Fuente: Google Earth.

3.2 Época de la Investigación

La presente investigación se inició en julio del 2023, con la extracción del material e la cantera Las Huangas, posteriormente del 09 de agosto hasta 30 de setiembre del 2023 se realizó los ensayos de laboratorio.

3.3 Metodología de la Investigación

3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

3.3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada, porque usa la base teórica y la aplica a procedimientos y técnicas establecidas en la aplicación de la ingeniería.

3.3.1.2. Nivel de investigación

La investigación es correlacional y de corte transversal, busca describir y relacionar el comportamiento del índice CBR en función del porcentaje de cemento y aceite sulfonado.

3.3.2. Población y muestra del estudio

3.3.2.1. Población del estudio

La población de estudio estuvo constituida por el material granular de la cantera Las Huangas, ubicada en el Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca. Esta población se seleccionó por su relevancia para la investigación y su representatividad en cuanto a las características del material granular de cantera en la región.

3.3.2.2. Muestra

Del material extraído de la cantera Las Huangas, se tomaron cincuenta y seis especímenes para determinar la influencia del cemento Portland tipo I y el aditivo Proes en el CBR. Se usaron 35 especímenes en ensayos de Proctor Modificado, teniendo en cuenta que se utilizaron 30 kilogramos de material por cada espécimen, y 21 especímenes en ensayos de CBR, en los cuales se utilizaron 18 kilogramos de material por cada espécimen. Los especímenes fueron elaborados utilizando dosificaciones como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12: *Dosificaciones propuestas para la investigación.*

Dosificación de aditivos		Número de especímenes	
Cemento (%)	Aceite (Lt/m ³)	Proctor Modificado	CBR
Sin aditivo	Sin aditivo	5	3
2.0	0.30	5	3
2.0	0.35	5	3
2.5	0.30	5	3
2.5	0.35	5	3

3.0	0.30	5	3
3.0	0.35	5	3

3.3.2.3. *Unidad de análisis*

La unidad de análisis es la influencia del cemento portland I y aceite sulfonado (proes) como aditivos estabilizadores del material granular.

3.3.2.4. *Unidad de observación*

Especímenes para CBR del material granular con la adición de cemento al 2%, 2.5% y 3% y aceite sulfonado en la proporción de 0.30 y 0.35 lt/m³.

3.3.3. *Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos*

3.3.3.1. *Técnicas*

En la presente investigación, se empleó la observación directa y revisión documental como método principal de recolección de datos. Esta técnica permitió obtener información detallada y precisa sobre el comportamiento y las características del material granular de la cantera Las Huangas en Bambamarca.

Los ensayos de mecánica de suelos que se realizó para esta investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 13: *Ensayos a realizar a las muestras.*

Ensayo	Norma Técnica	Descripción
Contenido de humedad	MTC E-108 ASTM D 2216 AASHTO T265	Método operativo para determinar el contenido de humedad de un suelo. El contenido de humedad de un suelo es la relación entre el peso del agua presente en la

		masa de suelo, al peso de las partículas sólidas del mismo.
Análisis granulométrico	MTC E-107 ASTM D 422 AASHTO T88	Método para determinar de manera cuantitativa la distribución del tamaño de las partículas de un suelo. También permite determinar los porcentajes de suelo que pasan los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el tamiz 75 µm (No. 200).
Límite líquido	MTC E-110 ASTM D 4318 AASHTO T89	Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, del suelo secado en horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
Límite plástico	MTC E-111 ASTM D 4318 AASHTO T90	Es la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desintegren.
Proctor modificado	MTC E-115 ASTM D 1557 AASHTO T180	Método de prueba establecido para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco del suelo, compactados en un molde de 4" o 6" de diámetro con un pistón de 10 lb, que cae de una altura de 18", produciendo una energía de compactación de 56 000 lbf – pie/pie ³ .
CBR	MTC E-132 ASTM D 1883 AASHTO T193	Método de prueba para determinar un índice de resistencia de los suelos, denominado valor de la relación de soporte, conocido como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y de afirmado de un pavimento.

3.3.3.2. Instrumentos

Como instrumentos en la presente investigación, se empleó la guía de observación, la cual consiste en un documento estructurado que permite registrar de manera sistemática cada ensayo realizado. Esta guía incluye los pasos a seguir, los datos a recolectar y los criterios de evaluación a tener en cuenta durante la observación. Además, se utilizaron formatos específicos para cada ensayo, los cuales facilitaron la recolección y el registro de los datos obtenidos en cada prueba realizada. Estos instrumentos garantizaron la precisión y la consistencia en la recolección de datos, así como la posibilidad de realizar un análisis detallado y riguroso de los resultados obtenidos.

3.3.3.3. Equipos y materiales utilizados

Para cada ensayo mencionado en la tabla N°13, se utilizaron los equipos y materiales según lo normado por el MTC 2016 "Manual de ensayo de materiales", el cual establece los estándares y procedimientos para la realización de ensayos en materiales de construcción. Algunos de los equipos y materiales utilizados en la investigación incluyen:

- Juego de tamices: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°10, N°20, N° 30, N°40, N°60, N°100 y N°200.
- Probeta de 500 ml y 50 ml.
- Agua.
- Aceite sulfonado (Proes).
- Cemento Portland Tipo I.
- Horno con rango de temperatura de 0 °C a 300 °C
- Bandejas y taras.
- Balanza digital con una precisión de 0.1 g.
- Copa Casa Grande.
- GPS Garmin.

- Parafina y sacos.
- Cronómetro.

3.3.4. Procedimiento

Primera fase: recolección y preparación de las muestras de suelo

- Se ubicó la Cantera
- Se recolecto la muestra
- Se obtuvo las coordenadas UTM del punto de muestreo.

Segunda fase: ensayos de laboratorio

- A las muestras transportadas con parafinas, se realizó el ensayo de contenido de humedad
- Luego de la preparación debida del material de afirmado extraído se realizó los ensayos de análisis granulométrico.
- Se procedió a realizar el ensayo de Límites de atterberg.
- Se procedió con la clasificación del afirmado según AASHTO y SUCS.
- Se realizó los ensayos de límite líquido y límite plástico de la muestra en estado natural.
- Luego se realizó el ensayo Proctor modificado para la muestra sin y con aditivos, obteniendo de este ensayo los resultados de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo tanto para la muestra sin aditivo y con aditivos.
- Se continuó con el ensayo CBR para el suelo sin aditivo y para una adición de cemento portland tipo I en los porcentajes de 2%, 2.5% y 3% respecto al peso seco del material y aceite sulfonado en las proporciones de 0.30 lt/m³ y 0.35 lt/m³.

3.3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de los resultados

El procesamiento de datos e información fue realizado con hojas de cálculo, formatos para cada ensayo en laboratorio y para la prestación de resultados se utilizó el apoyo de gráficos explicativos.

Los programas usados fueron Microsoft Excel, Microsoft Word, AutoCAD, ArcGIS; los cuales sirven como softwares para facilitar el procesamiento y presentación de resultados, tales como tablas, planos, gráficos estadísticos.

Para los cálculos y análisis de datos se tomó en cuenta las recomendaciones del MTC (2016), detallada en cada ensayo referido en la tabla 13.

3.3.5.1. Presentación De Resultados

3.3.5.1.1. Contenido de humedad

Tabla 14: *Ensayo contenido de humedad*

Muestra	Contenido de Humedad (%)
Muestra patrón	8.28%

3.3.5.1.2. Análisis granulométrico

Tabla 15: *Ensayo análisis granulométrico*

Muestra	Muestra patrón (%)
Grava (%)	52.16%
Arena Gruesa (%)	26.51%
Arena Fina (%)	8.99%
Finos (%)	12.34%
Total (%)	100.00%

3.3.5.1.3. Límites de Atterberg

Tabla 16: *Ensayo límites de atterberg de la muestra en estado natural*

Muestra	Muestra estado natural
Límite Líquido	25.00%
Límite Plástico	20.00%
Índice de Plasticidad	5.00%

Tabla 17: *Clasificación del afirmado según AASHTO y SUCS.*

Descripción	Muestra estado natural
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	GC-GM

3.3.5.1.4. Ensayo Proctor modificado

Tabla 18: *Proctor modificado del material de la cantera las Huangas*

Dosificación de aditivos		Densidad seca	Contenido de
Cemento (%)	Aceite (Lt/m3)	máxima(g/cm3)	humedad óptimo(%)
Sin aditivo	Sin aditivo	2.192	6.00
2.0	0.30	2.201	6.14
2.0	0.35	2.206	6.38
2.5	0.30	2.219	6.32
2.5	0.35	2.224	6.60
3.0	0.30	2.225	6.51
3.0	0.35	2.236	6.74

3.3.5.1.5. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

Tabla 19: CBR del material de la cantera las Huangas al 95% DSM(0,1")

Dosificación de aditivos		CBR al 95% DMS	Incremento
Cemento (%)	Aceite (Lt/m3)	(0.1")	
Sin aditivo	Sin aditivo	36.83%	
2.0	0.30	105.54%	68.71%
2.0	0.35	117.83%	81.00%
2.5	0.30	118.86%	82.03%
2.5	0.35	137.61%	100.78%
3.0	0.30	134.06%	97.23%
3.0	0.35	150.70%	113.87%

Tabla 20: CBR del material de la cantera las Huangas al 100% DSM(0,1")

Dosificación de aditivos		CBR al 100% DMS	Incremento
Cemento (%)	Aceite (Lt/m3)	(0.1")	
Sin aditivo	Sin aditivo	56.52%	
2.0	0.30	128.93%	72.41%
2.0	0.35	146.50%	89.98%
2.5	0.30	151.25%	94.73%
2.5	0.35	169.55%	113.03%
3.0	0.30	165.13%	108.61%
3.0	0.35	184.13%	127.61%

Tabla 21: CBR del material de la cantera las Huangas al 95% DSM(0,2")

Dosificación de aditivos		CBR al 95% DMS	Incremento
Cemento (%)	Aceite (Lt/m3)	(0.2")	
Sin aditivo	Sin aditivo	46.76%	
2.0	0.30	126.19%	79.43%
2.0	0.35	144.86%	98.10%
2.5	0.30	144.78%	98.02%
2.5	0.35	167.74%	120.98%
3.0	0.30	162.42%	115.66%
3.0	0.35	182.59%	135.83%

Tabla 22: CBR del material de la cantera las Huangas al 100% DSM(0,2")

Dosificación de aditivos		CBR al 100% DMS	Incremento
Cemento (%)	Aceite (Lt/m3)	(0.2")	
Sin aditivo	Sin aditivo	67.68%	
2.0	0.30	152.68%	85.00%
2.0	0.35	176.78%	109.10%
2.5	0.30	180.20%	112.52%
2.5	0.35	199.23%	131.55%
3.0	0.30	195.82%	128.14%
3.0	0.35	218.48%	150.80%

Figura 6: Variación del CBR 95 % DMS con 0.1" de penetración

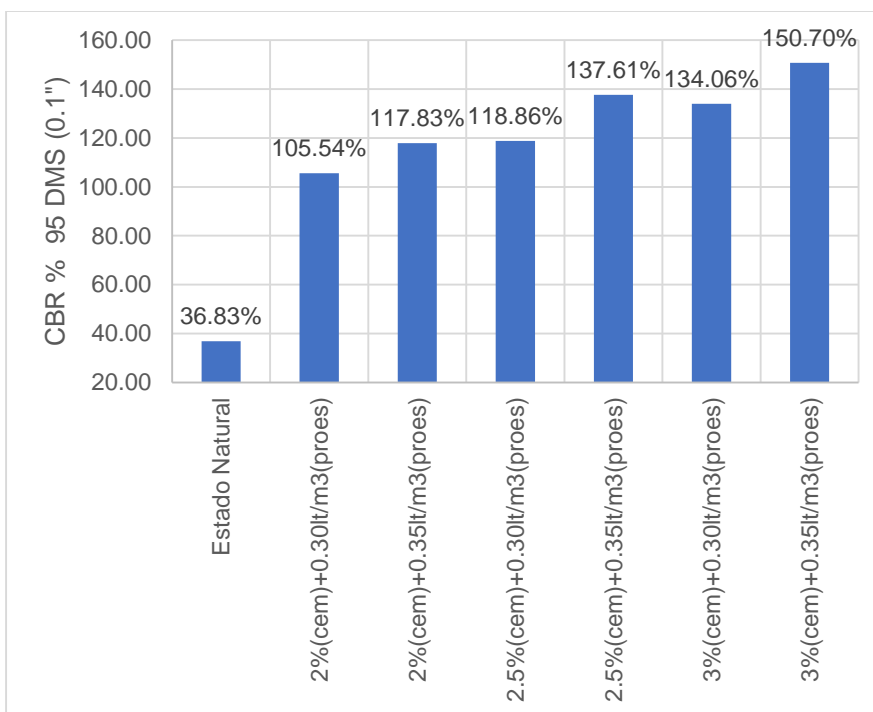


Figura 7: Variación del CBR 100 % DMS con 0.1" de penetración

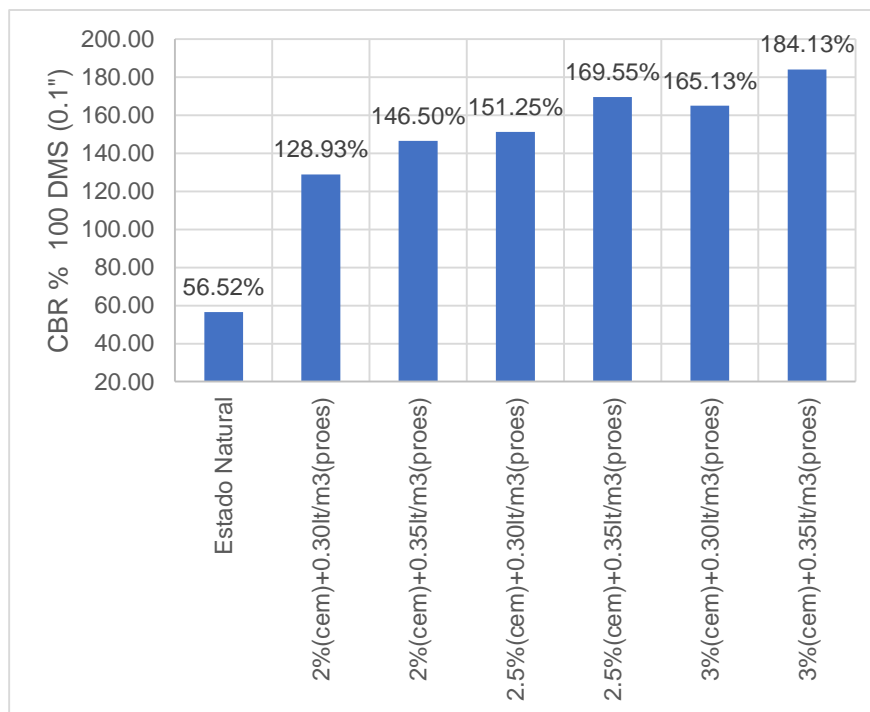


Figura 8: Variación del CBR 95 % DMS con 0.2" de penetración

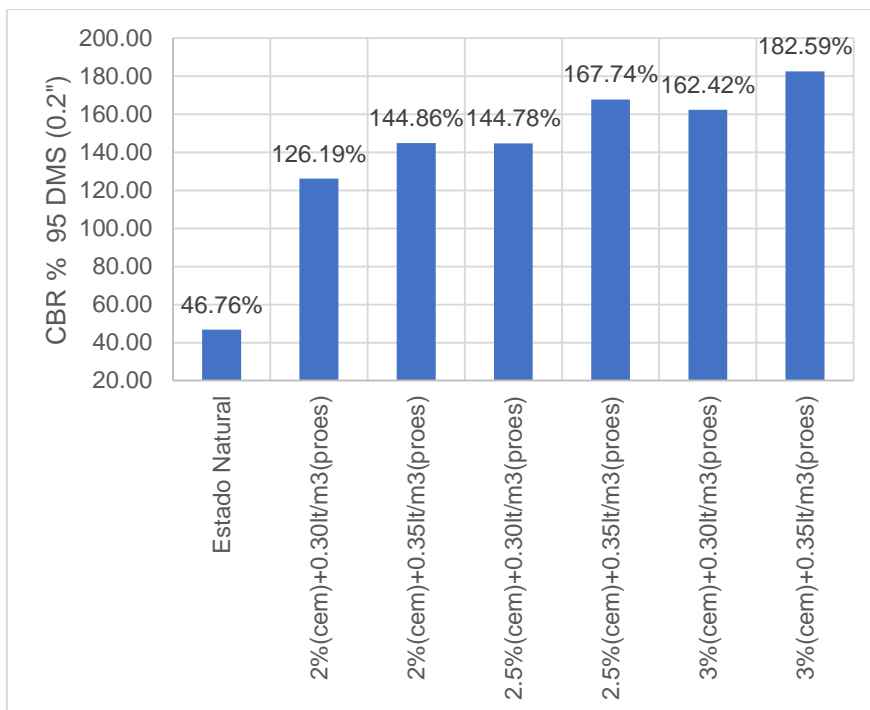
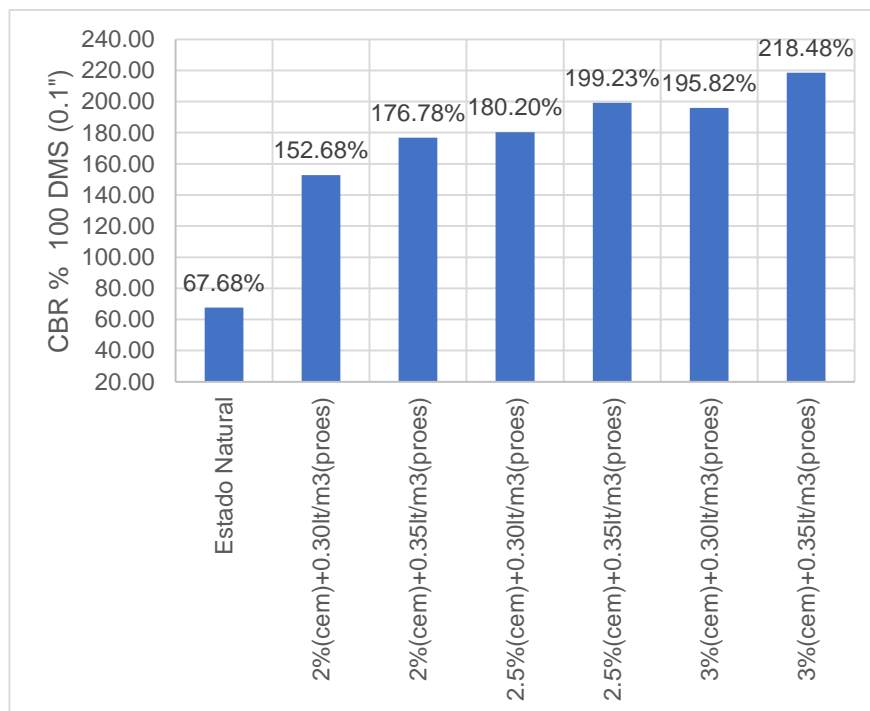


Figura 9: Variación del CBR 100 % DMS con 0.2" de penetración



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Clasificación de suelos

Conforme a los datos presentados en la Tabla 17, se determina que la muestra en estudio corresponde a una clasificación GC-GM (grava arcillosa-grava limosa) bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Simultáneamente, aplicando el sistema AASHTO, la misma muestra se clasifica como A-1-a(0).

4.2 Limites de Atterberg

De la Tabla 16, se puede observar que el índice de plasticidad del suelo es del 5.00%. Este valor indica que el suelo es de baja plasticidad. Es importante destacar que, conforme a la norma EG-2013, el índice de plasticidad para ser utilizado como material de afirmado debe estar entre el 4% y el 9%. Por lo tanto, el valor calculado del 5.00% cumple con este requisito.

4.3 Proctor modificado

En la Tabla 18, se muestra los resultados del ensayo de proctor modificado de la muestra con adición de distintas proporciones de cemento y aceite sulfonado; la densidad máxima seca obtenida para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.30 litros/m³(proes) se incrementan en un 0.009, 0.027 y 0.033 g/cm³, mientras que para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.35 litros/m³(proes) se incrementan en un 0.014, 0.032 y 0.044 g/cm³; es decir las densidades son directamente proporcionales al aumento del porcentaje de cemento; el contenido de humedad óptimo obtenida para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.30 litros/m³(proes) se incrementan en un 0.14, 0.32 y 0.51 %, mientras que para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento portland tipo I y 0.35 litros/m³(proes) se incrementan en un 0.38, 0.60 y 0.74 %; es decir el contenido de humedad óptimo es directamente proporcional al aumento del porcentaje de cemento.

4.4 Capacidad de soporte (CBR)

En la Tabla 20, se muestra que el CBR al 100% DSM (0.1") del material en estado natural, con un valor de 56.52%, aumenta a 128.93%, 151.25% y 165.13% con la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento Portland Tipo I y 0.30 litros/m³ de proes. Esto representa un incremento del 72.41%, 94.73% y 108.61% respecto al CBR del material en estado natural. Mientras tanto, para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento Portland Tipo I y 0.35 litros/m³ de proes, el CBR del material en estado natural aumenta de 56.52% a 146.50%, 169.55% y 184.13%, lo cual representa un incremento del 89.98%, 113.03% y 127.61%.

Conforme a la Tabla 22, el CBR al 100% DSM (0.2") del material en estado natural, cuyo valor fue del 67.68%, aumenta a 152.68%, 180.20% y 195.82% con la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento Portland Tipo I y 0.30 litros/m³ de proes. Esto representa un incremento del 85.00%, 112.52% y 128.14% respecto al CBR del material en estado natural. Para la dosificación de 2%, 2.5% y 3% de cemento Portland Tipo I y 0.35 litros/m³ de proes, el CBR del material en estado natural, partiendo del mismo 67.68%, aumenta a 176.78%, 199.23% y 218.48%, lo cual representa un incremento del 109.10%, 131.55% y 150.80%.

4.5 Contrastación con la hipótesis

Según la investigación realizada, resultados obtenidos y comparándola con la hipótesis planteada, La incorporación de cemento portland tipo I en los porcentajes de 2%, 2.5% y 3% y aceite sulfonado en las proporciones de 0.30 lt/m³ y 0.35 lt/m³, mejoran la capacidad portante del material granular de la cantera Las Huangas-Bambamarca para su empleo como afirmado estabilizado; Se demuestra que la hipótesis es correcta, porque los valores de CBR obtenidos al agregar las distintas proporciones son mayores a 100%, el cual es el porcentaje mínimo que debe cumplir un suelo estabilizado con aceite sulfonado según el Documento Técnico Soluciones Básicas en carreteras no pavimentadas.

Gutiérrez y Cerón (2021), realizan la estabilización de un suelo del tipo A-1-a(0) con un CBR de 46% lo cual es inadecuado para la conformación de la capa de base, por tal motivo se da el estudio de este proceso para su mejorado obteniendo un aumento en el CBR 93,5%; 103,2% y 107,9% con una dosificación de 0,50L/m³ ; 0,749L/m³ y 0,90L/m³ de terrasil, a su vez indica que a mayor dosificación de aditivo terrasil el CBR se eleva de manera progresiva pero no de manera proporcional y nos presenta la combinación de este aditivo con el cemento dando como resultado el incremento de 112,6%; 117,1% y 120,3% con la adición de 1% de cemento a las dosificaciones de terrasil respectivamente.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cemento portland tipo I y aceite sulfonado, como agentes estabilizantes del material granular de la cantera las Huangas-Bambamarca aumenta el CBR en un valor mayor al 100% cumpliendo con los requerimientos de las normativas vigentes(MTC-2015) para su empleo como afirmado estabilizado.

El material de la cantera se clasificó según AASHTO en A-1-a(0) y según el método S.U.C.S varía entre una clasificación GC-GM(grava arcillosa-grava limosa). Este material tiene un contenido de humedad de 8.28%; el límite líquido es de 25%, el límite plástico es de 20%, y el índice plástico es de 5%. Además, la densidad seca máxima es de 2.192 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo de 6.00%. Por lo tanto, la muestra cumple con los requisitos mínimos según la norma EG-2013 para ser utilizado como material de afirmado.

El resultado de CBR al 100% DSM a 0,1” y 0.2” del material sin aditivos es de 56.52% y 67.68% respectivamente, por consiguiente, supera el CBR mínimo requerido de 40% según norma EG-2013 para ser utilizado como afirmado.

Al añadir cemento Portland tipo I en dosificaciones del 2%, 2.5% y 3.0%, y aditivo Proes en 0.30 y 0.35 litros/m³ al material de cantera, se supera el CBR mínimo del 100% exigido por el MTC-2015 para ser utilizado como afirmado estabilizado. Para la dosificación de 2%, 2.5% y 3.0% de cemento Portland tipo I y aditivo Proes en 0.30 litros/m³, los valores de CBR al 100% DSM a 0.1” obtenidos fueron 128.93%, 151.25% y 165.13% respectivamente; y los valores de CBR al 100% DMS a 0.2” obtenidos fueron 152.68%, 180.20% y 195.82% respectivamente. Asimismo, al aumentar la dosificación de aditivo Proes a 0.35 litros/m³, los valores de CBR al 100% DSM a 0.1” obtenidos fueron 146.50%, 169.55% y 184.13%; y los valores de CBR al 100% DMS a 0.2” obtenidos fueron 176.78%, 199.23% y 218.48% respectivamente.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo futuras investigaciones sobre la estabilización con cemento y aditivo proes en otros tipos de suelos.

Para futuras investigaciones, se sugiere realizar un estudio comparativo entre el aditivo Proes y otros aditivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (s. f.). *Standard Specification for Classification of Soils and Soil – Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes (Designation M 145)*.

<https://pdfcoffee.com/clasificacion-aashto-m-145-2-pdf-free.html>

ASTM (American Society for Testing and Materials). (s. f.). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (Designation D 2487 – 11)*.

<https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-y-de-estudios-superiores-de-occidente/materiales-geotecnicos/astm-d-2487-norma-oficial/10399225>

Barreto, J. M. y Taco, J. A. (2021). *Estabilización de base granular con aceite sulfonado y cemento portland tipo I del camino vecinal “Huasahuasi - Hacienda Calla”, Tarma- Junín, km 3+000 km 4+000 [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Digital Universidad Ricardo Palma.*

<https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/d1fd13d6-ea53-47a5-ac3c-8919abfb4fc9>

Bojaca, L. V. y Velasco Gomez, J. P. (2024). *Estudio del comportamiento físico – mecánico de base granular estabilizada con aditivo proes [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Digital Universidad Católica de Colombia.*

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/8d65f255-fcef-4464-8fae79e8781a6d60>

Braja, M. D. (2013). *Fundamentos de la ingeniería geotécnica (4a ed.)*. Editorial Cengage Learning.

https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das?auto=download

Bustamante, A. D. y Guevara, K. P. (2024). *Análisis en resistencia y economía de la aplicación de aceite sulfonado y un inhibidor de polvo empleados como plan de mejora en bases tratadas con cemento en el Proyecto de Corredor Vial N° 11 en Cutervo – Cajamarca en el 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Digital Universidad Tecnológica del Perú.*

<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/10550>

Cadillo, N. A. (2024). *Estabilización de suelos para pavimento usando aditivo químico en tramo de mejoramiento del corredor vial alimentador N°11, región Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Digital Universidad San Ignacio de Loyola.*

<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d3396b94-34c9-4d23-ad17-ca864b9c112>

Echarri, L. (2022). *Influencia del aditivo Proes en la estabilización del material de cantera como afirmado del camino vecinal Chitapampa - Kallarayan - Patabamba, Cusco – 2022 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92119>

Gómez, A. J. y Silva, E. E. (2020). *Influencia del aceite sulfonado y cemento portland tipo i en la estabilización de la vía Huaylillas – Buldibuyo en la provincia de Pataz, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Digital Universidad Privada del Norte.*

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25225>

- Hernández, J. C. (2008). *Características físicas y propiedades mecánicas de suelos y sus métodos de medición [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Digital Universidad de San Carlos de Guatemala.*
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2861_C.pdf
- Hurtado, A. A. y Ortega, A. (2021). *Estabilización del Afirmado con Aceite Sulfonado y Cemento para el Diseño Vial en Soccos, Ocobamba, - Chincheros, Apurímac – 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Digital Universidad Cesar Vallejo.*
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84320>
- Juárez, E. y Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos (3a ed.). Editorial Limusa.*
<https://veteranos1927.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Lima, Perú. R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14.*
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- MTC. (2015). *Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas. Lima, Perú. R.D. N° 003 – 2015 – MTC/15*
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Doc.%20Tecnico%20Soluciones%20B%C3%A1sicas%20\(RD%20003_2015_MTC_14\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Doc.%20Tecnico%20Soluciones%20B%C3%A1sicas%20(RD%20003_2015_MTC_14).pdf)
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales. Lima, Perú. R.D. N° 18 – 2016 – MTC/14*
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- NTP 339.145 (1999). *Método de ensayo de CBR (Relación de soporte soporte de california) de suelos compactados en laboratorio.*

<https://es.scribd.com/document/353501118/NTP-339-145-1999-Suelos-CBR>

Páez, J. y Díaz, L. (2019). *Influencia de la adición de aceite sulfonado en la respuesta dinámica a pequeñas deformaciones de un material granular arcilloso [Tesis de postgrado, Universidad Santo Tomás, Colombia]. Repositorio Digital Universidad Santo Tomás*
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/1496c8d9-f95d-46ab-9466-63709e3d3e9a/content>

Proestech. (2020). *Especificaciones técnicas base tratada con tecnología Proes.*

Tasilla, E. J. (2023). *Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal emp. ca. 1459 (la Colpa)- Agopampa Huacariz, Huacariz-Agocucho [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Cajamarca.*
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5998>

Yaun, Y. A. (2023). *Influencia del aditivo proes en la capacidad de soporte para el mejoramiento de subrasante del tramo Chiriaco – Mesones Muro, Provincia de Bagua, distrito de Imaza [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Digital Universidad Nacional de Cajamarca.*
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5736>

ANEXOS

ANEXOS 01: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 10: *Cantera Las huangas-Bambamarca.*



Figura 11: *Obtención de la muestra de la cantera las Huangas.*



Figura 12: Ensayo de análisis granulométrico de la muestra sin aditivo.



Figura 13: Ensayo de límite líquido de la muestra sin aditivo.

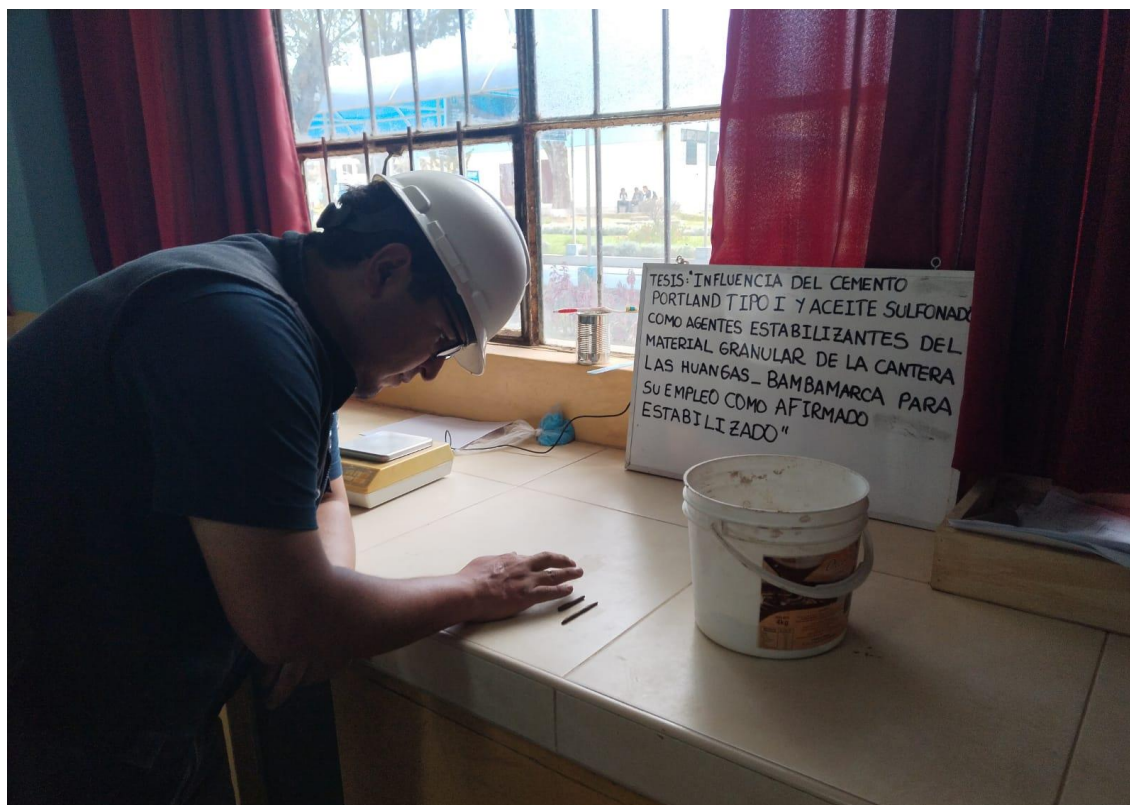


Figura 14: Ensayo de limite plástico de la muestra sin aditivo.



Figura 15: Ensayo de Proctor modificado de la muestra sin aditivo.



Figura 16: Medición de cantidad de aditivo proes para el ensayo de proctor modificado.



Figura 17: Compactación por capas del ensayo de CBR.



Figura 18: *Peso del cemento para el ensayo de CBR de la muestra con aditivos.*



Figura 19: *Mezclado de agua y aditivo proes para el ensayo de CBR.*

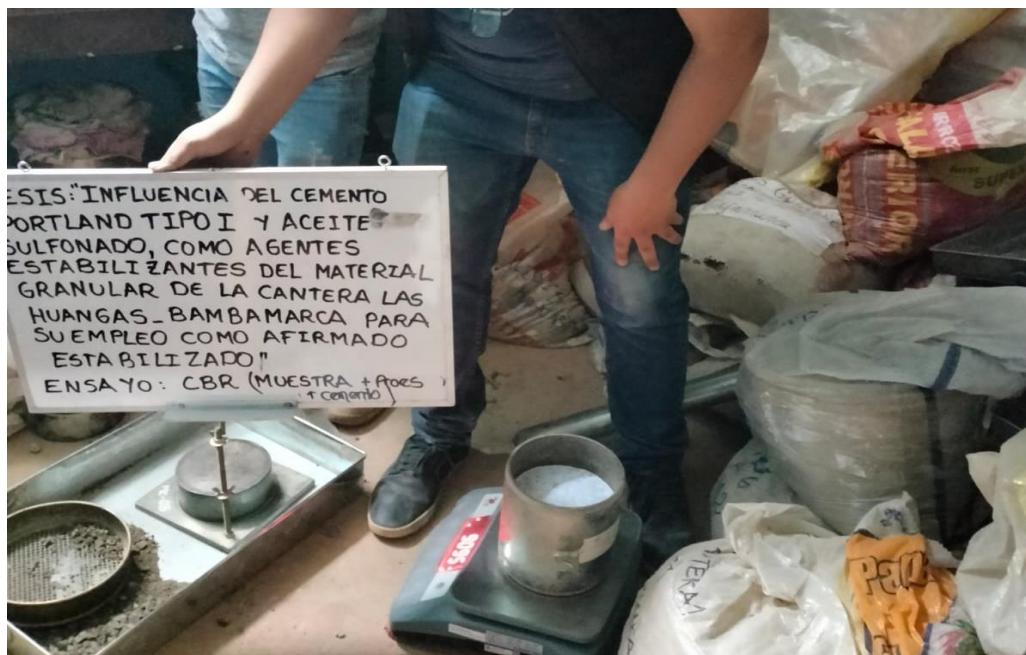


Figura 20: Peso de la muestra compactada del ensayo de CBR.



Figura 21: Carga penetración del ensayo de CBR de la muestra sin aditivo.

ANEXOS 02: ENSAYOS EN LABORATORIO

Tabla 23: Ensayo contenido de humedad de la muestra sin aditivo.

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Identificación de Tara	B-1
Masa de tara (g)	172.60
M. Tara + M.Húmeda (g)	2526.00
M. Tara + M. Seca (g)	2346.00
Masa de agua (g)	180.00
Masa de Muestra Seca (g)	2173.40
W (%)	8.28%

Tabla 24: Ensayo límites de atterberg de la muestra sin aditivo.

TARA Nº	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	4	5
M tara (g)	27.71	29.60	29.17	29.57	28.46
Mt+ M.Húmeda (g)	45.43	45.86	45.63	36.38	37.46
Mt+ M. Seca (g)	41.75	42.59	42.46	35.23	35.95
M agua (g)	3.68	3.27	3.17	1.15	1.51
M M.Seca (g)	14.04	12.99	13.29	5.66	7.49
W(%)	26.21%	25.17%	23.85%	20.32%	20.16%
N.GOLPES	17	24	35	Wpromedio%: 20.24%	

LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
25.00%	20.00%	5.00%

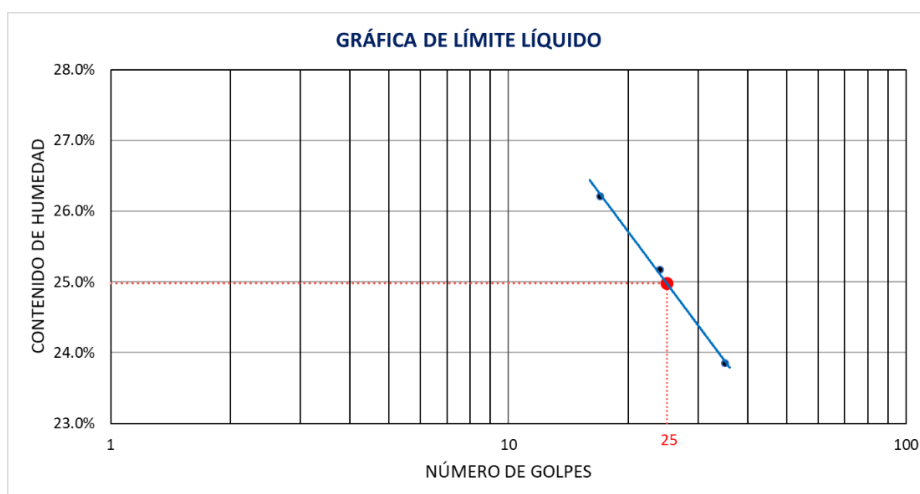
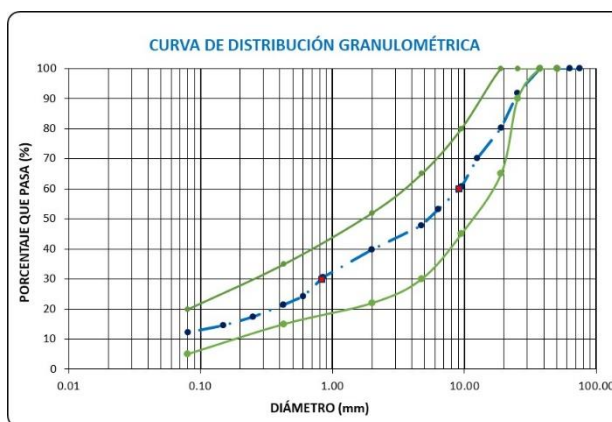


Tabla 25: Análisis Granulométrico de la muestra sin aditivo.

CONDICIONES DEL ENSAYO	
TEMPERATURA DE SECADO DE LA MUESTRA:	110 °C
CONDICIONES INICIALES DE LA MUESTRA	
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)	6100.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)	2918.00
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)	3182.00
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)	6105.05
CONDICIONES INICIALES FRACCIÓN FINA	
PESO SECO FRACCIÓN FINA (g)	500.00
CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA	0.0957

W=6100g					
ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA					
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	505.00	8.28	8.28	91.72
¾"	19.05	692.00	11.34	19.62	80.38
½"	12.70	625.00	10.25	29.87	70.13
3/8"	9.52	573.00	9.39	39.26	60.74
¼"	6.35	459.00	7.52	46.79	53.21
N°4	4.75	328.00	5.38	52.16	47.84
TOTAL	W G =	3182.00			

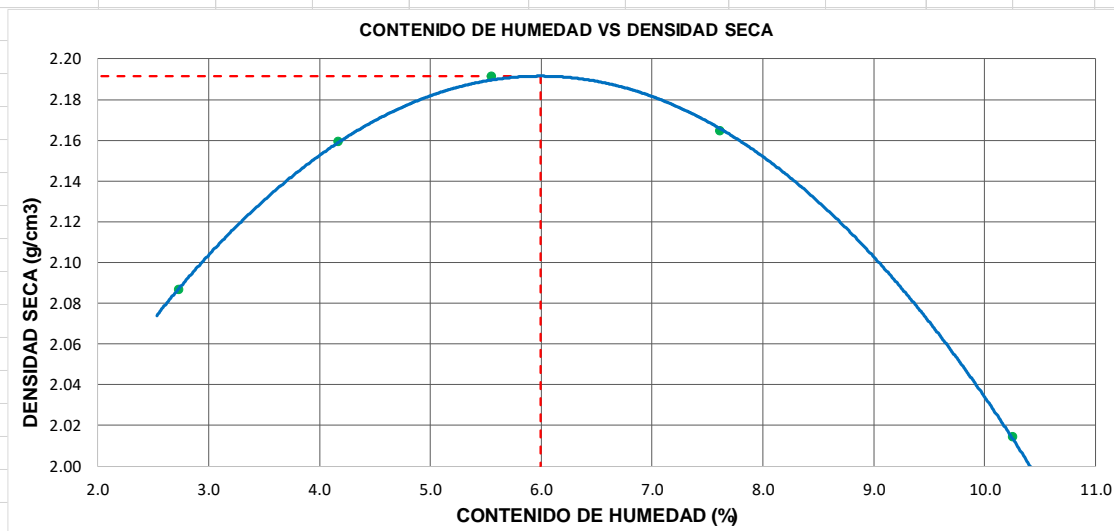
PROPIEDADES DE LA MUESTRA		
PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS		% TOTAL
GRAVA (%):	52.16	100.00
ARENA GRUESA (%):	26.51	
ARENA FINA (%):	8.99	
FINOS (%):	12.34	



W=500g					
ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
N 10	2.00	85.00	8.13	60.30	39.70
N 20	0.85	96.00	9.18	69.48	30.52
N 30	0.60	66.00	6.31	75.79	24.21
N 40	0.43	30.00	2.87	78.67	21.33
N 60	0.25	40.00	3.83	82.49	17.51
N 100	0.15	30.00	2.87	85.36	14.64
N 200	0.08	24.00	2.30	87.66	12.34
Cazoleta	--	--	--	--	--
TOTAL					

Tabla 26: Proctor Modificado de la muestra sin aditivo.

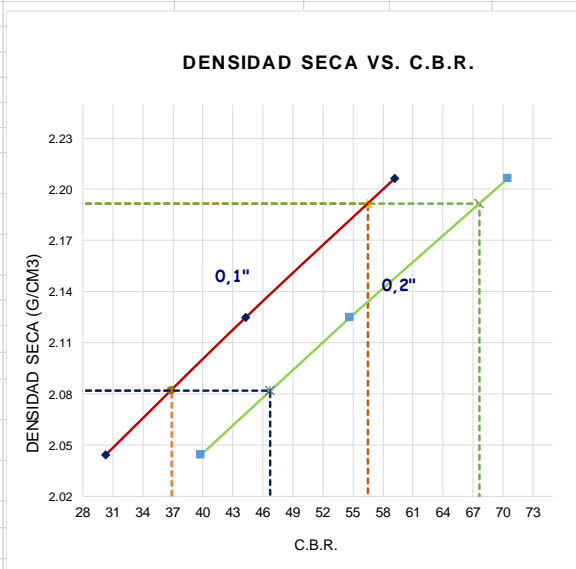
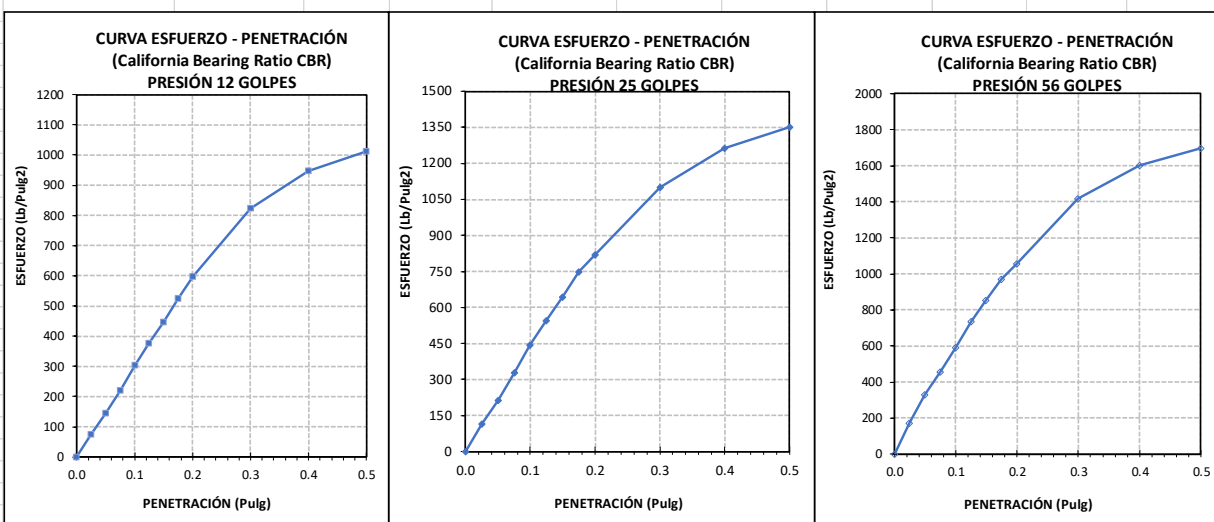
MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :		110		DIÁMETRO MOLDE (cm) :		15.24	
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1	2	3	4	5					
N° de Capas	5	5	5	5	5					
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56					
Peso Húmedo+ Molde (g)	10850.00	11075.00	11210.00	11245.00	11014.00					
Peso Molde (g)	6282.00	6282.00	6282.00	6282.00	6282.00					
Peso Húmedo (g)	4568.00	4793.00	4928.00	4963.00	4732.00					
Volumen del Molde (cm ³)	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00					
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.144	2.249	2.313	2.329	2.221					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05	A-06	A-07	A-08	A-09	A-10
Peso Húmedo + Tara (g)	494.70	475.30	540.90	438.20	513.80	525.40	504.50	482.20	289.80	320.10
Peso Seco + Tara (g)	483.50	464.50	522.20	422.50	490.80	502.00	474.00	451.50	269.90	295.10
Peso Agua (g)	11.20	10.80	18.70	15.70	23.00	23.40	30.50	30.70	19.90	25.00
Peso Tara (g)	75.00	67.30	72.10	47.00	75.40	81.20	72.60	48.70	75.80	51.20
Peso Muestra Seca (g)	408.50	397.20	450.10	375.50	415.40	420.80	401.40	402.80	194.10	243.90
Contenido de Humedad (%)	2.74	2.72	4.15	4.18	5.54	5.56	7.60	7.62	10.25	10.25
Contenido de Humedad promedio(%)	2.73		4.17		5.55		7.61		10.25	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.087		2.159		2.191		2.164		2.014	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.192	6.00

Tabla 27: Ensayo California Bearing Ratio (CBR) de la muestra sin aditivo.

COMPACTACIÓN C B R											
N° Golpes por Capa		12			25			56			
Altura Molde (mm)		116.590			117.420			117.600			
N° Capas		5			5			5			
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		12631.00		12681.00	12840.00		12897.00	12955.00		13013.00	
Peso Molde (g)		8062.00		8062.00	8082.00		8082.00	8005.00		8005.00	
Peso de Muestra Húmeda (g)		4569.00		4619.00	4758.00		4815.00	4950.00		5008.00	
Volumen del Molde (cm3)		2107.82		2107.82	2112.26		2112.26	2116.44		2116.44	
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.17		2.19	2.25		2.28	2.34		2.37	
CONTENIDO DE HUMEDAD											
TARA N°		A-08	A-13	A-06	A-10	A-14	A-02	A-04	A-12	A-11	
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		498.50	536.20	525.40	488.40	578.60	452.40	499.80	458.40	419.20	
Peso Seco + Tara (g)		472.90	510.14	495.70	463.60	550.70	426.50	474.10	436.70	394.50	
Peso Agua (g)		25.60	26.06	29.70	24.80	27.90	25.90	25.70	21.70	24.70	
Peso Tara (g)		48.70	78.00	81.20	51.20	86.30	67.30	47.00	75.30	48.60	
Peso Muestra Seca (g)		424.20	432.14	414.50	412.40	464.40	359.20	427.10	361.41	345.90	
Contenido de Humedad (%)		6.03%	6.03%	7.17%	6.01%	6.01%	7.21%	6.02%	6.00%	7.14%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.03%		7.17%	6.01%		7.21%	6.01%		7.14%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.044		2.045	2.125		2.126	2.206		2.209	
ENSAYO DE EXPANSIÓN											
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		LECTURA DEFORMÍ- METRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍ- METRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍ- METRO	EXPANSIÓN		
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	
24	1	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	
48	2	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	1.000	0.025	0.02%	
72	3	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%	
96	4	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%	3.000	0.076	0.06%	
0											
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
DIÁMETRO DEL PISTÓN:			5		cm		ÁREA DEL PISTÓN:			19.635	cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	
0.64	0.025	101.3	5.16	73.70	156.4	7.97	113.79	237.4	12.09	172.72	
1.27	0.050	197.4	10.05	143.62	295.7	15.06	215.14	456.0	23.22	331.77	
1.91	0.075	302.8	15.42	220.31	449.8	22.91	327.26	625.8	31.87	455.31	
2.54	0.100	416.5	21.21	303.03	608.1	30.97	442.43	813.8	41.45	592.09	
3.18	0.125	515.9	26.27	375.35	750.3	38.21	545.89	1010.0	51.44	734.84	
3.81	0.150	614.3	31.29	446.94	883.8	45.01	643.02	1175.0	59.84	854.89	
4.45	0.175	720.3	36.68	524.07	1027.3	52.32	747.43	1336.2	68.05	972.17	
5.08	0.200	819.8	41.75	596.46	1127.9	57.44	820.62	1453.9	74.05	1057.81	
7.62	0.300	1133.3	57.72	824.55	1511.3	76.97	1099.57	1947.4	99.18	1416.86	
10.16	0.400	1302.2	66.32	947.44	1734.9	88.36	1262.25	2202.2	112.16	1602.24	
12.70	0.500	1389.7	70.78	1011.10	1856.9	94.57	1351.02	2336.2	118.98	1699.74	

**DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO**

DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³) :	2.192
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.00

(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	303.03	21.21	1000	30.30	2.044
PRESION 25 GOLPES	442.43	30.97	1000	44.24	2.125
PRESION 56 GOLPES	592.09	41.45	1000	59.21	2.206

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	596.46	41.75	1500	39.76	2.044
PRESION 25 GOLPES	820.62	57.44	1500	54.71	2.125
PRESION 56 GOLPES	1057.81	74.05	1500	70.52	2.206

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	36.83%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	56.52%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	46.76%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	67.68%

Tabla 28: Proctor Modificado, 2%(cemento)+0.30 Lt/m³(proes).

MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :		110		DIÁMETRO MOLDE (cm) :		15.24	
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1		2		3		4		5	
N° de Capas	5		5		5		5		5	
N° de Golpes por Capa	56		56		56		56		56	
Peso Húmedo+ Molde (g)	10790.00		10990.00		11255.00		11254.00		11152.00	
Peso Molde (g)	6278.00		6278.00		6278.00		6278.00		6278.00	
Peso Húmedo (g)	4512.00		4712.00		4977.00		4976.00		4874.00	
Volumen del Molde (cm ³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00		2131.00	
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.117		2.211		2.336		2.335		2.287	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	A-13	A-06	A-03	A-02	A-05	A-12	A-07	A-01	A-12	A-04
Peso Húmedo + Tara (g)	297.60	395.30	317.50	386.40	316.90	468.30	327.00	474.80	338.00	321.20
Peso Seco + Tara (g)	293.10	388.90	310.10	376.20	303.50	445.70	307.70	442.70	313.70	295.80
Peso Agua (g)	4.50	6.40	7.40	10.20	13.40	22.60	19.30	32.10	24.30	25.40
Peso Tara (g)	78.00	81.20	86.40	67.30	84.00	75.30	86.30	75.00	75.30	47.00
Peso Muestra Seca (g)	215.10	307.70	223.70	308.90	219.50	370.40	221.40	367.70	238.40	248.80
Contenido de Humedad (%)	2.09	2.08	3.31	3.30	6.10	6.10	8.72	8.73	10.19	10.21
Contenido de Humedad promedio(%)	2.09		3.31		6.10		8.73		10.20	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.074		2.140		2.201		2.148		2.076	

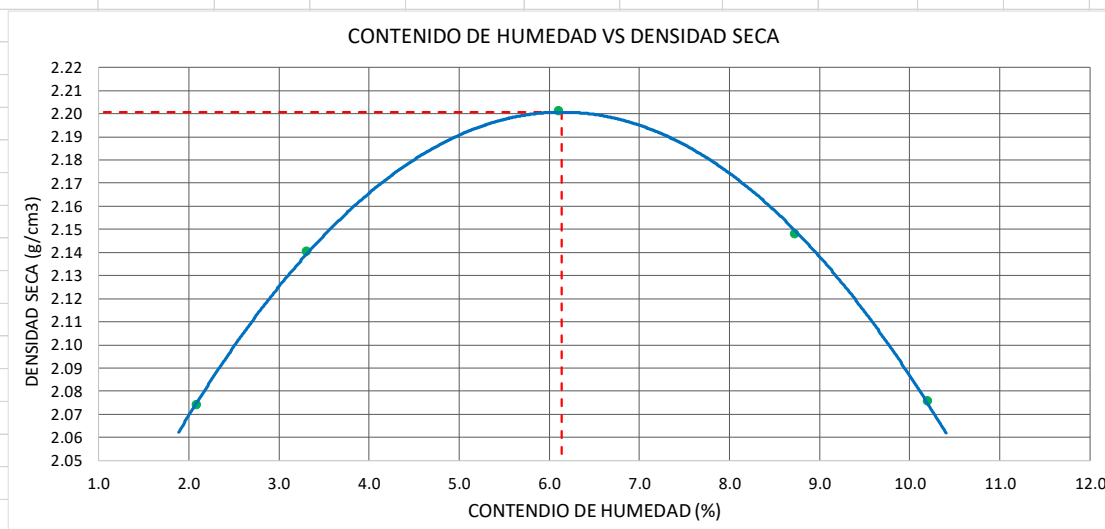
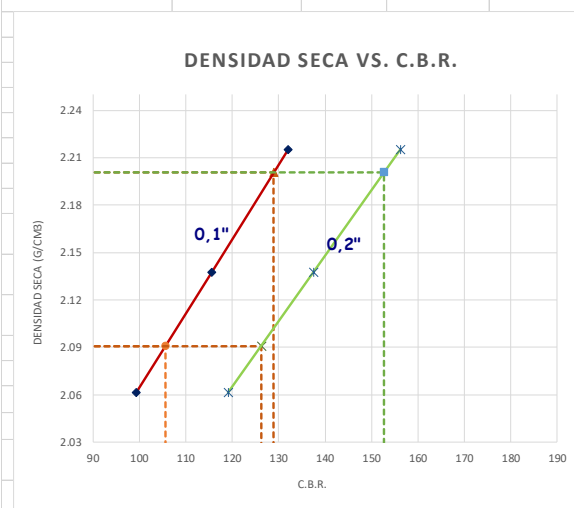
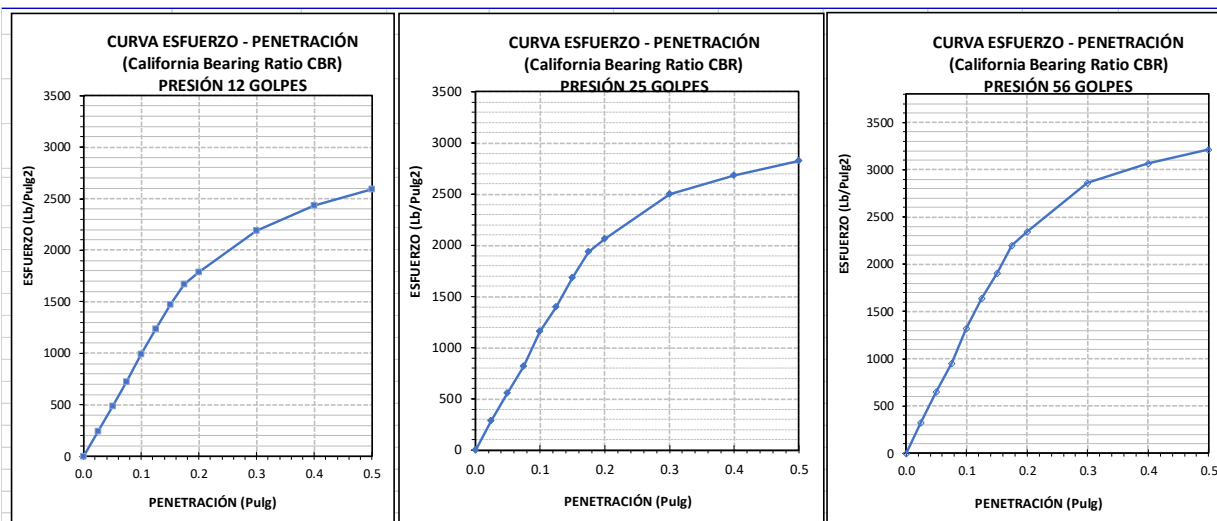

DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :
2.201
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
6.14

Tabla 29: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2%(cemento)+0.30 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		116.460			116.610			117.340		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		12717.00		12769.00	12957.00		13010.00	13191.00		13246.00
Peso Molde (g)		8086.00		8086.00	8150.00		8150.00	8209.00		8209.00
Peso de Muestra Húmeda (g)		4631.00		4683.00	4807.00		4860.00	4982.00		5037.00
Volumen del Molde (cm3)		2116.44		2116.44	2116.76		2116.76	2117.25		2117.25
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.19		2.21	2.27		2.30	2.35		2.38
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		A-15	A-10	A-15	A-04	A-07	A-16	B-01	A-13	B-02
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		491.50	394.80	367.90	435.20	425.60	372.10	493.10	412.50	326.80
Peso Seco + Tara (g)		465.70	374.90	346.20	412.40	404.90	351.10	466.80	392.90	307.50
Peso Agua (g)		25.80	19.90	21.70	22.80	20.70	21.00	26.30	19.60	19.30
Peso Tara (g)		46.40	51.20	46.40	47.00	72.60	67.50	43.60	78.00	44.60
Peso Muestra Seca (g)		419.30	323.70	299.80	365.40	332.30	283.60	423.20	314.90	262.90
Contenido de Humedad (%)		6.15%	6.15%	7.24%	6.24%	6.23%	7.40%	6.21%	6.22%	7.34%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.15%		7.24%	6.24%		7.40%	6.22%		7.34%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.061		2.063	2.138		2.138	2.215		2.216
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%
24	1	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	1.000	0.025	0.02%
48	2	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%
72	3	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%
96	4	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%
DIÁMETRO DEL PISTÓN:										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	334.2	17.02	243.14	388.5	19.79	282.65	450.1	22.92	327.50
1.27	0.050	670.5	34.15	487.80	759.5	38.68	552.56	900.1	45.84	654.87
1.91	0.075	990.8	50.46	720.85	1124.2	57.26	817.96	1313.9	66.92	955.96
2.54	0.100	1364.5	69.49	992.76	1588.5	80.90	1155.77	1814.5	92.41	1320.17
3.18	0.125	1695.8	86.37	1233.79	1921.4	97.86	1397.94	2252.7	114.73	1639.00
3.81	0.150	2024.5	103.10	1472.92	2316.4	117.97	1685.35	2622.1	133.54	1907.73
4.45	0.175	2294.3	116.85	1669.27	2661.2	135.53	1936.21	3022.6	153.94	2199.16
5.08	0.200	2455.7	125.07	1786.68	2835.5	144.41	2062.98	3219.9	163.99	2342.69
7.62	0.300	3005.0	153.04	2186.33	3436.9	175.04	2500.58	3937.0	200.51	2864.40
10.16	0.400	3349.3	170.58	2436.81	3690.1	187.93	2684.78	4213.9	214.61	3065.88
12.70	0.500	3558.8	181.25	2589.25	3884.2	197.82	2826.02	4423.3	225.28	3218.25



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.201
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.14

(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	992.76	69.49	1000	99.28	2.061
PRESION 25 GOLPES	1155.77	80.90	1000	115.58	2.138
PRESION 56 GOLPES	1320.17	92.41	1000	132.02	2.215

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1786.68	125.07	1500	119.11	2.061
PRESION 25 GOLPES	2062.98	144.41	1500	137.53	2.138
PRESION 56 GOLPES	2342.69	163.99	1500	156.18	2.215

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	105.54%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	128.93%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	126.19%
C.B.R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	152.68%

Tabla 30: Proctor Modificado, 2.0%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :		110		DIÁMETRO MOLDE (cm) :		15.24	
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1	2	3	4	5					
N° de Capas	5	5	5	5	5					
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56					
Peso Húmedo+ Molde (g)	10831.00	11024.00	11289.00	11289.00	11289.00					
Peso Molde (g)	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00					
Peso Húmedo (g)	4553.00	4746.00	5011.00	5011.00	4907.00					
Volumen del Molde (cm³)	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00					
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.137	2.227	2.351	2.351	2.303					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	B-03	A-02	A-01	A-12	B-04	A-16	A-13	A-06	B-05	A-10
Peso Húmedo + Tara (g)	311.60	298.20	335.50	397.50	331.90	358.40	339.00	485.30	357.00	306.70
Peso Seco + Tara (g)	306.50	293.00	326.60	386.50	316.50	340.50	317.70	452.30	330.70	282.10
Peso Agua (g)	5.10	5.20	8.90	11.00	15.40	17.90	21.30	33.00	26.30	24.60
Peso Tara (g)	84.10	67.30	75.00	75.30	82.20	67.50	78.00	81.20	83.40	51.20
Peso Muestra Seca (g)	222.40	225.70	251.60	311.20	234.30	273.00	239.70	371.10	247.30	230.90
Contenido de Humedad (%)	2.29	2.30	3.54	3.53	6.57	6.56	8.89	8.89	10.63	10.65
Contenido de Humedad promedio(%)	2.30		3.54		6.56		8.89		10.64	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.089		2.151		2.207		2.159		2.081	

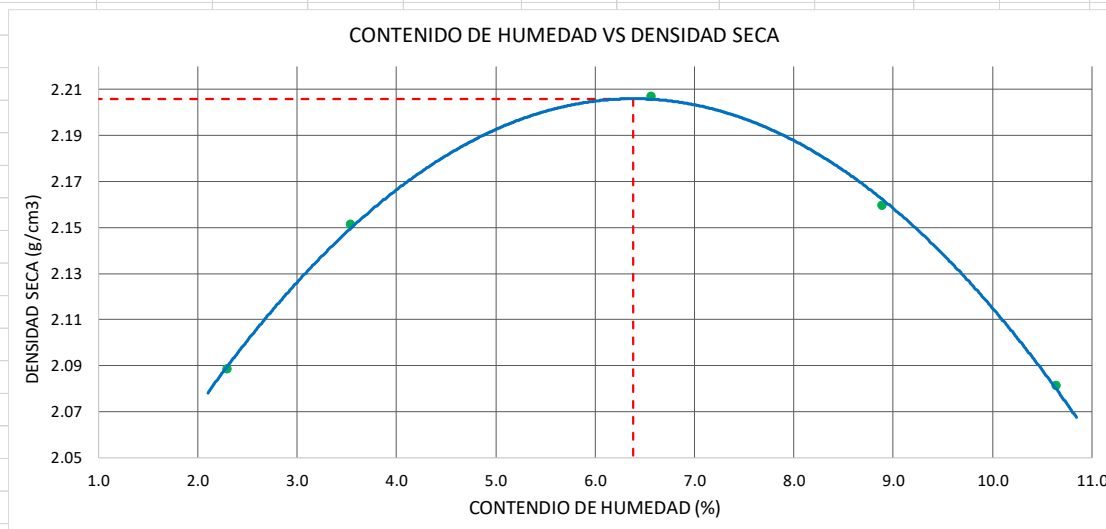
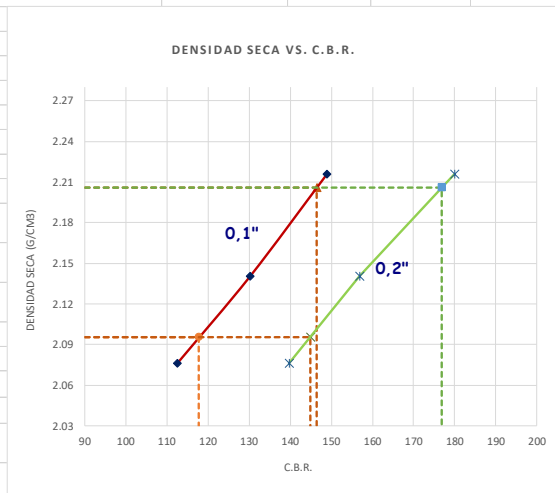
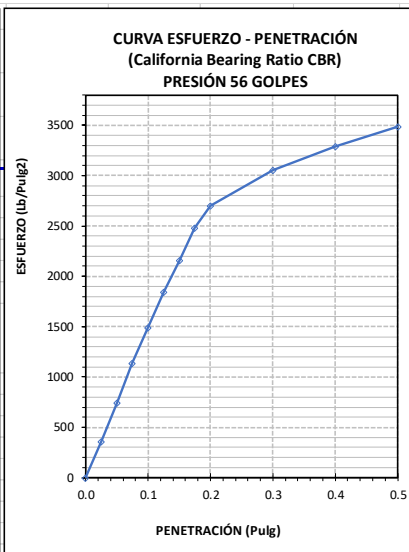
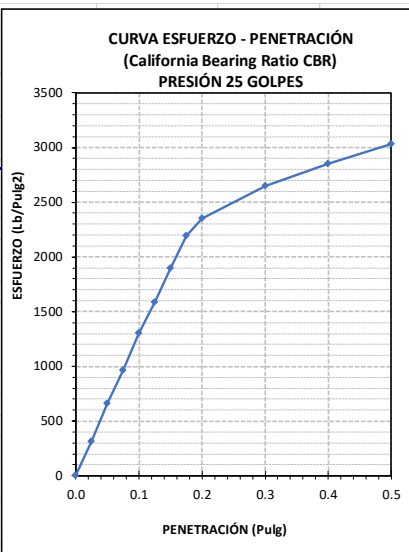
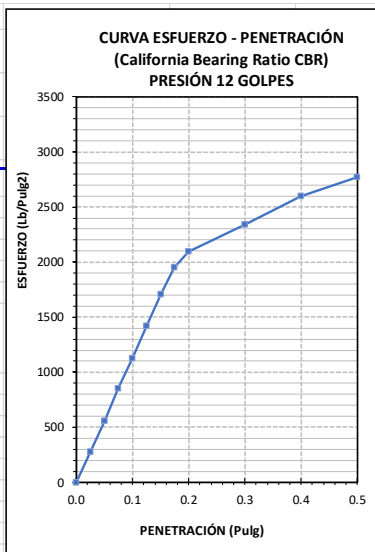

DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :
2.206
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
6.38

Tabla 31: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.0%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R													
N° Golpes por Capa	12			25			56						
Altura Molde (mm)	116.460			117.340			116.610						
N° Capas	5			5			5						
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)	ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES				
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)	12762.00		12803.00		13027.00		13090.00		13137.00				
Peso Molde (g)	8086.00		8086.00		8209.00		8209.00		8150.00				
Peso de Muestra Húmeda (g)	4676.00		4717.00		4818.00		4881.00		4987.00				
Volumen del Molde (cm3)	2116.44		2116.44		2117.25		2117.25		2116.76				
Densidad Húmeda (g/cm3)	2.21		2.23		2.28		2.31		2.36				
CONTENIDO DE HUMEDAD													
TARA N°	B-06	A-15	B-07	B-08	A-09	A-16	B-09	A-13	B-10				
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)	390.50	298.80	415.40	407.70	446.80	372.10	373.40	498.20	326.80				
Peso Seco + Tara (g)	372.20	283.60	392.70	387.60	424.80	350.60	353.90	473.20	306.50				
Peso Agua (g)	18.30	15.20	22.70	20.10	22.00	21.50	19.50	25.00	20.30				
Peso Tara (g)	87.40	46.40	82.60	69.00	75.80	67.50	45.40	78.00	45.60				
Peso Muestra Seca (g)	284.80	237.20	310.10	318.60	349.00	283.10	308.50	395.20	260.90				
Contenido de Humedad (%)	6.43%	6.41%	7.32%	6.31%	6.30%	7.59%	6.32%	6.33%	7.78%				
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.42%		7.32%		6.31%		7.59%		6.33%				
DENSIDAD SECA (g/cm3)	2.076		2.077		2.141		2.143		2.216				
ENSAYO DE EXPANSIÓN													
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES					
(Hs)	(Días)	LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN				
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)			
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%			
24	1	1.000	0.025	0.02%	1.000	0.025	0.02%	1.000	0.025	0.02%			
48	2	1.000	0.025	0.02%	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%			
72	3	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%			
96	4	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%			
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN													
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5			cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635		cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES					
(mm)	(pulg)	CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO				
			(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)			
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00			
0.64	0.025	378.2	19.26	275.17	425.2	21.66	309.36	494.2	25.17	359.56			
1.27	0.050	764.8	38.95	556.44	910.5	46.37	662.45	1024.6	52.18	745.46			
1.91	0.075	1169.5	59.56	850.89	1322.8	67.37	962.42	1558.3	79.36	1133.77			
2.54	0.100	1546.1	78.74	1124.89	1790.2	91.17	1302.49	2047.6	104.28	1489.76			
3.18	0.125	1948.3	99.23	1417.52	2182.5	111.15	1587.91	2532.2	128.96	1842.34			
3.81	0.150	2341.6	119.26	1703.67	2608.6	132.85	1897.93	2964.1	150.96	2156.58			
4.45	0.175	2680.3	136.50	1950.06	3012.8	153.44	2192.01	3412.4	173.79	2482.74			
5.08	0.200	2880.5	146.70	2095.75	3232.7	164.64	2352.00	3707.5	188.82	2697.45			
7.62	0.300	3214.7	163.72	2338.90	3645.5	185.66	2652.34	4198.7	213.84	3054.83			
10.16	0.400	3570.0	181.82	2597.41	3915.6	199.42	2848.86	4526.6	230.54	3293.40			
12.70	0.500	3812.4	194.16	2773.77	4164.9	212.12	3030.24	4798.1	244.37	3490.93			



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	2.206
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.38

(*) Valores Corregidos

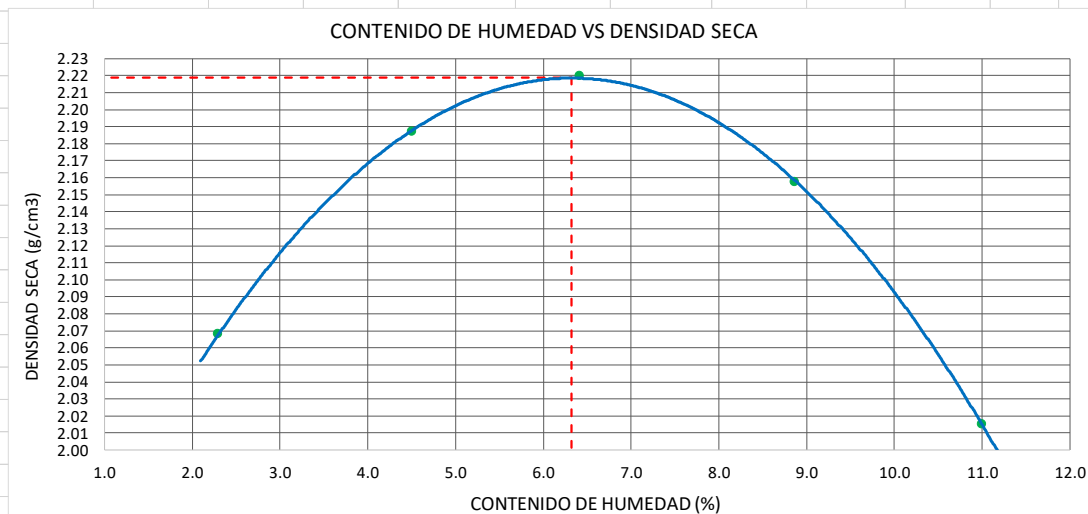
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1124.89	78.74	1000	112.49	2.076
PRESION 25 GOLPES	1302.49	91.17	1000	130.25	2.141
PRESION 56 GOLPES	1489.76	104.28	1000	148.98	2.216

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2095.75	146.70	1500	139.72	2.076
PRESION 25 GOLPES	2352.00	164.64	1500	156.80	2.141
PRESION 56 GOLPES	2697.45	188.82	1500	179.83	2.216

C. B. R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	117.83%
C. B. R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	146.50%
C. B. R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	144.86%
C. B. R. PARA EL 100 % DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	176.78%

Tabla 32: Proctor Modificado, 2.5%(cemento)+0.30 Lt/m3(proes).

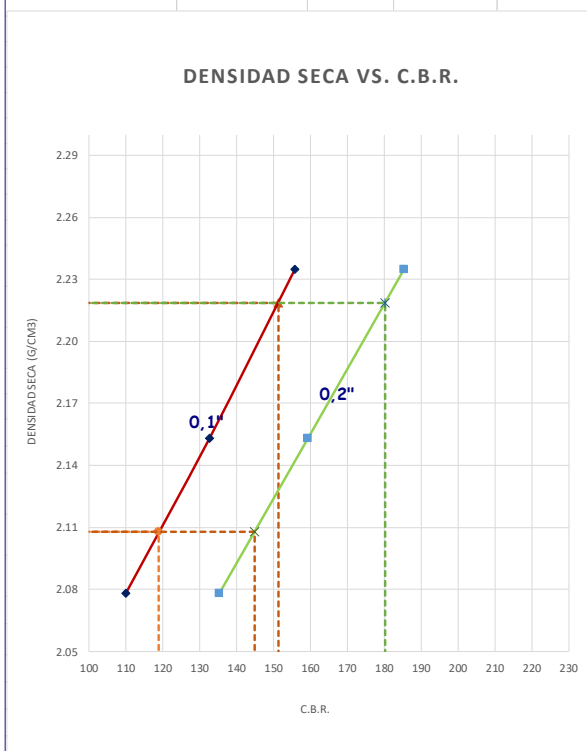
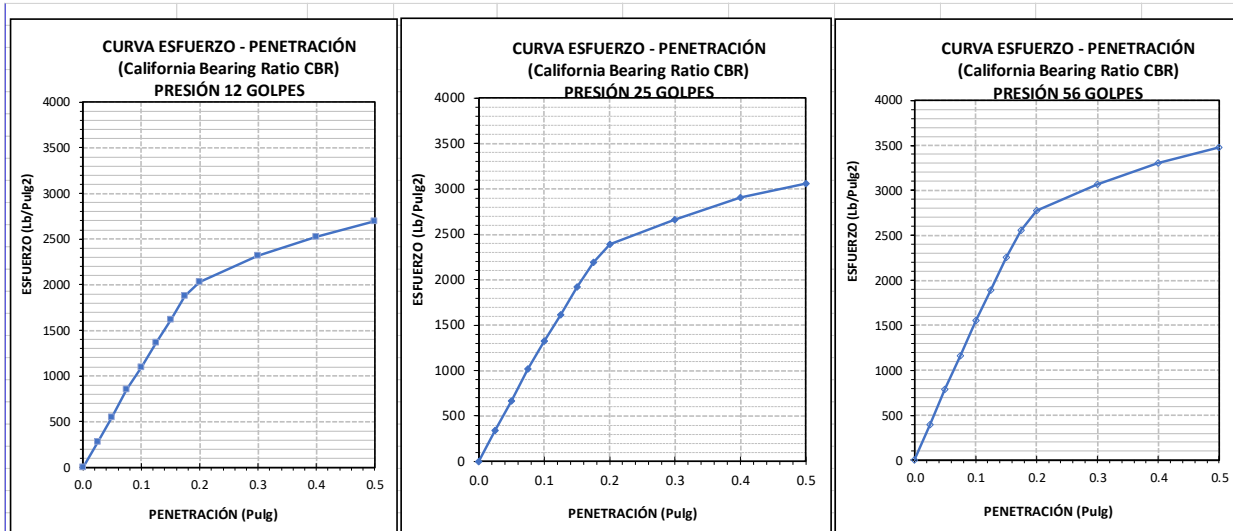
MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :		110		DIÁMETRO MOLDE (cm) :		15.24	
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1	2	3	4	5					
N° de Capas	5	5	5	5	5					
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56					
Peso Húmedo+ Molde (g)	10786.00	11148.00	11312.00	11284.00	11045.00					
Peso Molde (g)	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00					
Peso Húmedo (g)	4508.00	4870.00	5034.00	5006.00	4767.00					
Volumen del Molde (cm³)	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00					
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.115	2.285	2.362	2.349	2.237					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	A-13	A-01	B-11	A-15	B-12	A-10	A-12	A-02	A-14	A-10
Peso Húmedo + Tara (g)	372.50	409.20	272.10	294.30	258.60	253.70	257.90	294.50	350.60	275.30
Peso Seco + Tara (g)	365.90	401.70	264.00	283.60	248.20	241.50	243.00	276.00	324.40	253.10
Peso Agua (g)	6.60	7.50	8.10	10.70	10.40	12.20	14.90	18.50	26.20	22.20
Peso Tara (g)	78.00	75.00	84.00	46.40	86.40	51.20	75.30	67.30	86.30	51.20
Peso Muestra Seca (g)	287.90	326.70	180.00	237.20	161.80	190.30	167.70	208.70	238.10	201.90
Contenido de Humedad (%)	2.29	2.30	4.50	4.51	6.43	6.41	8.88	8.86	11.00	11.00
Contenido de Humedad promedio(%)	2.30		4.51		6.42		8.87		11.00	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.068		2.187		2.220		2.158		2.015	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.219	6.32

Tabla 33: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.5%(cemento)+0.30 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa	12			25			56			
Altura Molde (mm)	116.460			116.610			117.340			
N° Capas	5			5			5			
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)	12764.0		12822.0	12998.0		13064.0	13240.0		13298.0	
Peso Molde (g)	8086.0		8086.0	8150.0		8150.0	8209.0		8209.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)	4678.0		4736.0	4848.0		4914.0	5031.0		5089.0	
Volumen del Molde (cm3)	2116.44		2116.44	2116.76		2116.76	2117.25		2117.25	
Densidad Húmeda (g/cm3)	2.210		2.238	2.290		2.321	2.376		2.404	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	A-15	A-07	B-01	A-04	A-09	B-09	A-16	A-13	B-02	
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)	452.70	386.50	412.80	386.20	412.10	348.14	474.60	392.50	330.90	
Peso Seco + Tara (g)	428.40	367.70	386.40	365.90	392.00	326.20	450.30	373.80	310.80	
Peso Agua (g)	24.30	18.80	26.40	20.30	20.10	21.94	24.30	18.70	20.10	
Peso Tara (g)	46.40	72.60	43.60	47.00	75.80	45.40	67.50	78.00	44.60	
Peso Muestra Seca (g)	382.00	295.10	342.80	318.90	316.20	280.80	382.80	295.80	266.20	
Contenido de Humedad (%)	6.36%	6.37%	7.70%	6.37%	6.36%	7.81%	6.35%	6.32%	7.55%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.37%		7.70%	6.37%		7.81%	6.33%		7.55%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)	2.078		2.078	2.153		2.153	2.235		2.235	
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%
24	1	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%
48	2	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%
72	3	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%
96	4	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	381.3	19.42	277.42	466.3	23.75	339.26	540.0	27.50	392.89
1.27	0.050	754.4	38.42	548.88	916.3	46.66	666.63	1080.1	55.01	785.84
1.91	0.075	1168.9	59.53	850.45	1397.6	71.18	1016.85	1602.3	81.60	1165.78
2.54	0.100	1510.3	76.92	1098.82	1822.5	92.82	1325.99	2141.3	109.06	1557.94
3.18	0.125	1875.0	95.49	1364.19	2221.5	113.14	1616.29	2594.5	132.14	1887.67
3.81	0.150	2220.5	113.09	1615.56	2644.6	134.69	1924.12	3100.6	157.91	2255.89
4.45	0.175	2579.6	131.38	1876.83	3014.7	153.54	2193.39	3515.3	179.03	2557.61
5.08	0.200	2790.3	142.11	2030.13	3282.6	167.18	2388.31	3820.5	194.58	2779.66
7.62	0.300	3185.2	162.22	2317.44	3661.6	186.48	2664.05	4214.3	214.63	3066.18
10.16	0.400	3475.6	177.01	2528.73	3992.6	203.34	2904.88	4542.9	231.37	3305.26
12.70	0.500	3699.4	188.41	2691.56	4201.5	213.98	3056.87	4775.2	243.20	3474.27



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.219
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.32

(*) Valores Corregidos

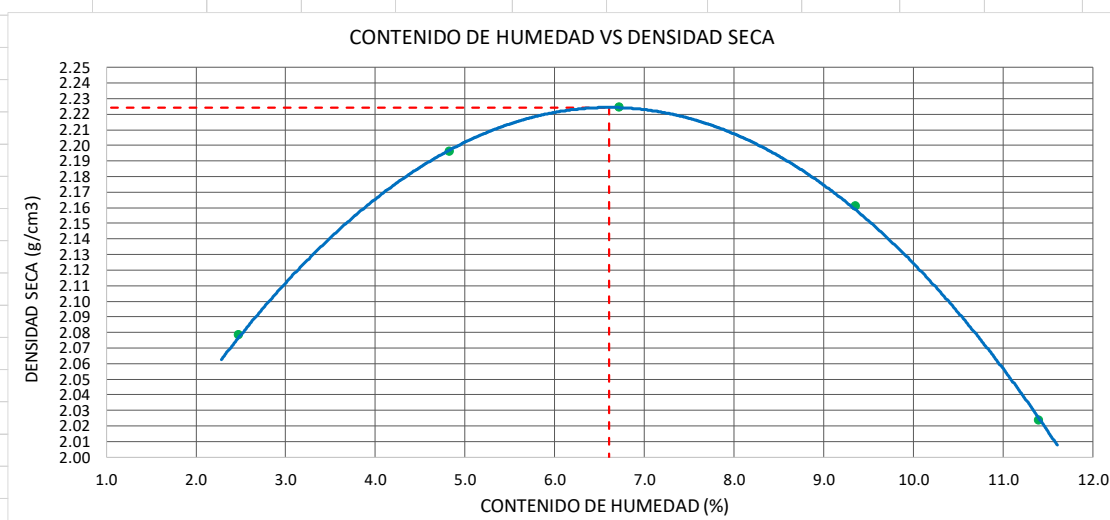
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1098.82	76.92	1000	109.88	2.078
PRESION 25 GOLPES	1325.99	92.82	1000	132.60	2.153
PRESION 56 GOLPES	1557.94	109.06	1000	155.79	2.235

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2030.13	142.11	1500	135.34	2.078
PRESION 25 GOLPES	2388.31	167.18	1500	159.22	2.153
PRESION 56 GOLPES	2779.66	194.58	1500	185.31	2.235

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	118.86%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	151.25%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	144.78%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	180.20%

Tabla 34: Proctor Modificado, 2.5%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

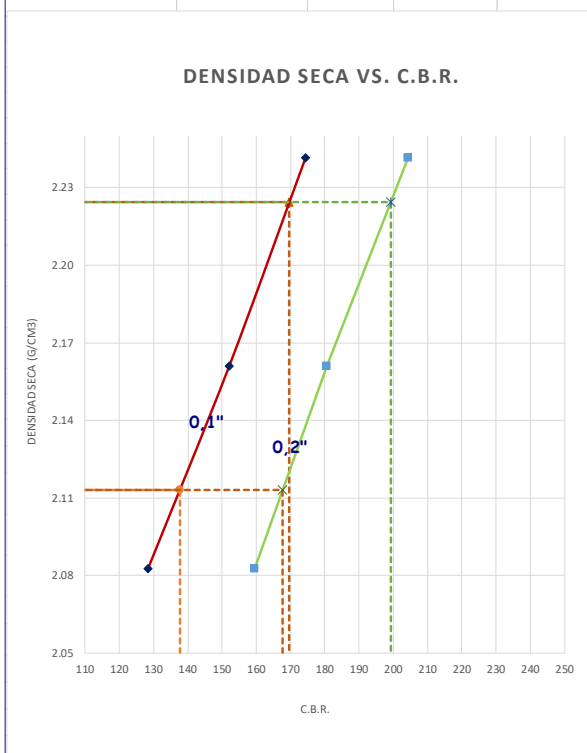
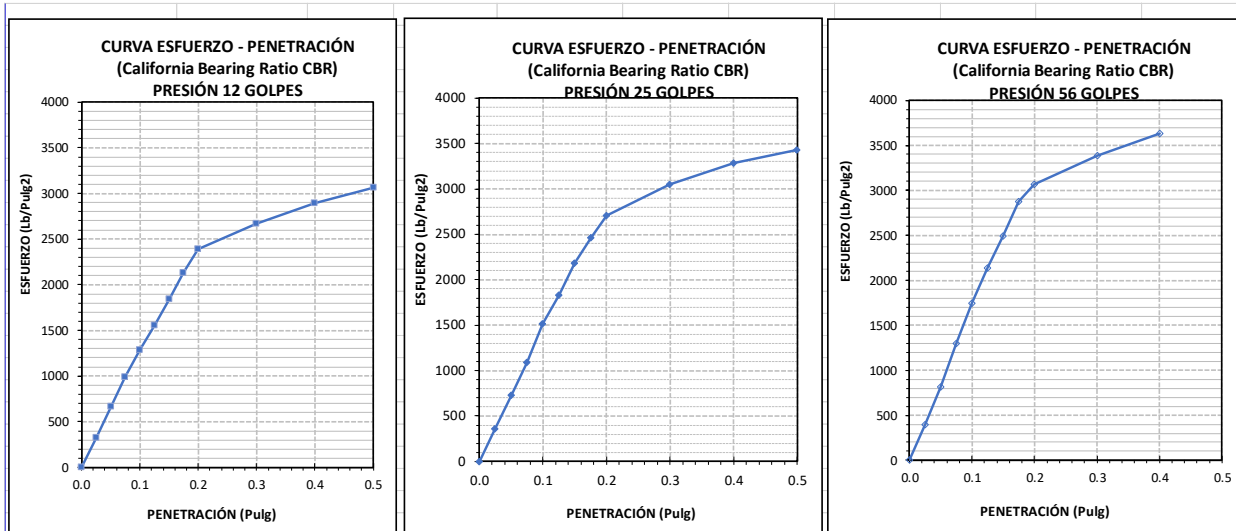
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	T. ESTUFA (°C) :		110	DIÁMETRO MOLDE (cm) :		15.24			
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1	2	3	4	5					
N° de Capas	5	5	5	5	5					
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56					
Peso Húmedo+ Molde (g)	10816.00	11183.00	11336.00	11313.00	11082.00					
Peso Molde (g)	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00	6278.00					
Peso Húmedo (g)	4538.00	4905.00	5058.00	5035.00	4804.00					
Volumen del Molde (cm³)	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00					
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.130	2.302	2.374	2.363	2.254					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	B-04	A-11	A-13	B-02	B-13	A-09	B-14	A-06	B-15	B-01
Peso Húmedo + Tara (g)	417.50	308.30	319.10	321.80	306.60	365.20	301.90	384.90	389.60	298.70
Peso Seco + Tara (g)	409.40	302.00	308.00	309.00	292.20	347.00	283.20	358.90	357.80	272.60
Peso Agua (g)	8.10	6.30	11.10	12.80	14.40	18.20	18.70	26.00	31.80	26.10
Peso Tara (g)	82.20	48.60	78.00	44.60	78.40	75.80	83.20	81.20	79.10	43.60
Peso Muestra Seca (g)	327.20	253.40	230.00	264.40	213.80	271.20	200.00	277.70	278.70	229.00
Contenido de Humedad (%)	2.48	2.49	4.83	4.84	6.74	6.71	9.35	9.36	11.41	11.40
Contenido de Humedad promedio(%)	2.48		4.83		6.72		9.36		11.40	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.078		2.196		2.224		2.161		2.024	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.224	6.60

Tabla 35: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 2.5%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R											
N° Golpes por Capa		12			25			56			
Altura Molde (mm)		116.610			117.340			116.460			
N° Capas		5			5			5			
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		12787.0		12847.0	13087.0		13144.0	13210.0		13269.0	
Peso Molde (g)		8086.0		8086.0	8209.0		8209.0	8150.0		8150.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)		4701.0		4761.0	4878.0		4935.0	5060.0		5119.0	
Volumen del Molde (cm3)		2116.76		2116.76	2117.25		2117.25	2116.44		2116.44	
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.221		2.249	2.304		2.331	2.391		2.419	
CONTENIDO DE HUMEDAD											
TARA N°		B-16	A-16	B-17	B-18	A-05	B-01	C-01	A-13	C-02	
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		440.10	332.40	386.20	352.60	347.80	398.44	420.90	379.30	442.74	
Peso Seco + Tara (g)		417.50	315.90	363.70	336.10	330.90	372.70	400.10	360.50	413.40	
Peso Agua (g)		22.60	16.50	22.50	16.50	16.90	25.74	20.80	18.80	29.34	
Peso Tara (g)		76.60	67.50	78.60	87.30	75.40	43.60	87.50	78.00	42.20	
Peso Muestra Seca (g)		340.90	248.40	285.10	248.80	255.50	329.10	312.60	282.50	371.20	
Contenido de Humedad (%)		6.63%	6.64%	7.89%	6.63%	6.61%	7.82%	6.65%	6.65%	7.90%	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.64%		7.89%	6.62%		7.82%	6.65%		7.90%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.083		2.085	2.161		2.162	2.242		2.242	
ENSAYO DE EXPANSIÓN											
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		LECTURA DEFORMÍMETRO		EXPANSIÓN	LECTURA DEFORMÍMETRO		EXPANSIÓN	LECTURA DEFORMÍMETRO		EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)		
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	
24	1	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	1.000	0.025	0.02%	
48	2	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	1.000	0.025	0.02%	
72	3	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%	3.000	0.076	0.07%	
96	4	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%	3.000	0.076	0.07%	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5			cm			ÁREA DEL PISTÓN:		19.635	cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		CARGA (kg)		ESFUERZO	CARGA (kg)		ESFUERZO	CARGA (kg)		ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	
0.64	0.025	445.20	22.67	323.91	496.24	25.27	361.05	546.9	27.85	397.91	
1.27	0.050	910.20	46.36	662.23	998.60	50.86	726.55	1125.6	57.33	818.95	
1.91	0.075	1362.60	69.40	991.38	1497.80	76.28	1089.75	1790.4	91.18	1302.63	
2.54	0.100	1765.60	89.92	1284.59	2088.90	106.39	1519.81	2396.6	122.06	1743.68	
3.18	0.125	2142.30	109.11	1558.66	2514.10	128.04	1829.17	2940.7	149.77	2139.55	
3.81	0.150	2536.90	129.20	1845.76	2996.60	152.62	2180.22	3420.7	174.22	2488.81	
4.45	0.175	2925.74	149.01	2128.67	3386.86	172.49	2464.16	3952.4	201.29	2875.63	
5.08	0.200	3288.40	167.48	2392.53	3724.80	189.70	2710.04	4212.5	214.54	3064.87	
7.62	0.300	3669.00	186.86	2669.44	4198.40	213.82	3054.61	4659.5	237.31	3390.09	
10.16	0.400	3971.60	202.27	2889.60	4519.60	230.18	3288.30	4994.8	254.38	3634.04	
12.70	0.500	4206.90	214.26	3060.80	4715.8	240.17	3431.05				



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.224
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.60

(*) Valores Corregidos

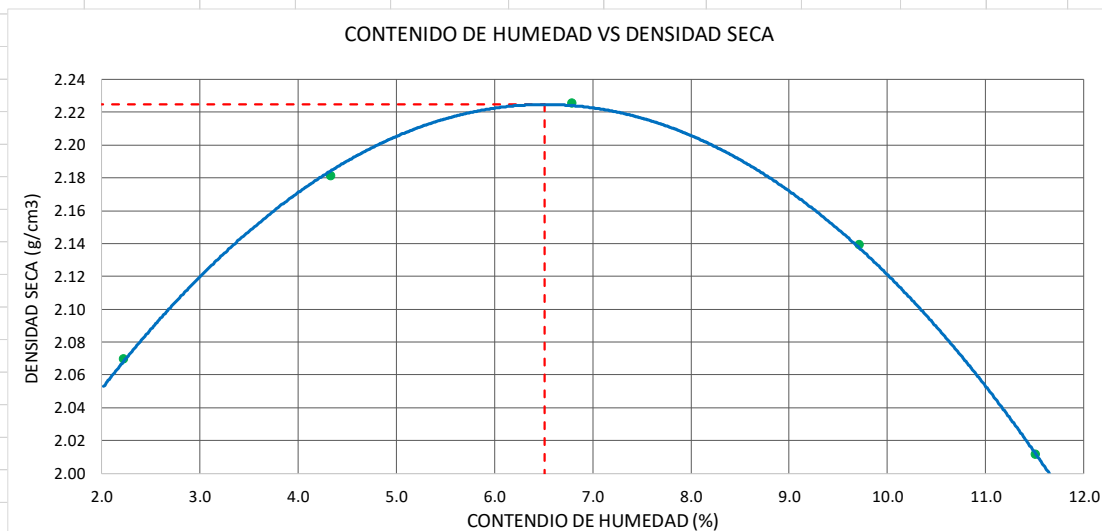
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1284.59	89.92	1000	128.46	2.083
PRESION 25 GOLPES	1519.81	106.39	1000	151.98	2.161
PRESION 56 GOLPES	1743.68	122.06	1000	174.37	2.242

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2392.53	167.48	1500	159.50	2.083
PRESION 25 GOLPES	2710.04	189.70	1500	180.67	2.161
PRESION 56 GOLPES	3064.87	214.54	1500	204.32	2.242

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	137.61%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	169.55%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	167.74%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	199.23%

Tabla 36: Proctor Modificado, 3.0%(cemento)+0.30 Lt/m3(proes).

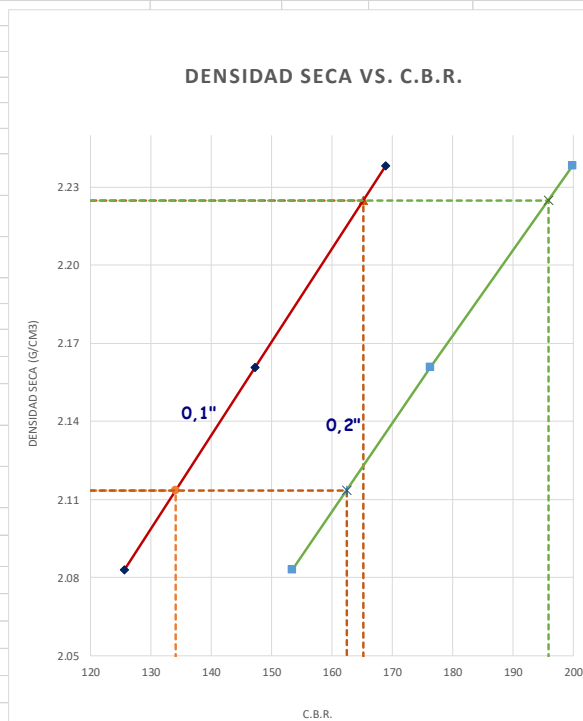
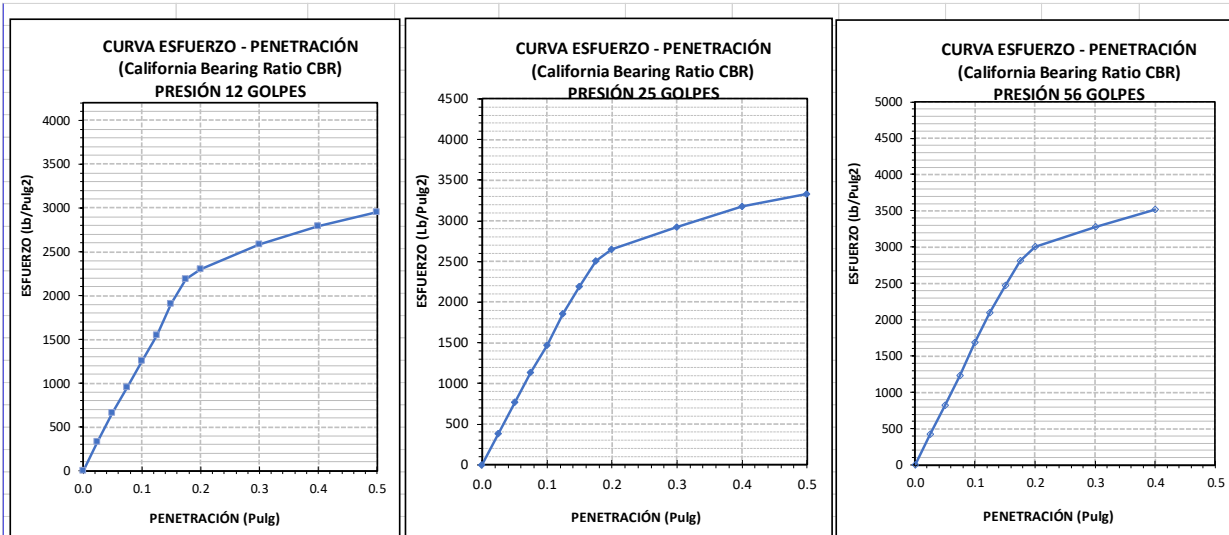
MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :	110	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.24				
DENSIDAD HÚMEDA										
ENSAYO	1	2	3	4	5					
N° de Capas	5	5	5	5	5					
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56					
Peso Húmedo+ Molde (g)	10784.00	11125.00	11340.00	11277.00	11055.00					
Peso Molde (g)	6276.00	6276.00	6276.00	6276.00	6276.00					
Peso Húmedo (g)	4508.00	4849.00	5064.00	5001.00	4779.00					
Volumen del Molde (cm³)	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00	2131.00					
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.115	2.275	2.376	2.347	2.243					
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°	A-13	A-01	B-11	A-10	C-03	A-14	A-12	B-02	C-04	A-09
Peso Húmedo + Tara (g)	308.30	314.50	311.20	311.70	326.80	349.10	321.40	289.80	347.10	298.70
Peso Seco + Tara (g)	303.30	309.30	301.80	300.90	311.40	332.40	299.60	268.10	319.40	275.70
Peso Agua (g)	5.00	5.20	9.40	10.80	15.40	16.70	21.80	21.70	27.70	23.00
Peso Tara (g)	78.00	75.00	84.00	51.20	84.20	86.30	75.30	44.60	78.50	75.80
Peso Muestra Seca (g)	225.30	234.30	217.80	249.70	227.20	246.10	224.30	223.50	240.90	199.90
Contenido de Humedad (%)	2.22	2.22	4.32	4.33	6.78	6.79	9.72	9.71	11.50	11.51
Contenido de Humedad promedio(%)	2.22		4.33		6.79		9.72		11.51	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.070		2.181		2.225		2.139		2.011	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.225	6.51

Tabla 37: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 3.0%(cemento)+0.30 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R												
N° Golpes por Capa	12			25			56					
Altura Molde (mm)	116.460			116.610			117.340					
N° Capas	5			5			5					
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)	ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)	12781.0		12842.0		13025.0		13084.0		13256.0		13314.0	
Peso Molde (g)	8086.0		8086.0		8150.0		8150.0		8209.0		8209.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)	4695.0		4756.0		4875.0		4934.0		5047.0		5105.0	
Volumen del Molde (cm3)	2116.44		2116.44		2116.76		2116.76		2117.25		2117.25	
Densidad Húmeda (g/cm3)	2.218		2.247		2.303		2.331		2.384		2.411	
CONTENIDO DE HUMEDAD												
TARA N°	B-16	A-05	C-06	C-07	A-09	C-08	C-09	A-16	C-10			
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)	372.40	399.60	337.40	385.40	339.70	347.80	404.30	378.70	310.60			
Peso Seco + Tara (g)	352.40	379.80	316.32	364.80	323.40	325.70	383.10	359.70	291.90			
Peso Agua (g)	20.00	19.80	21.08	20.60	16.30	22.10	21.20	19.00	18.70			
Peso Tara (g)	44.20	75.40	47.50	52.20	75.80	44.40	57.50	67.50	48.50			
Peso Muestra Seca (g)	308.20	304.40	268.82	312.60	247.60	281.30	325.60	292.20	243.40			
Contenido de Humedad (%)	6.49%	6.50%	7.84%	6.59%	6.58%	7.86%	6.51%	6.50%	7.68%			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.50%		7.84%		6.59%		7.86%		6.51%		7.68%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)	2.083		2.084		2.161		2.161		2.238		2.239	
ENSAYO DE EXPANSIÓN												
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES				
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN			
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%		
24	1	0.000	0.000	0.00%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%		
48	2	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	2.000	0.051	0.04%		
72	3	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.06%		
96	4	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.07%	3.000	0.076	0.06%		
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN												
DIÁMETRO DEL PISTÓN:			5		cm		ÁREA DEL PISTÓN:			19.635		cm2
PENETRACIÓN			PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
			CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)		
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.64	0.025	449.5	22.89	327.04	523.0	26.64	380.52	572.9	29.18	416.82		
1.27	0.050	905.0	46.09	658.45	1056.4	53.80	768.60	1132.3	57.67	823.82		
1.91	0.075	1314.4	66.94	956.31	1563.2	79.61	1137.33	1695.6	86.36	1233.66		
2.54	0.100	1725.4	87.87	1255.34	2024.2	103.09	1472.74	2321.0	118.21	1688.68		
3.18	0.125	2128.7	108.41	1548.77	2555.3	130.14	1859.15	2884.6	146.91	2098.74		
3.81	0.150	2615.4	133.20	1902.87	3017.1	153.66	2195.14	3394.5	172.88	2469.72		
4.45	0.175	3004.8	153.03	2186.19	3445.4	175.47	2506.75	3865.9	196.89	2812.70		
5.08	0.200	3163.3	161.11	2301.51	3635.6	185.16	2645.14	4121.4	209.90	2998.59		
7.62	0.300	3550.0	180.80	2582.86	4012.6	204.36	2919.43	4508.7	229.63	3280.37		
10.16	0.400	3842.6	195.70	2795.74	4365.0	222.31	3175.82	4835.6	246.28	3518.22		
12.70	0.500	4058.6	206.70	2952.90	4578.2	233.17	3330.94					



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³)	: 2.225
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%)	: 6.51

(*) Valores Corregidos

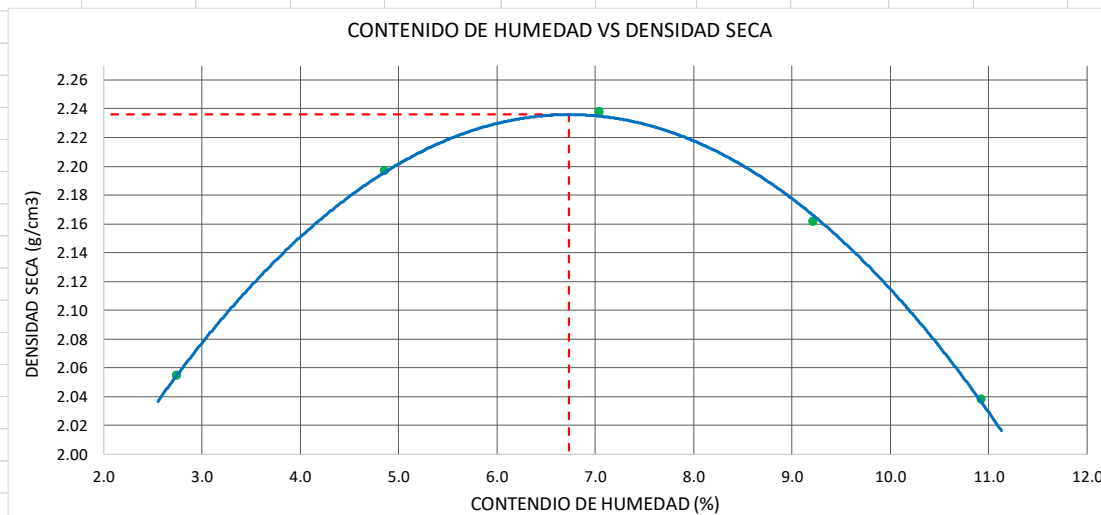
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1255.34	87.87	1000	125.53	2.083
PRESION 25 GOLPES	1472.74	103.09	1000	147.27	2.161
PRESION 56 GOLPES	1688.68	118.21	1000	168.87	2.238

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2301.51	161.11	1500	153.43	2.083
PRESION 25 GOLPES	2645.14	185.16	1500	176.34	2.161
PRESION 56 GOLPES	2998.59	209.90	1500	199.91	2.238

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	134.06%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	165.13%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	162.42%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	195.82%

Tabla 38: Proctor Modificado, 3.0%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

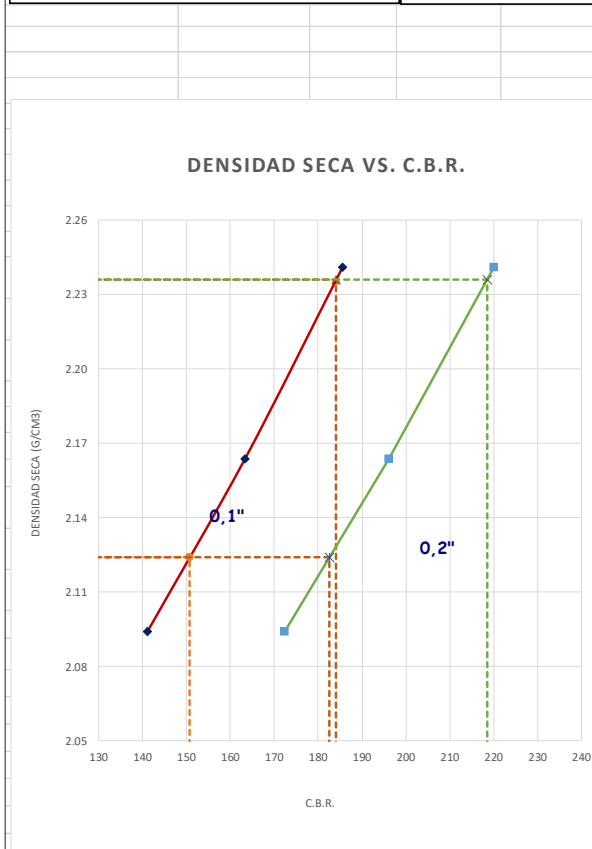
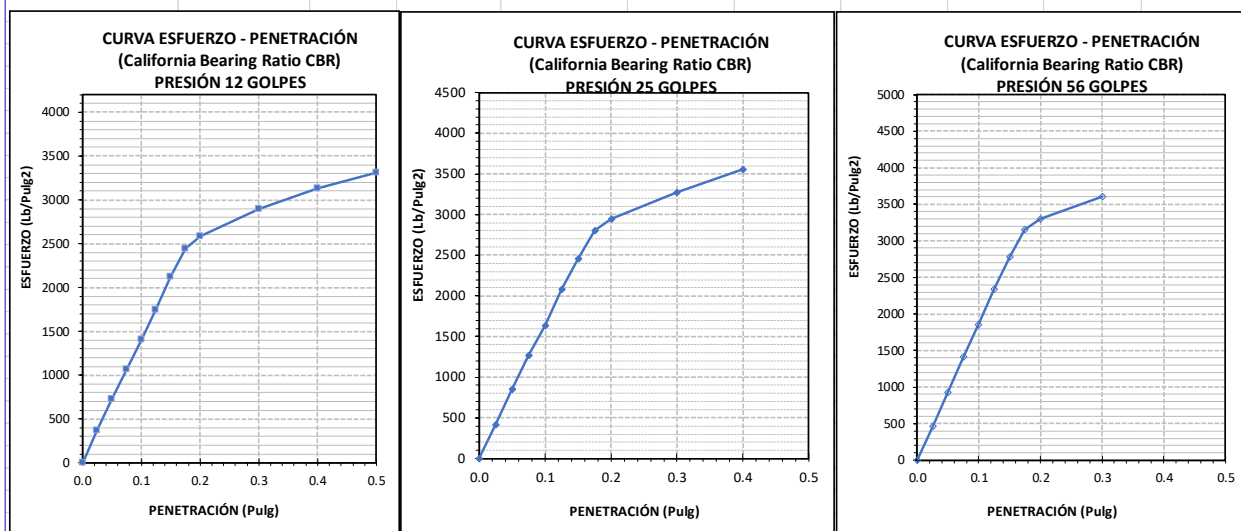
MÉTODO DE ENSAYO	"C"		T. ESTUFA (°C) :			110		DIÁMETRO MOLDE (cm) :			15.24	
DENSIDAD HÚMEDA												
ENSAYO	1		2		3		4		5			
N° de Capas	5		5		5		5		5			
N° de Golpes por Capa	56		56		56		56		56			
Peso Húmedo+ Molde (g)	10775.00		11184.00		11380.00		11306.00		11094.00			
Peso Molde (g)	6276.00		6276.00		6276.00		6276.00		6276.00			
Peso Húmedo (g)	4499.00		4908.00		5104.00		5030.00		4818.00			
Volumen del Molde (cm³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00		2131.00			
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.111		2.303		2.395		2.360		2.261			
CONTENIDO DE HUMEDAD												
TARA N°	C-04	B-11	C-11	B-16	C-12	A-14	C-13	B-07	C-14	A-16		
Peso Húmedo + Tara (g)	424.50	301.40	395.40	329.60	435.90	382.40	468.50	389.40	412.40	313.90		
Peso Seco + Tara (g)	415.20	295.60	380.90	317.90	412.10	362.90	435.50	363.50	380.10	289.60		
Peso Agua (g)	9.30	5.80	14.50	11.70	23.80	19.50	33.00	25.90	32.30	24.30		
Peso Tara (g)	78.50	84.00	83.10	76.60	74.20	86.30	77.50	82.60	84.40	67.50		
Peso Muestra Seca (g)	336.70	211.60	297.80	241.30	337.90	276.60	358.00	280.90	295.70	222.10		
Contenido de Humedad (%)	2.76	2.74	4.87	4.85	7.04	7.05	9.22	9.22	10.92	10.94		
Contenido de Humedad promedio(%)	2.75		4.86		7.05		9.22		10.93			
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.055		2.196		2.237		2.161		2.038			



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.236	6.74

Tabla 39: Ensayo California Bearing Ratio (CBR), 3.0%(cemento)+0.35 Lt/m3(proes).

COMPACTACIÓN C B R												
Nº Golpes por Capa	12			25			56					
Altura Molde (mm)	116.610			117.340			116.460					
Nº Capas	5			5			5					
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)	ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)	12880.0		12919.0		13099.0		13154.0		13148.0		13199.0	
Peso Molde (g)	8150.0		8150.0		8209.0		8209.0		8086.0		8086.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)	4730.0		4769.0		4890.0		4945.0		5062.0		5113.0	
Volumen del Molde (cm3)	2116.76		2116.76		2117.25		2117.25		2116.44		2116.44	
Densidad Húmeda (g/cm3)	2.235		2.253		2.310		2.336		2.392		2.416	
CONTENIDO DE HUMEDAD												
TARA N°	C-05	B-11	C-15	C-16	A-09	C-17	C-18	A-16	C-10			
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)	394.20	429.50	367.40	345.60	384.30	325.20	512.40	386.30	445.40			
Peso Seco + Tara (g)	372.40	407.80	344.40	326.50	364.90	307.10	485.10	366.20	416.90			
Peso Agua (g)	21.80	21.70	23.00	19.10	19.40	18.10	27.30	20.10	28.50			
Peso Tara (g)	47.70	84.00	42.40	44.50	75.80	77.80	79.40	67.50	48.50			
Peso Muestra Seca (g)	324.70	323.80	302.00	282.00	289.10	229.30	405.70	298.70	368.40			
Contenido de Humedad (%)	6.71%	6.70%	7.62%	6.77%	6.71%	7.89%	6.73%	6.73%	7.74%			
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	6.71%		7.62%		6.74%		7.89%		6.73%		7.74%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)	2.094		2.094		2.164		2.165		2.241		2.242	
ENSAYO DE EXPANSIÓN												
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES				
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN			
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		
0	0	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.00%		
24	1	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%		
48	2	0.000	0.000	0.00%	1.000	0.025	0.02%	3.000	0.076	0.07%		
72	3	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.07%		
96	4	1.000	0.025	0.02%	2.000	0.051	0.04%	3.000	0.076	0.07%		
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN												
DIÁMETRO DEL PISTÓN:			5		cm		ÁREA DEL PISTÓN:			19.635		cm2
PENETRACIÓN			PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
			CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)	(Kg/cm2)		(Lb/Pulg2)		
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.64	0.025	503.4	25.64	366.29	575.8	29.32	418.90	641.6	32.68	466.84		
1.27	0.050	998.7	50.86	726.62	1173.2	59.75	853.56	1268.2	64.59	922.68		
1.91	0.075	1472.1	74.97	1071.07	1750.8	89.17	1273.81	1935.1	98.55	1407.89		
2.54	0.100	1939.9	98.80	1411.40	2245.1	114.34	1633.46	2550.8	129.91	1855.87		
3.18	0.125	2404.1	122.44	1749.17	2861.9	145.76	2082.25	3220.8	164.03	2343.31		
3.81	0.150	2913.2	148.37	2119.58	3379.2	172.10	2458.55	3821.8	194.64	2780.64		
4.45	0.175	3365.4	171.40	2448.53	3858.8	196.53	2807.56	4339.8	221.02	3157.49		
5.08	0.200	3552.1	180.91	2584.39	4044.9	206.00	2942.91	4536.5	231.04	3300.60		
7.62	0.300	3976.0	202.50	2892.80	4494.1	228.88	3269.76	4956.9	252.45	3606.47		
10.16	0.400	4303.7	219.19	3131.23	4888.8	248.98	3556.92					
12.70	0.500	4545.6	231.51	3307.24								



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³) :	2.236
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.74

(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	1411.40	98.80	1000	141.14	2.094
PRESION 25 GOLPES	1633.46	114.34	1000	163.35	2.164
PRESION 56 GOLPES	1855.87	129.91	1000	185.59	2.241

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	2584.39	180.91	1500	172.29	2.094
PRESION 25 GOLPES	2942.91	206.00	1500	196.19	2.164
PRESION 56 GOLPES	3300.60	231.04	1500	220.04	2.241

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	150.70%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	184.13%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	182.59%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	218.48%

ANEXOS 03: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO PROES



FICHA TÉCNICA



i. Tecnología PROES

El proceso PROES® de estabilización química de suelos (patentado) trata el suelo natural transformándolo en una base impermeable, resistente (CBR > 100%) y flexible.

Este proceso ocupa:

- El suelo natural con plasticidad
- El aditivo líquido PROES, que actúa por ionización y ordena las partículas del suelo.
- Aditivo sólido que sirve como aglomerante.

La base generada con PROES aporta toda la capacidad estructural necesaria, por lo que requiere de una carpeta de rodado sólo como protección de la abrasión producida por el tráfico y según el estándar de operación esperado.

ii. Consideraciones de uso.

- Se deben asegurar condiciones de homogeneidad y composición adecuada en el suelo a tratar de acuerdo a estudios y especificaciones de acuerdo a PROES.
- Al suelo a tratar se debe agregar un aditivo sólido, el cuál consiste en cemento u otro filler gestionable localmente.
- El aditivo líquido PROES se agrega al suelo en dosis de 0,30 a 0,35 lt/m³ de suelo estabilizado. La aplicación se realiza utilizando un camión aljibe, donde se diluye el aditivo PROES en agua previo a su aplicación.
- La finalización del proceso contempla revolver y extender el suelo tratado con motoniveladora, y luego el compactado con rodillo vibratorio. Este proceso debe realizarse en las 4 horas inmediatamente posteriores al riego.

iii. Condiciones de transporte del aditivo líquido

Envase : Estanque HDPE anillado de 55 galones 200 litros, sellado, diámetro 595 mm, altura 888 mm (ver ilustración adjunta).

Transporte: : los estanques se movilizan en pallets de 1000mm x 1200 mm.



iv. Condiciones químicas del aditivo líquido

División de riesgo : Clase 8 - Líquido corrosivo

Código UN : NU 3256

Estado físico : líquido de color oscuro y apariencia oleosa

Peso específico : 1,15

pH : 1 a 1,5 en estanque, 4 a 6 en aplicación según dilución.

Estabilidad : producto estable a temperatura ambiente, mantener bajo 100°C

Fecha de caducación : no tiene

ANEXOS 04: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montemico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.60
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2600
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECÍFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 26.0 (Mínimo 266)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-05-2017 al 31-05-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.

(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

ANEXOS 05: AUTORIZACIÓN DE USO EXTERNO DE LABORATORIO



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Teléfono N° 341518, Anexo 1217-Edificio 1C-106
Cajamarca - Perú



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

Cajamarca, 16 de junio de 2023.

OFICIO N° 532-2023-EAPIC-FI-UNC

Señor:
Luis karlo Nicolai Torres Angulo

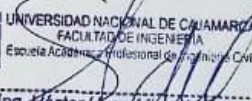
PRESENTE:

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y, al mismo tiempo, autorizar el uso del Laboratorio “GUERSAN INGENIEROS SRL”; para que realice sus respectivos ensayos de su tesis titulado: “INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO, COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA LAS HUANGAS-BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO AFIRMADO ESTABILIZADO”.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para testimoniarle las muestras de mi especial deferencia.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil
Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada
DIRECTOR

Cc.
- Archivo

ANEXOS 06: CONSTANCIA DE LABORATORIO



SUPERVISION Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERIA
ELABORACION DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
SERVICIO DE TOPOGRAFIA Y ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS
CEL. 939291809 / TEL. 076 633519

El sr. Leiner Guerrero Gonzales, identificado con DNI N° 45567546, Gerente General de GUERSAN INGENIEROS S.R.L. con RUC N° 20602101488 y registro INDECOPI N° 00102926, Deja:

CONSTANCIA:

Que, **LUIS KARLO NICOLAI TORRES ANGULO**, identificado con DNI N° 73133094 bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha ejecutado algunos ensayos de laboratorio que corresponden a su proyecto de Tesis: **"INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I Y ACEITE SULFONADO, COMO AGENTES ESTABILIZANTES DEL MATERIAL GRANULAR DE LA CANTERA LAS HUANGAS-BAMBAMARCA PARA SU EMPLEO COMO AFIRMADO ESTABILIZADO"**, aprobado mediante Resolución de consejo de Facultad N° 0171-2023-FI-UNC, bajo la supervisión del Ingeniero encargado del laboratorio **Jhonny Vásquez Torres** especialista de Mecánica de Suelos y Pavimentos. Los ensayos ejecutados por el Tesista fueron los siguientes:

- Ensayo de CBR

Los ensayos fueron realizados desde el 15 de setiembre de 2023 hasta el 30 de setiembre del 2023.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 29 de setiembre de 2024

Atentamente;

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.


LEINER GUERRERO GONZALES
GERENTE GENERAL