

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE
DE LA VÍA ANTENOR ORREGO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL Y
ESCORIA - JAÉN 2023**

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

**PRESENTADA POR:
BACH. JESSICA PAOLA CUBAS TORO**

**ASESOR:
MG. ING. ALEJANDRO CUBAS BECERRA**

CAJAMARCA- PERU

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: JESSICA PAOLA CUBAS TORO
DNI: 73242316
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. Asesor: M.T Alejandro Cubas Becerra
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:
"MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA ANTENOR
ORREGO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL Y ESCORIA - JAÉN 2023"
"Fecha de evaluación: 04/05/2025"
6. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
7. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
8. Código Documento: :oid:::3117: :455607109
9. Resultado de la Evaluación de Similitud: 16%
10. :

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 04/05/2025



FIRMA DEL ASESOR

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 04/05/2025 23:46:20-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA ANTENOR ORREGO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL Y ESCORIA - JAÉN 2023.*

ASESOR : *M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0218-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 19 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintisiete días del mes de mayo 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 : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario : M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA ANTENOR ORREGO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL Y ESCORIA - JAÉN 2023*, presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil *JESSICA PAOLA CUBAS TORO*, de la Escuela profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén, asesorada por el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : *07* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *18* PTS *Dieciocho* (En letras)

En consecuencia, se la declara *APROBADO* con el calificativo de *18 (Dieciocho)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *4:30 pm* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Rosa Haydee Llique Mondragón
Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidente

Marco Wilder Hoyos Saucedo
Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Vocal

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

Alejandro Cubas Becerra
M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa que día a día me enseñan a valorar lo que tengo, dándome un ejemplo de humildad y sacrificio. También agradezco a mis docentes personas de gran sabiduría que me transmitieron sus conocimientos y dedicación; a todos ellos dedico este proyecto porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Agradezco de manera especial al Ing. Alejandro Cubas Becerra por el apoyo incondicional en este presente proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres por su paciencia, confianza en mí y por motivarme día a día hacer siempre la mejor; durante toda mi vida ustedes siempre son y serán el motivo de mi alegría y de mi superación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Justificación de la investigación.....	3
1.5. Alcances o delimitación de la investigación	3
1.6. Limitaciones	3
1.7. Objetivos	3
1.7.1. Objetivo General.....	3
1.7.2. Objetivos Específicos	4
1.8. Descripción de contenido de los capítulos	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes teóricos.....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes locales.....	7
2.2. Bases teóricas	8

2.2.1.	Suelo	8
2.2.2.	Subrasante.....	8
2.2.3.	Estabilización de suelos.....	9
2.2.4.	Propiedades de los suelos	10
2.2.5.	Escoria	19
2.2.6.	Cal.....	21
2.3.	Definición de los términos básicos.....	22
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		23
3.1.	Ubicación Política	23
3.2.	Ubicación Geográfica.....	26
3.3.	Tiempo o época de la investigación	26
3.4.	Metodología	26
3.4.1.	Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación.....	26
3.4.1.1.	Tipo de Investigación.....	26
3.4.1.2.	Nivel de Investigación	27
3.4.1.3.	Diseño de investigación	27
3.4.1.4.	Método de investigación	27
3.4.2.	Definición de variables.....	27
3.4.2.1.	Variable Independiente	27
3.4.2.2.	Variable Dependiente.....	27
3.4.3.	Población de estudio	28
3.4.4.	Muestra	28
3.4.5.	Unidad de análisis.....	29
3.4.6.	Unidad de observación	29
3.4.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29

3.4.8. Materiales y equipos	30
3.5. Procedimiento.....	32
3.5.1. Reconocimiento de la vía	32
3.5.2. Ubicación, realización de calicatas y extracción de muestra.....	32
3.5.3. Descripción de los ensayos físicos y mecánicos	32
3.6. Presentación de resultados	37
3.6.1. Características físicas de la subrasante de la vía Antenor Orrego	37
3.6.2. Resultados de los ensayos para determinar las características mecánicas de la vía Antenor Orrego.	38
Se realizaron ensayos del Proctor modificado y CBR para la C-1 (SC) y C-2 (CL).	38
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1. Discusión de resultados	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO A.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del suelo por el tamaño de partículas	12
Tabla 2: Clasificación del suelo según el índice de plasticidad.....	13
Tabla 3: Clasificación del suelo según el sistema SUCS.....	14
Tabla 4: Clasificación del suelo según el sistema AAHSTO.	17
Tabla 5: Categorías de subrasante	19
Tabla 6: Características de los óxidos presentes en la escoria de cobre	20
Tabla 7: Propiedades físicas de la escoria de cobre	21
Tabla 8: Propiedades de la cal viva	21
Tabla 9: Coordenadas de la Vía Antenor Orrego	26
Tabla 10: Ubicación y Coordenadas de las Calicatas	26
Tabla 11: Número mínimo de puntos de investigación (calicatas) de acuerdo al tipo de vía.	28
Tabla 12: Ensayos de laboratorio realizados en la investigación	33
Tabla 13: Características físicas de la subrasante	37
Tabla 14: Parametros de compactación con y sin la adición de cal y escoria de cobre.....	38
Tabla 15: CBR de la subrasante con y sin la adición de cal y escoria de cobre	40
Tabla 16: Resultados del CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre.....	41
Tabla 17: Comparación de los resultados obtenidos del CBR promedio vs % de cal y escoria de cobre.....	41
Tabla 18: Prueba de homogeneidad de varianzas para la C-1 (SC).....	42
Tabla 19: Prueba comparaciones múltiples para la C-1 (SC).....	43
Tabla 20: Prueba de homogeneidad de varianzas para la C-2 (CL)	43
Tabla 21: Prueba comparaciones múltiples para la C-2 (CL).....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curvas granulométricas.....	11
Figura 2: Rango de Limite Liquido e índice de plasticidad	16
Figura 3: (a) Ubicación del Departamento de Cajamarca, (b) Ubicación de la provincia de Jaén, (c) Ubicación del Distrito de Jaén.....	23
Figura 4: Ubicación de la Vía Antenor Orrego	25
Figura 5: Ubicación Satelital de la Vía Antenor Orrego	25
Figura 6: Máxima densidad seca promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1 (SC)	38
Figura 7: Máxima densidad seca promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL).....	39
Figura 8: Optimo Contenido de Humedad promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1 (SC).	39
Figura 9: Optimo contenido de humedad promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL).	40
Figura 10: CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1(SC)	41
Figura 11: CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL)	42

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la vía Antenor Orrego de la ciudad de Jaén, del departamento de Cajamarca, que en épocas de lluvias presenta charcos y ahuellamientos, dificultando el tránsito vehicular y peatonal, lo cual afecta la calidad de vida de las personas. Es por ello que esta investigación tuvo como objetivo mejorar la capacidad de soporte de la subrasante de la vía Antenor Orrego mediante la adición de cal y escoria de cobre. Se reconoció el área de estudio, se ubicaron 03 calicatas y se tomaron muestras de suelo. Se realizaron ensayos: Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Se obtuvo valores promedios del CBR al 95% de la MDS y una penetración de 0.1" para la C-1 (SC) de 3.60% y para la C-2 (CL) de 1.71%, característicos de una subrasante inadecuada e insuficiente; al adicionar 1% de cal + 1% de escoria de cobre, 2% de cal + 2% de escoria de cobre y 3% de cal + 3% de escoria de cobre a las muestras de suelo, se incrementaron las densidades y disminuyeron los contenidos de humedad, obteniendo valores del CBR para la C-1 (SC) de 4.53%, 5.60% y 14.72% y valores para la C-2 (CL) de 5.27%, 6.50% y 13.57%, respectivamente. Se concluye que con la adición de cal y escoria de cobre se mejora la capacidad soporte de la subrasante; sin embargo, se obtuvo mejor estabilización en la subrasante con un resultado moderado en la adición del 3% de cal + 3% de escoria de cobre.

Palabras claves: Suelo, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad, capacidad soporte del suelo, escoria de cobre y cal.

ABSTRACT

This research was held in the Antenor Orrego Road in the city of Jaén, in the department of Cajamarca, which presents puddles and ruts during the rainy season, hindering vehicular and pedestrian traffic and affecting people's quality of life. Therefore, this research aimed to improve the load-bearing capacity of the Antenor Orrego Road subgrade by adding lime and copper slag. The study area was surveyed, three test pits were located, and soil samples were taken. The following tests were performed: moisture content, particle size analysis, Atterberg limits, modified Proctor, and CBR. Average CBR values at 95% of the MDS and a penetration of 0.1" were obtained for C-1 (SC) of 3.60% and for C-2 (CL) of 1.71%, characteristic of an inadequate and insufficient subgrade; by adding 1% lime + 1% copper slag, 2% lime + 2% copper slag and 3% lime + 3% copper slag to the soil samples, densities increased and moisture contents decreased, obtaining CBR values for C-1 (SC) of 4.53%, 5.60% and 14.72% and values for C-2 (CL) of 5.27%, 6.50% and 13.57%, respectively. It is concluded that with the addition of lime and copper slag the bearing capacity of the subgrade is improved; however, a better stabilization in the subgrade with a moderate result in the addition of 3% lime + 3% copper slag.

Keywords: Soil, maximum dry density, optimum moisture content, bearing capacity, copper slag and lime.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los caminos y vías en el mundo siempre han sido uno de los elementos de conexiones importantes para el flujo permanente, y por ende el desarrollo de los pueblos, brindando acceso a la salud pública, educación, desarrollo económico y social, entre otros; es así la importancia de que éstos se encuentren en óptimas condiciones, procurando que los materiales que lo conforman sean de calidad y que cumplan las especificaciones que exigen los reglamentos de vías y pavimentos (Yunga, 2023).

Un factor principal para el diseño de pavimentos lo constituye el tipo de subrasante, siendo un parámetro determinante la capacidad de soporte (CBR) o resistencia del suelo a deformarse por esfuerzo cortante, debido a las cargas vehiculares. Es imprescindible considerar la calidad del suelo de la subrasante y su comportamiento ante el agua, debido a que los suelos expansivos afectan la resistencia del pavimento, provocando graves daños sobre los componentes que se emplazan sobre ellos (Rodríguez et al., 2019). Se consideran aptos para las capas de subrasante aquellos materiales con un $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor, es decir, constituir una subrasante pobre o inadecuada, será necesario estabilizar el suelo. Para ello, se analizarán diferentes soluciones según la naturaleza del suelo, procurando que dichas alternativas no sean demasiado costosas y complejas (MTC, 2014).

Las características geológicas del Perú son: variedad de suelos, terreno accidentado y variedad de climas (Moale y Rivera, 2019), lo que hace que las vías presenten suelos inestables y de baja capacidad de soporte, donde las vías sin pavimentar no satisfacen requerimientos de accesibilidad, transitabilidad, confiabilidad y seguridad, por lo que es necesario estudiar el

desarrollo de métodos para el mejoramiento de suelos a través de adiciones de diferentes materias primas, evaluando su uso, así como su costo, con el fin de que éstos sean capaces de soportar las sollicitaciones máximas de carga continua de los vehículos (Carhuapoma y Tito, 2021).

En la región Cajamarca predomina la presencia de suelos de alta plasticidad y de baja capacidad de soporte, con características no adecuadas para la construcción de infraestructura vial y que no pueden ser utilizados como capa de relleno en los pavimentos, viéndose afectados, y peor en zonas de lluvia frecuente. (Moale y Rivera, 2019).

En la ciudad de Jaén predominan los suelos de baja capacidad de soporte, destacando suelos como arenas arcillosas, arenas limosas, arcillas de baja plasticidad y limos inorgánicos de baja plasticidad (Cotrina, 2016; Piedra et al, 2021). Esta ciudad cuenta con muchas vías sin pavimentar y en mal estado, una de las cuales es la vía Antenor Orrego, donde se pudo apreciar que el suelo de su subrasante cuenta con baja capacidad de soporte, afectando a todo tipo de vehículos, pues en épocas de lluvias se estancan, no pudiendo avanzar de manera libre y segura; además de impedir el libre tránsito peatonal en la zona.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto mejora la capacidad de soporte de la subrasante de la vía Antenor Orrego al adicionar el 1%, 2% y 3% de cal y escoria de cobre?

1.3. Hipótesis

Al adicionar el 1%, 2% y 3% de cal y escoria de cobre en la subrasante de la vía Antenor Orrego mejora la capacidad de soporte en un rango del 6% al 15%.

1.4. Justificación de la investigación

El estudio se justifica por la necesidad de mejorar la capacidad de soporte del suelo de subrasante de la vía Antenor Orrego, para disponer de subrasantes de mejor calidad que puedan soportar adecuadamente las cargas de tráfico y tener pavimentos con un comportamiento adecuado durante su vida útil, conllevando al desarrollo económico y social de la población

Por lo tanto, en esta investigación se adicionó la cal y escoria de cobre para obtener resultados favorables en el mejoramiento de la subrasante para proyectos futuros de pavimentos y brindar la información con los estudios necesarios para utilizar este tipo de aditivos en la estabilización de los suelos.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación se realizó en la vía Antenor Orrego, de la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

Para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante, se han utilizado adiciones del 1%, 2% y 3% de cal y escoria de cobre, en relación al peso de las muestras a ensayar.

1.6. Limitaciones

En la investigación no se realizó el análisis físico químico de la cal y escoria de cobre.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Mejorar la capacidad de soporte de la subrasante de la vía Antenor Orrego mediante la adición de cal y escoria de cobre – Jaén 2023.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas y mecánicas del suelo de la subrasante de la vía Antenor Orrego (contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR).
- Determinar la Capacidad Soporte (CBR) de la subrasante de la vía Antenor Orrego, al adicionar el 1%, 2% y el 3% de Cal y Escoria de Cobre.

1.8. Descripción de contenido de los capítulos

- a. **Capítulo I:** Se presenta la introducción, que contiene el planteamiento y formulación del problema existente en esta investigación, la hipótesis, la justificación de la investigación, los alcances o delimitación de la investigación, las limitaciones y los objetivos (generales y específicos).
- b. **Capítulo II:** Comprende el marco teórico, el cual aborda los antecedentes teóricos (internacionales, nacionales y locales), seguidamente las bases teóricas y la definición de los términos básicos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la investigación.
- c. **Capítulo III:** Contiene la ubicación política y geográfica de la vía en estudio, los materiales y métodos, donde se describen detalladamente los procesos empleados para llevar a cabo la investigación. Además, incluye el tiempo y época de la investigación, la metodología, los procedimientos, recopilación de datos y presentación de los resultados.
- d. **Capítulo IV:** Aborda el análisis y discusión de los resultados encontrados en esta investigación, comparando los resultados realizados en el laboratorio con los antecedentes teóricos.

- e. **Capítulo V:** Comprende las conclusiones para cada uno de los objetivos, basados en los resultados obtenidos y las recomendaciones relacionadas con las limitaciones de la investigación.
- f. **Referencias bibliográficas,** se describen las citas bibliográficas que han aportado a la investigación.
- g. **Anexos,** se describe el panel fotográfico y el procesamiento de datos obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Jangid & Grover (2023), en su estudio “Experimental investigation of mechanical properties of problematic expansive soil using copper slag and its statistical validation”, utilizó escoria de cobre para estabilizar los suelos expansivos en Talab en Nainwa, demostrando que al adicionar un 25% de escoria de cobre, la densidad seca máxima del suelo ha aumentado en un 14.75% y el valor de la relación de carga de California (CBR) del suelo se ha incrementado en 1.13% en condición saturada y 3.8% en condición no saturada.

Yunga (2023), en su investigación titulada “Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí” consideró a la cal como una alternativa para estabilizar los suelos de la vía de segundo orden Sibambe-Multitud de Alausí del Ecuador, dividiendo la vía de 48.5 km en tres tramos, tramo 2, tramo 3 y tramo 4; para lo cual agregó cal en un 2%, 4% y 6%, teniendo resultados favorables, en el cual el tramo 2 el CBR mejoró con 2% de cal en 1.94% respecto al suelo natural, con el 6% de cal se tuvo una mejora del 148.27%. En el tramo 3 al 2% de cal se obtuvo una mejora del CBR del 9.6%, al 4% de cal se obtuvo un 203.12%. En el tramo 4 se obtuvo al 2% de cal un 354.08% de mejora y al 4% de cal se obtuvo un 631.16%. Concluyendo que el 4% de cal es la cantidad óptima de colocación en esos estratos para su mejora.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Tacca (2021), en su investigación “Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021”, determinó como la adición de cal puede mejorar la subrasante y estabilizarla, delimitando su tesis con porcentajes de adición de cal de 4%, 8% y 12%. De los resultados obtuvo que la capacidad de soporte del suelo al 95% de densidad seca y penetración de 0.1”, es de 11.95%, y que, con la adición de cal en los porcentajes anteriores, el valor del CBR aumenta en 19.2%, 24.95% y 28.50%, respectivamente; concluyendo que la adición del 12% de cal es óptima para el tipo de suelo estudiado.

Gonzales (2019), en su tesis “Estabilización de suelos cohesivos utilizando escoria de cobre para su uso como subrasante mejorada”, utilizó la escoria de cobre como aditivo para la estabilización de suelos cohesivos y con ello poder mejorar una subrasante que pueda soportar solicitaciones de cargas mayores. Demostró que al adicionar porcentajes en peso de escoria de cobre al suelo el CBR aumenta, ya que teniendo un CBR inicial de 6.3% y al agregarle escoria en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%, se obtienen nuevos valores del CBR los cuales son de 7.70%, 11.40%, 14.30% y 17.10%, respectivamente. Concluyendo que la adición de escoria de cobre aumenta la capacidad de soporte en un suelo que no es apto para condiciones estructurales.

2.1.3. Antecedentes locales

Fernández y Manosalva (2022), en su investigación “Mejoramiento del suelo de fundación con adición de cal en la infraestructura vial Puerto Ciruelo, distrito de Huarango, Cajamarca, 2021”, consideró usar la cal como aditivo para mejorar el suelo de fundación de la

infraestructura vial de la localidad Puerto Ciruelo, del distrito de Huarango, de la provincia de San Ignacio. Agregó cal al 2%, 4%, 8% y 16% con respecto al suelo, mejorando el CBR al 95% de la densidad seca y 0.1” de penetración, el cual de 3.54% aumenta a 3.76%, 5.24%, 10.70% y 15.35%, respectivamente por cada adición de cal.

Herrera y Miranda (2022), en su investigación denominada “Mejoramiento de suelos arcillosos, utilizando cal en la subrasante de pavimentos, pasaje El Porvenir, sector el Parral, Jaén, Cajamarca 2022”, trabajó con la cal como aditivo para mejorar la capacidad de soporte en suelos arcillosos. Para el trabajo considero muestras de tres calicatas, C-1, C-2 y C3, obteniendo capacidades de soporte para cada una de ellas en estado natural al 95% de la densidad seca y penetración de 0.1”, de 5.2%, 6% y 5.5%, respectivamente. Delimitó su investigación a adicionar porcentajes de cal del 7%, 10% y 12%, y obtuvo resultados del CBR con valores para la C-1 de 7.7%, 10.50%, y 12.5%, respectivamente; para la C-2 de 9%, 13% y 15.5%; para la C-3 de 7.9%, 13.70% y 14.70%. Concluyendo que, el valor del CBR aumenta con la adición de cal.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo es un sustrato terroso o depósito de partículas minerales no consolidado, un sistema que está formado por múltiples fases: sólida, líquida y gaseosa, sobre el cual se realizan diversas obras de ingeniería (Rivera et al., 2020).

2.2.2. Subrasante

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos (2014), refiere que es la superficie culminada de una carretera, después de

haber realizado el movimiento de tierras según niveles, sobre el cual se asentará la estructura de pavimento. Además, es la capa superior del fondo de las excavaciones del terreno natural, donde estará asentado la estructura y debe estar conformada por suelos de características optimas y compactadas para tener un cuerpo estable en el que puedan soportar de manera adecuada las cargas de diseño del tránsito. Una de las características fundamentales de la subrasante es su capacidad soporte, que, en conjunto con el tránsito y características de la superficie de rodadura, representa una variable en el diseño de la estructura de un pavimento.

a) Capacidad soporte

Es la capacidad que tiene un determinado tipo de suelo para soportar una carga determinada y se sostiene en función de la calidad del suelo, esta capacidad se determina en función del ensayo del CBR del suelo en laboratorio con una humedad optima y niveles de compactación variables (Vásquez, 2018).

2.2.3. Estabilización de suelos

En repetidas ocasiones los suelos en su estado natural no presentan características adecuadas para los distintos proyectos de construcción, debido a su baja capacidad de soporte, siendo mucho los factores que generan su inestabilidad, los cuales están ligados a propiedades como: inestabilidad volumétrica, compresibilidad, tamaño y forma de sus partículas y resistencia mecánica. El proceso que consiste en cambiar sus propiedades, con el fin de obtener un mejor material que pueda soportar los esfuerzos al que va estar sometido, se conoce como estabilización de suelos (Flórez, 2006).

Existen diferentes tipos de estabilización y se describen a continuación:

a) Estabilización mecánica

Se hace referencia a la compactación del suelo de manera estática o dinámica, para aumentar su densidad, resistencia mecánica y reducir su porosidad y permeabilidad, asimismo también se puede incluir otros suelos con optimas propiedades para llegar a la especificación solicitada (Rivera et al., 2020).

b) Estabilización física

Consiste en la modificación de las propiedades de los suelos, para mejorarlo haciendo cambios físicos. Hay varios métodos como, la mezcla del suelo, que es la más utilizada (Rivera et al., 2020).

c) Estabilización química

Consiste en la adición de elementos, agentes o productos químicos al suelo, que modifiquen sus propiedades y con ello crear una matriz más sólida y resistente (Rivera et al., 2020).

2.2.4. Propiedades de los suelos

a) Granulometría

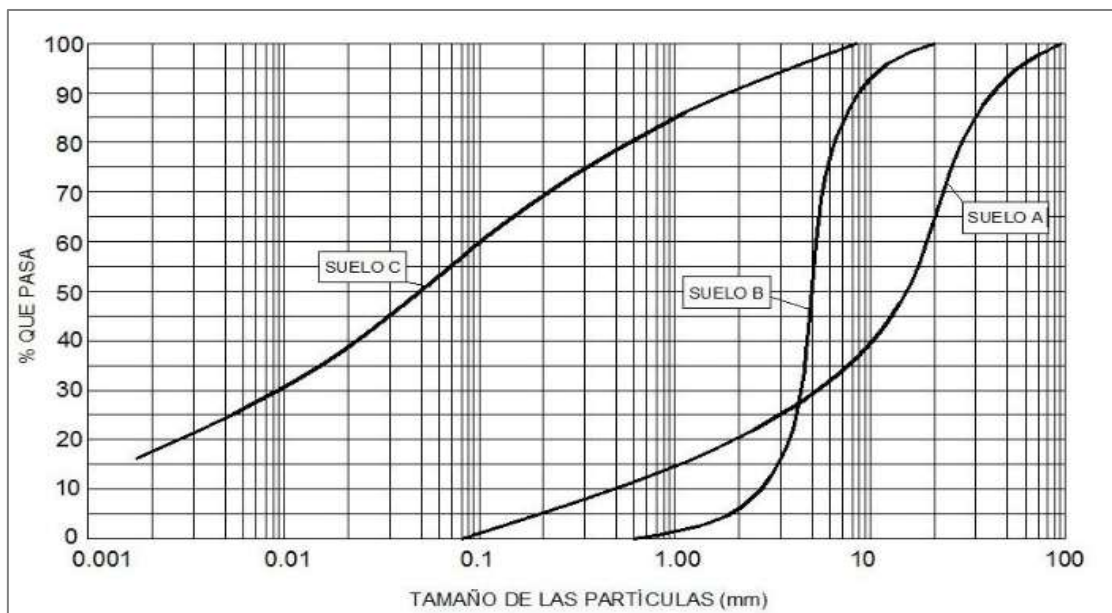
El análisis granulométrico tiene como fin el cálculo cuantitativo de distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo, utilizando tamices de diferentes tamaños como 3”,

2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100, hasta la malla N°200 (Correal et al. 2019).

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. (2014), presenta lineamientos para la realización de este ensayo, donde su procedimiento se encuentra facultado a través de la norma MTC E107.

Un suelo que tiene un mismo tamaño de partículas presenta como gráfica una línea vertical, y uno bien graduado presenta una curva muy tendida indicando una gran variedad de tamaños.

Figura 1: *Curvas granulométricas*



Fuente: Juárez y rico (2005).

La curva A, representa un suelo bien graduado y de grano grueso; la curva B, suelo mal graduado, poco uniforme; y la C, un suelos arcilloso o limoso.

Tabla 1: *Clasificación del suelo por el tamaño de partículas*

Tipo de material		Tamaño de las partículas
grava		75 mm -4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	menor a 0.005 mm

Fuente: Norma MTC (2014). M.C.S.G.G.P.

b) Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg definen la conducta de un suelo en función de su contenido de humedad (agua), estableciéndose los límites a los tres estados de consistencia de acuerdo a su humedad: líquido, plástico y sólido (MTC, 2014).

Límite líquido (LL): Representa el contenido de humedad de un suelo, para que pase de un estado semilíquido a un estado Plástico. El ensayo se determina mediante la normativa MTC E110 (MTC, 2014).

Límite plástico (LP): Es el contenido de humedad en el cual el suelo deja de tener un comportamiento plástico y empieza a endurecerse, pasando al estado semisólido. La normativa empleada para realizar este ensayo es la MTC E111 (Mendoza y Rodríguez, 2019).

El valor del índice de plasticidad (IP) mide la diferencia del límite líquido y el límite plástico, es un parámetro intrínsecamente importante en la clasificación de los suelos.

Tabla 2: *Clasificación del suelo según el índice de plasticidad*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Norma MTC (2014). M.C.S.G.G.P.

c) Clasificación de suelos según el sistema unificado de los suelos (SUCS)

Los suelos de grano grueso, compuestos por grava y arena en estado natural, tienen menos del 50% de material que pasa por el tamiz N°200. Para ello, los símbolos de grupo comienzan con un prefijo "G", que identifica suelos de grava o gravosos, y "S" para suelos arenosos o de arena (Braja, 2015).

Los suelos de grano fino presentan un 50% o más de material que pasa por el tamiz N°200. Sus símbolos de grupo incluyen "M" para limos inorgánicos, "C" para arcillas inorgánicas, y "O" para limos orgánicos y arcillas. En casos de turba, lodo u otros suelos altamente orgánicos, se utiliza el símbolo "Pt" (Braja, 2015).

Tabla 3: Clasificación del suelo según el sistema SUCS

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Clasificación de Suelo	
				Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo
SUELOS DE GRANO GRUESO Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas (Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz No. 4)	Gravas limpias (Menos de 5% finos)	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	Grava bien Clasificada
			$C_u < 4$ y/o ($C_c < 1$ o $C_c > 3$)	GP	Grava pobremente Clasificada
		Gravas con finos (Mas de 12% finos)	Fina Clasificada como ML o MH	GM	Grava Limosa
			Fina Clasificada como CI o CH	GC	Grava Arcillosa
	Arenas (50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz No. 4)	Arenas limpia (fina MENOS 5%)	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Arena bien graduada
			$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP	Arena pobremente Graduada
		Arena fina (Más de 12% fina)	Fina Clasificada como ML o MH	SM	Arena Limosa
			Fina Clasificada como CI o CH	SC	Arena Arcillosa
SUELOS DE GRANO FINO 50% o más pasa a traves del tamiz num.200	Limos y arcillas Limite líquido Menor que 50	Inorganico	PI > 7 y estructura sobre o por encima línea “A”	CL	Arcilla Magra
			PI < 4 o estructura bajo línea “A”	ML	Limo
		Organico	límite liquido: mas seco < 0.75	OL	Arcilla Orgánica
			límite liquido: no secado < 0.75		Limo Orgánico
	Limos y arcillas Limite líquido 50 o mas	Inorganico	PI estructura sobre o por encima línea “A”	CH	Arcilla Grasa
			PI estructura bajo línea “A”	MH	Limo Elastico
		Organico	límite liquido: secado < 0.75	OH	Arcilla Orgánica
			límite liquido no secado < 0.75		Limo Orgánico
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICO		Materia organica principalmente, color oscuro y orgánico	PT	Turba	

Fuente: Norma ASTM D2487-17

Para la clasificación adecuada de acuerdo con este sistema, una parte o toda la siguiente información debe conocerse:

- Porcentaje de grava, esto es, la fracción gruesa que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz No. 4 (4.75 mm de apertura)
- El porcentaje de arena, es decir, la fracción gruesa que pasa el tamiz No. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
- El porcentaje de limo y arcilla, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura)
- El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de gradación (C_c)
- El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz No. 40

d) Clasificación de suelos según el sistema AASTHO

El sistema define un método para categorizar los suelos en diferentes grupos, fundamentado en los resultados de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Para cada grupo, se determina un "índice de grupo", el cual se comunica como un número entero, si el resultado es negativo, el valor se anota como 0. Esta categorización, sumada al índice de grupo, facilita la valoración de la calidad relativa de los suelos para su utilización en terraplenes, subrasantes, subbases y bases. En situaciones en las que el suelo sea NP (no plástico) o el límite líquido no pueda determinarse, se debe asignar el índice de grupo como 0 (M.T.C., 2016).

Para evaluar la calidad del suelo, se toma en cuenta el IG (índice de grupo) que esta normado por AASTHO, teniendo como datos esenciales los resultados obtenidos en el límite líquido y en el límite plástico. El índice de grupo está dado por la siguiente ecuación:

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

Donde:

F = % de pasa el tamiz N° 200

LL= Límite líquido

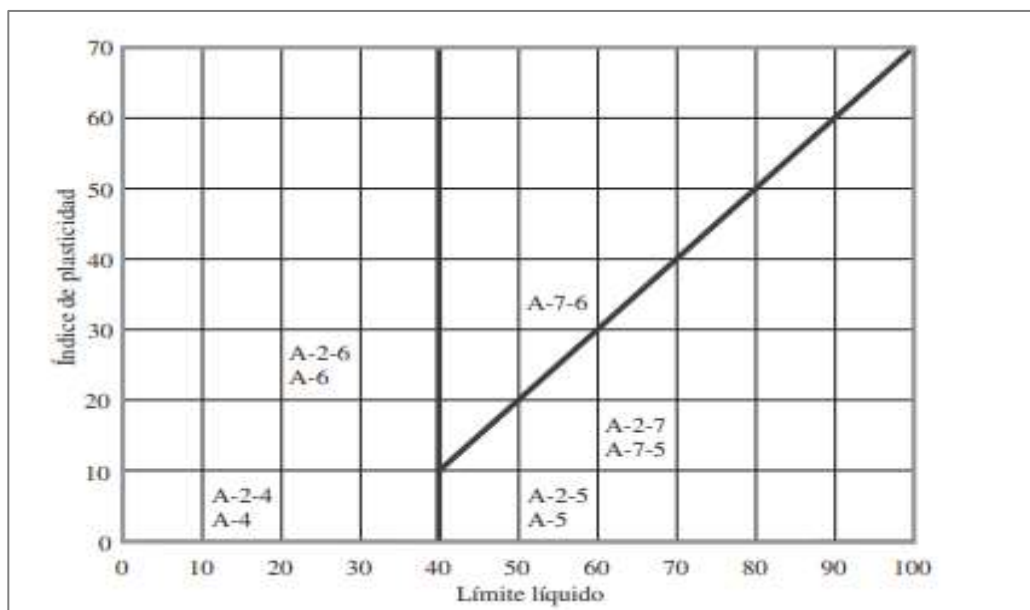
IP = Índice de plasticidad

Si el IG presenta un valor negativo, se reporta como el valor de 0, asimismo si resulta un valor con decimal este se redondea al número entero más próximo, por otro lado, resaltar que no hay límite superior para el IG y que los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 el IG siempre es 0. Y finalmente para los grupos A-2-6 y A-2-7 el IG se determinará de la siguiente forma:

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

La figura 2, se muestra el gráfico para la determinación de la clasificación AASHTO, en función de los rangos del límite líquido e índice de plasticidad.

Figura 2: Rango de Límite Líquido e índice de plasticidad



Fuente: Braja (2015).

Tabla 4: Clasificación del suelo según el sistema AAHSTO.

Clasificación generalizada	Suelos Granulares							Suelo Finos				
	35% máximo que pasa por el tamiz de 0.0075 mm (N°200)							más de 35% pasa por el tamiz de 0.0075 mm (N°200)				
Clasificación del Grupo	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5	A - 7 - 6
% que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	min. 51									
F:0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 26	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
Propiedades de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40)												
Propiedades de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL				máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	min. 41
IP	máx. 6		NP	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11	min. 11
Tipo comunes de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Limo o grava arcillosa y arena				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Clasificación de la subrasante	Excelente a Bueno							Regular a Deficiente				
Para A-7-5, IP ≤ LL-30												
Para A-7-6, IP > LL-30												

Fuente: Braja (2015).

e) Ensayo de Proctor

Tiene por finalidad determinar el óptimo contenido de humedad del suelo, para compactarse y alcanzar su máxima densidad seca. Existe el Proctor normal y el modificado, siendo la principal diferencia que este segundo se realiza con una energía de compactación 4.5 veces mayor que el normal (Araujo, 2015).

Máxima densidad seca (MDS): Es la máxima densidad para un esfuerzo de compactación fijo, obtenido de ensayar el suelo con diferentes contenidos de humedad (Mendoza y Rodríguez, 2019).

Óptimo contenido de humedad (OCH): Es el contenido de humedad con el que un suelo logra obtener su máxima densidad seca para una energía de compactación fija.

Se establece la normativa del Ministerio de transportes y comunicaciones MTC E 115, para la realización del presente ensayo.

f) Ensayo del CBR

El ensayo de California Bearing Ratio se utiliza para caracterizar a un suelo, indicando su resistencia; puede ser realizado en laboratorio como en muestras inalteradas extraídas directamente del terreno. En el laboratorio, es realizado con una determinada humedad óptima obtenida del Proctor y niveles de compactación de 12, 26 y 55 golpes por capa; colocándose sobrecargas encima de las muestras, para luego sumergirse en agua por un periodo de 4 días y con ello determinar los valores de esfuerzo – penetración, en relación a una carga patrón. (MTC, 2016).

La fórmula del CBR está definida de la siguiente manera:

$$CBR = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patrón} \times 100$$

El CBR consiste en determinar la carga necesaria para aplicar un pistón circular de 20.27 cm², el mismo que penetra el suelo a una velocidad de 1.27 mm/min hasta obtener una penetración de 2.54mm (0.1”) y de 5.08mm (0.2”). Además, la relación de soporte reportada normalmente es de 2.54mm (0.1”) de penetración; cuando la relación de penetración resulta ser mayor a 5.08mm (0.2”), se procede a repetir el ensayo y, si la prueba de verificación presenta un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5.08mm (0.2”) de penetración (MTC, 2016).

Tabla 5: *Categorías de subrasante*

Categorías de Subrasante	Categoría
So: Inadecuada	CBR<3%
S1: Insuficiente	3%≤ CBR< 6%
S2: Regular	6%≤ CBR< 10%
S3: Buena	10%≤ CBR< 20%
S4: Muy buena	20%≤ CBR< 30%
S5: Excelente	30%≤ CBR

Fuente: Norma MTC (2014). M.C.S.G.G.P.

2.2.5. Escoria

Como el material a emplear en esta investigación es la escoria de cobre, es necesario poseer conocimientos y conceptos sólidos sobre su definición, la manera en que se produce, el

efecto que produce en el nivel de contaminación, su uso como alternativa para reducir la contaminación y una administración para el uso de la escoria de cobre.

La escoria de cobre conocida como silicato de hierro, es un compuesto químico que viene del resultado de los distintos procesos piro metalúrgicos de refinación del cobre, dicho material de residuo se origina en las distintas etapas tanto como en la etapa de conversión donde se obtienen mediante la oxidación de compuestos químicos y en la etapa de fusión en la cual se constituyen a partir de los óxidos de la carga del horno (Cuba y Humpire, 2019).

Durante la fundición del mineral concentrado de cobre se producen dos fases líquidas inmiscibles entre sí, las que se pueden clasificar como: a) mata rica en cobre (sulfuro) y b) la escoria (óxido). La mata pasa a procesos posteriores de conversión, mientras que la escoria fundida se descarga directamente o pasa a procesos de recuperación de cobre, logrando que tengan un porcentaje menor al 1% de cobre antes de ser descartadas (Contreras, 2020).

Tabla 6: *Características de los óxidos presentes en la escoria de cobre*

Tipo de óxido	Fórmula Química	Concentración (%)
Óxidos de Hierro	FeO, Fe ₃ O ₄	30 - 40
Óxido de silicio	SiO ₂	35 - 40
Óxidos de aluminio	Al ₂ O ₃	0 - 10
Óxidos de calcio	CaO	0 - 10

Fuente: Contreras, 2020

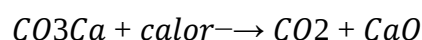
Tabla 7: *Propiedades físicas de la escoria de cobre*

Características	Descripción
Apariencia	• Color Negro, • Textura lisa (Proveniente del botadero) • Textura porosa (Granalladas)
Forma de las partículas	Irregular con bordes agudos
Densidad	3160 – 3870 (Kg/m ³)
Absorción	0.15 – 0.55 (%)
Dureza	4 – 6 (Mohs)
Granulometría	Varía según su formación, desde 4” – 0.08 mm

Fuente: Contreras, 2020

2.2.6. Cal

Parra (2018) refiere que la cal es un elemento solido de color blanco y amorfo, producto de la descomposición mediante calor (900°C) de roca caliza que se refleja en la siguiente reacción:



En estado natural, se explota el carbonato cálcico (CO_3Ca) que se descompone en dióxido de carbono (CO_2) y óxido de calcio (CaO) o cal viva para su posterior uso.

Tabla 8: *Propiedades de la cal viva*

Descripción	Característica o color
Color	Blanco
Estructura	Terrones amorfos, gránulos o polvo fino
Olor	Ligero olor a tierra
Peso molecular	56.08
PH	12.4, altamente alcalino

Fuente: Sáenz (2019).

2.3. Definición de los términos básicos

- ❖ **Cal:** Es un aditivo estabilizante, utilizado para mejorar las propiedades de la subrasante del suelo, especialmente en los suelos finos como las arcillas, aumentando su capacidad de soporte y disminuyendo la plasticidad del suelo.
- ❖ **Escoria de cobre:** Es un aditivo creado durante el proceso de fundición y refinación del cobre que se puede utilizar como material estabilizante en el mejoramiento de un suelo. Su aplicación mejora la resistencia, la estabilidad volumétrica y la durabilidad del suelo natural, gracias a sus propiedades mecánicas y químicas.
- ❖ **Subrasante:** Es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural terminado de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), donde se sitúa la estructura del pavimento o afirmado (MTC., 2014).
- ❖ **Capacidad de soporte:** Es la medida de la resistencia de un suelo para sostener las cargas que se ejercen sobre él, sin que presente deformaciones ni fallas en la vía. Este parámetro se determina mediante el ensayo del CBR (California Bearing Ratio) y depende de factores como el tipo de suelo, compactación y contenido de humedad.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

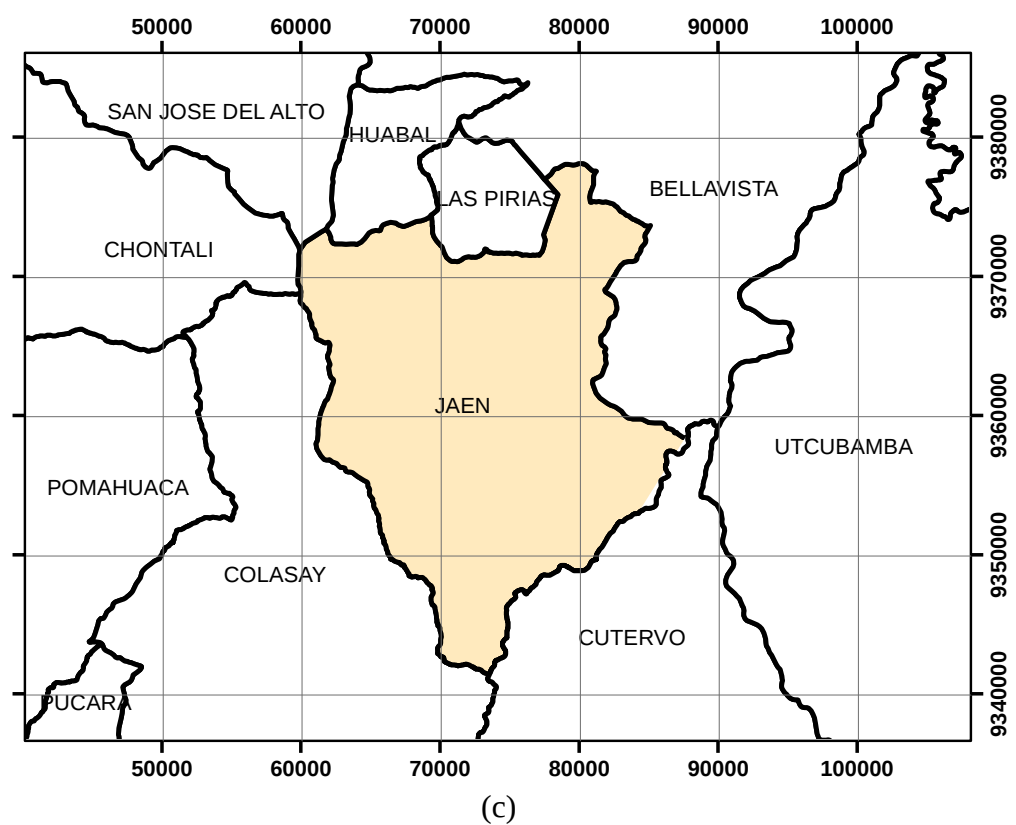
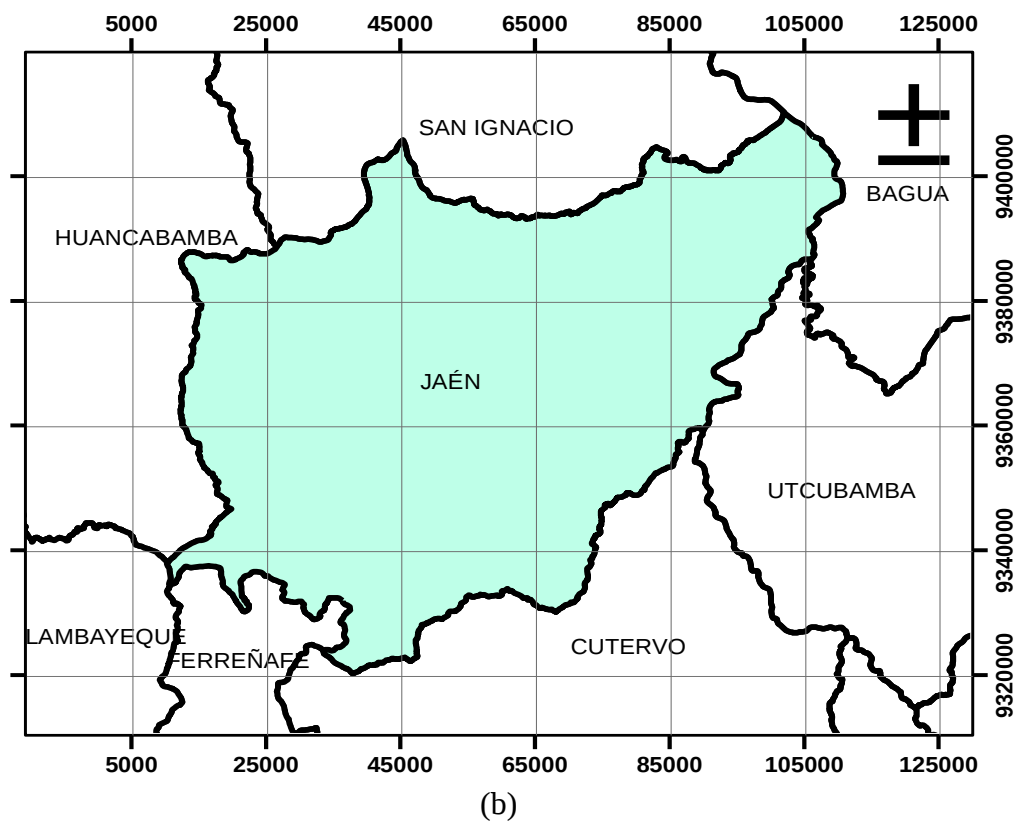
3.1. Ubicación Política

El estudio se realizó en el departamento de Cajamarca, provincia de Jaén y distrito de Jaén, específicamente en la vía Antenor Orrego.

Figura 3: (a) Ubicación del Departamento de Cajamarca, (b) Ubicación de la provincia de Jaén, (c) Ubicación del Distrito de Jaén



(a)



Fuente: Silva (2017).

3.2. Ubicación Geográfica

Tabla 9: *Coordenadas de la Vía Antenor Orrego*

Descripción	Coordenadas Geográficas			Coordenadas UTM	
	Latitud	Longitud	Altitud	E	N
Punto inicio	-5.709102	-78.79573	697.82 msnm	744132	9368483
Punto final	-5.704319	-78.797764	697.82 msnm	743910	9369027

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10: *Ubicación y Coordenadas de las Calicatas*

Calicata	Progresiva	Este (Y)	Norte (X)	Altitud	Profundidad
C-1	0+103	745142.66	9368450.00	697.05	1.50m
C-2	0+296	744968.75	9368380.70	697.45	1.50m
C-3	0+465	744814.33	9368317.40	697.75	1.50m

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Tiempo o época de la investigación

Se desarrolló entre los meses de junio a octubre de 2023, con una duración total de 5 meses.

3.4. Metodología

3.4.1. Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación

3.4.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación fue aplicada, debido a que se tomaron como base a antecedentes teóricos, que sirvieron como sustento para desarrollar la investigación.

3.4.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de la investigación fue correlacional, porque se estableció relaciones de causa y efecto entre las variables, al tratar la variable dependiente con diversos porcentajes de cal + escoria de cobre.

3.4.1.3. Diseño de investigación

El diseño metodológico fue de tipo experimental, porque se ejerció la manipulación de la variable independiente (cal y escoria), determinando el efecto que se tiene sobre la variable dependiente (Capacidad de soporte).

3.4.1.4. Método de investigación

El método de investigación fue hipotético deductivo, puesto que se estableció hipótesis, para luego comprobarla. Se creó una hipótesis para explicar dicho fenómeno, el cual comenzó a observarse, para luego deducir las consecuencias o implicaciones más elementales de la propia hipótesis y finalmente comprobar o refutar los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

3.4.2. Definición de variables

3.4.2.1. Variable Independiente

- % de Cal y % Escoria de Cobre

3.4.2.2. Variable Dependiente

- Capacidad de Soporte (CBR)

3.4.3. Población de estudio

La población del estudio fue el suelo de la subrasante de la vía Antenor Orrego, del distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

3.4.4. Muestra

La muestra de estudio representa el número de puntos de donde se obtuvo las muestras de suelo, los cuales han sido determinados de acuerdo a la Norma Técnica CE 0.10 “Pavimentos Urbanos”.

Tabla 11: *Número mínimo de puntos de investigación (calicatas) de acuerdo al tipo de vía.*

Tipo de vía	Número de puntos de investigación	Área (m ²)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

Fuente: N.T.E. CE 0.10

La vía Antenor Orrego es considerada una vía local, con un ancho de 10 ml y una longitud de 587.46 ml y cuenta con un área de 5874.60 m². Según la Tabla 10 y el área de la vía se ha determinado que para esta investigación sería necesario tres (03) puntos de investigación.

3.4.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue la estabilización de suelos con cal y escoria de cobre en la vía Antenor Orrego.

3.4.6. Unidad de observación

Muestras de suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cal y escoria de cobre, en función al peso del material seco.

3.4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se empleó para esta investigación fue los estudios experimentales en la que se manipula la variable independiente (cal y escoria de cobre) y se observa el efecto que tiene sobre la variable dependiente (capacidad de soporte). En el presente estudio se utilizaron 3 porcentajes (1%, 2% y 3%) de cal y escoria de cobre con la finalidad de determinar el mejoramiento de la capacidad de soporte de la subrasante.

Instrumentos

- Normas MTC para la realización de los diferentes ensayos en el laboratorio.
- Manual de carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014).
- Formatos de recolección de datos para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas (Contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR).

3.4.8. Materiales y equipos

Materiales

- Suelo.
- Cal.
- Escoria de Cobre.
- Agua Potable.

Equipos

- Juego de Tamices con aberturas de (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).
- Balanza con capacidad mínima de 200 gr y una sensibilidad de 0.01g.

Equipos del CBR

- Prensa de carga: La capacidad mínima es de 44.5KN (10,000lbf), con una precisión mínima en la medida de 44N (10lbf) o menos. El desplazamiento entre la base y el cabezal debe poder regularse a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0,05") por minuto.
- Tres moldes cilíndricos de acero con un diámetro interior de 152.4 mm y de 177.8 mm de altura, provisto de un collar de metal de 50.8 mm de altura y una placa base perforada de 9.53 mm de espesor, con perforaciones uniformemente espaciadas que no excedan de 1.6 mm de diámetro.
- Disco de papel de filtro.
- Disco espaciador de metal, con forma circular de 150.8 mm de diámetro exterior y 61.37 mm de espesor.
- Pisón de compactación con un peso de 2.5 kg y una altura de caída de 305 mm.

- Pistón de penetración de metal, con sección transversal circular de $49.63 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$ de diámetro, con un área de 19.35 cm^2 y una longitud no menor de 101.6 mm .
- Dial medidor de penetración, con recorrido mínimo de 25 mm y divisiones en 0.025 mm .
- Aparato medidor de expansión, compuesto por una placa metal perforada de 149.2 mm de diámetro, provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura, y un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde y en el centro un dial (deformímetro) y medir la expansión con aproximación de 0.025 mm .
- Pesas de metal que tengan una masa total de $4.54 \text{ kg} \pm 0.02 \text{ kg}$ y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2.27 \text{ kg} \pm 0.02 \text{ kg}$, utilizadas para aplicar la sobrecarga durante el ensayo.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
- Horno con temperatura constante.
- Balanza electrónica de 20 kg de capacidad y sensibilidad de 1 g , y otra con capacidad de 1000 g y sensibilidad de 0.1 g .

Equipos del Proctor Modificado

- Moldes cilíndricos de acero para el método A.- Un molde que tenga en promedio $101,6 \text{ mm}$ (4 pulgadas) de diámetro interior, una altura de $116,4 \text{ mm}$ (4,584 pulg) y un volumen de 944 cm^3 (0,0333 pie³).
- Molde cilíndrico de acero para el método C.- Un molde que tenga en promedio $152,4 \text{ mm}$ (6,000 pulg) de diámetro interior, una altura de: $116,4 \text{ mm}$ (4,584 pulg) y un volumen de $2\,124 \text{ cm}^3$ (0,075 pie³).

- Pisón de compactación, con un peso de 4.54 kg (10 lb) y una altura de caída de 457 mm (18 pulgadas).
- Balanza con capacidad de 20kg y otra de 1000 kg y con una precisión de 1 gr y 0.1 gr.
- Horno de secado a temperatura constante.
- Regla metálica, de longitud no menor a 254 mm (10 pulgadas), utilizada para enrasar el suelo.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Reconocimiento de la vía

Se visitó la vía en estudio donde se realizó un recorrido total, observando problemas de intransitabilidad, debido a las precipitaciones, típicas de la zona de investigación.

3.5.2. Ubicación, realización de calicatas y extracción de muestra

Las calicatas se realizaron en las progresivas 0+103, 0+296 y 0+465. Obteniéndose el muestreo correspondiente, se procedió su traslado al laboratorio para realizar los ensayos físicos y mecánicos.

3.5.3. Descripción de los ensayos físicos y mecánicos

Los ensayos del laboratorio que se realizaron para este estudio, con sus respectivas normas se detallan a continuación:

Tabla 12: *Ensayos de laboratorio realizados en la investigación*

Ensayo	Norma Técnica
Contenido de Humedad	MTC E 108
Análisis Granulométrico	MTC E 107
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico	MTC E 111
Proctor Modificado	MTC E 115
CBR	MTC E 132

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (M.T.C, 2016).

A. Ensayos Físicos en estado natural

Contenido de Humedad

Se extrajeron muestras de las calicatas, las cuales se colocó en bolsas para mantener su humedad natural. En el laboratorio se procedió a realizar el cuarteo manual para extraer una cantidad representativa según norma; se colocó en una tara pesada e identificada para luego ser colocada en el horno a una temperatura de 110°C, registrar la masa del peso seco y procesar los datos en gabinete (M.T.C, 2016).

Análisis Granulométrico por tamizado

Se secó el material, se realizó el cuarteo manual de la muestra y, según el tamaño máximo del material, se escogió la cantidad mínima requerida de la muestra a estudiar en estado seco. Seguidamente, se realizó el tamizado del material por la malla N° 04; la fracción gruesa retenida se lavó por dicho tamiz para retirar las arenas, arcillas y limos quedados en la grava; y de la fracción fina que pasó por el tamiz N° 04 se pesó una muestra de 500 gr, se deja remojando por 24 horas y se procedió a lavar por la malla N° 200 para eliminar los limos y arcillas;

posteriormente el material restante después del lavado se secó en el horno a una temperatura de 110°C. Luego del secado se inició con el tamizado de la fracción gruesa por las mallas 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y N°4 y la fracción fina por las mallas N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100 y N°200; se pesa el material retenido en cada tamiz (M.T.C, 2016).

Límite Líquido

Se obtiene la muestra total suficiente para proporcionar de 150 g a 200 g de material que pasa por la malla N° 40; se mezcló con agua potable hasta obtener una pasta homogénea con el fin de tener tres intervalos de consistencias específicas, siendo el primero entre 15 a 25 golpes para cerrar la ranura, el segundo de 20 a 30 golpes y el último de 25 a 35 golpes, para formar con ello una línea de tendencia que intercepte a la recta de 25 golpes, siendo este el valor del límite líquido (M.T.C, 2016).

En cada punto se utiliza la copa de Casagrande, y sobre esta se coloca una porción de pasta; con la ayuda de una espátula se niveló hasta alcanzar un espesor de 1cm. En el centro se hizo una ranura con el acanalador, dejando caer la copa con la manivela a una velocidad de 2 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de suelo se unieran, alcanzando una longitud de 13mm, y se registró el número de golpes obtenidos en cada ensayo (M.T.C, 2016).

Tomándose la fracción en contacto, se coloca en una tara y se determina el peso de la masa humedad, para luego ser colocada al horno a una temperatura de 110°C por 24 horas; finalmente se registra la masa seca de la muestra. Este procedimiento se repitió 3 veces hasta que cumplió con los intervalos de número de golpes establecidos en la norma (M.T.C, 2016).

Límite Plástico

Se consideró una porción mayor a 20 g de la pasta empleada en el ensayo del límite líquido, para luego tomar 1.5 g a 2.0 g y moldear la muestra en forma de elipsoide. Posteriormente, en una placa de vidrio se ejerció una presión necesaria para formar un hilo de 3.2mm de diámetro aproximadamente. Si el hilo no llega a fisurarse antes del diámetro referido, se volverá a repetir el procedimiento hasta que presente agrietamientos; luego se toma las porciones de los hilos agrietados, se coloca en una tara y se determina el contenido de humedad, considerándose que sea mayor a 6 gr de masa (M.T.C, 2016).

B. Ensayos mecánicos (Proctor y CBR) con las adiciones de cal y escoria de cobre.

Para los diferentes porcentajes de las adiciones se realizó el mismo procedimiento, solo que en cada muestra se adicionó cal + escoria de cobre en función al peso seco del material y se determinó sus óptimos contenidos y máximas densidades secas.

Proctor Modificado

Con el análisis granulométrico se determina el método a aplicar en esta investigación; para la C-1 (SC) y C-2 (CL) se aplicó el método C y A.

Se tamizaron las muestras en estado natural; para la C-1 (SC), por el tamiz $\frac{3}{4}$ ” y para la C-2 (CL), por la malla N° 4, y luego se dejó secar la muestra a temperatura ambiente. Una vez realizado el tamizado para la C-2 (CL), se tomó 4 muestras de 2.5kg cada una y para la C-1 (SC) se realizó 4 muestras de 6.0 kg; donde, una vez pesadas las muestras, se procede a agregar cantidades distintas de agua que difieran en un rango del 2%. Se compactarán las muestras en 5 capas, cada una con 25 golpes para la C-2 (CL) y para la C-1 (SC) cada capa se

compactó con 56 golpes, utilizando el pisón manual de compactación con un peso de 4.54 kg, especificado en la norma MTC E 115. Luego, se procede a enrasar el molde y se pesa la masa húmeda de cada muestra; se extrae una cantidad representativa de la parte superior e inferior de cada molde, evitando los bordes para obtener el contenido de humedad. Finalmente, en gabinete, de acuerdo a un análisis de regresión con la línea de tendencia de las 4 muestras, se determinó la máxima densidad seca de compactación y el óptimo contenido de humedad (M.T.C, 2016).

California Bearing Ratio (CBR)

Se prepararon 3 muestras de suelo natural de 6.0kg cada una, ajustadas con el óptimo contenido de humedad determinado en el ensayo del Proctor modificado. Cada muestra fue compactada en tres moldes CBR, distribuyendo el material en 5 capas, difiriendo la cantidad de golpes a cada una de las muestras, siendo estas de 12, 25 y 56 golpes (M.T.C, 2016).

A continuación, las muestras fueron invertidas colocándose un papel filtro entre el molde y la base, sobre la superficie de la muestra invertida se coloca la placa perforadora con vástago, y, sobre esta los anillos necesarios para completar una sobrecarga mínimo de 4.54 kg y luego colocamos el molde dentro de un recipiente con agua. Con el uso de un deformímetro de expansión graduada desde cero, se mide la expansión inicial del espécimen; luego los tres moldes se sumergen en un tanque de agua por 96 horas, registrándose las medidas de expansión cada 24 horas. Finalmente, se extrae los moldes del tanque y se deja drenar el agua para luego proceder a realizar el ensayo de penetración, determinándose la relación carga-penetración (M.T.C, 2016).

3.6. Presentación de resultados

3.6.1. Características físicas de la subrasante de la vía Antenor Orrego

Tabla 13: *Características físicas de la subrasante*

Descripción	Calicatas		
	C-1	C-2	C-3
Tamiz	% acumulado que pasa		
11/2"	93.21	91.68	100.0
1"	79.32	88.23	100.0
3/4"	78.11	87.49	100.0
1/2"	77.50	87.00	100.00
3/8	75.99	86.32	98.87
1/4	74.83	85.89	98.04
N° 4	72.71	85.46	93.67
N° 10	66.65	81.89	88.55
N° 20	58.46	77.58	87.04
N° 30	52.52	72.40	82.90
N° 40	48.28	68.33	80.64
N° 60	42.40	64.39	79.90
N° 100	41.13	62.30	79.75
N° 200	40.95	61.68	79.66
Límite líquido (LL)	27	26	30
Límite plástico (LP)	18	16	21
Índice de plasticidad (IP)	9	10	9
Clasificación SUCS	SC	CL	CL
Clasificación AASHTO	A-4 (1)	A-4 (3)	A-4 (6)
% de Humedad	13.19%	14.07%	13.62%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Resultados de los ensayos para determinar las características mecánicas de la vía Antenor Orrego.

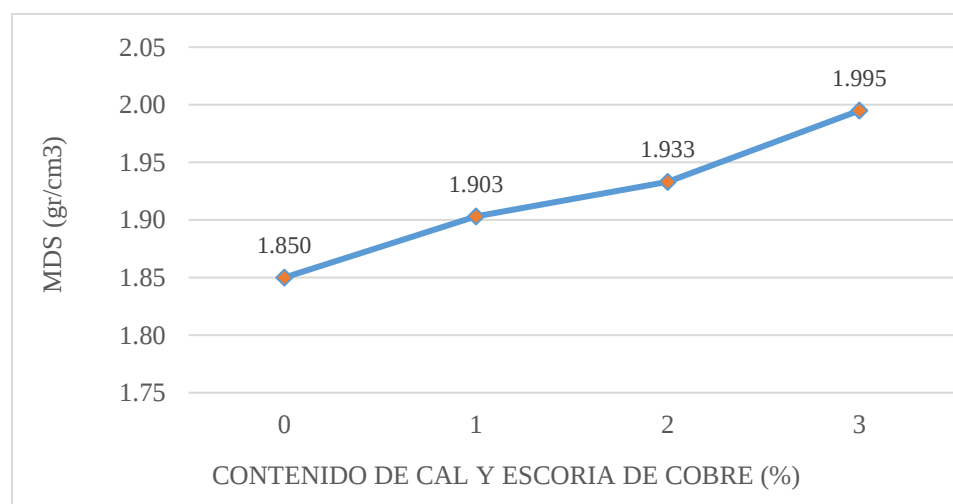
Se realizaron ensayos del Proctor modificado y CBR para la C-1 (SC) y C-2 (CL).

Tabla 14: *Parámetros de compactación con y sin la adición de cal y escoria de cobre*

Descripción	C-1				C-2			
	A-4 (1) - SC				A-4(3) - CL			
	0% C+ 0% E	1% C+ 1% E	2% C+ 2% E	3% C+ 3% E	0% C+ 0% E	1% C+ 1% E	2% C+ 2% E	3% C+ 3% E
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.85	1.903	1.933	1.995	1.787	1.788	1.799	1.897
Óptimo contenido de Humedad (%)	11.14	10.91	9.64	9.27	15.23	12.25	11.52	10.88

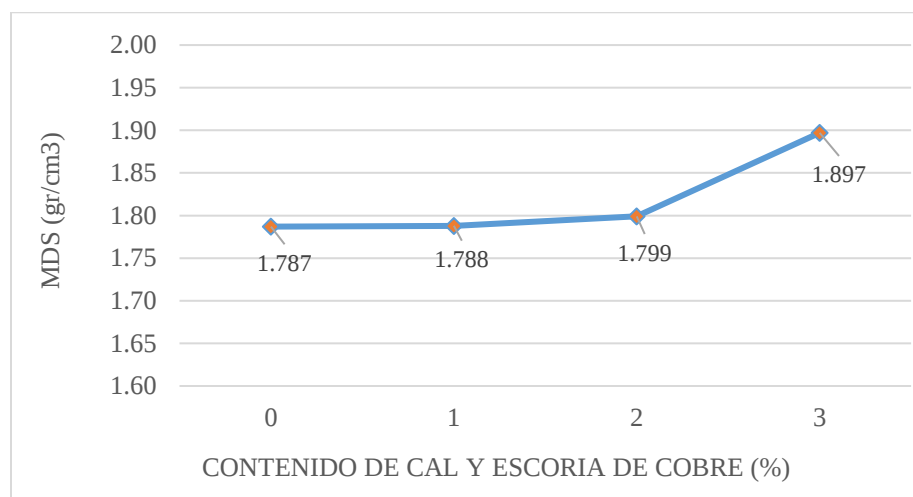
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6: *Máxima densidad seca promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1 (SC)*



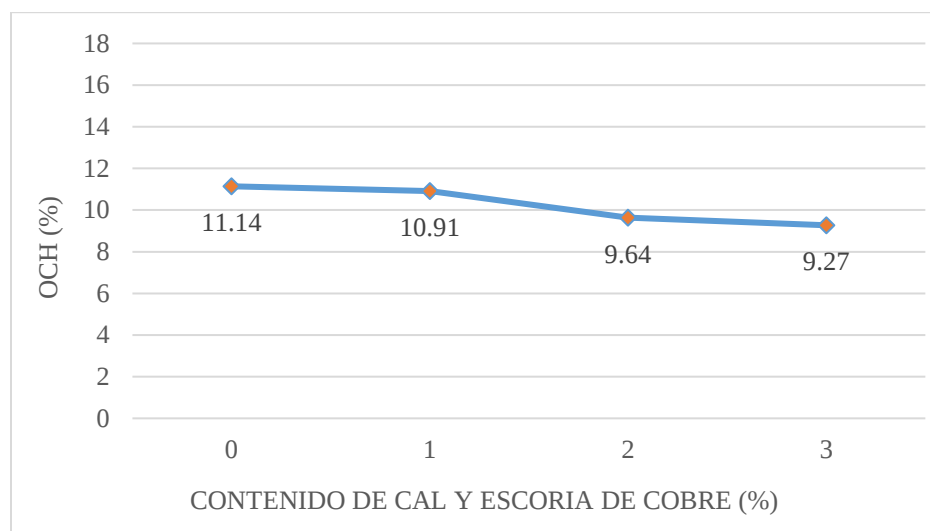
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: *Máxima densidad seca promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL).*



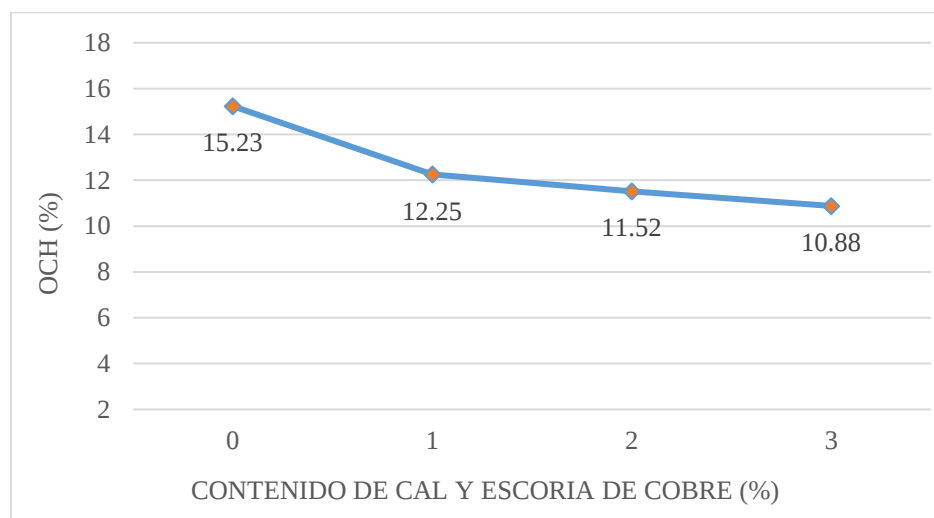
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: *Optimo Contenido de Humedad promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1 (SC).*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Optimo contenido de humedad promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: CBR de la subrasante con y sin la adición de cal y escoria de cobre

Descripción		C-1				C-2			
		A-4(1) - SC				A-4(3) - CL			
		0% C+	1% C+	2% C+	3% C+	0% C+	1% C+	2% C+	3% C+
		0% E	1% E	2% E	3% E	0% E	1% E	2% E	3% E
CBR al 95% a 0.1" MDS (%)	Muestra 01	3.80	4.30	5.40	14.50	1.50	5.10	6.30	13.40
	Muestra 02	3.60	4.60	5.60	14.70	1.72	5.30	6.40	13.50
	Muestra 03	3.40	4.70	5.80	14.95	1.90	5.40	6.80	13.80
	Promedio	3.60	4.53	5.60	14.72	1.71	5.27	6.50	13.57

Fuente: Elaboración propia.

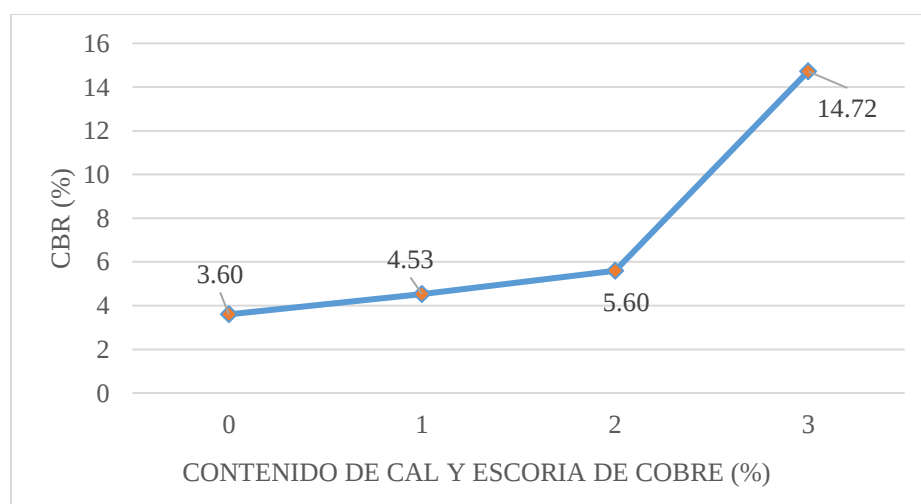
Tabla 16: Resultados del CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre

CBR al 95% a 0.1" MDS (%)								
Calicata	C-1 A-4(1) - SC				C-2 A-4(3) - CL			
	0%	1%	2%	3%	0%	1%	2%	3%
% de Cal y Escoria de cobre								
CBR Promedio	3.60	4.53	5.60	14.72	1.71	5.27	6.50	13.57

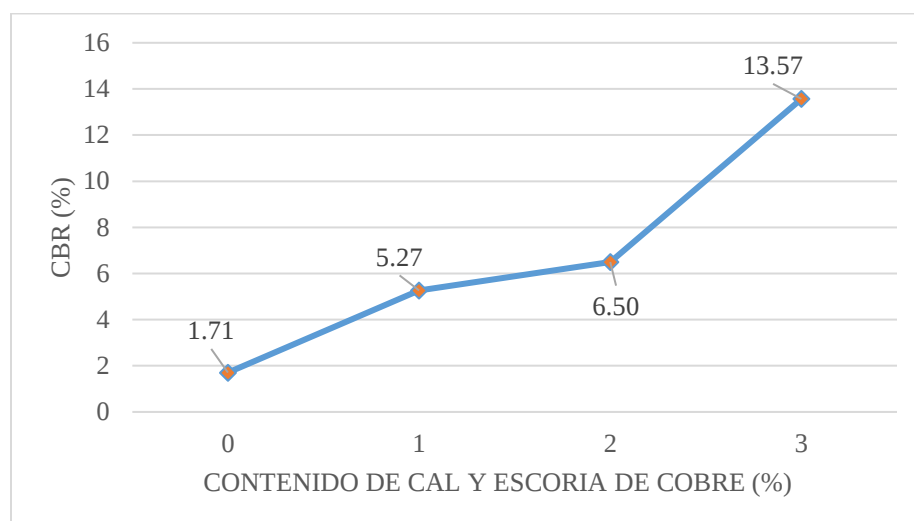
Tabla 17: Comparación de los resultados obtenidos del CBR promedio vs % de cal y escoria de cobre

Calicata	ASSHTO	CBR (%)	CBR	Incremento	CBR	Incremento	CBR	Incremento
	SUCS	0% C + 0% E	1% C + 1% E		2% C + 2% E		3% C + 3% E	
C-1	A-4(1) SC	3.60	4.53	0.93	5.60	2.00	14.72	11.12
C-2	A-4(3) CL	1.71	5.27	3.56	6.50	4.79	13.57	11.86

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-1(SC)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: CBR promedio de la subrasante vs % de cal y escoria de cobre, de la C-2 (CL)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Prueba de homogeneidad de varianzas para la C-1 (SC)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
CBR al 95% a 0.1" de la MDS	Se basa en la media	2.192	3	8	0.167
	Se basa en la mediana	0.376	3	8	0.773
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.376	3	5.205	0.775
	Se basa en la media recortada	1.951	3	8	0.200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Prueba comparaciones múltiples para la C-1 (SC)

Variable dependiente:		CBR al 95% a 0.1'' de la MDS				
HSD Tukey						
(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	p.	Intervalo de confianza al 95%	
Dosificaciones	Dosificaciones				Límite inferior	Límite superior
0%	1	-1,09333*	0.13962	0.000	-1.5405	-0.6462
	2	-2,21000*	0.13962	0.000	-2.6571	-1.7629
	3	-11,22667*	0.13962	0.000	-11.6738	-10.7795
1%	0	1,09333*	0.13962	0.000	0.6462	1.5405
	2	-1,11667*	0.13962	0.000	-1.5638	-0.6695
	3	-10,13333*	0.13962	0.000	-10.5805	-9.6862
2%	0	2,21000*	0.13962	0.000	1.7629	2.6571
	1	1,11667*	0.13962	0.000	0.6695	1.5638
	3	-9,01667*	0.13962	0.000	-9.4638	-8.5695
3%	0	11,22667*	0.13962	0.000	10.7795	11.6738
	1	10,13333*	0.13962	0.000	9.6862	10.5805
	2	9,01667*	0.13962	0.000	8.5695	9.4638

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20: Prueba de homogeneidad de varianzas para la C-2 (CL)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	P
CBR al 95% a 0.1'' de la MDS	Se basa en la media	0.730	3	8	0.563
	Se basa en la mediana	0.656	3	8	0.602
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.656	3	5.455	0.611
	Se basa en la media recortada	0.727	3	8	0.564

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21: Prueba comparaciones múltiples para la C-2 (CL)

Variable dependiente:		CBR				
HSD Tukey						
(I) Dosificacion es	(J) Dosificaci ones	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0	1	-3,53333*	0.21082	0.000	-4.2084	-2.8582
	2	-4,70000*	0.21082	0.000	-5.3751	-4.0249
	3	-11,86667*	0.21082	0.000	-12.5418	-11.1916
1	0	3,53333*	0.21082	0.000	2.8582	4.2084
	2	-1,16667*	0.21082	0.002	-1.8418	-0.4916
	3	-8,33333*	0.21082	0.000	-9.0084	-7.6582
2	0	4,70000*	0.21082	0.000	4.0249	5.3751
	1	1,16667*	0.21082	0.002	0.4916	1.8418
	3	-7,16667*	0.21082	0.000	-7.8418	-6.4916
3	0	11,86667*	0.21082	0.000	11.1916	12.5418
	1	8,33333*	0.21082	0.000	7.6582	9.0084
	2	7,16667*	0.21082	0.000	6.4916	7.8418

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados

a) Clasificación de suelos

Los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 13, los suelos de la vía Antenor Orrego, se clasifican según el sistema SUCS como suelo arcilloso con arena (SC) para la calicata 1 y arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) para la calicata 2 y 3; y según ASSHTO las calicatas 1,2 y 3 se clasifican en A-4, con índice de plasticidad que varían de 9 a 10, considerándose suelos con plasticidad media que no cumplen con las características adecuadas para una buena subrasante.

b) Proctor modificado

En la Tabla 14, se muestra los resultados del Proctor modificado con cada % de adiciones de cal y escoria de cobre para las calicatas 1 (SC) y 2 (CL); la máxima densidad seca obtenida en los ensayos presenta aumentos de 0.053, 0.083 y 0.145 gr/cm³ con respecto a la muestra patrón para la C-1 (SC) y para la C-2 (CL) se incrementan en un 0.001, 0.012 y 0.110 gr/cm³; es decir las densidades son directamente proporcionales a las adiciones de cal y escoria de cobre; el óptimo contenido de humedad va disminuyendo con respecto a la muestra patrón para la C-1 (SC) en 0.23, 1.50 y 1.87 % y para la C-2 (CL) en 2.98, 3.71 y 4.35 %; siendo estos valores inversamente proporcional van disminuyendo conforme aumenta los porcentajes de adición de cal y escoria de cobre.

c) Capacidad de soporte (CBR)

En la Tabla 15, se puede visualizar que se realizaron tres muestras de CBR al 95 % de la densidad máxima seca con cada % de adición de cal y escoria de cobre de las calicatas 1 (SC) y 2

(CL); por lo que el resultado final del CBR es el promedio de las 3 muestras. Al comparar los resultados obtenidos en los ensayos con y sin la adición de la cal y escoria de cobre, se visualiza que el CBR mejora considerablemente de 3.60% a 4.53%, 5.60% y 14.72% para la C-1 (SC) y la C-2 (CL) mejora de 1.71% a 5.27%, 6.50% y 13.53% con las adiciones del 1%, 2% y 3% de cal y escoria de cobre respectivamente, por lo que el incremento máximo con respecto al suelo patrón del CBR es de 0.93, 2.00 y 11.12% para la C-1 (SC) y de 3.56, 4.79 y 11.86% para la C-2 (CL). Ver Tabla 17.

De los resultados con respecto a las adiciones, los valores del CBR aumentan al adicionarse progresivamente cal y escoria de cobre, demostrando que sí es recomendable adicionar estas materias primas al suelo de las subrasantes. Según el Manual de carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) del Ministerio de Transportes del Perú, refiere que, si los suelos cuentan con subrasantes con un CBR menor a 6%, se deben de estabilizar. En contraste con esta investigación, el suelo se consideró estable, adecuado y logra una mejor estabilización con el valor del CBR adicionando un porcentaje del 3% de cal y escoria de cobre, pasando de una subrasante pobre a buena según la tabla 5.

d) Prueba de homogeneidad de varianza

En la Tabla 18 y 20, Se presenta la verificación de la homogeneidad de varianzas, cumpliendo que $p > 0.05$, entonces se afirma que, si existe heterogeneidad de varianzas, por ende, las medias presentan diferencias significativas al menos en uno de sus tratamientos. Así mismo, en la Tabla 19 y 21, se presenta valores comparativos del nivel de significancia de las medias para

cada tratamiento, donde en todos los casos se tiene un $p < 0.05$, por ende, las medias presentan diferencias significativas, es decir son diferentes, han presentado aumentos.

En contraste con la investigación realizada por Tacca (2021), donde para la calicata más crítica tuvo que, al tratar la subrasante con adiciones de cal en 4%, 8% y 12% las máximas densidades disminuyeron de 2.01gr/cm³ a 1.98gr/cm³, 1.92gr/cm³, 1.91gr/cm³, respectivamente por cada adición; el óptimo contenido de humedad ha variado de 11.95% a 12.1%, 11% y 11.65%, respectivamente; los valores del CBR al 95% de la MDS a 0.1” aumentaron de la muestra natural cuyo CBR es de 9.4% a 19.2%, 24.95% y 28.50%, respectivamente; al comparar los diversos valores con la muestra patrón tuvo, que las densidades disminuyeron en 0.03, 0.09 y 0.1gr/cm³, las humedades óptimas tuvieron variaciones en +0.15, -0.95 y -0.3%, y los valores del CBR aumentaron en 9.8, 15.5 y 19.1%; lográndose pasar de una subrasante Regular sin tratar a una subrasante Buena, Muy buena y Muy buena para los diferentes tratamientos. Los altos aumentos del CBR que obtuvo el autor en su estudio se debió a la alta cantidad de escoria que se incluyó al suelo, siendo con el 12% que se logra maximizar los valores. En la presente investigación las adiciones de escoria con la que se trataron el suelo fueron bajas (1% de cal + 1% de escoria de cobre, 2% de cal + 2% de escoria de cobre y 3% de cal + 3% de escoria de cobre) a diferencia con lo trabajado por Tacca. En el presente estudio se obtuvo aumentos en la densidad de 0.053, 0.083 y 0.145 gr/cm³ con respecto a la muestra patrón para la C-1 (SC), y disminuciones en 0.23, 1.5 y 1.87% del óptimo contenido de humedad; para la C-2 (CL) los aumentos de la densidad fueron en 0.001, 0.012 y 0.11gr/cm³ y las disminuciones de la humedad en 2.98, 3.71 y 4.35%; lo cual difiere con los resultados encontrados por Tacca, donde sus densidades tienden a aumentar y las humedades para el primer porcentaje aumenta, para el resto disminuye; pero los valores del CBR

encontrados en esta investigación, tienden a ser concordantes, ya que son directamente proporcionales a las adiciones de escoria. En la C-1 (SC), los aumentos de la capacidad de soporte fueron en 0.93, 2.00 y 11.12% para las adiciones de 1% C+ 1% E, 2% C+ 2% E y 3% C+ 3% E, con respecto a la muestra patrón; donde la subrasante paso de Insuficiente sin ser tratada, a seguir siendo Insuficiente para el primer y segundo tratamiento y Buena para el tercer tratamiento; además la C-2 (CL) los aumentos fueron de 3.56, 4.79 y 11.86%, donde el suelo paso de una subrasante Inadecuada a una Insuficiente, Regular y Buena.

De la hipótesis planteada, que, la capacidad de soporte del suelo de la vía Antenor Orrego incrementa al adicionar cal y escoria en un rango del 6% a 15%, las características mecánicas para la C-1 mejora la capacidad soporte de la subrasante pasando de 3.60% a un CBR de 14.72% con la adición del 3% de cal y escoria de cobre; y para la C-2 de 1.71% a 6.50 % y 13.57 % para las dosificaciones de 2 y 3% de cal y escoria de cobre; lo cual, respecto a la C-1 el rango mencionado se cumple para los valores obtenidos en la adición del 3% que logra una mejor estabilización de la subrasante, mientras que para la C-2 el suelo se vuelve estable y adecuado con los porcentajes del 2 y 3%, que están dentro del rango establecido en la hipótesis, por lo que con el 1% no es válida por presentar valores menores al rango que se planteó.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De los estudios realizados en la investigación, se comprobó que con un porcentaje del 3% de cal y escoria de cobre, al suelo natural el CBR incrementa y mejora la capacidad soporte del suelo, pasando de una subrasante pobre a buena. El valor óptimo del CBR al 95% de la MDS y una penetración de 0.1'' para este suelo estabilizado es de 14.72%.
- Con respecto a las características físicas de las calicatas estudiadas 1, 2 y 3, se determinó que, según la clasificación SUCS, estos suelos son de tipo SC (suelo arcilloso con arena) en la C-1 y CL (suelos de arcilla arenosa de baja plasticidad) para la C-2 y C-3; y para clasificación AASHTO se obtuvieron suelos de tipo A-4(1), A-4(3) y A-4(6). Basándose en los resultados de los límites de Atterberg, se observa una variación entre el 9 y el 10% en el índice de plasticidad, por lo que se consideran suelos de plasticidad mediana y en el contenido de humedad valores de 13.19%, 14.07% y 13.62%, respectivamente. Además, se definieron las características mecánicas de las calicatas C-1 (SC) y C-2 (CL), teniendo una máxima densidad seca promedio de 1.850 gr/cm³ y 1.787 gr/cm³, con una humedad óptima de 11.14% y 15.23%; los resultados obtenidos del ensayo del CBR promedio son de 3.60% (subrasante inadecuada) y 1.71% (subrasante insuficiente), respectivamente.
- De acuerdo a las propiedades mecánicas de las C-1 (SC) y la C-2 (CL), se determinó que los resultados obtenidos al adicionar el 1%, 2% y 3% de cal y escoria de cobre, en la máxima densidad, se obtuvieron valores de 1.903 gr/cm³, 1.933 gr/cm³ y 1.995 gr/cm³ para la C-1 (SC) y para la C-2 (CL) datos de 1.788, 1.799 y 1.897/cm³; por lo que presentan un incremento en

la MDS y en el OCH, los porcentajes disminuyen con respecto a la muestra patrón conforme aumentan los porcentajes de las adiciones. En el ensayo del CBR, los valores obtenidos son de 4.53%, 5.60% y 14.72% en la C-1 (SC) y para la C-2 (CL) los promedios son de 5.27%, 6.50% y 13.57%, respectivamente. De acuerdo a la Tabla 17, se mostró que la capacidad de soporte del suelo incrementa sus valores conforme aumentan los porcentajes de las adiciones de cal y escoria de cobre, logrando una mejor estabilización en la subrasante con el porcentaje del 3% de cal y escoria de cobre.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere llevar a cabo investigaciones incluyendo otros materiales estabilizantes como el cemento, compuestos de sodio, magnesio, entre otros; esto permitirá comparar el comportamiento mecánico del suelo tratado e identificar el estabilizante más eficiente y sostenible para este tipo de suelos.
- Se recomienda realizar un análisis químico detallado de la escoria de cobre, para identificar y cuantificar la presencia de metales pesados; esta información es crucial para evaluar el riesgo potencial de contaminación del suelo y las aguas subterráneas, así como para determinar la viabilidad ambiental de su uso como estabilizante.
- Se recomienda determinar el valor del índice de Soporte California Ratio (CBR) de la subrasante con adición de cal y la escoria de cobre de forma individual; a fin de analizar el efecto de cada uno sobre la capacidad portante del suelo; esta comparación facilitará la identificación del material que proporciona una mejora más significativa en las propiedades mecánicas del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, W. (2015). *Ecuaciones de correlación de CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Digital PIRHUA. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2192/ICI_208.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Braja, D. (2015). *Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning. <https://aportesingecivil.com/libro-fundamentos-de-ingenieria-de-cimentaciones/>
- Ccoillo, I. (2017). *Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina – 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Digital Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/13342>.
- Contreras, 2020. *Utilización de la Escoria de Cobre de CODELCO Ventanas como Agregado para los Sellos de Alta Fricción Implementado en Pavimentos Rígidos y Flexibles*. <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/items/a6de63b2-8dd6-4016-b7f7-0026c8f45791>
- Cuba y Humpire, 2019. “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ usando cemento yura tipo IP y cemento wari tipo IP, con la adición de escoria de cobre de la minera southern Perú, para la ciudad de Arequipa. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b4108ba5-9c7c-4389-abd0f9f9f862f40d>
- Fernández, D. y Manosalva, M. (2022). *Mejoramiento del suelo de fundación con adición de cal en la infraestructura vial Puerto Ciruelo, distrito de Huarango, Cajamarca, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91417>
- Gonzales, L. (2019). *Estabilización de suelos cohesivos utilizando escoria de cobre para su uso como subrasante mejorada* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería. https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/19266/1/torres_my.pdf.

Google Earth Pro 7.3 (2024).

https://earth.google.com/web/search/744132,+9368483/@-5.70800124,-78.79610265,696.84584789a,666.53329023d,34.99999993y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCbrZjKgb1BbAEaQsXqmD4hbAGRA78koMslPAIf_DJ6mls1PAQgIIATIpCicKJQohMWFyQXdfSGdNRjA2cWo3ZnlMd0NfNDRqVm9KcjBIWGRRIAE6AwoBMEoICIS-i9oEEAE

Herrera, S. y Miranda, L. (2022). *Mejoramiento de suelos arcillosos, utilizando cal en la subrasante de pavimentos, pasaje El Porvenir, sector el Parral, Jaén, Cajamarca 2022. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/107720>

Jangid, A. K., & Grover, K. S. (2023). *Experimental investigation of mechanical properties of problematic expansive soil using copper slag and its statistical validation. Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 1-15.*
<https://link.springer.com/article/10.1007/s41939-023-00316-z>

Moale, A. y Rivera, E. (2019). *Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Digital Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.*

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/648846>

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. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.*
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Norma ASTM D 2487 – 11. (2011). *Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos).*

https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_D2487_11_.pdf

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>

Ocupa, S. y Troyes, H. (2021). *Adición de escoria de acero para estabilizar la subrasante en la Carretera Tramo Puente Blanco-Chunchuquillo, Colasay-Jaén-Cajamarca-2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo.*

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/68271/Ocupa_MSD-Troyes_MH-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Pérez, I. (2022). *Estabilización de subrasantes blandas con escoria de acero en caminos vecinales, carretera ingreso Urbanización El Algarrobal, Ilo, Moquegua 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91417>

Rivera, F. y Flores, A. (2009). Estrada, F. y Pintado, J. (2019). *Capacidad portante (CBR) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando 2%, 4% y 6% de cal hidratada, 4%, 6% y 8% de cemento portland tipo iy 4%, 8% y 12% de cloruro de sodio [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Digital UPN.*

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22322>

SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción) (2010). *Reglamento Nacional de edificaciones – Norma Técnica Peruana Pavimentos Urbanos CE.010. Lima, Perú.*

Tacca, J. (2021). *Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay-Apurímac, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Universidad César Vallejo.*

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58189/Tacca_HJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y



Fotografía 02: Análisis granulométrico por tamizado



Fotografía 03: Límites de Atterberg



Fotografía 04: Realización del ensayo de Proctor de la C-1



Fotografía 05: Realización del ensayo de penetración del CBR patrón



Fotografía 06: Moldes de la muestra de CBR sumergidos en agua



Fotografía 07: Se mezcla la muestra con las adiciones de cal y escoria de cobre para el CBR.



Fotografía 08: Realización del ensayo de Proctor con la cal y escoria de cobre.



A.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

A.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD - C1, C2 Y C3.

CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	
MTC E 108	

DATOS DEL MUESTREO					
CALICATA : MUESTRA:	C - 1	REGISTRO N° :	JPCT - 03	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.
	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Clasif. (SUCS):	SC		

CALICATA :	C - 1	
MUESTRA :	M - 1	
DATOS	PRUEBA N° 01	PRUEBA N° 02
RECIPIENTE N°	25	4
Wmh + Wt (g)	164.02	155.45
Wms + Wt (g)	147.77	140.23
Wt - Masa del recipiente (g)	25.06	24.33
Ww - Masa del agua (g)	16.25	15.22
Wms (g)	122.71	115.90
W (%)	13.24	13.13
Promedio Contenido de Huemdad (%)	13.19	

CONTENIDO DE HUMEDA (W%) MTC E 108
--

DATOS DEL MUESTREO					
CALICATA :	C - 2	REGISTRO N° :	JPCT - 03	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.
MUESTRA:	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Clasif. (SUCS):	CL		

CALICATA :	C - 2	
MUESTRA :	M - 1	
DATOS	PRUEBA N° 01	PRUEBA N° 02
RECIPIENTE N°	1	6
Wmh + Wt (g)	181.50	179.85
Wms + Wt (g)	162.20	161.35
Wt - Masa del recipiente (g)	25.19	29.80
Ww - Masa del agua (g)	19.30	18.50
Wms (g)	137.01	131.55
W (%)	14.09	14.06
Promedio Contenido de Huemdad (%)	14.07	

CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)
MTC E 108

DATOS DEL MUESTREO					
CALICATA :	C - 3	REGISTRO N° :	JPCT - 03	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.
MUESTRA:	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023
Clasif. (AASHTO):	A-4 (6)	Clasif. (SUCS):	CL		

CALICATA :	C - 3	
MUESTRA :	M - 1	
DATOS	PRUEBA N° 01	PRUEBA N° 02
RECIPIENTE N°	14	20
Wmh + Wt (g)	191.22	182.72
Wms + Wt (g)	170.97	163.45
Wt - Masa del recipiente (g)	22.75	21.53
Ww - Masa del agua (g)	20.25	19.27
Wms (g)	148.22	141.92
W (%)	13.66	13.58
Promedio Contenido de Huemdad (%)	13.62	

A.2.2. ANALISIS GRANULOMETRICO - C1, C2 Y C3.

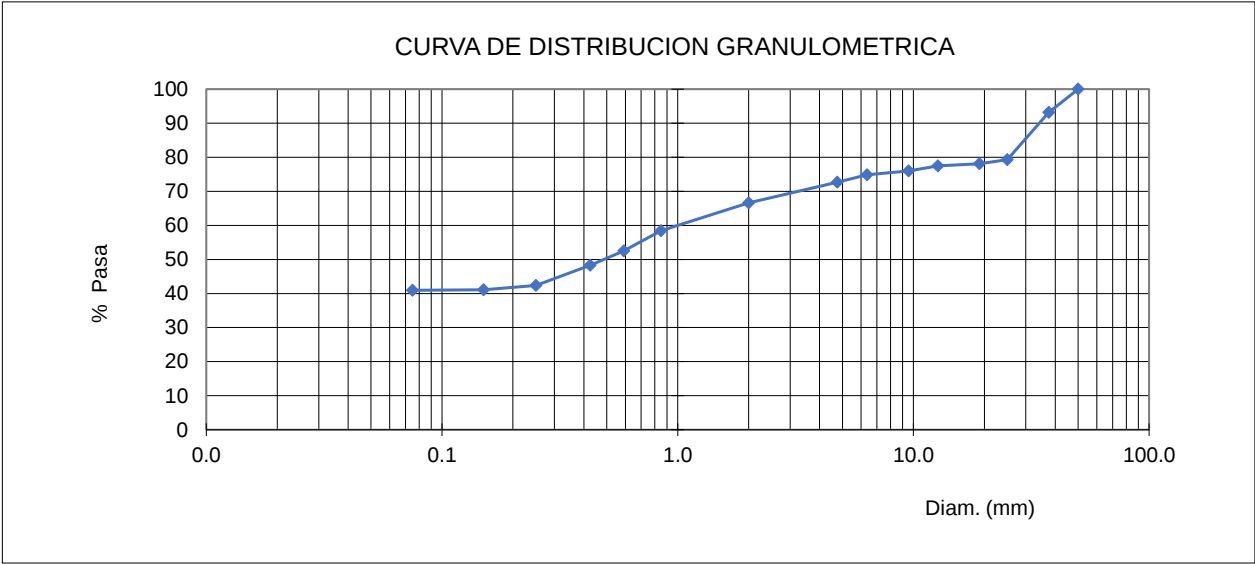
ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS MEDIANTE TAMIZADO
MTC E 107

DATOS DEL MUESTREO

Calicata :	C-1/M-1	Profund:	0.30 m A 1.50m	Clasif. (AASHTO):	A-4(1)	Clasif. (SUCS):	SC
Grava (%):	27.29	Arena(%):	31.76	Finos (%):	40.95	Fecha:	Set.-2023

CONDICIONES INICIALES DE LA MUESTRA		CONDICIONES INICIALES DE LA FRACCION FINA	
P.TOTAL MUESTRA SECA (gr):	1649.00	PESO SECO FRACCIÓN FINA (gr):	500.00
P. TOTAL MUESTRA SECA >Nº4:	450.00		
P.TOTAL MUESTRA SECA< Nº4:	1199.00		

	TAMIZ		Peso Retenido	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
	Nº	Abert. (mm)	Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	que Pasa
FRACCIÓN GRUESA	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	1 1/2"	37.50	112.00	6.79	6.79	93.21
	1"	25.00	229.00	13.89	20.68	79.32
	3/4"	19.05	20.00	1.21	21.89	78.11
	1/2"	12.70	10.00	0.61	22.50	77.50
	3/8"	9.53	25.00	1.52	24.01	75.99
	1/4"	6.35	19.00	1.15	25.17	74.83
	4	4.75	35.00	2.12	27.29	72.71
FRACCIÓN FINA	10	2.00	41.67	6.06	33.35	66.65
	20	0.85	56.32	8.19	41.54	58.46
	30	0.59	40.85	5.94	47.48	52.52
	40	0.43	29.16	4.24	51.72	48.28
	60	0.25	40.43	5.88	57.60	42.40
	100	0.15	8.73	1.27	58.87	41.13
	200	0.08	1.24	0.18	59.05	40.95
	CAZOLETA		-	-	-	



ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS MEDIANTE TAMIZADO

MTC E 107

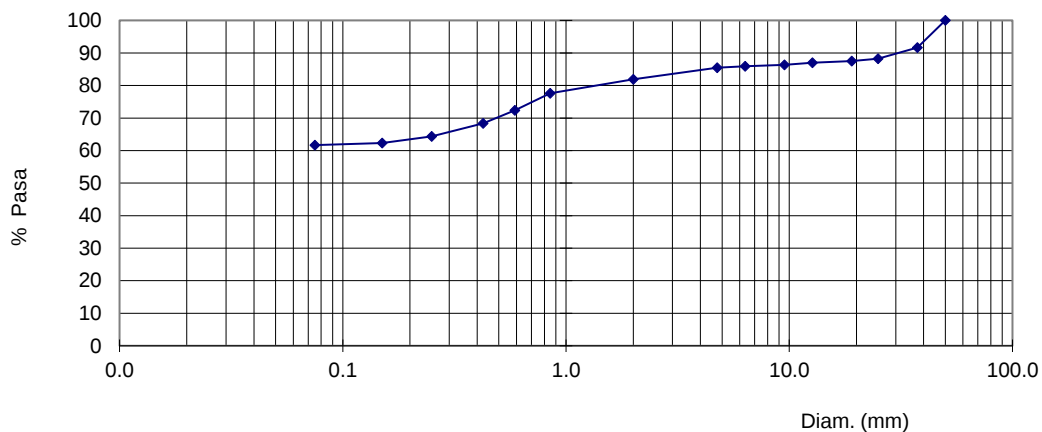
DATOS DEL MUESTREO

Calicata :	C-2/M-1	Profund:	0.30 m A 1.50m	Clasif. (AASHTO):	A-4(3)	Clasif. (SUCS):	CL
Grava (%):	14.54	Arena(%):	27.78	Finos (%):	61.68	Fecha:	Set.-2023

CONDICIONES INICIALES DE LA MUESTRA		CONDICIONES INICIALES DE LA FRACCION FINA	
P.TOTAL MUESTRA SECA (gr):	1623.00	PESO SECO FRACCIÓN FINA (gr):	500.00
P. TOTAL MUESTRA SECA >Nº4:	236.00		
P.TOTAL MUESTRA SECA < Nº4:	1387.00		

	TAMIZ		Peso Retenido	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
	Nº	Abert. (mm)	Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	que Pasa
FRACCIÓN GRUESA	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	1 1/2"	37.50	135.00	8.32	8.32	91.68
	1"	25.00	56.00	3.45	11.77	88.23
	3/4"	19.05	12.00	0.74	12.51	87.49
	1/2"	12.70	8.00	0.49	13.00	87.00
	3/8"	9.53	11.00	0.68	13.68	86.32
	1/4"	6.35	7.00	0.43	14.11	85.89
	4	4.75	7.00	0.43	14.54	85.46
FRACCIÓN FINA	10	2.00	20.89	3.57	18.11	81.89
	20	0.85	25.22	4.31	22.42	77.58
	30	0.59	30.31	5.18	27.60	72.40
	40	0.43	23.81	4.07	31.67	68.33
	60	0.25	23.05	3.94	35.61	64.39
	100	0.15	12.23	2.09	37.70	62.30
	200	0.08	3.63	0.62	38.32	61.68
	CAZOLETA		-	-	-	

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS MEDIANTE TAMIZADO

MTC E 107

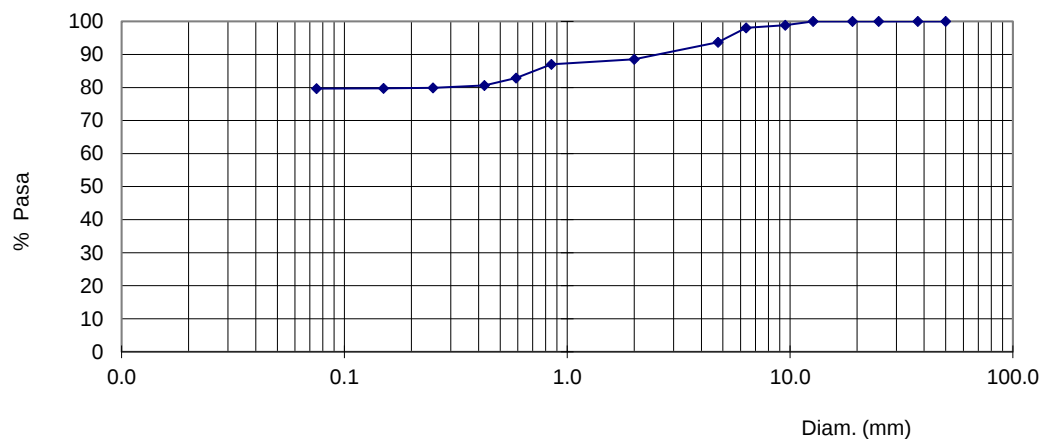
DATOS DEL MUESTREO

Calicata :	C-3/M-1	Profund:	0.30 m A 1.50m	Clasif. (AASHTO):	A-4(6)	Clasif. (SUCS):	CL
Grava (%):	6.33	Arena(%):	14.01	Finos (%):	79.66	Fecha:	Set.-2023

CONDICIONES INICIALES DE LA MUESTRA		CONDICIONES INICIALES DE LA FRACCION FINA	
P.TOTAL MUESTRA SECA (gr):	1328	PESO SECO FRACCIÓN FINA (gr):	500.00
P. TOTAL MUESTRA SECA >Nº4:	84.00		
P.TOTAL MUESTRA SECA < N°4:	1244.00		

	TAMIZ		Peso Retenido	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
	Nº	Abert. (mm)	Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	que Pasa
FRACCIÓN GRUESA	2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
	1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
	1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
	3/8"	9.53	15.00	1.13	1.13	98.87
	1/4"	6.35	11.00	0.83	1.96	98.04
	4	4.75	58.00	4.37	6.33	93.67
FRACCIÓN FINA	10	2.00	27.33	5.12	11.45	88.55
	20	0.85	8.06	1.51	12.96	87.04
	30	0.59	22.10	4.14	17.10	82.90
	40	0.43	12.06	2.26	19.36	80.64
	60	0.25	4.00	0.75	20.10	79.90
	100	0.15	0.80	0.15	20.25	79.75
	200	0.08	0.43	0.08	20.34	79.66
	CAZOLETA		-	-	-	

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



A.2.3. LÍMITES DE ATTERBERG - C1, C2 Y C3.

LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
MTC E 110 - MTC E 111

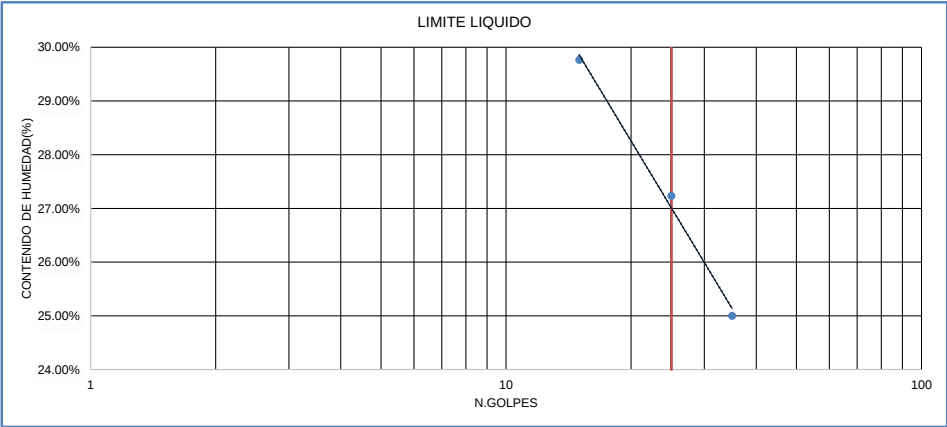
DATOS DEL MUESTREO							
CALICATA :	C - 1	REGISTRO N°:	JPCT-02	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.	Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)
MUESTRA :	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023	Clasif. (SUCS):	SC

LIMITE LIQUIDO			
TARA N°	1	2	3
Wt+ M.Húmeda (gr)	57.32	56.18	59.94
Wt+ M. Seca (gr)	53.24	51.70	55.24
W agua (gr)	4.08	4.48	4.70
W tara (gr)	36.92	35.25	39.45
W M.Seca (gr)	16.32	16.45	15.79
CONTENIDO DE HUMEDAD(%)	25.00%	27.23%	29.77%
N.GOLPES	35	25	15

TEMPERATURA DE SECADO	
PREPARACION DE MUESTRA	
60°C	110° C
CONTENIDO DE HUMEDAD	
60°C	110° C
AGUA USADA	
POTABLE	

LIMITE PLASTICO			
TARA N°	1	2	Promedio
Wt+ M.Húmeda (gr)	44.79	39.91	
Wt+ M. Seca (gr)	43.86	38.97	
W agua (gr)	0.93	0.94	
W tara (gr)	38.71	33.84	
W M.Seca (gr)	5.15	5.13	
W(%)	18.06%	18.32%	18.19%

LIMITE LIQUIDO (%)	27%
LIMITE PLASTICO (%)	18%
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	9%



LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
MTC E 110 - MTC E 111

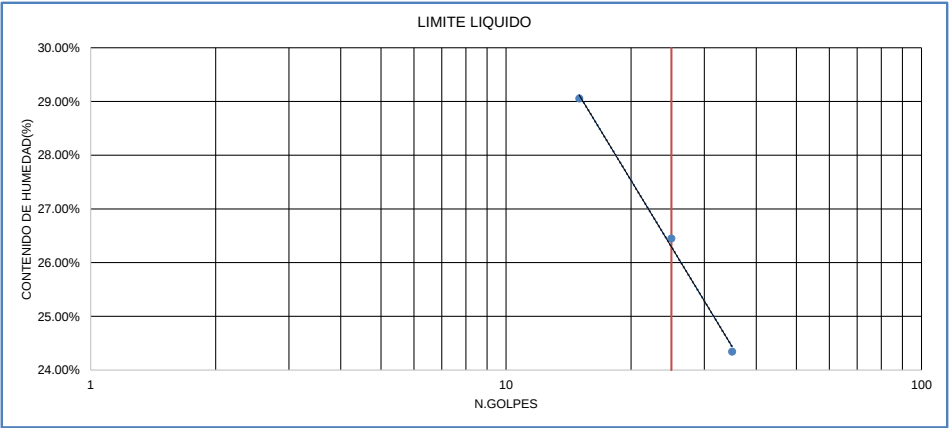
DATOS DEL MUESTREO							
CALICATA :	C - 2	REGISTRO N°:	JPCT-02	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.	Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)
MUESTRA :	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023	Clasif. (SUCS):	CL

LIMITE LIQUIDO			
TARA N°	1	2	3
Wt+ M.Húmeda (gr)	58.93	57.54	59.16
Wt+ M. Seca (gr)	54.95	53.25	54.61
W agua (gr)	3.98	4.29	4.55
W tara (gr)	38.60	37.03	38.95
W M.Seca (gr)	16.35	16.22	15.66
CONTENIDO DE HUMEDAD(%)	24.34%	26.45%	29.05%
N.GOLPES	35	25	15

TEMPERATURA DE SECADO	
PREPARACION DE MUESTRA	
60°C	110° C
CONTENIDO DE HUMEDAD	
60°C	110° C
AGUA USADA	
POTABLE	

LIMITE PLASTICO			
TARA N°	1	2	Promedio
Wt+ M.Húmeda (gr)	44.23	45.67	
Wt+ M. Seca (gr)	43.38	44.80	
W agua (gr)	0.85	0.87	
W tara (gr)	38.11	39.34	
W M.Seca (gr)	5.27	5.46	
W(%)	16.13%	15.93%	16.03%

LIMITE LIQUIDO (%)	26%
LIMITE PLASTICO (%)	16%
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	10%



LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

MTC E 110 - MTC E 111

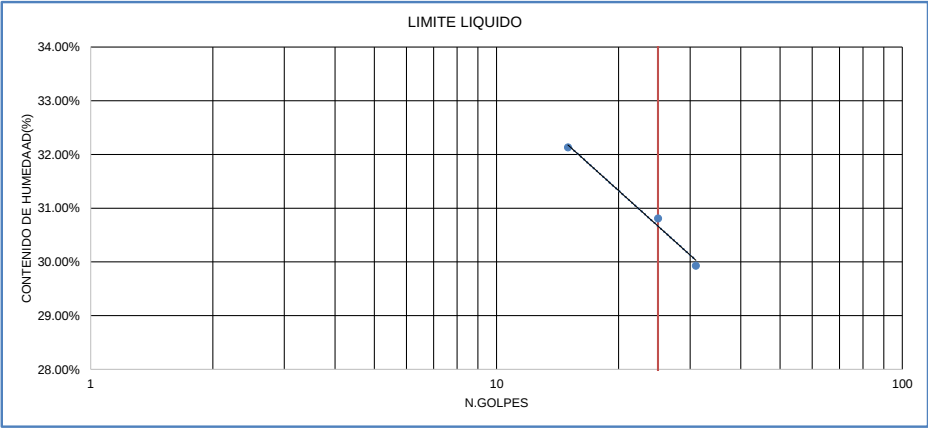
DATOS DEL MUESTREO							
CALICATA :	C - 3	REGISTRO N°:	JPCT-02	PROFUNDIDAD :	0.30 m. A 1.50 m.	Clasif. (AASHTO):	A-4 (6)
MUESTRA :	M - 1			FECHA :	SETIEMBRE 2023	Clasif. (SUCS):	CL

LIMITE LIQUIDO			
TARA N°	1	2	3
Wt+ M.Húmeda (gr)	57.15	53.54	59.52
Wt+ M. Seca (gr)	52.43	48.82	54.52
W agua (gr)	4.72	4.72	5.00
W tara (gr)	36.66	33.50	38.96
W M.Seca (gr)	15.77	15.32	15.56
CONTENIDO DE HUMEDAAD(%)	29.93%	30.81%	32.13%
N.GOLPES	31	25	15

TEMPERATURA DE SECADO	
PREPARACION DE MUESTRA	
60°C	110° C
CONTENIDO DE HUMEDAD	
60°C	110° C
AGUA USADA	
POTABLE	

LIMITE PLASTICO			
TARA N°	1	2	Promedio
Wt+ M.Húmeda (gr)	40.95	42.30	
Wt+ M. Seca (gr)	39.85	41.22	
W agua (gr)	1.10	1.08	
W tara (gr)	34.76	36.16	
W M.Seca (gr)	5.09	5.06	
W(%)	21.61%	21.34%	21.48%

LIMITE LIQUIDO (%)	30%
LIMITE PLASTICO (%)	21%
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	9%



A.2.4. ENSAYOS ESPECIALES

A.2.4.1. SUELO PATRON C-1

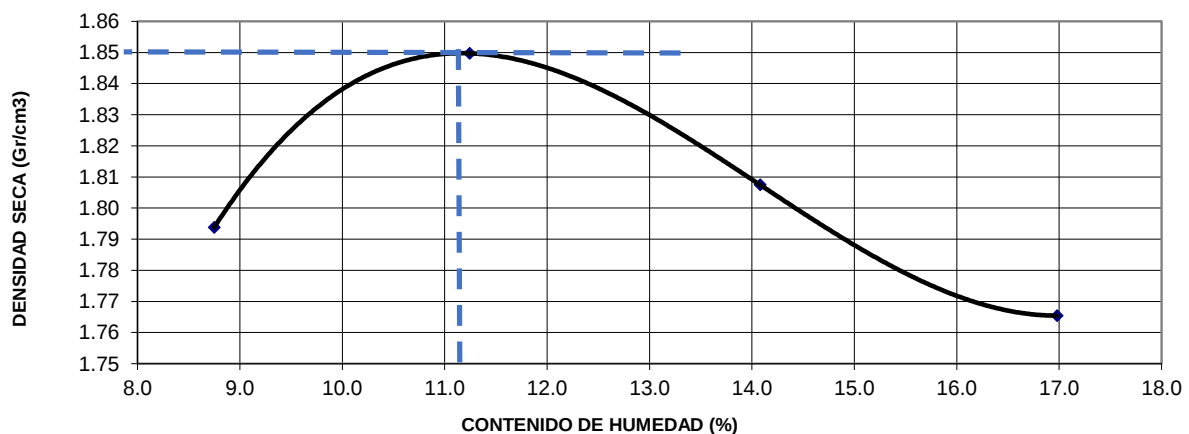
COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	15.1	V. Molde (cm ³)	2131	N° de capas	5
H Molde (cm)	11.9	P. Molde (gr)	6518	N° de golpes	56
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	C

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	10675.00		10903.00		10912.00		10919.00	
Pmh (gr)	4157.00		4385.00		4394.00		4401.00	
Vmh (cm ³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00	
Dh (gr/cm ³)	1.951		2.058		2.062		2.065	
TARA N°	13	13-A	12	12-A	5T	5T-1	25	25A
Pt (gr)	111.52	110.10	122.89	121.63	142.87	141.23	150.18	149.48
Pmh + Pt(gr)	345.35	328.35	451.15	427.25	386.55	368.30	412.75	394.10
Pms + Pt(gr)	326.70	310.64	418.09	396.25	356.52	340.23	374.68	358.55
Pw (gr)	18.65	17.71	33.06	31.00	30.03	28.07	38.07	35.55
Pms (gr)	215.18	200.54	295.20	274.62	213.65	199.00	224.50	209.07
W %	8.67	8.83	11.20	11.29	14.06	14.11	16.96	17.00
W prom.(%)	8.75		11.24		14.08		16.98	
Ds (gr/cm ³)	1.79		1.85		1.81		1.77	

CURVA DE COMPACTACION



Ds máx. =	1.850 gr/cm3
W op =	11.14%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	A		B		C	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8464.1	8464.1	8245.8	8245.8	8348.6	8348.6
Pmh + Molde(gr)	12295.0	12630.0	12446.0	12773.0	12752.0	12995.0
Pmh (gr)	3830.90	4165.90	4200.20	4527.20	4403.40	4646.40
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.736	1.887	1.897	2.044	2.004	2.115

CONTENIDO DE HUMEDAD

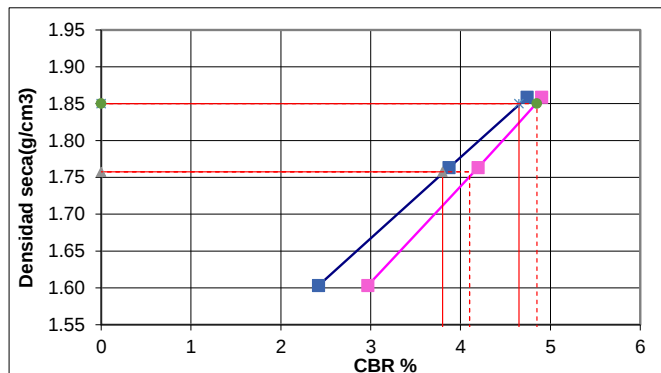
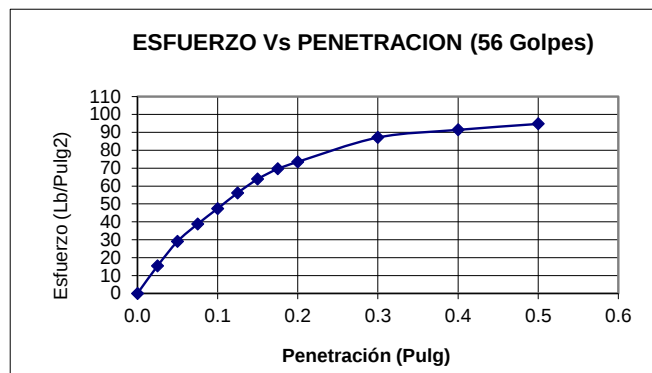
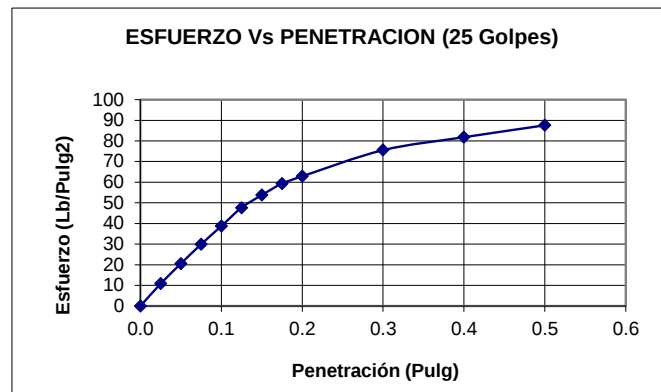
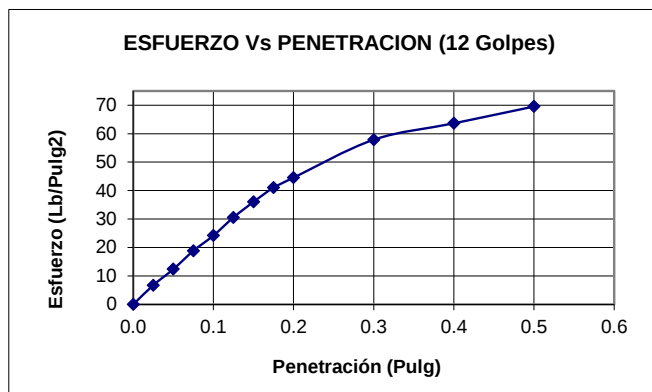
Pt (gr)	41.56	40.84	38.90	39.42	40.56	41.87	37.96	41.36	40.81
Pmh + Pt(gr)	149.60	150.23	152.32	149.68	152.63	148.96	151.36	149.60	150.85
Pms + Pt(gr)	138.68	139.36	135.25	138.75	141.04	134.23	140.02	138.56	137.52
Pw (gr)	10.92	10.87	17.07	10.93	11.59	14.73	11.34	11.04	13.33
Pms (gr)	97.12	98.52	96.35	99.33	100.48	92.36	102.06	97.20	96.71
W %	11.24	11.03	17.72	11.00	11.53	15.95	11.11	11.36	13.78
W prom.(%)	11.14		17.72	11.27		15.95	11.23		13.78
Ds (gr/cm ³)	1.562		1.603	1.705		1.763	1.802		1.858

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.111	2.819	2.24	0.108	2.743	2.18	0.093	2.362	1.87
48	2	0.112	2.845	2.26	0.110	2.794	2.22	0.095	2.413	1.92
72	3	0.113	2.870	2.28	0.112	2.845	2.26	0.097	2.464	1.96
96	4	0.115	2.921	2.32	0.112	2.845	2.26	0.098	2.489	1.98

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	9.15	0.47	6.76	14.60	0.75	10.78	20.80	1.07	15.36
1.27	0.050	16.80	0.87	12.40	27.80	1.44	20.52	39.40	2.04	29.09
1.91	0.075	25.50	1.32	18.83	40.50	2.09	29.90	52.50	2.71	38.76
2.54	0.100	32.78	1.69	24.20	52.42	2.71	38.70	64.20	3.32	47.40
3.18	0.125	41.40	2.14	30.56	64.50	3.33	47.62	76.10	3.93	56.18
3.81	0.150	48.80	2.52	36.03	72.80	3.76	53.75	86.50	4.47	63.86
4.45	0.175	55.60	2.87	41.05	80.35	4.15	59.32	94.25	4.87	69.58
5.08	0.200	60.34	3.12	44.55	85.13	4.40	62.85	99.56	5.15	73.50
7.62	0.300	78.40	4.05	57.88	102.30	5.29	75.53	118.00	6.10	87.12
10.16	0.400	86.20	4.45	63.64	110.80	5.73	81.80	123.80	6.40	91.40
12.70	0.500	94.20	4.87	69.55	118.60	6.13	87.56	128.30	6.63	94.72



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	24.2	44.5	1.603	2.42	2.97
M. 25 Gpl	38.7	62.8	1.763	3.87	4.19
M. 56 Gpl	47.4	73.5	1.858	4.74	4.90

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.85	4.65	4.85
CBR % (95% MDs)	1.76	3.80	4.10
CBR% (Diseño)	3.80		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	7		8		9	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8267.0	8267.0	8261.0	8261.0	8328.0	8328.0
Pmh + Molde(gr)	12026.0	12388.0	12290.0	12587.0	12608.0	12815.0
Pmh (gr)	3759.00	4121.00	4029.00	4326.00	4280.00	4487.00
Vmh (cm ³)	2139.00	2139.00	2132.00	2132.00	2127.60	2127.60
Dh (gr/cm ³)	1.757	1.927	1.890	2.029	2.012	2.109

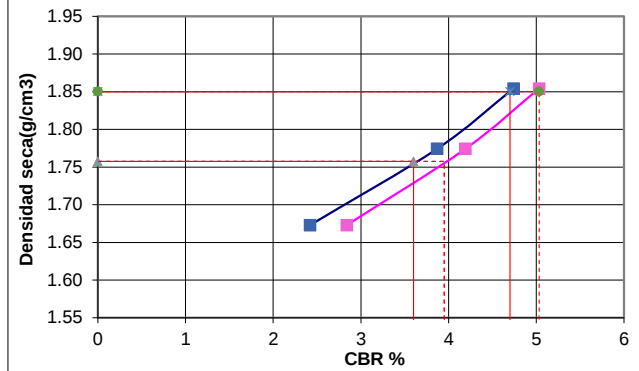
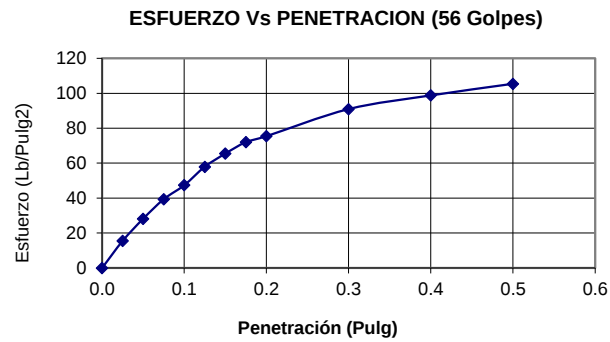
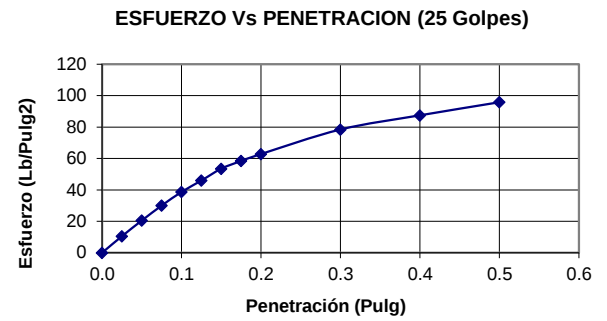
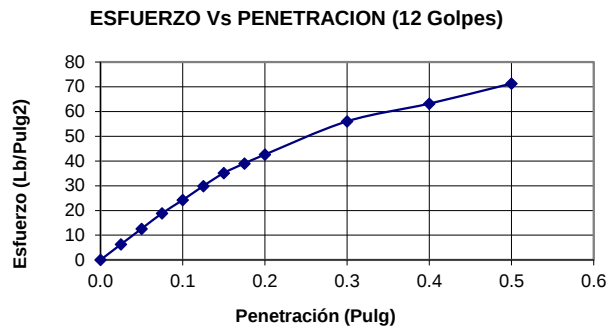
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	26.75	28.50	21.40	23.42	22.33	24.50	22.39	25.40	23.90
Pmh + Pt(gr)	342.00	332.50	340.60	310.00	340.00	311.00	351.00	311.50	314.00
Pms + Pt(gr)	310.10	302.08	298.57	281.28	308.10	275.04	317.92	282.75	278.98
Pw (gr)	31.90	30.42	42.03	28.72	31.90	35.96	33.08	28.75	35.02
Pms (gr)	283.35	273.58	277.17	257.86	285.77	250.54	295.53	257.35	255.08
W %	11.26	11.12	15.16	11.14	11.16	14.35	11.19	11.17	13.73
W prom.(%)	11.19		15.16	11.15		14.35	11.18		13.73
Ds (gr/cm ³)	1.581		1.673	1.700		1.774	1.809		1.854

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.110	2.794	2.22	0.105	2.667	2.12	0.097	2.464	1.96
48	2	0.111	2.819	2.24	0.107	2.718	2.16	0.099	2.515	2.00
72	3	0.113	2.870	2.28	0.109	2.769	2.20	0.099	2.515	2.00
96	4	0.115	2.921	2.32	0.109	2.769	2.20	0.111	2.819	2.24

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	8.61	0.44	6.36	14.30	0.74	10.56	21.00	1.09	15.50
1.27	0.050	17.10	0.88	12.62	27.80	1.44	20.52	38.20	1.97	28.20
1.91	0.075	25.60	1.32	18.90	40.70	2.10	30.05	53.30	2.75	39.35
2.54	0.100	32.78	1.69	24.20	52.42	2.71	38.70	64.20	3.32	47.40
3.18	0.125	40.50	2.09	29.90	62.30	3.22	45.99	78.50	4.06	57.95
3.81	0.150	47.60	2.46	35.14	72.50	3.75	53.52	88.70	4.58	65.49
4.45	0.175	52.85	2.73	39.02	79.15	4.09	58.43	97.60	5.04	72.06
5.08	0.200	57.70	2.98	42.60	85.13	4.40	62.85	102.20	5.28	75.45
7.62	0.300	75.90	3.92	56.04	106.30	5.49	78.48	123.20	6.37	90.96
10.16	0.400	85.60	4.42	63.20	118.50	6.12	87.49	133.80	6.91	98.78
12.70	0.500	96.60	4.99	71.32	129.80	6.71	95.83	142.80	7.38	105.43



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	24.2	42.6	1.673	2.42	2.84
M. 25 Gpl	38.7	62.8	1.774	3.87	4.19
M. 56 Gpl	47.4	75.5	1.854	4.74	5.03

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.85	4.70	5.03
CBR % (95% MDs)	1.76	3.60	3.95
CBR% (Diseño)		3.60	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

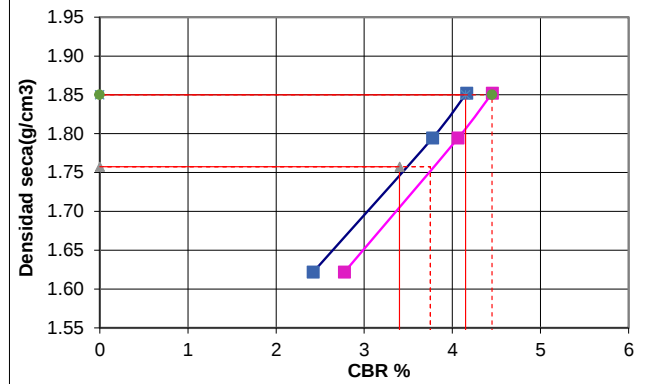
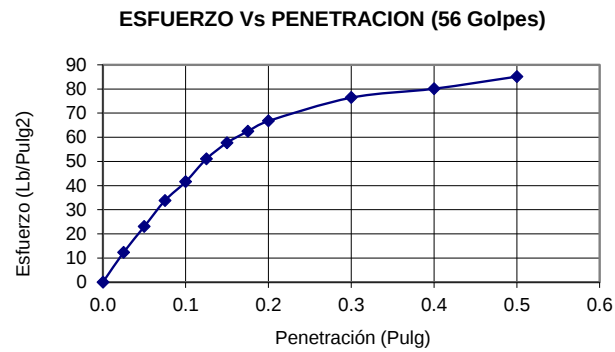
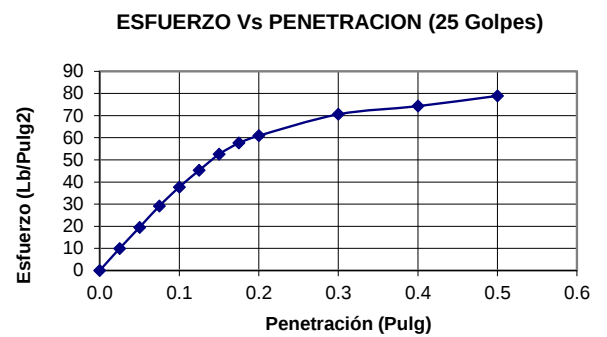
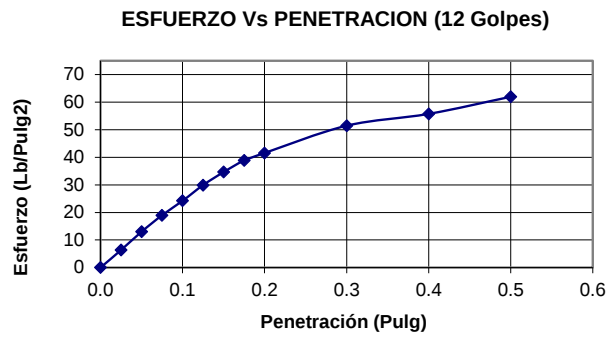
MOLDE N°	7			8			9		
Golpes por capa	12			25			56		
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado		Saturado	No Saturado		Saturado	
P.Molde (gr)	8247.0	8247.0	8267.0		8267.0	8356.0		8356.0	
Pmh + Molde(gr)	11985.0	12259.0	12357.0		12658.0	12651.0		12818.0	
Pmh (gr)	3738.00	4012.00	4090.00		4391.00	4295.00		4462.00	
Vmh (cm³)	2139.00	2139.00	2132.00		2132.00	2127.60		2127.60	
Dh (gr/cm³)	1.748	1.876	1.918		2.060	2.019		2.097	
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	24.50	26.50	25.80	24.80	26.30	25.00	24.80	26.00	24.90
Pmh + Pt(gr)	156.30	148.60	135.90	145.60	151.20	149.63	155.26	157.48	153.26
Pms + Pt(gr)	143.05	136.21	120.99	133.57	138.42	133.58	141.99	144.25	138.26
Pw (gr)	13.25	12.39	14.91	12.03	12.78	16.05	13.27	13.23	15.00
Pms (gr)	118.55	109.71	95.19	108.77	112.12	108.58	117.19	118.25	113.36
W %	11.18	11.29	15.66	11.06	11.40	14.78	11.32	11.19	13.23
W prom.(%)	11.24		15.66	11.23		14.78	11.26		13.23
Ds (gr/cm³)	1.571		1.622	1.725		1.794	1.814		1.852

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.112	2.845	2.26	0.110	2.794	2.22	0.097	2.464	1.96
48	2	0.113	2.870	2.28	0.111	2.819	2.24	0.098	2.489	1.98
72	3	0.114	2.896	2.30	0.112	2.845	2.26	0.099	2.515	2.00
96	4	0.115	2.921	2.32	0.113	2.870	2.28	0.099	2.515	2.00

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg		Kg	Kg/cm ² Lb/pulg ²		Kg	Kg/cm ² Lb/pulg ²		Kg	Kg/cm ² Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	8.60	0.44	6.35	13.50	0.70	9.97	16.70	0.86	12.33
1.27	0.050	17.60	0.91	12.99	26.40	1.36	19.49	31.20	1.61	23.03
1.91	0.075	25.70	1.33	18.97	39.50	2.04	29.16	45.80	2.37	33.81
2.54	0.100	32.78	1.69	24.20	51.06	2.64	37.70	56.35	2.91	41.60
3.18	0.125	40.50	2.09	29.90	61.30	3.17	45.26	69.10	3.57	51.01
3.81	0.150	46.90	2.42	34.63	71.10	3.67	52.49	78.20	4.04	57.73
4.45	0.175	52.60	2.72	38.83	78.01	4.03	57.59	84.60	4.37	62.46
5.08	0.200	56.28	2.91	41.55	82.49	4.26	60.90	90.41	4.67	66.75
7.62	0.300	69.70	3.60	51.46	95.60	4.94	70.58	103.50	5.35	76.41
10.16	0.400	75.50	3.90	55.74	100.60	5.20	74.27	108.50	5.61	80.10
12.70	0.500	83.90	4.34	61.94	106.90	5.52	78.92	115.30	5.96	85.12



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR (0.2)
M. 12 Gpl	24.2	41.6	1.622	2.42	2.77
M. 25 Gpl	37.7	60.9	1.794	3.77	4.06
M. 56 Gpl	41.6	66.7	1.852	4.16	4.45

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.85	4.20	4.45
CBR % (95% MDs)	1.76	3.40	3.80
CBR% (Diseño)		3.40	

A.2.4.2. 1% DE CAL + 1% DE ESCORIA DE COBRE (C-1)

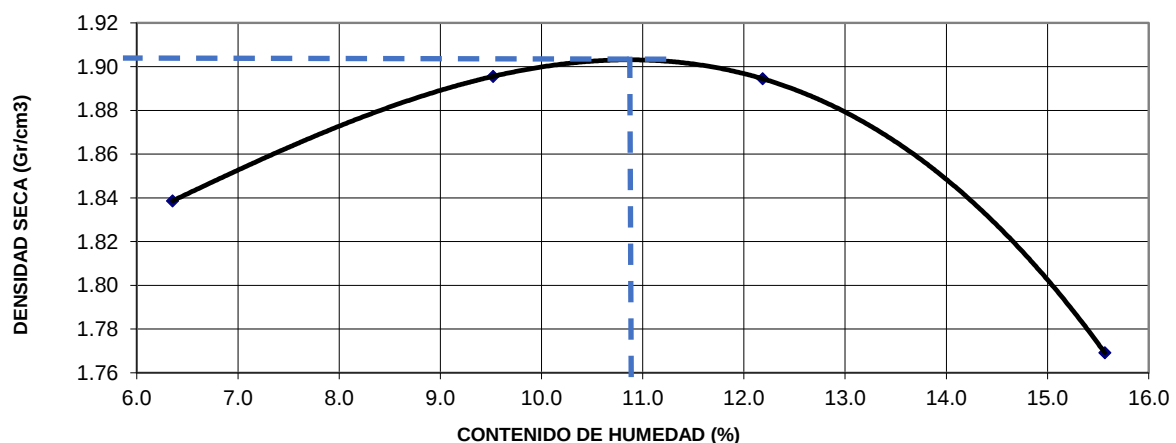
COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	1% DE CAL + 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	15.1	V. Molde (cm ³)	2131	N° de capas	5
H Molde (cm)	11.9	P. Molde (gr)	6518	N° de golpes	56
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	C

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	10685.00		10942.00		11047.00		10875.00	
Pmh (gr)	4167.00		4424.00		4529.00		4357.00	
Vmh (cm ³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00	
Dh (gr/cm ³)	1.955		2.076		2.125		2.045	
TARA N°	35	35-B	40	40-A	35	35-A	43	43-B
Pt (gr)	126.00	125.86	111.00	110.23	128.00	127.42	132.00	131.81
Pmh + Pt(gr)	557.30	486.30	558.90	547.85	557.80	546.80	554.35	556.20
Pms + Pt(gr)	530.60	465.55	519.10	510.65	510.56	501.80	497.55	498.95
Pw (gr)	26.70	20.75	39.80	37.20	47.24	45.00	56.80	57.25
Pms (gr)	404.60	339.69	408.10	400.42	382.56	374.38	365.55	367.14
W %	6.60	6.11	9.75	9.29	12.35	12.02	15.54	15.59
W prom.(%)	6.35		9.52		12.18		15.57	
Ds (gr/cm ³)	1.84		1.90		1.89		1.77	

CURVA DE COMPACTACION



Ds máx. =	1.903 gr/cm ³
W op =	10.91%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	1% DE CAL y 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	B		C		A	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8245.8	8245.8	8348.6	8348.6	8464.1	8464.1
Pmh + Molde(gr)	12172.3	12536.3	12554.6	12835.6	12915.0	13156.0
Pmh (gr)	3926.50	4290.50	4206.00	4487.00	4450.90	4691.90
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.779	1.944	1.899	2.026	2.026	2.135

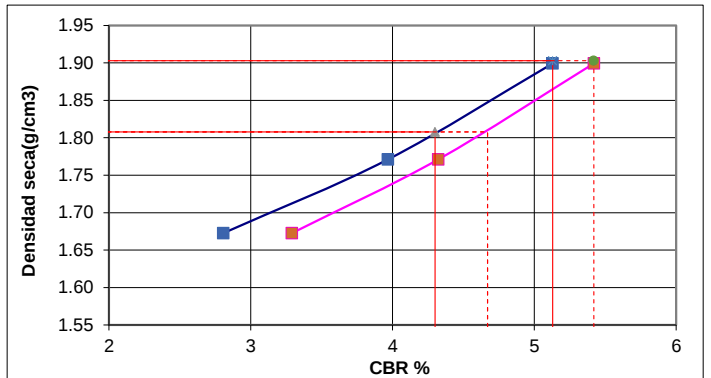
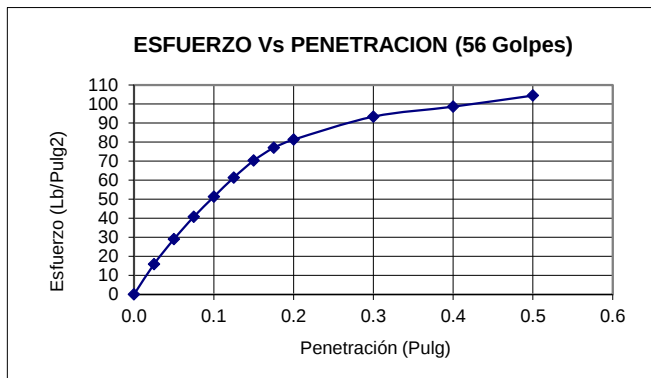
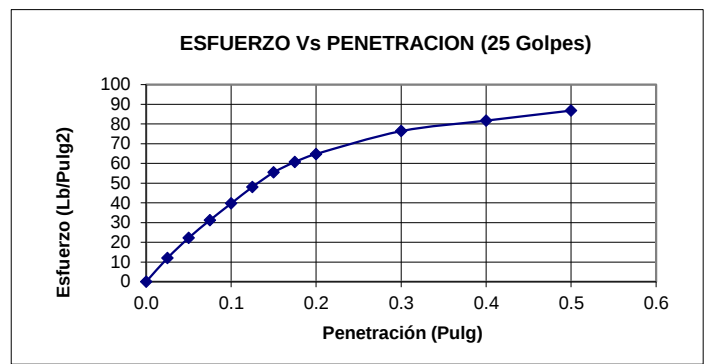
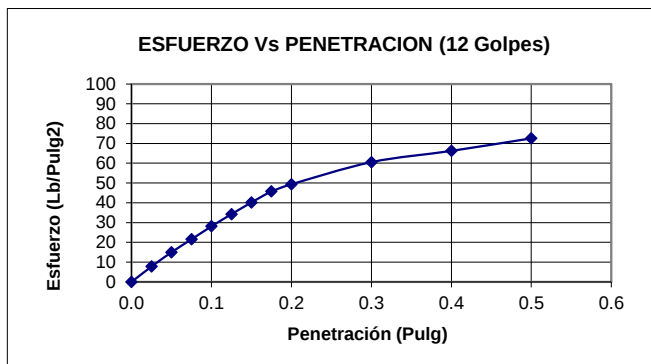
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	37.52	37.65	38.77	40.52	41.12	38.96	39.65	38.36	39.68
Pmh + Pt(gr)	155.60	152.38	162.36	160.58	161.48	157.96	156.38	151.27	150.84
Pms + Pt(gr)	144.19	141.15	145.12	148.52	150.00	142.98	145.02	140.18	138.55
Pw (gr)	11.41	11.23	17.24	12.06	11.48	14.98	11.36	11.09	12.29
Pms (gr)	106.67	103.50	106.35	108.00	108.88	104.02	105.37	101.82	98.87
W %	10.70	10.85	16.21	11.17	10.54	14.40	10.78	10.89	12.43
W prom.(%)	10.77		16.21	10.86		14.40	10.84		12.43
Ds (gr/cm ³)	1.606		1.673	1.713		1.771	1.828		1.899

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.095	2.413	1.92	0.091	2.311	1.83	0.087	2.210	1.75
48	2	0.097	2.464	1.96	0.093	2.362	1.87	0.086	2.184	1.73
72	3	0.098	2.489	1.98	0.095	2.413	1.92	0.088	2.235	1.77
96	4	0.100	2.540	2.02	0.096	2.438	1.93	0.089	2.261	1.79

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	10.50	0.54	7.75	16.20	0.84	11.96	21.50	1.11	15.87
1.27	0.050	20.30	1.05	14.99	30.10	1.56	22.22	39.30	2.03	29.01
1.91	0.075	29.15	1.51	21.52	42.30	2.19	31.23	55.30	2.86	40.83
2.54	0.100	38.06	1.97	28.10	53.77	2.78	39.70	69.49	3.59	51.30
3.18	0.125	46.36	2.40	34.23	65.10	3.36	48.06	83.15	4.30	61.39
3.81	0.150	54.40	2.81	40.16	75.10	3.88	55.44	95.20	4.92	70.28
4.45	0.175	61.90	3.20	45.70	82.30	4.25	60.76	104.30	5.39	77.00
5.08	0.200	66.84	3.45	49.35	87.77	4.54	64.80	110.12	5.69	81.30
7.62	0.300	82.00	4.24	60.54	103.50	5.35	76.41	126.50	6.54	93.39
10.16	0.400	89.70	4.64	66.22	110.70	5.72	81.73	133.60	6.90	98.63
12.70	0.500	98.30	5.08	72.57	117.60	6.08	86.82	141.50	7.31	104.47



PENETRAC	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	28.1	49.3	1.673	2.81	3.29
M. 25 Gpl	39.7	64.8	1.771	3.97	4.32
M. 56 Gpl	51.3	81.3	1.899	5.13	5.42

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.90	5.14	5.42
CBR % (95% MDs)	1.81	4.30	4.70
CBR% (Diseño)		4.30	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	1% DE CAL + 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

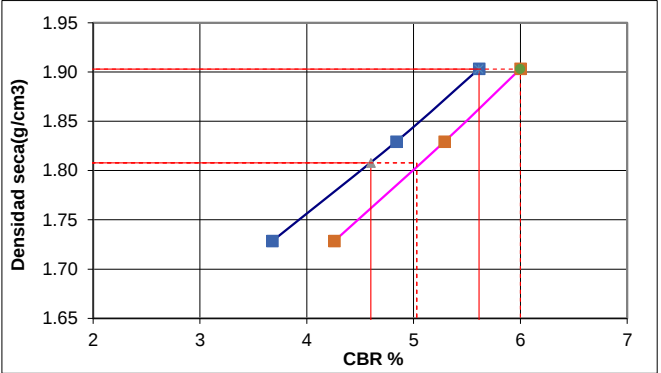
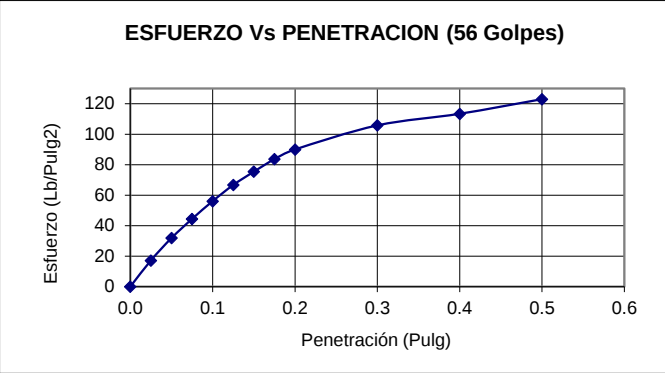
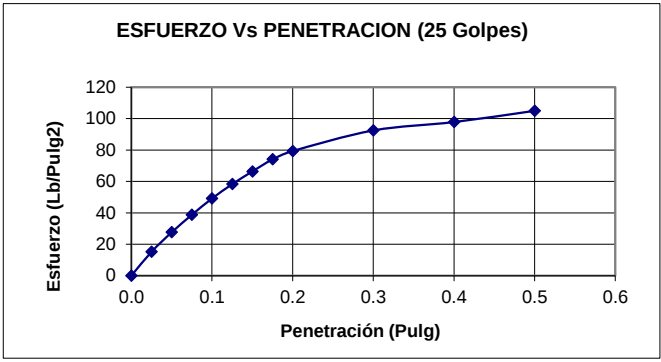
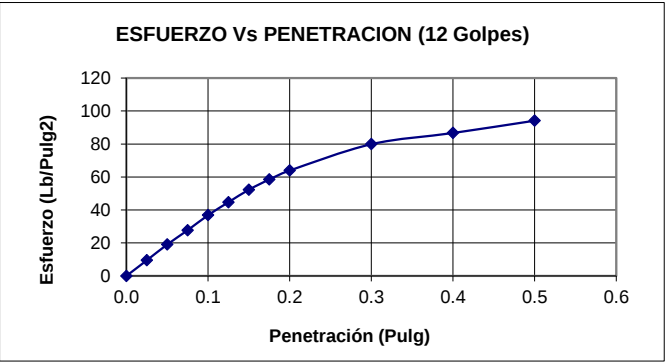
MOLDE N°	10		11		12				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7680.0	7680.0	7679.0	7679.0	7515.0	7515.0			
Pmh + Molde(gr)	11689.0	11905.0	11845.0	12121.0	11905.0	12071.0			
Pmh (gr)	4009.00	4225.00	4166.00	4442.00	4390.00	4556.00			
Vmh (cm³)	2139.00	2139.00	2132.00	2132.00	2127.60	2127.60			
Dh (gr/cm³)	1.874	1.975	1.954	2.083	2.063	2.141			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	23.13	23.03	23.53	23.06	24.27	23.08	23.23	23.08	23.38
Pmh + Pt(gr)	138.89	145.56	147.69	135.89	134.61	138.42	141.63	140.68	136.54
Pms + Pt(gr)	127.63	133.58	132.18	124.75	124.00	124.36	130.25	129.17	123.96
Pw (gr)	11.26	11.98	15.51	11.14	10.61	14.06	11.38	11.51	12.58
Pms (gr)	104.50	110.55	108.65	101.69	99.73	101.28	107.02	106.09	100.58
W %	10.78	10.84	14.28	10.95	10.64	13.88	10.63	10.85	12.51
W prom.(%)	10.81		14.28	10.80		13.88	10.74		12.51
Ds (gr/cm³)	1.691		1.728	1.764		1.830	1.863		1.903

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.090	2.286	1.81	0.082	2.083	1.65	0.072	1.828	1.45
48	2	0.091	2.311	1.83	0.084	2.134	1.69	0.074	1.880	1.49
72	3	0.092	2.337	1.85	0.085	2.159	1.71	0.075	1.905	1.51
96	4	0.094	2.388	1.90	0.086	2.184	1.73	0.077	1.956	1.55

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	12.80	0.66	9.45	20.60	1.06	15.21	23.30	1.20	17.20
1.27	0.050	25.80	1.33	19.05	37.40	1.93	27.61	43.20	2.23	31.89
1.91	0.075	37.50	1.94	27.69	52.50	2.71	38.76	60.20	3.11	44.44
2.54	0.100	49.85	2.58	36.80	66.56	3.44	49.14	75.99	3.93	56.10
3.18	0.125	60.50	3.13	44.67	78.90	4.08	58.25	90.35	4.67	66.70
3.81	0.150	70.80	3.66	52.27	89.90	4.65	66.37	102.15	5.28	75.41
4.45	0.175	79.20	4.09	58.47	100.30	5.18	74.05	113.30	5.86	83.65
5.08	0.200	86.55	4.47	63.90	107.48	5.55	79.35	121.91	6.30	90.00
7.62	0.300	108.20	5.59	79.88	125.30	6.48	92.51	143.30	7.41	105.79
10.16	0.400	117.40	6.07	86.67	132.50	6.85	97.82	153.60	7.94	113.40
12.70	0.500	127.50	6.59	94.13	142.20	7.35	104.98	166.60	8.61	123.00



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	36.8	63.9	1.728	3.68	4.26
M. 25 Gpl	49.1	79.3	1.830	4.91	5.29
M. 56 Gpl	56.1	90.0	1.903	5.61	6.00

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.903	5.61	6.00
CBR % (95% MDs)	1.81	4.60	5.03
CBR% (Diseño)		4.60	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	1% DE CAL + 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

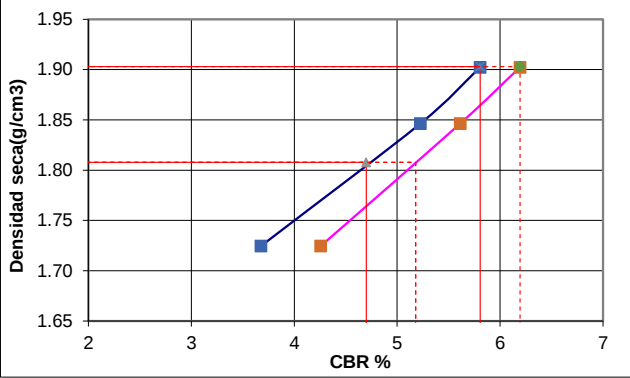
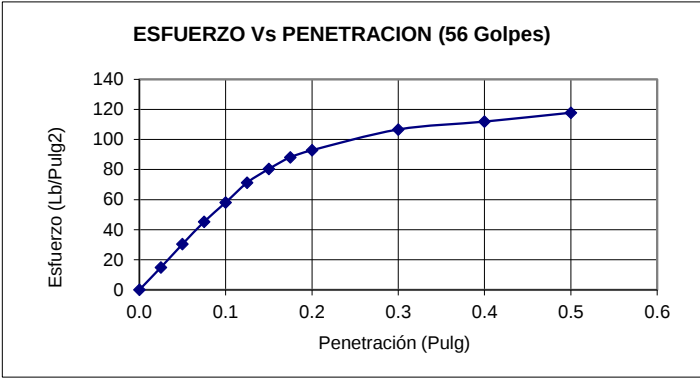
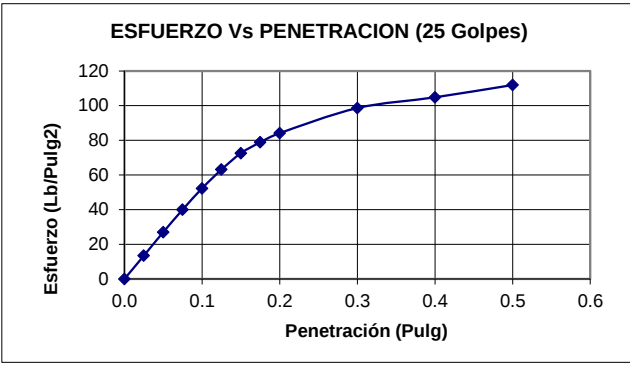
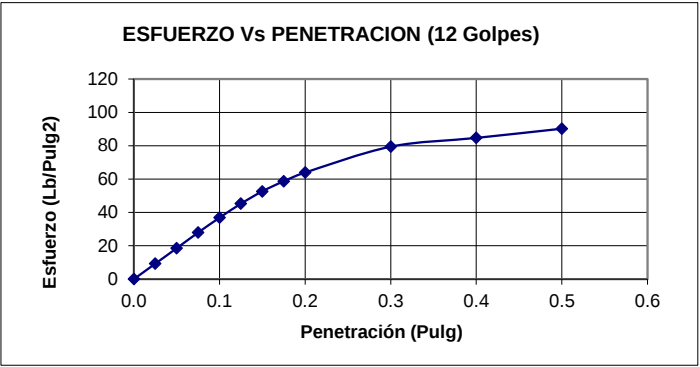
MOLDE N°	13		14		15				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	8386.0	8386.0	8492.0	8492.0	8363.0	8363.0			
Pmh + Molde(gr)	12382.0	12642.0	12758.0	12983.0	12796.0	12942.0			
Pmh (gr)	3996.00	4256.00	4266.00	4491.00	4433.00	4579.00			
Vmh (cm³)	2143.00	2143.00	2139.00	2139.00	2135.00	2135.00			
Dh (gr/cm³)	1.865	1.986	1.994	2.100	2.076	2.145			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	24.60	23.07	24.52	23.02	23.06	24.11	24.18	24.12	23.04
Pmh + Pt(gr)	131.00	137.72	129.85	134.58	133.42	127.86	140.28	143.13	135.01
Pms + Pt(gr)	120.59	126.57	115.99	123.86	122.52	115.35	129.23	131.56	122.36
Pw (gr)	10.41	11.15	13.86	10.72	10.90	12.51	11.05	11.57	12.65
Pms (gr)	95.99	103.50	91.47	100.84	99.46	91.24	105.05	107.44	99.32
W %	10.84	10.77	15.15	10.63	10.96	13.71	10.52	10.77	12.74
W prom.(%)	10.81		15.15	10.79		13.71	10.64		12.74
Ds (gr/cm³)	1.683		1.725	1.800		1.846	1.877		1.902

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.092	2.337	1.85	0.088	2.235	1.77	0.079	2.007	1.59
48	2	0.093	2.362	1.87	0.089	2.261	1.79	0.082	2.083	1.65
72	3	0.095	2.413	1.92	0.090	2.286	1.81	0.083	2.108	1.67
96	4	0.096	2.438	1.93	0.091	2.311	1.83	0.085	2.159	1.71

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	12.53	0.65	9.25	18.20	0.94	13.44	20.30	1.05	14.99
1.27	0.050	25.10	1.30	18.53	36.60	1.89	27.02	41.20	2.13	30.42
1.91	0.075	37.80	1.95	27.91	54.20	2.80	40.01	61.30	3.17	45.26
2.54	0.100	49.85	2.58	36.80	70.84	3.66	52.30	78.70	4.07	58.10
3.18	0.125	61.26	3.17	45.23	85.50	4.42	63.12	96.60	4.99	71.32
3.81	0.150	71.30	3.68	52.64	98.30	5.08	72.57	108.90	5.63	80.40
4.45	0.175	79.50	4.11	58.69	106.85	5.52	78.88	119.50	6.18	88.22
5.08	0.200	86.55	4.47	63.90	113.98	5.89	84.15	125.77	6.50	92.85
7.62	0.300	107.60	5.56	79.44	133.60	6.90	98.63	144.50	7.47	106.68
10.16	0.400	114.70	5.93	84.68	142.00	7.34	104.84	151.60	7.83	111.92
12.70	0.500	122.20	6.32	90.22	151.60	7.83	111.92	159.60	8.25	117.83



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	36.8	63.9	1.725	3.68	4.26
M. 25 Gpl	52.3	84.1	1.846	5.23	5.61
M. 56 Gpl	58.1	92.9	1.902	5.81	6.19

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.90	5.80	6.19
CBR % (95% MDs)	1.81	4.70	5.18
CBR% (Diseño)	4.70		

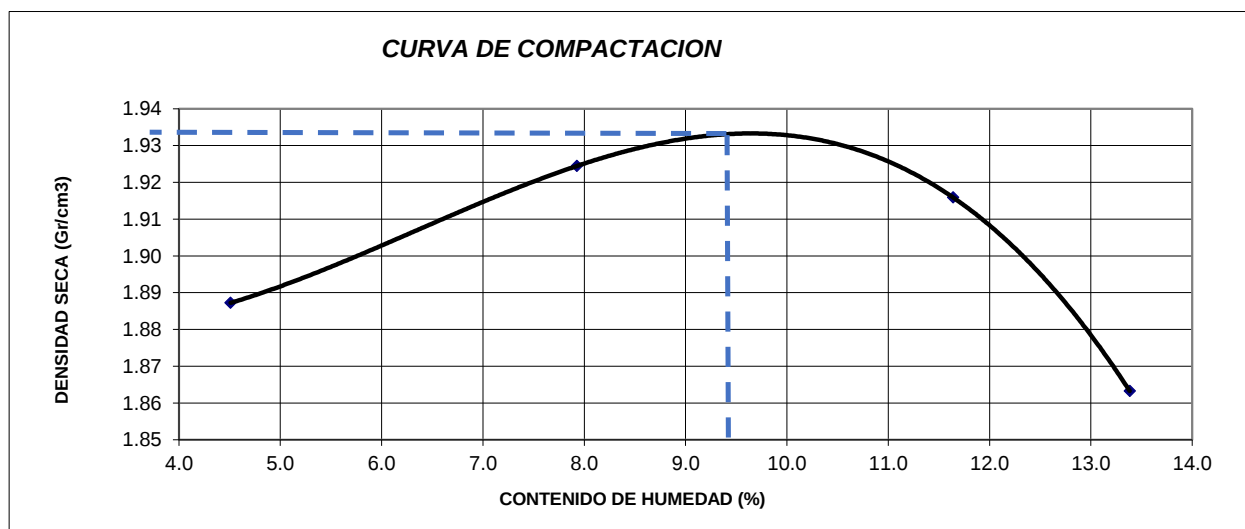
A.2.4.3. 2% DE CAL + 2% DE ESCORIA DE COBRE (C-1)

COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	2% DE CAL + 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	15.1	V. Molde (cm ³)	2131	N° de capas	5
H Molde (cm)	11.9	P. Molde (gr)	6518	N° de golpes	56
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	C

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	10721.00		10944.00		11076.00		11020.00	
Pmh (gr)	4203.00		4426.00		4558.00		4502.00	
Vmh (cm ³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00	
Dh (gr/cm ³)	1.972		2.077		2.139		2.113	
TARA N°	22		87		96		45	
Pt (gr)	123.12	122.95	122.25	122.04	143.80	141.58	148.64	147.50
Pmh + Pt(gr)	257.26	256.56	244.78	245.58	277.38	276.38	284.37	284.57
Pms + Pt(gr)	251.72	250.55	235.75	236.54	263.50	262.28	268.44	268.30
Pw (gr)	5.54	6.01	9.03	9.04	13.88	14.10	15.93	16.27
Pms (gr)	128.60	127.60	113.50	114.50	119.70	120.70	119.80	120.80
W %	4.31	4.71	7.96	7.90	11.60	11.68	13.30	13.47
W prom.(%)	4.51		7.93		11.64		13.38	
Ds (gr/cm ³)	1.89		1.92		1.92		1.86	



Ds máx. =	1.933 gr/cm ³
W op =	9.64%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	2% DE CAL + 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	2		1		3	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8405.6	8405.6	8326.3	8326.3	8351.4	8351.4
Pmh + Molde(gr)	12386.0	12658.0	12652.0	12916.0	12916.0	13108.0
Pmh (gr)	3980.40	4252.40	4325.70	4589.70	4564.60	4756.60
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.803	1.927	1.953	2.073	2.077	2.165

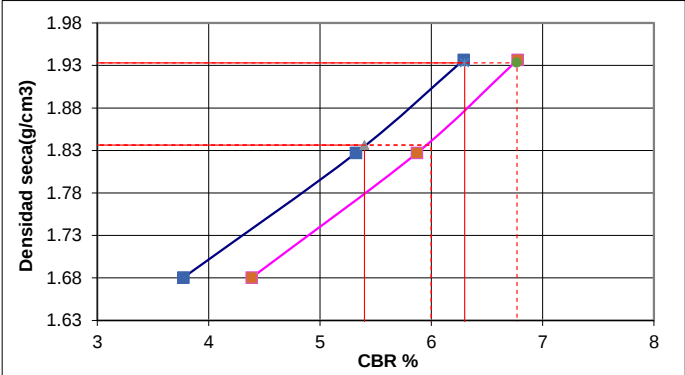
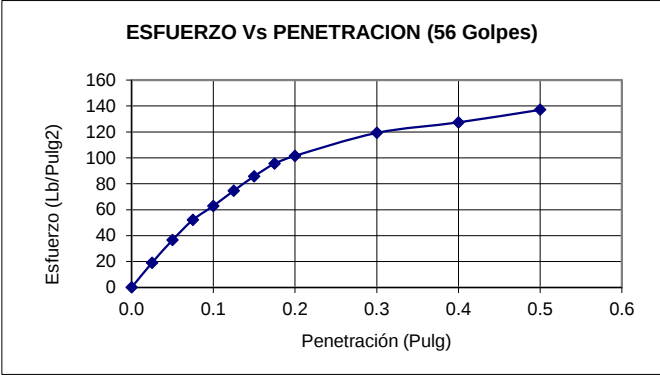
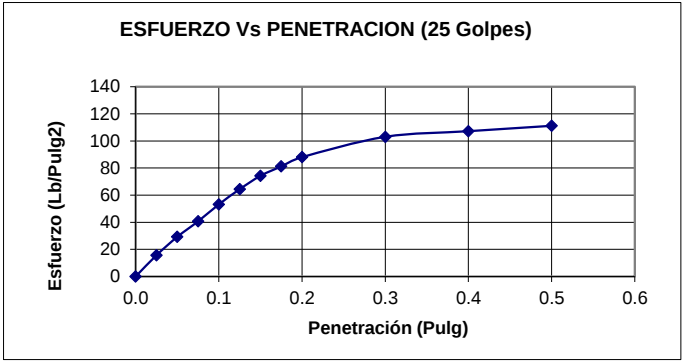
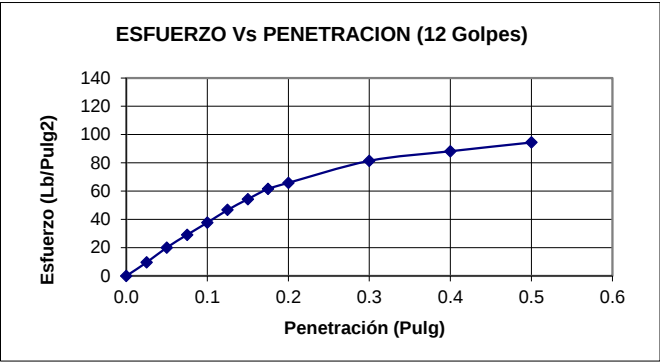
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	41.26	40.58	39.62	42.36	40.58	39.62	42.15	43.26	40.87
Pmh + Pt(gr)	158.63	159.25	161.24	160.57	152.36	161.57	162.38	160.59	161.47
Pms + Pt(gr)	148.07	148.78	145.71	150.00	142.45	147.12	151.88	150.19	148.75
Pw (gr)	10.56	10.47	15.53	10.57	9.91	14.45	10.50	10.40	12.72
Pms (gr)	106.81	108.20	106.09	107.64	101.87	107.50	109.73	106.93	107.88
W %	9.89	9.68	14.64	9.82	9.73	13.44	9.57	9.73	11.79
W prom.(%)	9.78		14.64	9.77		13.44	9.65		11.79
Ds (gr/cm ³)	1.643		1.681	1.779		1.827	1.895		1.936

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.090	2.286	1.81	0.081	2.057	1.63	0.075	1.905	1.51
48	2	0.091	2.311	1.83	0.083	2.108	1.67	0.077	1.856	1.47
72	3	0.093	2.352	1.87	0.084	2.134	1.69	0.078	1.981	1.57
96	4	0.094	2.388	1.90	0.850	21.590	17.13	0.080	2.032	1.61

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO	
mm	pulg		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	12.90	0.67	9.52	21.20	1.10	15.65	25.80	1.33	19.05
1.27	0.050	27.20	1.41	20.08	39.60	2.05	29.24	49.50	2.56	36.54
1.91	0.075	39.40	2.04	29.09	55.10	2.85	40.68	70.60	3.65	52.12
2.54	0.100	51.06	2.64	37.70	72.06	3.72	53.20	85.20	4.40	62.90
3.18	0.125	63.20	3.27	46.66	87.20	4.51	64.38	101.10	5.22	74.64
3.81	0.150	73.60	3.80	54.34	100.60	5.20	74.27	116.20	6.01	85.79
4.45	0.175	83.40	4.31	61.57	110.00	5.68	81.21	129.40	6.69	95.53
5.08	0.200	89.19	4.61	65.85	119.26	6.16	88.05	137.55	7.11	101.55
7.62	0.300	110.30	5.70	81.43	139.60	7.21	103.06	161.50	8.35	119.23
10.16	0.400	119.50	6.18	88.22	145.20	7.50	107.20	172.50	8.91	127.35
12.70	0.500	127.90	6.61	94.43	150.60	7.78	111.18	185.60	9.59	137.02



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	37.7	65.8	1.681	3.77	4.39
M. 25 Gpl	53.2	88.0	1.827	5.32	5.87
M. 56 Gpl	62.9	101.5	1.936	6.29	6.77

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.933	6.30	6.77
CBR % (95% MDs)	1.84	5.40	6.00
CBR% (Diseño)	5.40		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	2% DE CAL + 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	1		2		3	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8480.0	8480.0	8379.0	8379.0	8315.0	8315.0
Pmh + Molde(gr)	12471.0	12795.0	12635.0	12875.0	12795.0	12969.0
Pmh (gr)	3991.00	4315.00	4256.00	4496.00	4480.00	4654.00
Vmh (cm ³)	2134.74	2134.74	2131.00	2131.00	2147.00	2147.00
Dh (gr/cm ³)	1.870	2.021	1.997	2.110	2.087	2.168

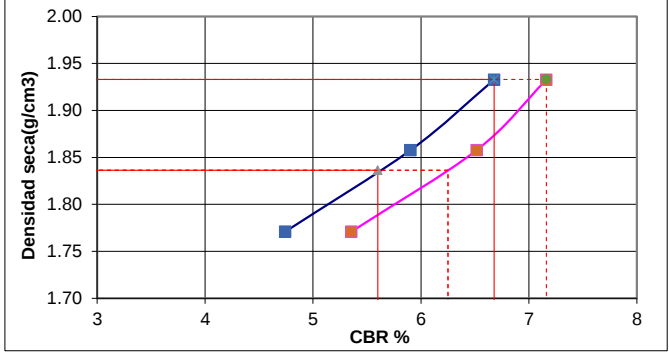
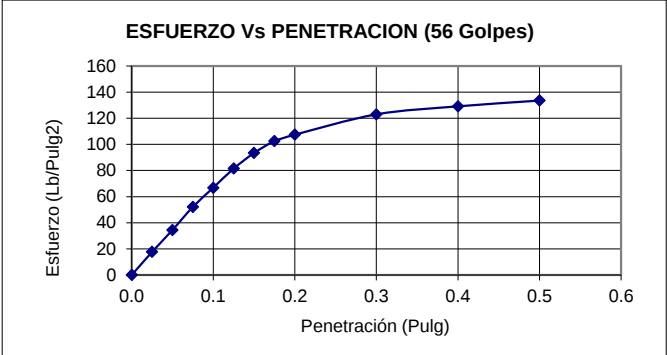
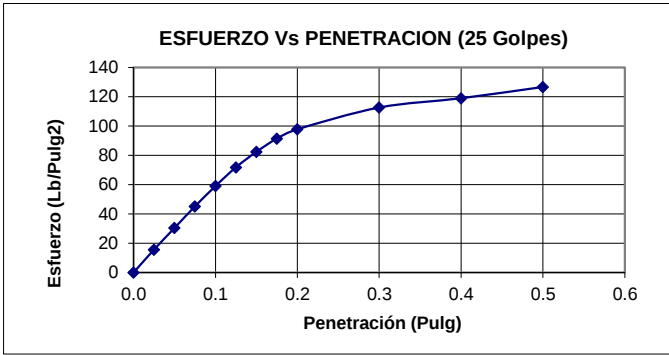
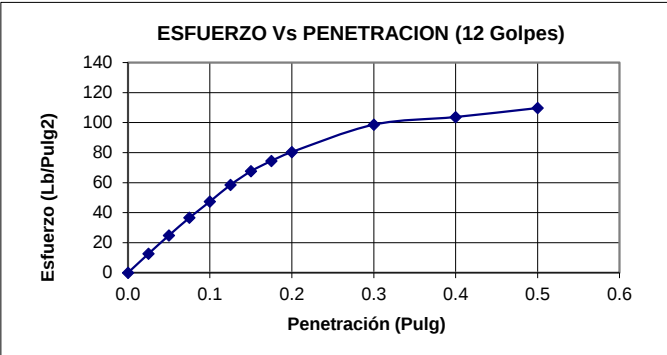
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	22.36	25.36	26.54	27.58	24.59	26.56	25.35	24.15	24.76
Pmh + Pt(gr)	144.56	152.36	148.69	156.36	154.27	159.08	160.35	165.25	175.24
Pms + Pt(gr)	133.65	141.18	133.56	145.05	142.68	143.25	148.52	152.51	158.93
Pw (gr)	10.91	11.18	15.13	11.31	11.59	15.83	11.83	12.74	16.31
Pms (gr)	111.29	115.82	107.02	117.47	118.09	116.69	123.17	128.36	134.17
W %	9.80	9.65	14.14	9.63	9.81	13.57	9.60	9.93	12.16
W prom.(%)	9.73		14.14	9.72		13.57	9.76		12.16
Ds (gr/cm ³)	1.704		1.771	1.820		1.858	1.901		1.933

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.085	2.160	1.71	0.072	1.829	1.45	0.069	1.750	1.39
48	2	0.086	2.180	1.73	0.073	1.854	1.47	0.071	1.800	1.43
72	3	0.088	2.240	1.78	0.075	1.905	1.51	0.072	1.830	1.45
96	4	0.089	2.260	1.79	0.078	1.981	1.57	0.073	1.850	1.47

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	17.10	0.88	12.62	21.20	1.10	15.65	23.90	1.24	17.64
1.27	0.050	33.70	1.74	24.88	41.20	2.13	30.42	46.70	2.41	34.48
1.91	0.075	49.60	2.56	36.62	61.20	3.16	45.18	70.60	3.65	52.12
2.54	0.100	64.20	3.32	47.40	79.92	4.13	59.00	90.48	4.68	66.80
3.18	0.125	79.20	4.09	58.47	97.30	5.03	71.83	110.30	5.70	81.43
3.81	0.150	91.50	4.73	67.55	111.60	5.77	82.39	126.50	6.54	93.39
4.45	0.175	100.90	5.21	74.49	123.90	6.40	91.47	138.80	7.17	102.47
5.08	0.200	108.90	5.63	80.40	132.47	6.85	97.80	145.47	7.52	107.40
7.62	0.300	133.60	6.90	98.63	152.60	7.89	112.66	166.60	8.61	123.00
10.16	0.400	140.50	7.26	103.73	161.20	8.33	119.01	174.90	9.04	129.12
12.70	0.500	148.60	7.68	109.71	171.60	8.87	126.69	180.90	9.35	133.55



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	47.4	80.4	1.771	4.74	5.36
M. 25 Gpl	59.0	97.8	1.858	5.90	6.52
M. 56 Gpl	66.8	107.4	1.933	6.68	7.16

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.93	6.70	7.16
CBR % (95% MDs)	1.84	5.60	6.25
CBR% (Diseño)	5.60		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	2% DE CAL + 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	4		5		6	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8253.0	8253.0	8120.0	8120.0	8216.0	8216.0
Pmh + Molde(gr)	12145.0	12483.0	12188.0	12489.0	12657.0	12847.0
Pmh (gr)	3892.00	4230.00	4068.00	4369.00	4441.00	4631.00
Vmh (cm ³)	2138.00	2138.00	2128.00	2128.00	2145.00	2145.00
Dh (gr/cm ³)	1.820	1.978	1.912	2.053	2.070	2.159

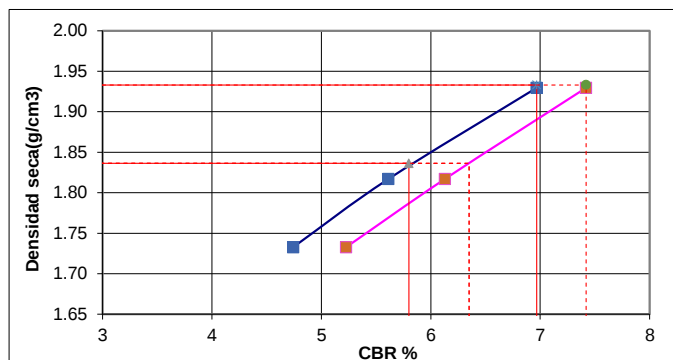
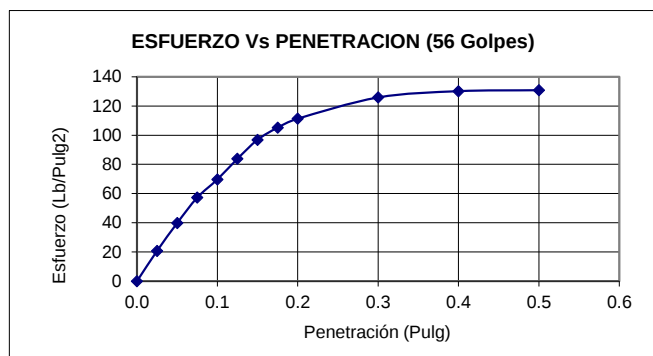
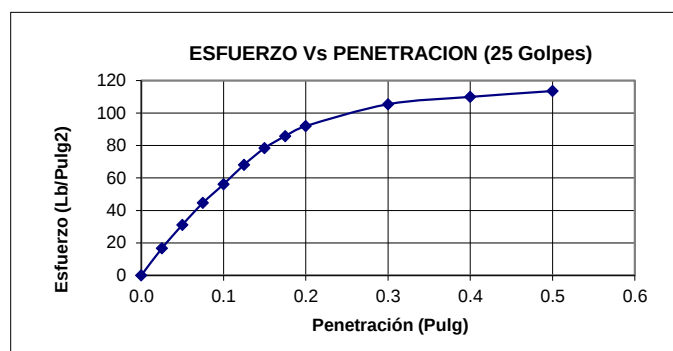
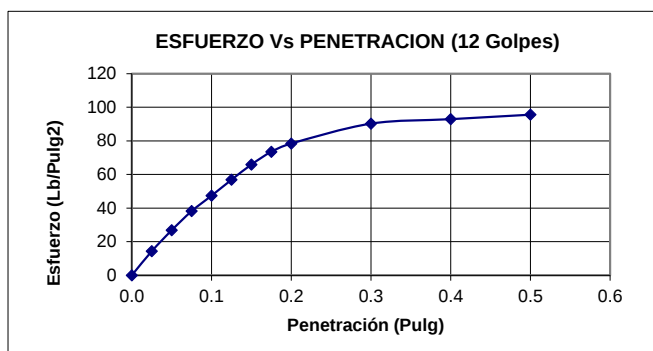
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	115.30	111.50	108.00	140.00	110.00	114.00	142.00	132.50	140.60
Pmh + Pt(gr)	312.00	311.50	308.00	340.00	310.00	314.00	342.00	332.50	340.60
Pms + Pt(gr)	294.36	294.06	283.16	322.26	292.51	291.00	324.30	314.72	319.35
Pw (gr)	17.64	17.44	24.84	17.74	17.49	23.00	17.70	17.78	21.25
Pms (gr)	179.06	182.56	175.16	182.26	182.51	177.00	182.30	182.22	178.75
W %	9.85	9.55	14.18	9.73	9.58	12.99	9.71	9.76	11.89
W prom.(%)	9.70		14.18	9.66		12.99	9.73		11.89
Ds (gr/cm ³)	1.659		1.733	1.743		1.817	1.887		1.930

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.085	2.159	1.71	0.075	1.905	1.51	0.070	1.778	1.41
48	2	0.087	2.210	1.75	0.076	1.930	1.53	0.072	1.829	1.45
72	3	0.087	2.210	1.75	0.078	1.981	1.57	0.073	1.854	1.47
96	4	0.088	2.235	1.77	0.080	2.032	1.61	0.075	1.905	1.51

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	19.40	1.00	14.32	22.50	1.16	16.61	28.10	1.45	20.75
1.27	0.050	36.30	1.88	26.80	42.20	2.18	31.16	53.90	2.79	39.79
1.91	0.075	51.70	2.67	38.17	60.50	3.13	44.67	77.60	4.01	57.29
2.54	0.100	64.20	3.32	47.40	75.99	3.93	56.10	94.41	4.88	69.70
3.18	0.125	77.00	3.98	56.85	92.30	4.77	68.14	113.60	5.87	83.87
3.81	0.150	89.30	4.61	65.93	106.20	5.49	78.40	131.20	6.78	96.86
4.45	0.175	99.60	5.15	73.53	116.20	6.01	85.79	142.50	7.36	105.20
5.08	0.200	106.26	5.49	78.45	124.55	6.44	91.95	150.76	7.79	111.30
7.62	0.300	122.30	6.32	90.29	142.80	7.38	105.43	170.50	8.81	125.88
10.16	0.400	125.90	6.51	92.95	148.90	7.70	109.93	176.30	9.11	130.16
12.70	0.500	129.50	6.69	95.61	153.80	7.95	113.55	177.20	9.16	130.82



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	47.4	78.4	1.733	4.74	5.23
M. 25 Gpl	56.1	92.0	1.817	5.61	6.13
M. 56 Gpl	69.7	111.3	1.930	6.97	7.42

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.933	6.98	7.42
CBR % (95% MDs)	1.84	5.80	6.35
CBR% (Diseño)	5.80		

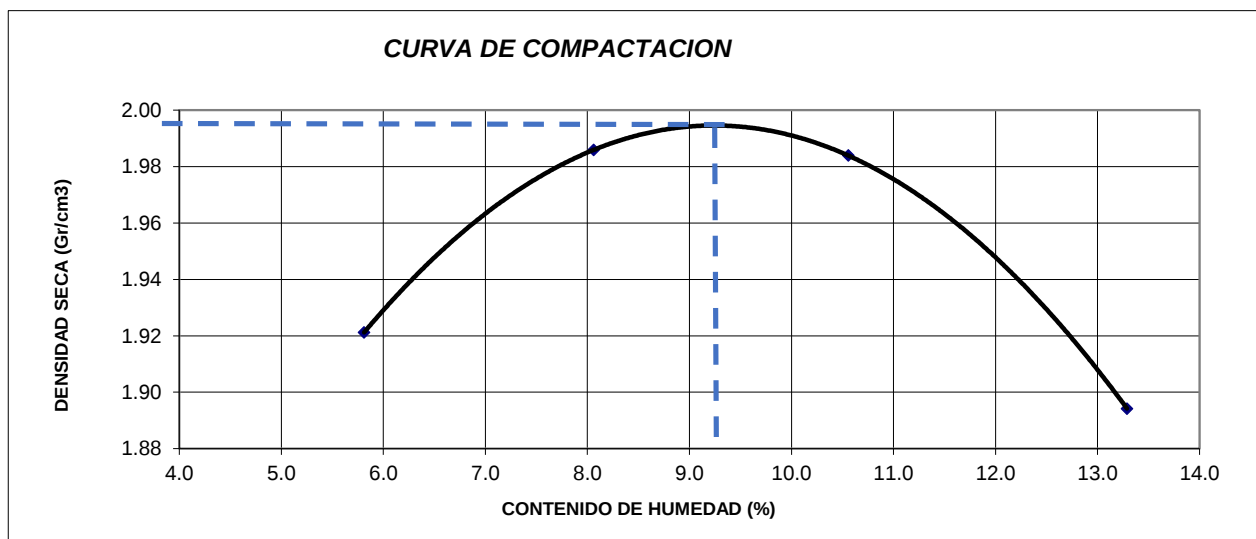
A.2.4.4. 3% DE CAL + 3% DE ESCORIA DE COBRE (C-1)

COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	3% DE CAL + 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	15.1	V. Molde (cm ³)	2131	N° de capas	5
H Molde (cm)	11.9	P. Molde (gr)	6518	N° de golpes	56
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	C

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	10850.00		11091.00		11192.00		11091.00	
Pmh (gr)	4332.00		4573.00		4674.00		4573.00	
Vmh (cm ³)	2131.00		2131.00		2131.00		2131.00	
Dh (gr/cm ³)	2.033		2.146		2.193		2.146	
TARA N°	5	5-B	P-8	2	44	44-A	C-1	1
Pt (gr)	122.80	122.63	122.95	121.87	129.54	128.84	127.79	127.07
Pmh + Pt(gr)	255.36	256.45	245.56	245.42	276.35	276.55	284.80	285.00
Pms + Pt(gr)	248.10	249.08	236.35	236.27	262.24	262.54	266.29	266.57
Pw (gr)	7.26	7.37	9.21	9.15	14.11	14.01	18.51	18.43
Pms (gr)	125.30	126.45	113.40	114.40	132.70	133.70	138.50	139.50
W %	5.79	5.83	8.12	8.00	10.63	10.48	13.36	13.21
W prom.(%)	5.81		8.06		10.56		13.29	
Ds (gr/cm ³)	1.92		1.99		1.98		1.89	



Ds máx. =	1.995 gr/cm ³
W op =	9.27%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	3% DE CAL y 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	3		P		5	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8351.4	8351.4	8357.9	8357.9	8426.9	8426.9
Pmh + Molde(gr)	12458.3	12798.6	12763.0	13105.9	13052.0	13366.0
Pmh (gr)	4106.90	4447.20	4405.10	4748.00	4625.10	4939.10
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.861	2.015	1.989	2.144	2.105	2.248

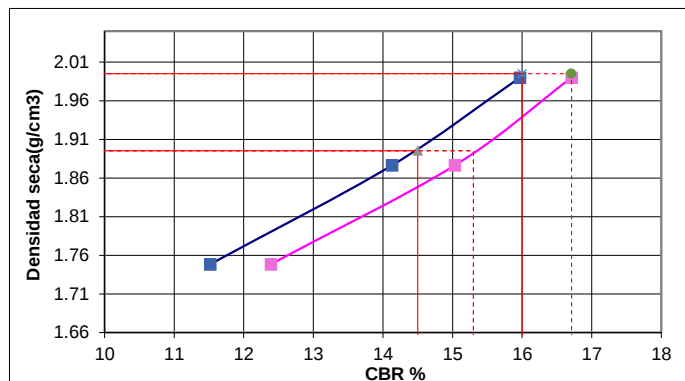
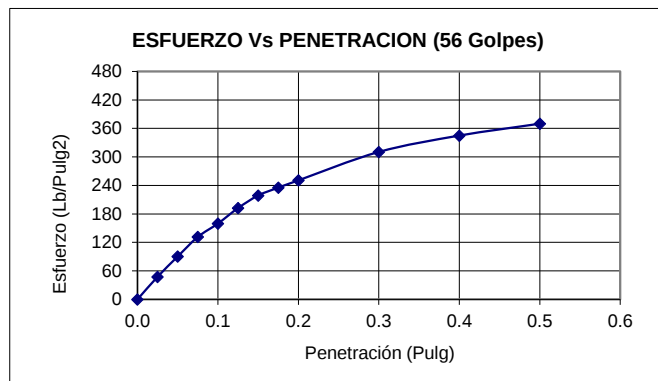
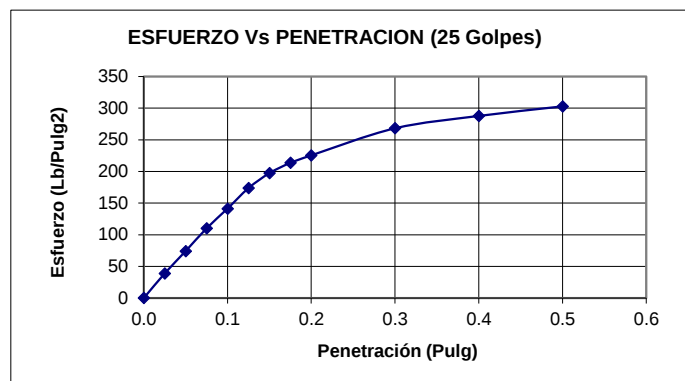
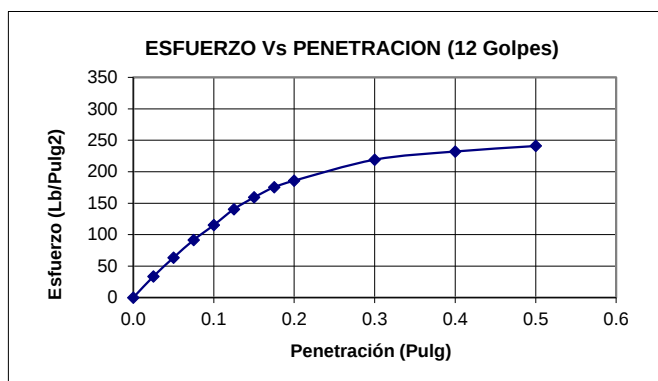
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	38.63	37.52	40.26	37.59	38.41	40.26	41.56	37.85	38.62
Pmh + Pt(gr)	162.50	161.35	159.30	148.20	147.50	146.30	152.30	151.25	147.90
Pms + Pt(gr)	151.95	150.87	143.56	138.78	138.26	133.06	142.76	141.69	135.36
Pw (gr)	10.55	10.48	15.74	9.42	9.24	13.24	9.54	9.56	12.54
Pms (gr)	113.32	113.35	103.30	101.19	99.85	92.80	101.20	103.84	96.74
W %	9.31	9.25	15.24	9.31	9.25	14.27	9.43	9.21	12.96
W prom.(%)	9.28		15.24	9.28		14.27	9.32		12.96
Ds (gr/cm ³)	1.703		1.748	1.820		1.876	1.926		1.990

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.086	2.184	1.73	0.071	1.803	1.43	0.063	1.600	1.27
48	2	0.087	2.210	1.75	0.073	1.854	1.47	0.064	1.626	1.29
72	3	0.088	2.235	1.77	0.074	1.880	1.49	0.066	1.676	1.33
96	4	0.088	2.235	1.77	0.076	1.930	1.53	0.067	1.702	1.35

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	45.60	2.36	33.67	52.70	2.72	38.91	64.50	3.33	47.62
1.27	0.050	86.00	4.44	63.49	100.50	5.19	74.20	122.30	6.32	90.29
1.91	0.075	124.00	6.41	91.55	149.20	7.71	110.15	178.10	9.20	131.49
2.54	0.100	156.04	8.06	115.20	191.39	9.89	141.30	216.31	11.18	159.70
3.18	0.125	190.30	9.83	140.49	235.20	12.15	173.64	260.40	13.46	192.25
3.81	0.150	215.60	11.14	159.17	267.20	13.81	197.27	296.30	15.31	218.75
4.45	0.175	237.70	12.28	175.49	289.30	14.95	213.58	318.70	16.47	235.29
5.08	0.200	251.74	13.01	185.85	305.37	15.78	225.45	339.51	17.55	250.65
7.62	0.300	296.90	15.34	219.19	363.30	18.78	268.22	420.60	21.74	310.52
10.16	0.400	314.50	16.25	232.19	389.70	20.14	287.71	467.20	24.14	344.92
12.70	0.500	326.30	16.86	240.90	410.20	21.20	302.84	501.10	25.90	369.95



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	115.2	185.9	1.748	11.52	12.39
M. 25 Gpl	141.3	225.4	1.876	14.13	15.03
M. 56 Gpl	159.7	250.7	1.990	15.97	16.71

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.995	16.0	16.74
CBR % (95% MDs)	1.90	14.50	15.30
CBR% (Diseño)	14.50		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	3% DE CAL + 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

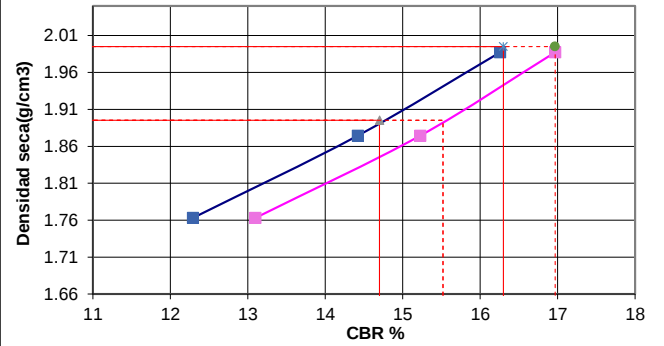
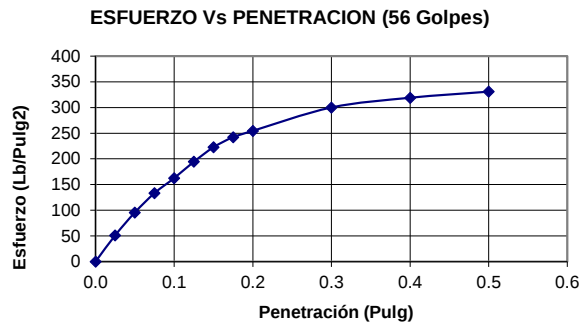
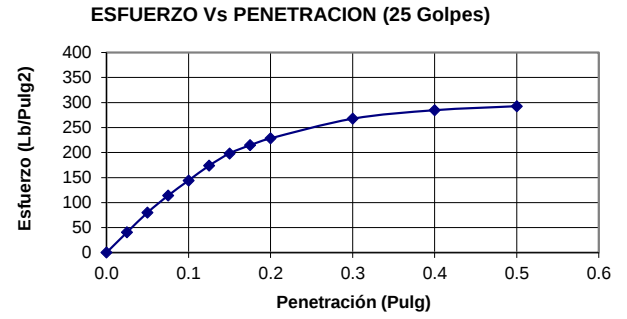
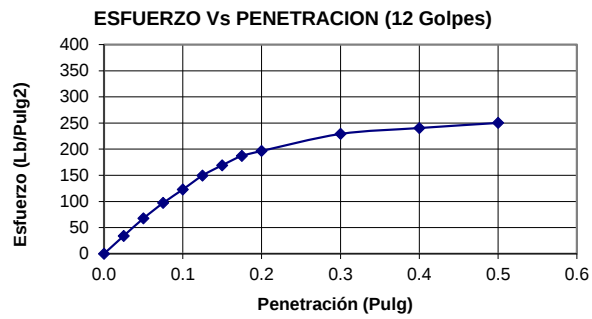
MOLDE N°	10		11		12				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	8378.0	8378.0	8192.0	8192.0	8307.0	8307.0			
Pmh + Molde(gr)	12399.0	12786.0	12426.0	12795.0	12789.0	13102.0			
Pmh (gr)	4021.00	4408.00	4234.00	4603.00	4482.00	4795.00			
Vmh (cm³)	2139.00	2139.00	2132.00	2132.00	2127.60	2127.60			
Dh (gr/cm³)	1.880	2.061	1.986	2.159	2.107	2.254			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	24.80	23.10	25.32	26.10	28.90	23.68	26.35	25.80	27.30
Pmh + Pt(gr)	143.15	152.14	145.32	146.25	140.90	143.32	141.25	135.80	136.00
Pms + Pt(gr)	133.25	141.01	127.98	136.03	131.48	127.55	131.59	126.32	123.15
Pw (gr)	9.90	11.13	17.34	10.22	9.42	15.77	9.66	9.48	12.85
Pms (gr)	108.45	117.91	102.66	109.93	102.58	103.87	105.24	100.52	95.85
W %	9.13	9.44	16.89	9.30	9.18	15.18	9.18	9.43	13.41
W prom.(%)	9.28		16.89	9.24		15.18	9.30		13.41
Ds (gr/cm³)	1.720		1.763	1.818		1.874	1.927		1.987

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.084	2.134	1.69	0.077	1.956	1.55	0.073	1.854	1.47
48	2	0.087	2.210	1.75	0.078	1.981	1.57	0.074	1.880	1.49
72	3	0.088	2.235	1.77	0.080	2.032	1.61	0.076	1.930	1.53
96	4	0.089	2.251	1.79	0.081	2.057	1.63	0.077	1.956	1.55

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	46.30	2.39	34.18	54.96	2.84	40.58	69.46	3.59	51.28
1.27	0.050	91.50	4.73	67.55	108.50	5.61	80.10	129.60	6.70	95.68
1.91	0.075	131.50	6.80	97.08	154.30	7.97	113.92	180.60	9.33	133.33
2.54	0.100	166.47	8.60	122.90	195.32	10.09	144.20	220.24	11.38	162.60
3.18	0.125	202.60	10.47	149.57	235.30	12.16	173.72	263.30	13.61	194.39
3.81	0.150	229.30	11.85	169.29	268.60	13.88	198.30	301.50	15.58	222.59
4.45	0.175	253.50	13.10	187.15	290.80	15.03	214.69	328.30	16.97	242.38
5.08	0.200	266.16	13.75	196.50	309.44	15.99	228.45	344.79	17.82	254.55
7.62	0.300	310.30	16.04	229.09	362.60	18.74	267.70	406.50	21.01	300.11
10.16	0.400	325.60	16.83	240.38	385.60	19.93	284.68	432.10	22.33	319.01
12.70	0.500	338.90	17.51	250.20	396.50	20.49	292.73	448.20	23.16	330.90



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	122.9	196.5	1.763	12.29	13.10
M. 25 Gpl	144.2	228.5	1.874	14.42	15.23
M. 56 Gpl	162.6	254.6	1.987	16.26	16.97

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.995	16.30	16.99
CBR % (95% MDs)	1.90	14.70	15.52
CBR% (Diseño)	14.70		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-01	Material:	3% DE CAL + 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	SC
Clasif. (AASHTO):	A-4 (1)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

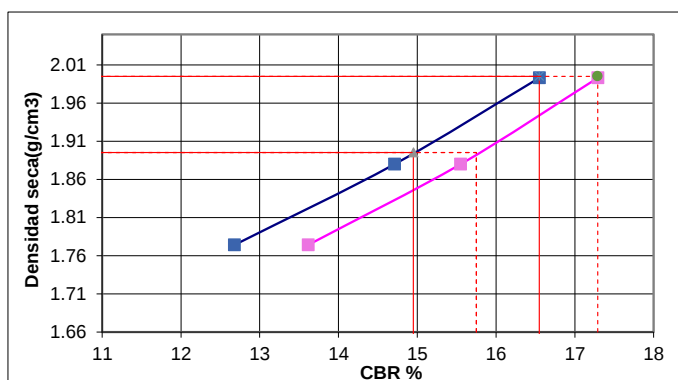
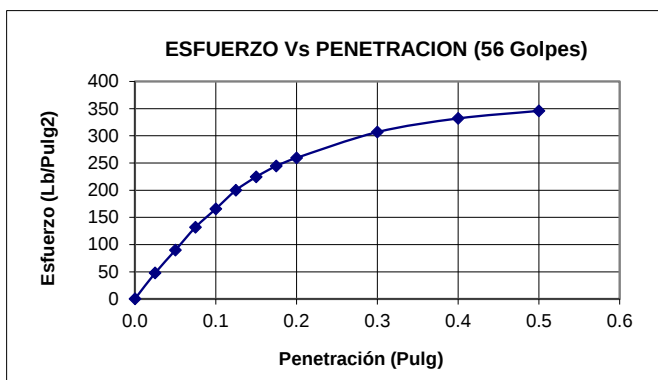
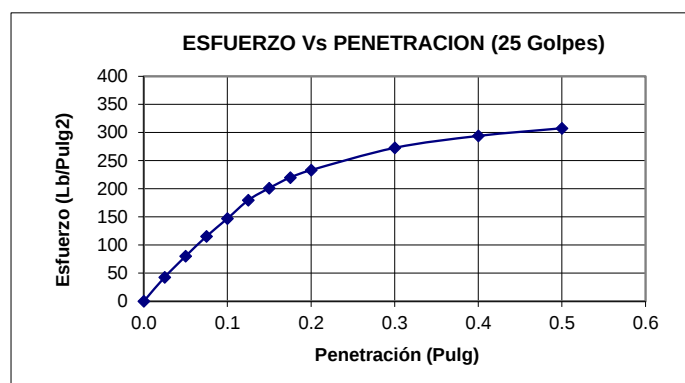
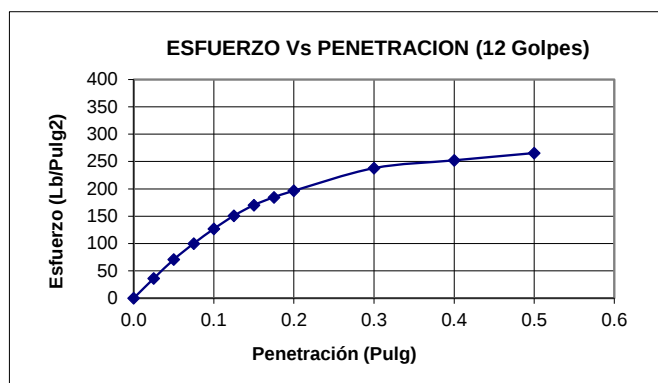
MOLDE N°	7		8		9				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	8272.0	8272.0	8267.0	8267.0	8244.0	8244.0			
Pmh + Molde(gr)	12306.0	12648.0	12745.0	12856.0	12718.0	13026.0			
Pmh (gr)	4034.00	4376.00	4478.00	4589.00	4474.00	4782.00			
Vmh (cm³)	2139.00	2139.00	2132.00	2132.00	2127.60	2127.60			
Dh (gr/cm³)	1.886	2.046	2.100	2.152	2.103	2.248			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	24.50	26.50	25.80	24.80	26.30	25.00	24.80	26.00	24.90
Pmh + Pt(gr)	162.30	158.23	161.25	159.36	161.50	163.52	155.90	160.58	161.47
Pms + Pt(gr)	150.57	147.17	143.26	147.80	150.06	145.98	144.75	149.15	146.00
Pw (gr)	11.73	11.06	17.99	11.56	11.44	17.54	11.15	11.43	15.47
Pms (gr)	126.07	120.67	117.46	123.00	123.76	120.98	119.95	123.15	121.10
W %	9.30	9.17	15.32	9.40	9.24	14.50	9.30	9.28	12.77
W prom.(%)	9.23		15.32	9.32		14.50	9.29		12.77
Ds (gr/cm³)	1.726		1.774	1.921		1.880	1.924		1.993

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.082	2.083	1.65	0.076	1.930	1.53	0.069	1.753	1.39
48	2	0.083	2.108	1.67	0.077	1.956	1.55	0.070	1.778	1.41
72	3	0.084	2.134	1.69	0.078	1.981	1.57	0.072	1.829	1.45
96	4	0.084	2.134	1.69	0.079	2.007	1.59	0.074	1.880	1.49

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	48.90	2.53	36.10	58.20	3.01	42.97	64.50	3.33	47.62
1.27	0.050	95.80	4.95	70.73	108.60	5.61	80.18	121.20	6.26	89.48
1.91	0.075	135.60	7.01	100.11	156.50	8.09	115.54	178.60	9.23	131.86
2.54	0.100	171.75	8.88	126.80	199.25	10.30	147.10	224.17	11.58	165.50
3.18	0.125	204.20	10.55	150.76	243.60	12.59	179.84	270.60	13.98	199.78
3.81	0.150	230.60	11.92	170.25	272.60	14.09	201.25	303.90	15.71	224.36
4.45	0.175	250.20	12.93	184.72	298.20	15.41	220.15	331.20	17.12	244.52
5.08	0.200	266.16	13.75	196.50	315.94	16.33	233.25	351.29	18.15	259.35
7.62	0.300	322.30	16.66	237.95	369.60	19.10	272.87	415.60	21.48	306.83
10.16	0.400	341.60	17.65	252.19	398.30	20.58	294.06	449.60	23.24	331.93
12.70	0.500	359.60	18.58	265.48	416.80	21.54	307.71	468.50	24.21	345.88



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	126.8	196.5	1.774	12.68	13.10
M. 25 Gpl	147.1	233.3	1.880	14.71	15.55
M. 56 Gpl	165.5	259.3	1.993	16.55	17.29

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.995	16.50	17.29
CBR % (95% MDs)	1.90	14.95	15.75
CBR% (Diseño)		14.95	

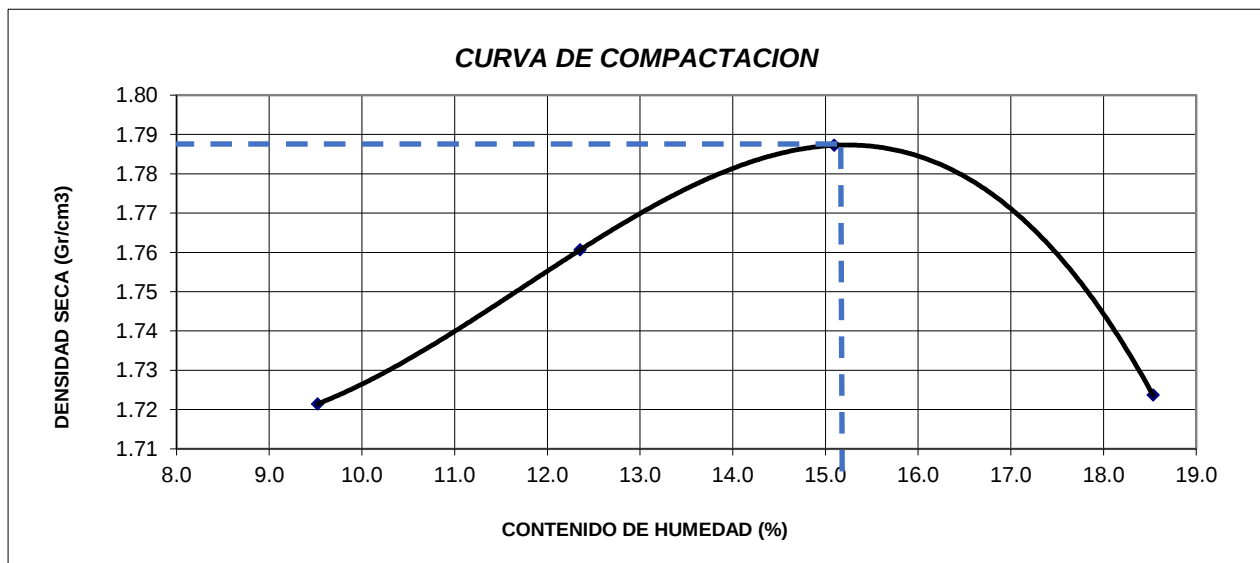
A.2.4.5. SUELO PATRÓN (C-2)

COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 1	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	10.94	V. Molde (cm ³)	937.77	N° de capas	5
H Molde (cm)	9.98	P. Molde (gr)	4190	N° de golpes	25
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	A

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	5958.00		6045.00		6119.00		6106.00	
Pmh (gr)	1768.00		1855.00		1929.00		1916.00	
Vmh (cm ³)	937.77		937.77		937.77		937.77	
Dh (gr/cm ³)	1.885		1.978		2.057		2.043	
TARA N°	34	34-A	25	25-A	8	8-A	13	13-A
Pt (gr)	133.97	132.60	140.21	139.21	134.85	136.55	113.35	109.40
Pmh + Pt(gr)	580.65	580.70	592.70	590.70	581.85	583.60	594.80	592.70
Pms + Pt(gr)	541.97	541.60	541.41	542.61	522.75	525.45	519.65	517.00
Pw (gr)	38.68	39.10	51.29	48.09	59.10	58.15	75.15	75.70
Pms (gr)	408.00	409.00	401.20	403.40	387.90	388.90	406.30	407.60
W %	9.48	9.56	12.78	11.92	15.24	14.95	18.50	18.57
W prom.(%)	9.52		12.35		15.09		18.53	
Ds (gr/cm ³)	1.72		1.76		1.79		1.72	



Ds máx. =	1.787 gr/cm ³
W op =	15.23%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

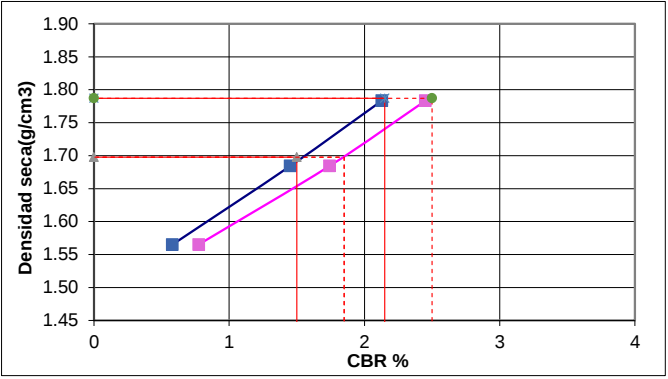
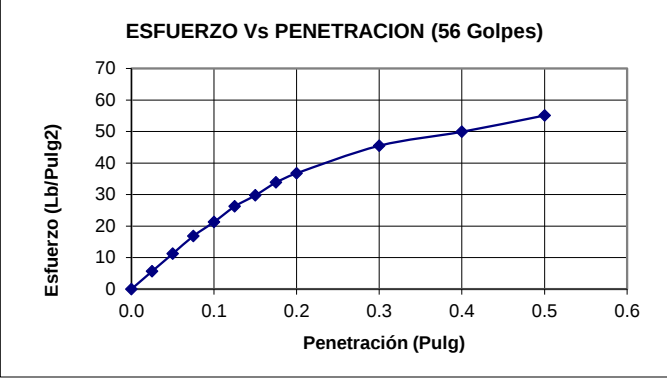
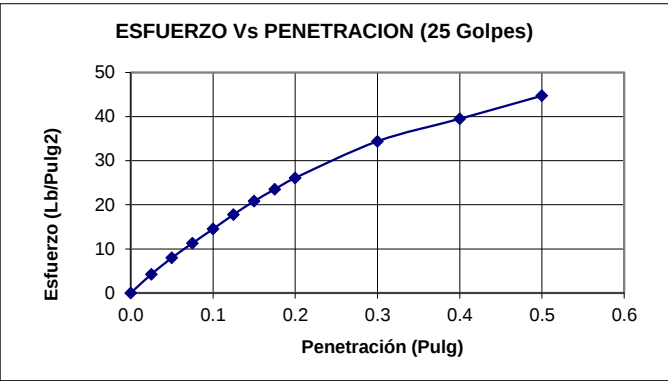
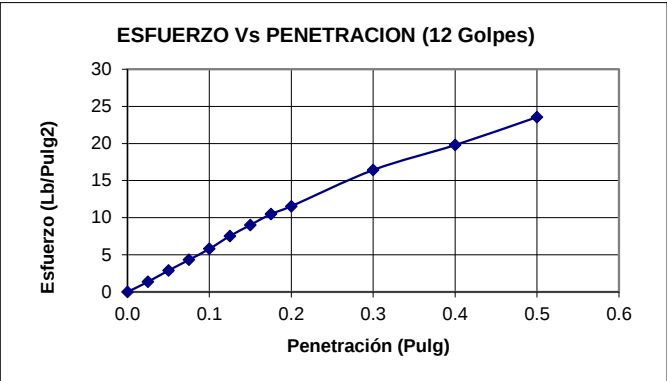
MOLDE N°	1		2		3	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8326.3	8326.3	8405.6	8405.6	8351.4	8351.4
Pmh + Molde(gr)	12185.0	12535.0	12512.0	12848.0	12685.0	12938.0
Pmh (gr)	3858.70	4208.70	4106.40	4442.40	4333.60	4586.60
Vmh (cm³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm³)	1.748	1.907	1.854	2.006	1.972	2.087
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Pt (gr)	35.62	42.53	38.60	41.26	39.63	38.56
Pmh + Pt(gr)	151.23	149.63	150.26	151.27	149.63	151.23
Pms + Pt(gr)	135.62	135.18	130.26	136.51	135.09	133.16
Pw (gr)	15.61	14.45	20.00	14.76	14.54	18.07
Pms (gr)	100.00	92.65	91.66	95.25	95.46	94.60
W %	15.61	15.60	21.82	15.50	15.23	19.10
W prom.(%)	15.60		21.82	15.36		19.10
Ws (gr/cm³)	1.512		1.565	1.607		1.684
Ds (gr/cm³)	1.512		1.565	1.607		1.684

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.118	2.997	2.38	0.113	2.870	2.28	0.105	2.667	2.12
48	2	0.118	2.997	2.38	0.115	2.921	2.32	0.108	2.743	2.18
72	3	0.119	3.023	2.40	0.116	2.946	2.34	0.111	2.819	2.24
96	4	0.121	3.073	2.44	0.117	2.972	2.36	0.112	2.845	2.26

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²	Kg	Kg/cm²	Lb/pulg²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	1.85	0.10	1.37	5.75	0.30	4.25	7.65	0.40	5.65
1.27	0.050	3.90	0.20	2.88	10.80	0.56	7.97	15.20	0.79	11.22
1.91	0.075	5.85	0.30	4.32	15.30	0.79	11.30	22.80	1.18	16.83
2.54	0.100	7.86	0.41	5.80	19.64	1.01	14.50	28.85	1.49	21.30
3.18	0.125	10.20	0.53	7.53	24.10	1.25	17.79	35.50	1.83	26.21
3.81	0.150	12.20	0.63	9.01	28.20	1.46	20.82	40.30	2.08	29.75
4.45	0.175	14.20	0.73	10.48	31.85	1.65	23.51	45.80	2.37	33.81
5.08	0.200	15.64	0.81	11.55	35.35	1.83	26.10	49.78	2.57	36.75
7.62	0.300	22.25	1.15	16.43	46.60	2.41	34.40	61.60	3.18	45.48
10.16	0.400	26.80	1.39	19.79	53.50	2.76	39.50	67.60	3.49	49.91
12.70	0.500	31.90	1.65	23.55	60.60	3.13	44.74	74.60	3.86	55.08



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	5.8	11.5	1.565	0.58	0.77
M. 25 Gpl	14.5	26.1	1.684	1.45	1.74
M. 56 Gpl	21.3	36.8	1.783	2.13	2.45

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.787	2.15	2.50
CBR % (95% MDs)	1.70	1.50	1.85
CBR% (Diseño)	1.50		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

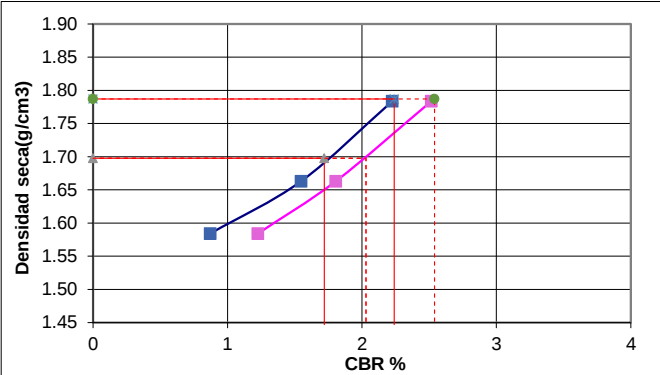
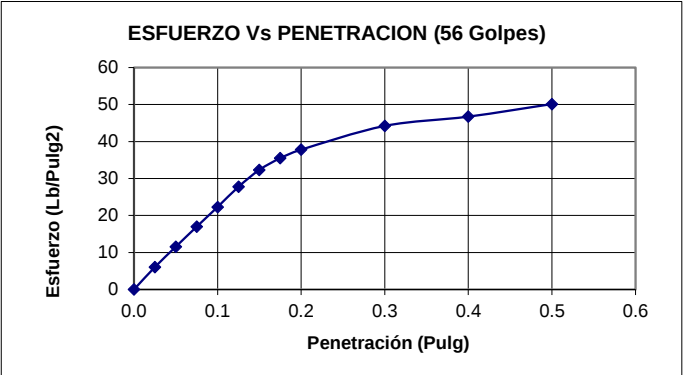
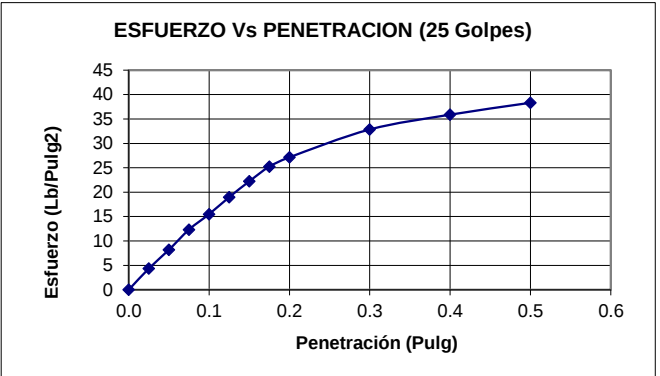
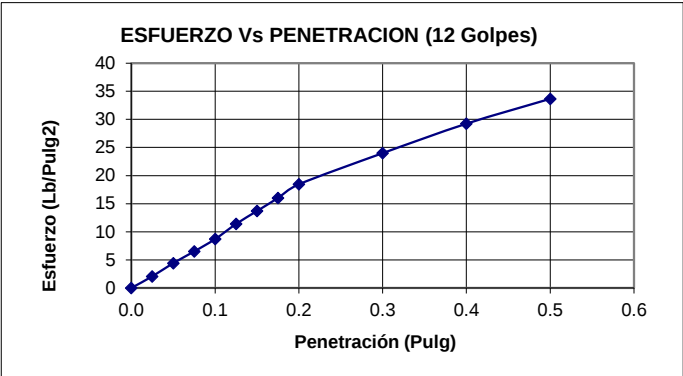
MOLDE N°	4		5		6				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7681.0	7681.0	7678.2	7678.2	7548.7	7548.7			
Pmh + Molde(gr)	11536.0	12023.0	11825.0	12192.0	12015.0	12278.0			
Pmh (gr)	3855.00	4342.00	4146.80	4513.80	4466.30	4729.30			
Vmh (cm³)	2210.50	2210.50	2216.70	2216.70	2241.60	2241.60			
Dh (gr/cm³)	1.744	1.964	1.871	2.036	1.992	2.110			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	25.40	26.40	27.30	25.80	26.50	28.70	26.90	27.90	30.40
Pmh + Pt(gr)	136.50	138.70	135.20	136.00	140.20	142.50	138.70	134.60	140.50
Pms + Pt(gr)	121.50	123.60	114.32	121.30	124.90	121.65	123.55	120.34	123.48
Pw (gr)	15.00	15.10	20.88	14.70	15.30	20.85	15.15	14.26	17.02
Pms (gr)	96.10	97.20	87.02	95.50	98.40	92.95	96.65	92.44	93.08
W %	15.61	15.53	23.99	15.39	15.55	22.43	15.68	15.43	18.29
W prom.(%)	15.57		23.99	15.47		22.43	15.55		18.29
Ds (gr/cm³)	1.509		1.584	1.620		1.663	1.724		1.784

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.121	3.073	2.44	0.115	2.921	2.32	0.110	2.794	2.22
48	2	0.123	3.124	2.48	0.117	2.972	2.36	0.112	2.845	2.26
72	3	0.125	3.175	2.52	0.118	2.997	2.38	0.113	2.870	2.28
96	4	0.127	3.226	2.56	0.120	3.048	2.42	0.114	2.896	2.30

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	2.80	0.14	2.07	5.90	0.30	4.36	8.20	0.42	6.05
1.27	0.050	5.98	0.31	4.41	11.10	0.57	8.19	15.65	0.81	11.55
1.91	0.075	8.79	0.45	6.49	16.70	0.86	12.33	23.00	1.19	16.98
2.54	0.100	11.78	0.61	8.70	20.99	1.08	15.50	30.21	1.56	22.30
3.18	0.125	15.42	0.80	11.38	25.70	1.33	18.97	37.60	1.94	27.76
3.81	0.150	18.55	0.96	13.70	30.10	1.56	22.22	43.80	2.26	32.34
4.45	0.175	21.68	1.12	16.01	34.20	1.77	25.25	48.10	2.49	35.51
5.08	0.200	24.99	1.29	18.45	36.77	1.90	27.15	51.20	2.65	37.80
7.62	0.300	32.50	1.68	23.99	44.50	2.30	32.85	59.90	3.10	44.22
10.16	0.400	39.60	2.05	29.24	48.60	2.51	35.88	63.30	3.27	46.73
12.70	0.500	45.60	2.36	33.67	51.90	2.68	38.32	67.90	3.51	50.13



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	8.7	18.4	1.584	0.87	1.23
M. 25 Gpl	15.5	27.1	1.663	1.55	1.81
M. 56 Gpl	22.3	37.8	1.784	2.23	2.52

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.787	2.24	2.54
CBR % (95% MDs)	1.70	1.72	2.03
CBR% (Diseño)	1.72		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	SUELO NATURAL
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	4		5		6	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	7682.0	7682.0	7675.0	7675.0	7596.0	7596.0
Pmh + Molde(gr)	11538.0	11876.0	11769.0	12107.0	11915.0	12262.0
Pmh (gr)	3856.00	4194.00	4094.00	4432.00	4319.00	4666.00
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.747	1.900	1.849	2.001	1.966	2.124

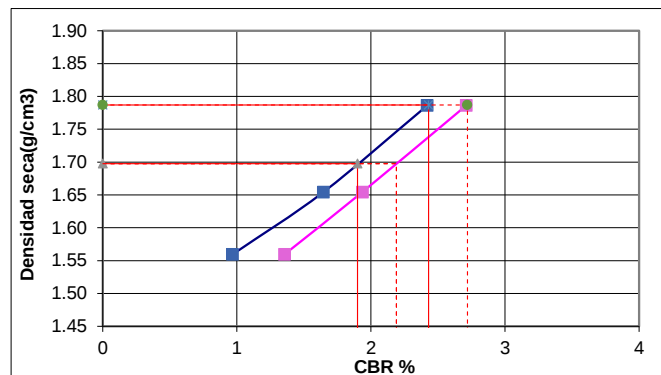
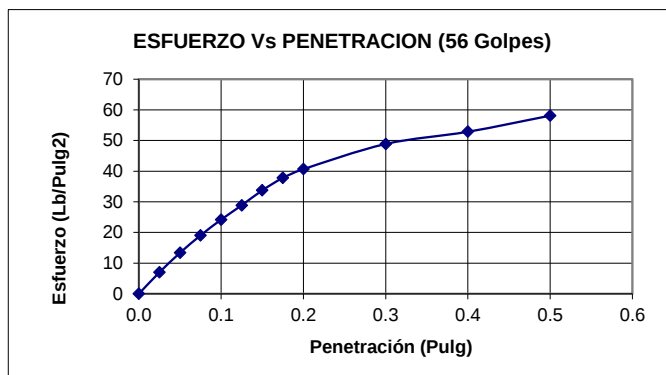
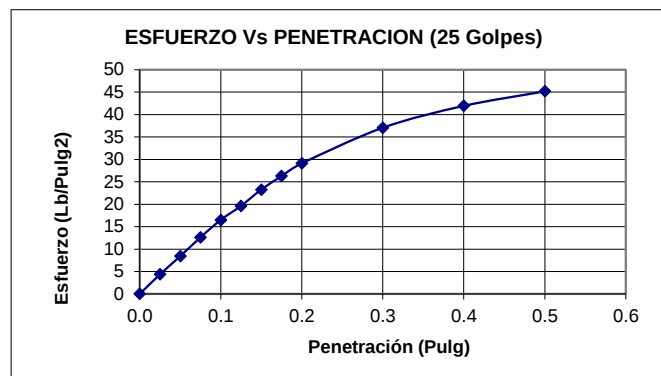
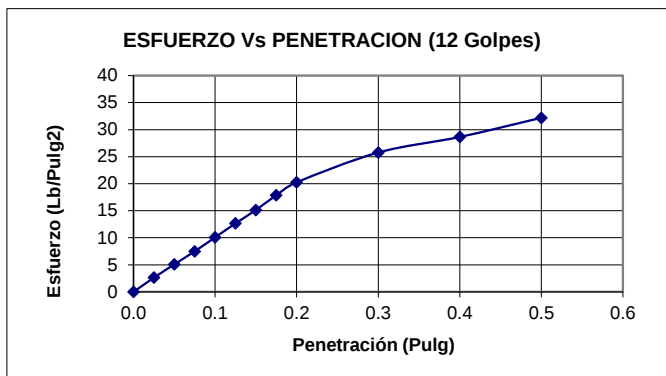
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	26.40	27.50	30.10	26.70	29.30	28.50	30.40	34.60	29.70
Pmh + Pt(gr)	134.60	134.20	137.20	138.60	139.20	137.50	140.20	142.60	141.70
Pms + Pt(gr)	120.00	119.90	118.00	123.70	124.30	118.60	125.45	128.18	123.90
Pw (gr)	14.60	14.30	19.20	14.90	14.90	18.90	14.75	14.42	17.80
Pms (gr)	93.60	92.40	87.90	97.00	95.00	90.10	95.05	93.58	94.20
W %	15.60	15.48	21.84	15.36	15.68	20.98	15.52	15.41	18.90
W prom.(%)	15.54		21.84	15.52		20.98	15.46		18.90
Ds (gr/cm ³)	1.512		1.559	1.600		1.654	1.702		1.786

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.123	3.124	2.48	0.117	2.972	2.36	0.100	2.540	2.02
48	2	0.125	3.175	2.52	0.118	2.997	2.38	0.103	2.616	2.08
72	3	0.126	3.200	2.54	0.120	3.048	2.42	0.104	2.642	2.10
96	4	0.128	3.251	2.58	0.121	3.073	2.44	0.105	2.667	2.12

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	3.55	0.18	2.62	5.90	0.30	4.36	9.50	0.49	7.01
1.27	0.050	6.89	0.36	5.09	11.40	0.59	8.42	18.10	0.94	13.36
1.91	0.075	10.15	0.52	7.49	17.10	0.88	12.62	25.80	1.33	19.05
2.54	0.100	13.65	0.71	10.08	22.35	1.16	16.50	32.78	1.69	24.20
3.18	0.125	17.15	0.89	12.66	26.60	1.37	19.64	39.10	2.02	28.87
3.81	0.150	20.50	1.06	15.13	31.50	1.63	23.26	45.70	2.36	33.74
4.45	0.175	24.20	1.25	17.87	35.60	1.84	26.28	51.20	2.65	37.80
5.08	0.200	27.43	1.42	20.25	39.42	2.04	29.10	55.06	2.85	40.65
7.62	0.300	34.90	1.80	25.77	50.20	2.59	37.06	66.20	3.42	48.87
10.16	0.400	38.80	2.01	28.65	56.80	2.94	41.93	71.60	3.70	52.86
12.70	0.500	43.60	2.25	32.19	61.20	3.16	45.18	78.70	4.07	58.10



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	10.1	20.3	1.559	1.01	1.35
M. 25 Gpl	16.5	29.1	1.654	1.65	1.94
M. 56 Gpl	24.2	40.6	1.786	2.42	2.71

	0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.787	2.43
CBR % (95% MDs)	1.70	1.90
CBR% (Diseño)	1.90	

A.2.4.6. 1% DE CAL + 1% DE ESCORIA DE COBRE (C-2)

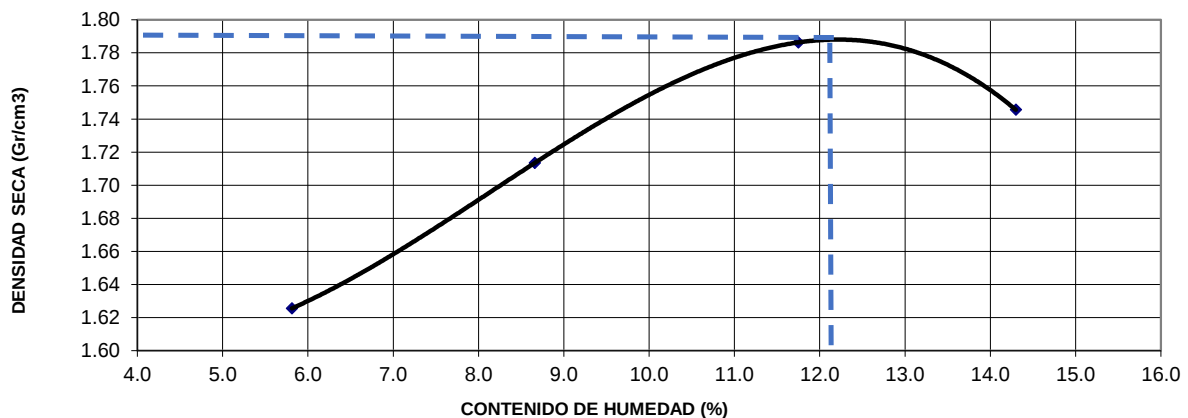
COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma: AASHTO (ASTM D3282 - 18) **Profundida (m):** 0.30 m A 1.50 m
Calicata: C-02 **Material:** 1% DE CAL + 1% DE ESCORIA
N° de ensayo: 01 **Clasif. (SUCS):** CL
Clasif. (AASHTO): A-4 (3) **Registro:** JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	10.94	V. Molde (cm ³)	937.77	N° de capas	5
H Molde (cm)	9.98	P. Molde (gr)	4190	N° de golpes	25
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	A

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	5803.00		5936.00		6062.00		6061.00	
Pmh (gr)	1613.00		1746.00		1872.00		1871.00	
Vmh (cm ³)	937.77		937.77		937.77		937.77	
Dh (gr/cm ³)	1.720		1.862		1.996		1.995	
TARA N°	2	A	3	B	7	C	5	D
Pt (gr)	123.56	121.96	112.20	110.40	111.99	109.44	115.56	112.50
Pmh + Pt(gr)	236.50	235.88	211.50	210.38	216.20	214.65	235.65	233.58
Pms + Pt(gr)	230.26	229.66	203.40	202.60	205.19	203.64	220.56	218.50
Pw (gr)	6.24	6.22	8.10	7.78	11.01	11.01	15.09	15.08
Pms (gr)	106.70	107.70	91.20	92.20	93.20	94.20	105.00	106.00
W %	5.85	5.78	8.88	8.44	11.81	11.69	14.37	14.23
W prom.(%)	5.81		8.66		11.75		14.30	
Ds (gr/cm ³)	1.63		1.71		1.79		1.75	

CURVA DE COMPACTACION



Ds máx. = 1.788 gr/cm³
W op = 12.25%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	1% DE CAL y 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	N		O		P	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8512.0	8512.0	8341.6	8341.6	8357.9	8357.9
Pmh + Molde(gr)	12287.0	12598.0	12398.0	12699.0	12586.0	12852.0
Pmh (gr)	3775.00	4086.00	4056.40	4357.40	4228.10	4494.10
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23
Dh (gr/cm ³)	1.710	1.851	1.832	1.968	1.924	2.045

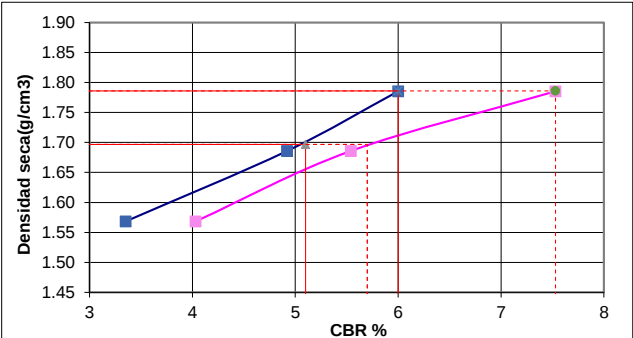
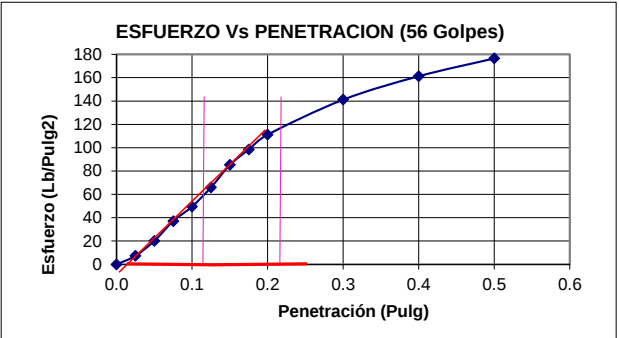
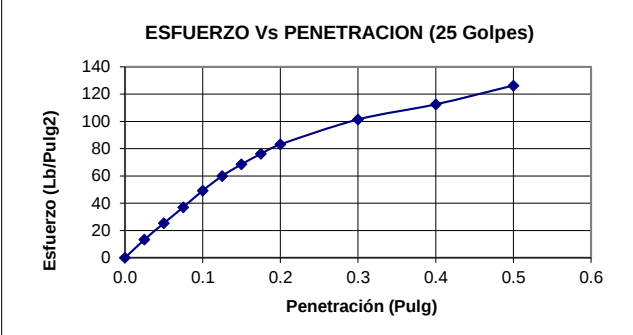
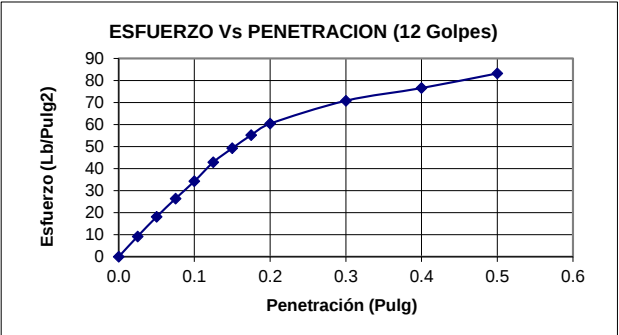
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	37.52	38.63	36.59	31.25	37.63	38.63	37.12	36.58	37.45
Pmh + Pt(gr)	161.52	160.36	165.47	159.63	162.30	164.85	166.23	164.70	165.28
Pms + Pt(gr)	147.96	146.57	145.78	144.97	148.52	146.77	151.87	150.74	149.03
Pw (gr)	13.56	13.79	19.69	14.66	13.78	18.08	14.36	13.96	16.25
Pms (gr)	110.44	107.94	109.19	113.72	110.89	108.14	114.75	114.16	111.58
W %	12.28	12.78	18.03	12.89	12.43	16.72	12.51	12.23	14.56
W prom.(%)	12.53		18.03	12.66		16.72	12.37		14.56
Ds (gr/cm ³)	1.520		1.568	1.626		1.686	1.712		1.785

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect. Deform.	Deformación		Lect. Deform.	Deformación		Lect. Deform.	Deformación	
Horas	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	0.098	2.489	1.98	0.097	2.464	1.96	0.091	2.311	1.83
48	2	0.100	2.540	2.02	0.099	2.515	2.00	0.092	2.337	1.85
72	3	0.101	2.565	2.04	0.100	2.540	2.02	0.094	2.388	1.90
96	4	0.101	2.565	2.04	0.102	2.591	2.06	0.096	2.438	1.93

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO	
mm	pulg		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	12.50	0.65	9.23	18.00	0.93	13.29	10.00	0.52	7.38
1.27	0.050	24.50	1.27	18.09	34.30	1.77	25.32	27.30	1.41	20.15
1.91	0.075	35.70	1.84	26.36	50.20	2.59	37.06	50.20	2.59	37.06
2.54	0.100	46.40	2.40	34.26	66.70	3.45	49.24	67.20	3.47	49.61
3.18	0.125	58.10	3.00	42.89	81.20	4.20	59.95	89.40	4.62	66.00
3.81	0.150	66.70	3.45	49.24	92.80	4.80	68.51	115.50	5.97	85.27
4.45	0.175	74.80	3.87	55.22	103.30	5.34	76.26	133.40	6.89	98.49
5.08	0.200	81.80	4.23	60.39	112.60	5.82	83.13	150.60	7.78	111.18
7.62	0.300	95.90	4.96	70.80	137.40	7.10	101.44	191.20	9.88	141.16
10.16	0.400	103.70	5.36	76.56	152.40	7.88	112.51	218.40	11.29	161.24
12.70	0.500	112.70	5.82	83.20	171.10	8.84	126.32	239.10	12.36	176.52



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	34.3	60.4	1.568	3.43	4.03
M. 25 Gpl	49.2	83.1	1.686	4.92	5.54
M. 56 Gpl	60.0	113.0	1.785	6.00	7.53

	0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	6.00	7.53
CBR % (95% MDs)	5.10	5.70
CBR% (Diseño)	5.10	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	1% DE CAL y 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

Nº de capas	5
H Molde (mm)	126.00

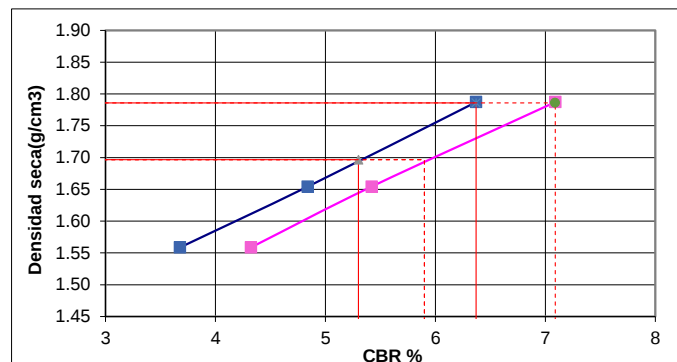
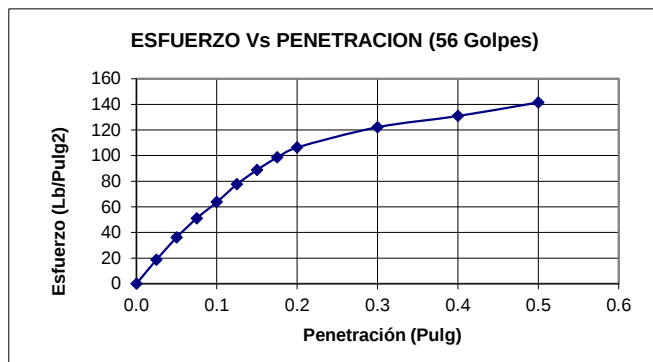
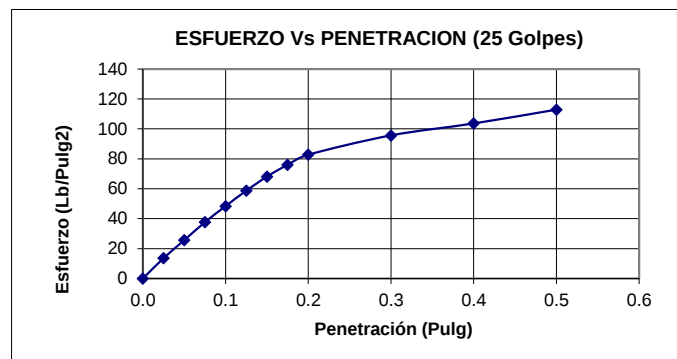
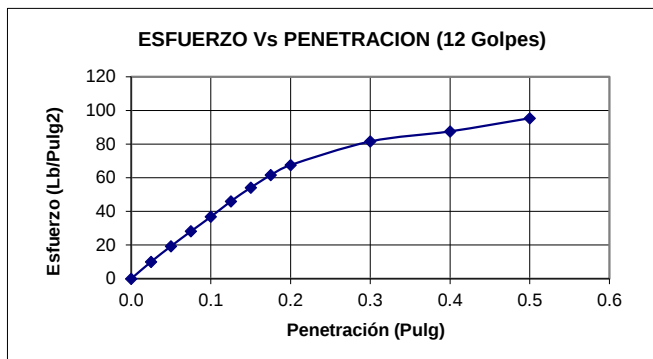
MOLDE N°	4			5			6		
Golpes por capa	12			25			56		
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado		No Saturado	Saturado	
P.Molde (gr)	7684.0	7684.0		7675.0	7675.0		7596.0	7596.0	
Pmh + Molde(gr)	11538.0	11876.0		11769.0	12107.0		11900.0	12265.0	
Pmh (gr)	3854.00	4192.00		4094.00	4432.00		4304.00	4669.00	
Vmh (cm ³)	2207.30	2207.30		2214.50	2214.50		2197.23	2197.23	
Dh (gr/cm ³)	1.746	1.899		1.849	2.001		1.959	2.125	
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	26.40	27.50	30.10	26.70	29.30	28.50	30.40	34.60	29.70
Pmh + Pt(gr)	134.60	134.20	137.20	138.60	139.20	137.50	140.20	142.60	141.70
Pms + Pt(gr)	122.62	122.30	118.00	126.10	127.00	118.60	128.10	130.60	123.90
Pw (gr)	11.98	11.90	19.20	12.50	12.20	18.90	12.10	12.00	17.80
Pms (gr)	96.22	94.80	87.90	99.40	97.70	90.10	97.70	96.00	94.20
W %	12.45	12.55	21.84	12.58	12.49	20.98	12.38	12.50	18.90
W prom.(%)	12.50		21.84	12.53		20.98	12.44		18.90
Ds (gr/cm ³)	1.552		1.559	1.643		1.654	1.742		1.787

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias		Deform.	mm		%	Deform.		mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.081	2.057	1.63	0.078	1.981	1.57	0.066	1.676	1.33
48	2	0.089	2.261	1.79	0.075	1.905	1.51	0.070	1.778	1.41
72	3	0.090	2.286	1.81	0.077	1.956	1.55	0.073	1.854	1.47
96	4	0.100	2.540	2.02	0.020	0.508	0.40	0.075	1.905	1.51

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg		Kg	Kg/cm ²		Lb/pulg ²	Kg		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	13.66	0.71	10.08	18.40	0.95	13.58	25.40	1.31	18.75
1.27	0.050	26.20	1.35	19.34	34.70	1.79	25.62	48.90	2.53	36.10
1.91	0.075	38.20	1.97	28.20	51.00	2.64	37.65	69.20	3.58	51.09
2.54	0.100	49.85	2.58	36.80	65.56	3.39	48.40	86.27	4.46	63.69
3.18	0.125	62.30	3.22	45.99	79.50	4.11	58.69	105.10	5.43	77.59
3.81	0.150	73.30	3.79	54.12	92.30	4.77	68.14	120.30	6.22	88.81
4.45	0.175	83.40	4.31	61.57	103.00	5.32	76.04	133.50	6.90	98.56
5.08	0.200	91.50	4.73	67.55	112.10	5.79	82.76	144.10	7.45	106.39
7.62	0.300	110.50	5.71	81.58	129.60	6.70	95.68	165.50	8.55	122.18
10.16	0.400	118.60	6.13	87.56	140.40	7.26	103.65	177.30	9.16	130.90
12.70	0.500	129.20	6.68	95.39	152.90	7.90	112.88	191.70	9.91	141.53



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	36.8	67.6	1.559	3.68	4.50
M. 25 Gpl	48.4	82.8	1.654	4.84	5.52
M. 56 Gpl	63.7	106.4	1.787	6.37	7.09

	0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.788	6.40
CBR % (95% MDs)	1.70	5.30
CBR% (Diseño)	5.30	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	1% DE CAL y 1% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

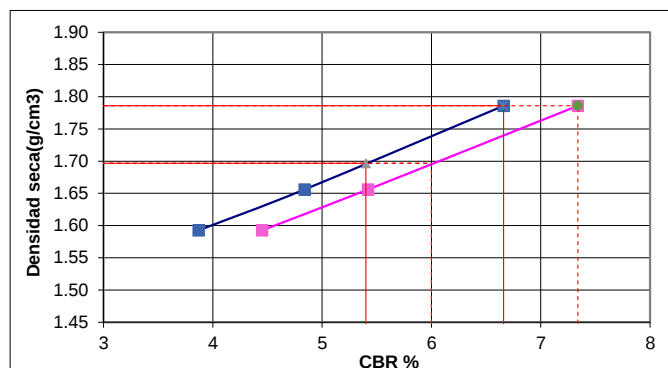
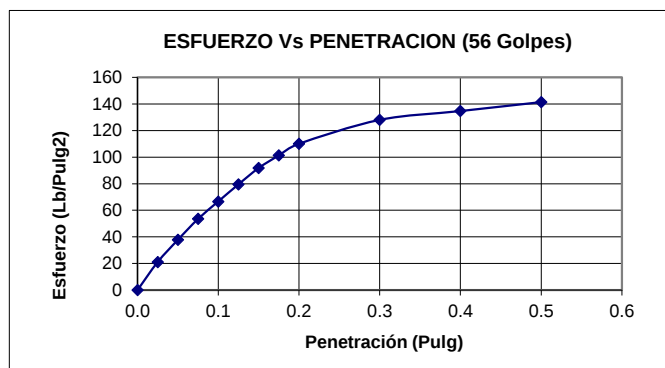
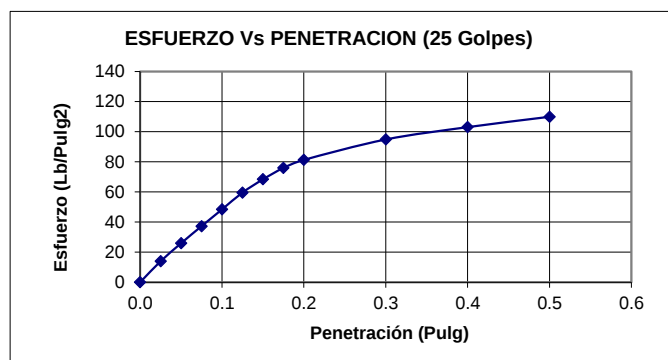
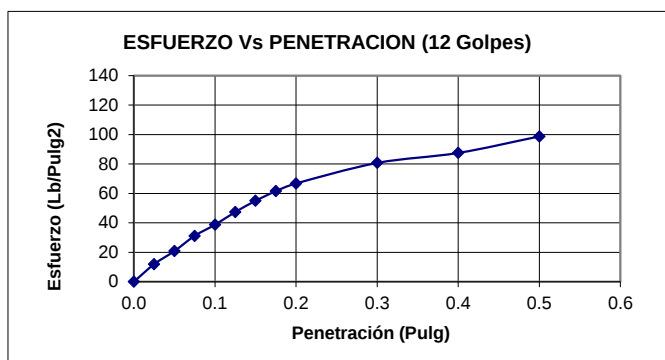
MOLDE N°	4		5		6				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7681.0	7681.0	7678.2	7678.2	7548.7	7548.7			
Pmh + Molde(gr)	11522.0	11901.0	11765.0	12032.0	11895.0	12209.0			
Pmh (gr)	3841.00	4220.00	4086.80	4353.80	4346.30	4660.30			
Vmh (cm³)	2210.50	2210.50	2216.70	2216.70	2241.60	2241.60			
Dh (gr/cm³)	1.738	1.909	1.844	1.964	1.939	2.079			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	25.40	26.40	27.30	25.60	26.40	28.70	26.90	27.90	30.40
Pmh + Pt(gr)	136.50	138.70	135.20	136.00	140.20	142.50	138.70	134.60	140.50
Pms + Pt(gr)	124.10	126.30	117.32	123.70	127.50	124.65	126.18	122.74	124.98
Pw (gr)	12.40	12.40	17.88	12.30	12.70	17.85	12.52	11.86	15.52
Pms (gr)	98.70	99.90	90.02	98.10	101.10	95.95	99.28	94.84	94.58
W %	12.56	12.41	19.86	12.54	12.56	18.60	12.61	12.51	16.41
W prom.(%)	12.49		19.86	12.55		18.60	12.56		16.41
Ds (gr/cm³)	1.545		1.593	1.638		1.656	1.723		1.786

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.098	2.489	1.98	0.095	2.413	1.92	0.090	2.286	1.81
48	2	0.099	2.515	2.00	0.096	2.438	1.93	0.091	2.311	1.83
72	3	0.100	2.540	2.02	0.098	2.489	1.98	0.095	2.413	1.92
96	4	0.105	2.667	2.12	0.099	2.515	2.00	0.096	2.438	1.93

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	16.10	0.83	11.89	18.90	0.98	13.95	28.60	1.48	21.11
1.27	0.050	28.20	1.46	20.82	35.10	1.81	25.91	51.20	2.65	37.80
1.91	0.075	42.20	2.18	31.16	50.50	2.61	37.28	72.50	3.75	53.52
2.54	0.100	52.42	2.71	38.70	65.56	3.39	48.40	90.27	4.67	66.64
3.18	0.125	64.10	3.31	47.32	80.70	4.17	59.58	107.70	5.57	79.51
3.81	0.150	74.40	3.84	54.93	92.60	4.79	68.36	124.30	6.42	91.77
4.45	0.175	83.30	4.30	61.50	102.90	5.32	75.97	137.20	7.09	101.29
5.08	0.200	90.41	4.67	66.75	110.12	5.69	81.30	149.06	7.70	110.05
7.62	0.300	109.30	5.65	80.69	128.50	6.64	94.87	173.40	8.96	128.02
10.16	0.400	118.50	6.12	87.49	139.60	7.21	103.06	182.40	9.43	134.66
12.70	0.500	133.70	6.91	98.71	148.90	7.70	109.93	191.50	9.90	141.38



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	38.7	66.7	1.593	3.87	4.45
M. 25 Gpl	48.4	81.3	1.656	4.84	5.42
M. 56 Gpl	66.6	110.0	1.786	6.66	7.34

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.788	6.70	7.34
CBR % (95% MDs)	1.70	5.40	6.00
CBR% (Diseño)	5.40		

A.2.4.7. 2% DE CAL + 2% DE ESCORIA DE COBRE (C-2)

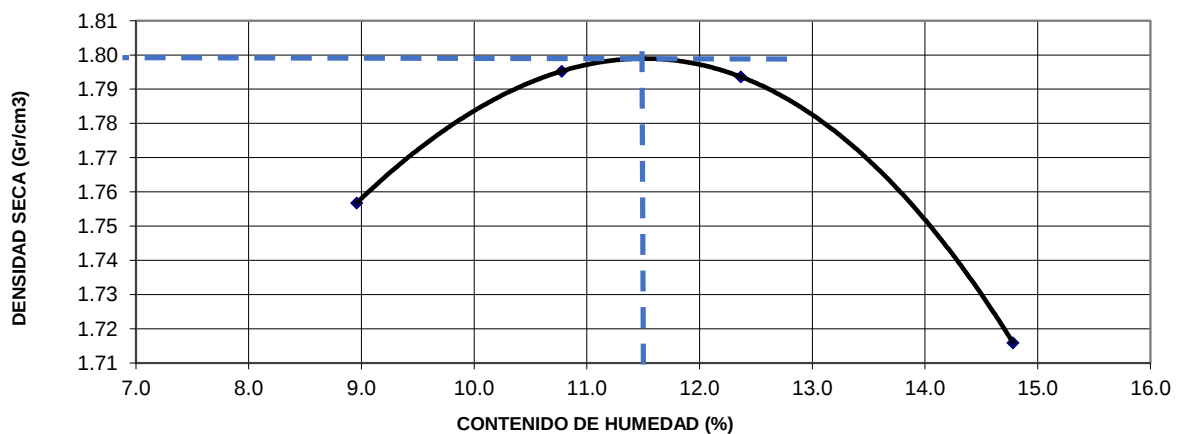
COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	2% DE CAL + 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	10.94	V. Molde (cm ³)	937.77	N° de capas	5
H Molde (cm)	9.98	P. Molde (gr)	4190	N° de golpes	25
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	A

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	5985.00		6055.00		6080.00		6037.00	
Pmh (gr)	1795.00		1865.00		1890.00		1847.00	
Vmh (cm ³)	937.77		937.77		937.77		937.77	
Dh (gr/cm ³)	1.914		1.989		2.015		1.970	
TARA N°	A-5	1	T-5	2	45	3	44	4
Pt (gr)	123.33	119.33	125.26	122.90	123.90	121.90	125.43	123.50
Pmh + Pt(gr)	242.75	240.93	238.40	237.52	232.31	230.80	242.50	241.50
Pms + Pt(gr)	233.43	230.43	227.56	226.20	220.10	219.10	227.33	226.40
Pw (gr)	9.32	10.50	10.84	11.32	12.21	11.70	15.17	15.10
Pms (gr)	110.10	111.10	102.30	103.30	96.20	97.20	101.90	102.90
W %	8.47	9.45	10.60	10.96	12.69	12.04	14.89	14.67
W prom.(%)	8.96		10.78		12.36		14.78	
Ds (gr/cm ³)	1.76		1.80		1.79		1.72	

CURVA DE COMPACTACION



Ds máx. =	1.799 gr/cm ³
W op =	11.52%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	2% DE CAL y 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

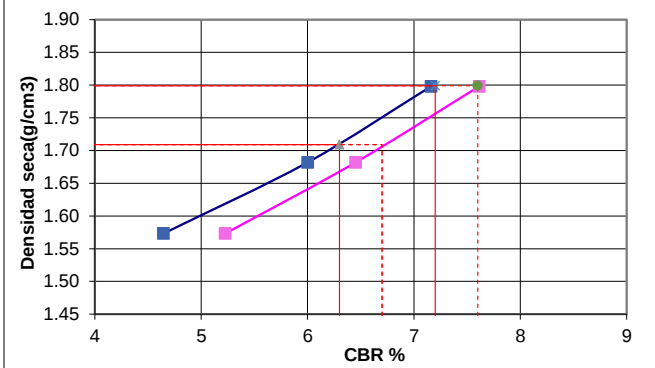
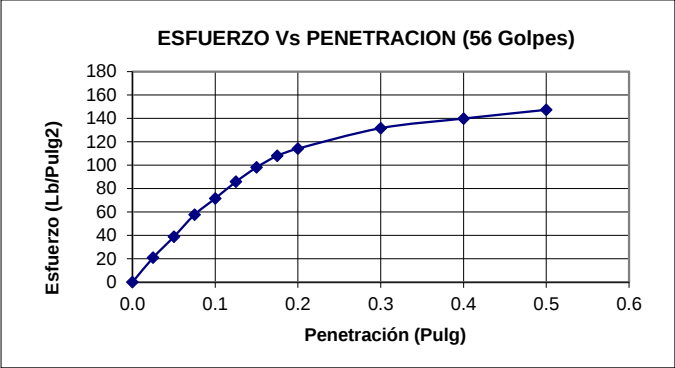
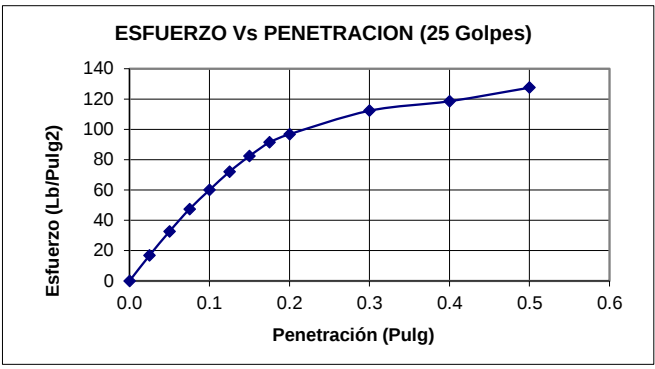
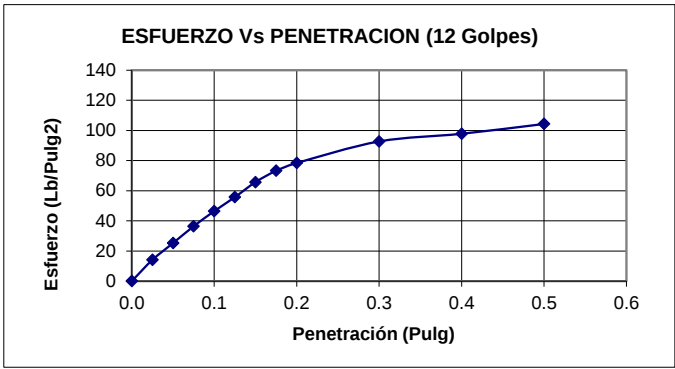
MOLDE N°	E		B		D				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	8463.5	8463.5	8451.6	8451.6	8375.9	8375.9			
Pmh + Molde(gr)	12245.0	12446.0	12425.0	12704.0	12608.0	12912.0			
Pmh (gr)	3781.50	3982.50	3973.40	4252.40	4232.10	4536.10			
Vmh (cm³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23			
Dh (gr/cm³)	1.713	1.804	1.794	1.920	1.926	2.064			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	39.52	40.23	41.52	40.63	39.58	41.25	42.36	40.87	40.69
Pmh + Pt(gr)	158.63	157.63	158.39	156.38	161.54	162.37	162.38	158.70	160.32
Pms + Pt(gr)	146.02	146.00	144.20	144.36	149.43	146.98	149.98	146.32	144.18
Pw (gr)	12.61	11.63	14.19	12.02	12.11	15.39	12.40	12.38	16.14
Pms (gr)	106.50	105.77	102.68	103.73	109.85	105.73	107.62	105.45	103.49
W %	11.84	11.00	13.82	11.59	11.02	14.56	11.52	11.74	15.60
W prom.(%)	11.42		13.82	11.31		14.56	11.63		15.60
Ds (gr/cm³)	1.538		1.585	1.612		1.676	1.725		1.786

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.091	2.311	1.83	0.088	2.235	1.77	0.081	2.057	1.63
48	2	0.093	2.362	1.87	0.090	2.286	1.81	0.083	2.108	1.67
72	3	0.094	2.388	1.90	0.092	2.337	1.85	0.085	2.159	1.71
96	4	0.095	2.413	1.92	0.094	2.388	1.90	0.087	2.210	1.75

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	19.10	0.99	14.10	22.80	1.18	16.83	28.50	1.47	21.04
1.27	0.050	34.20	1.77	25.25	44.20	2.28	32.63	52.60	2.72	38.83
1.91	0.075	49.30	2.55	36.40	64.20	3.32	47.40	78.20	4.04	57.73
2.54	0.100	62.92	3.25	46.45	81.27	4.20	60.00	97.00	5.01	71.61
3.18	0.125	75.50	3.90	55.74	97.60	5.04	72.06	116.30	6.01	85.86
3.81	0.150	89.00	4.60	65.71	111.60	5.77	82.39	133.00	6.87	98.19
4.45	0.175	99.20	5.13	73.24	123.80	6.40	91.40	146.40	7.57	108.08
5.08	0.200	106.18	5.49	78.39	131.09	6.77	96.78	154.68	7.99	114.20
7.62	0.300	125.60	6.49	92.73	152.10	7.86	112.29	178.40	9.22	131.71
10.16	0.400	132.50	6.85	97.82	160.60	8.30	118.57	189.50	9.79	139.90
12.70	0.500	141.30	7.30	104.32	172.70	8.93	127.50	199.60	10.32	147.36



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	46.5	78.4	1.585	4.65	5.23
M. 25 Gpl	60.0	96.8	1.676	6.00	6.45
M. 56 Gpl	71.6	114.2	1.786	7.16	7.61

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.799	7.20	7.65
CBR % (95% MDs)	1.71	6.30	6.70
CBR% (Diseño)	6.30		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	2% DE CAL y 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

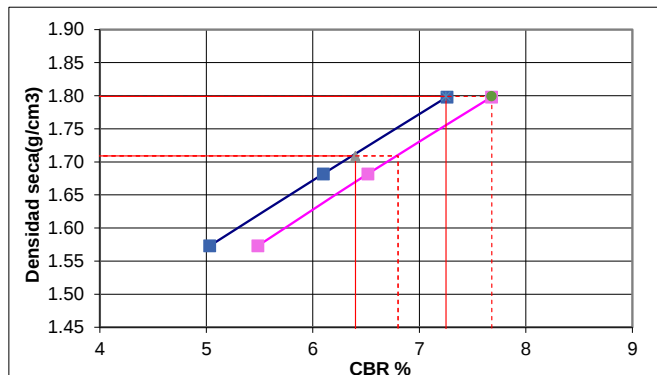
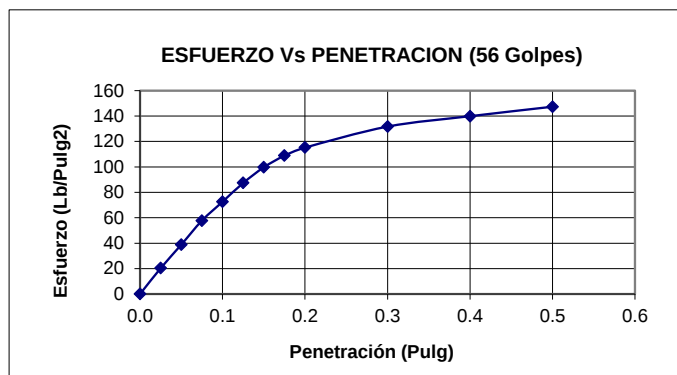
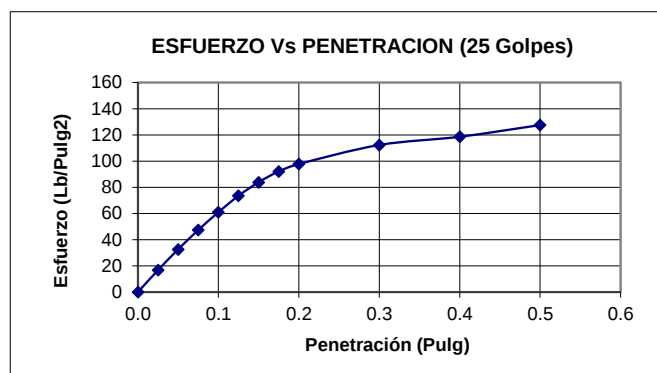
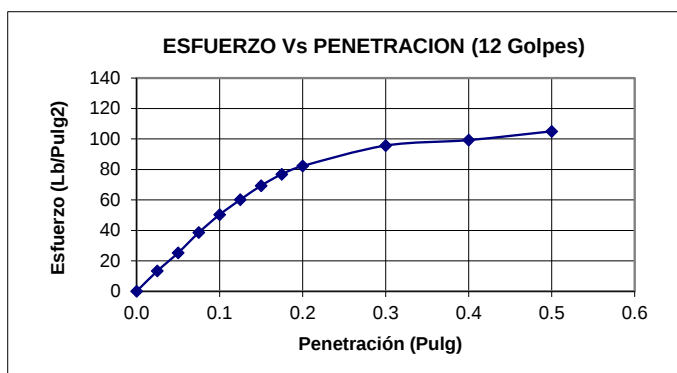
MOLDE N°	1		2		3				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7675.0	7675.0	7625.0	7625.0	7712.0	7712.0			
Pmh + Molde(gr)	11415.0	11812.0	11648.0	11984.0	12008.0	12326.0			
Pmh (gr)	3740.00	4137.00	4023.00	4359.00	4296.00	4614.00			
Vmh (cm³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23			
Dh (gr/cm³)	1.694	1.874	1.817	1.968	1.955	2.100			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	27.50	28.30	31.20	32.10	28.60	29.50	27.50	30.20	31.50
Pmh + Pt(gr)	115.20	121.30	119.60	122.40	131.20	130.50	128.70	125.60	129.60
Pms + Pt(gr)	106.10	111.80	105.40	113.20	120.40	115.80	118.30	115.70	115.50
Pw (gr)	9.10	9.50	14.20	9.20	10.80	14.70	10.40	9.90	14.10
Pms (gr)	78.60	83.50	74.20	81.10	91.80	86.30	90.80	85.50	84.00
W %	11.58	11.38	19.14	11.34	11.76	17.03	11.45	11.58	16.79
W prom.(%)	11.48		19.14	11.55		17.03	11.52		16.79
Ds (gr/cm³)	1.520		1.573	1.629		1.682	1.753		1.798

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.092	2.337	1.85	0.085	2.159	1.71	0.088	2.235	1.77
48	2	0.095	2.413	1.92	0.088	2.235	1.77	0.081	2.057	1.63
72	3	0.096	2.438	1.93	0.090	2.286	1.81	0.084	2.134	1.69
96	4	0.096	2.438	1.93	0.091	2.311	1.83	0.086	2.184	1.73

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	18.10	0.94	13.36	22.80	1.18	16.83	27.50	1.42	20.30
1.27	0.050	34.20	1.77	25.25	44.20	2.28	32.63	52.60	2.72	38.83
1.91	0.075	52.30	2.70	38.61	64.20	3.32	47.40	78.20	4.04	57.73
2.54	0.100	68.16	3.52	50.32	82.58	4.27	60.97	98.31	5.08	72.58
3.18	0.125	81.50	4.21	60.17	99.60	5.15	73.53	118.30	6.11	87.34
3.81	0.150	94.00	4.86	69.40	113.60	5.87	83.87	135.00	6.98	99.67
4.45	0.175	104.20	5.38	76.93	124.80	6.45	92.14	147.40	7.62	108.82
5.08	0.200	111.42	5.76	82.26	132.40	6.84	97.75	155.99	8.06	115.16
7.62	0.300	129.60	6.70	95.68	152.10	7.86	112.29	178.40	9.22	131.71
10.16	0.400	134.50	6.95	99.30	160.60	8.30	118.57	189.50	9.79	139.90
12.70	0.500	142.30	7.35	105.06	172.70	8.93	127.50	199.60	10.32	147.36



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	50.3	82.3	1.573	5.03	5.48
M. 25 Gpl	61.0	97.7	1.682	6.10	6.52
M. 56 Gpl	72.6	115.2	1.798	7.26	7.68

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.799	7.27	7.68
CBR % (95% MDs)	1.71	6.40	6.80
CBR% (Diseño)		6.40	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	2% DE CAL y 2% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

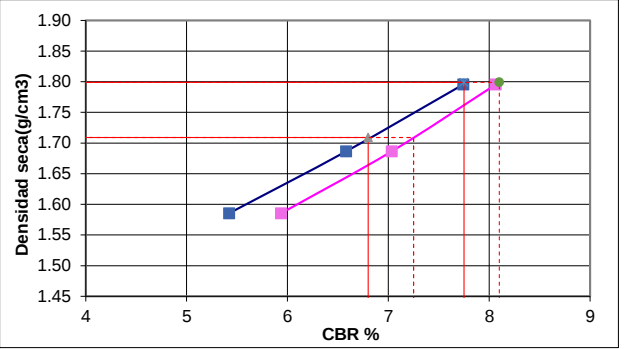
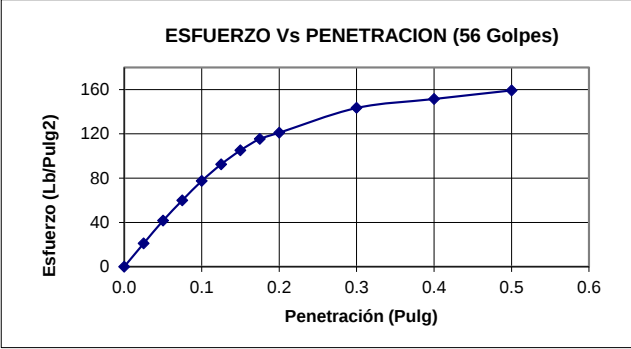
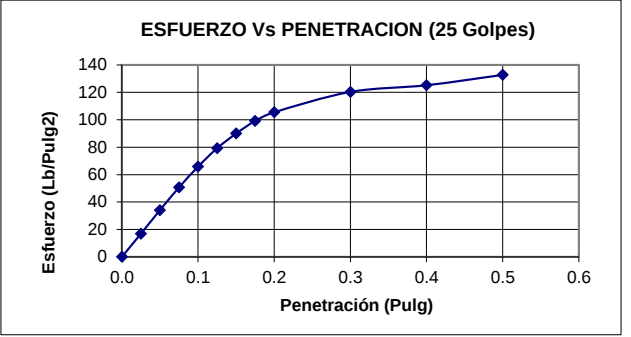
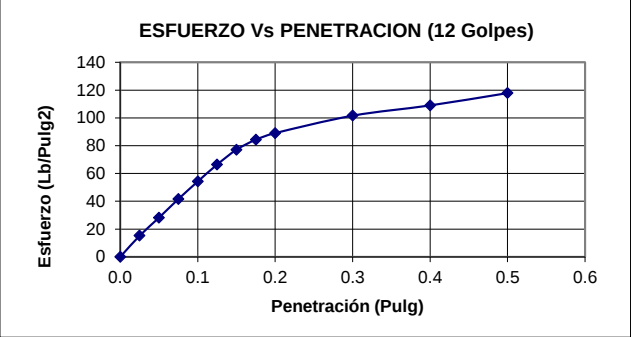
MOLDE N°	4		5		6				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7812.0	7812.0	7795.0	7795.0	7805.0	7805.0			
Pmh + Molde(gr)	11525.0	11988.0	11831.0	12153.0	12102.0	12331.0			
Pmh (gr)	3713.00	4176.00	4036.00	4358.00	4297.00	4526.00			
Vmh (cm³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23			
Dh (gr/cm³)	1.682	1.892	1.823	1.968	1.956	2.060			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	31.20	33.52	29.60	30.56	31.47	30.26	31.57	30.26	31.78
Pmh + Pt(gr)	132.50	129.60	123.40	128.60	127.60	130.20	129.60	137.80	135.40
Pms + Pt(gr)	122.10	119.60	108.20	118.60	117.50	115.90	119.70	126.50	122.10
Pw (gr)	10.40	10.00	15.20	10.00	10.10	14.30	9.90	11.30	13.30
Pms (gr)	90.90	86.08	78.60	88.04	86.03	85.64	88.13	96.24	90.32
W %	11.44	11.62	19.34	11.36	11.74	16.70	11.23	11.74	14.73
W prom.(%)	11.53		19.34	11.55		16.70	11.49		14.73
Ds (gr/cm³)	1.508		1.585	1.634		1.686	1.754		1.795

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect. Deform.	Deformación		Lect. Deform.	Deformación		Lect. Deform.	Deformación	
Horas	Dias		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	0.085	2.159	1.71	0.075	1.930	1.53	0.068	1.727	1.37
48	2	0.088	2.235	1.77	0.079	2.007	1.59	0.071	1.803	1.43
72	3	0.092	2.337	1.85	0.082	2.083	1.65	0.075	1.905	1.51
96	4	0.097	2.464	1.96	0.086	2.184	1.73	0.076	1.930	1.53

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO		CARGA Kg	ESFUERZO	
mm	pulg		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	20.60	1.06	15.21	22.90	1.18	16.91	28.30	1.46	20.89
1.27	0.050	38.20	1.97	28.20	46.20	2.39	34.11	56.20	2.90	41.49
1.91	0.075	56.30	2.91	41.56	68.60	3.55	50.65	81.20	4.20	59.95
2.54	0.100	73.41	3.79	54.20	89.14	4.61	65.81	104.87	5.42	77.42
3.18	0.125	89.90	4.65	66.37	107.30	5.55	79.22	125.20	6.47	92.43
3.81	0.150	104.40	5.40	77.08	121.85	6.30	89.96	142.30	7.35	105.06
4.45	0.175	114.20	5.90	84.31	134.30	6.94	99.15	156.30	8.08	115.39
5.08	0.200	120.60	6.23	89.04	142.88	7.38	105.48	163.86	8.47	120.97
7.62	0.300	137.60	7.11	101.59	163.00	8.42	120.34	194.20	10.04	143.37
10.16	0.400	147.60	7.63	108.97	169.60	8.76	125.21	205.20	10.60	151.49
12.70	0.500	159.60	8.25	117.83	179.80	9.29	132.74	215.70	11.15	159.25



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	54.2	89.0	1.585	5.42	5.94
M. 25 Gpl	65.8	105.5	1.686	6.58	7.03
M. 56 Gpl	77.4	121.0	1.795	7.74	8.06

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.799	7.75	8.10
CBR % (95% MDs)	1.71	6.80	7.25
CBR% (Diseño)		6.80	

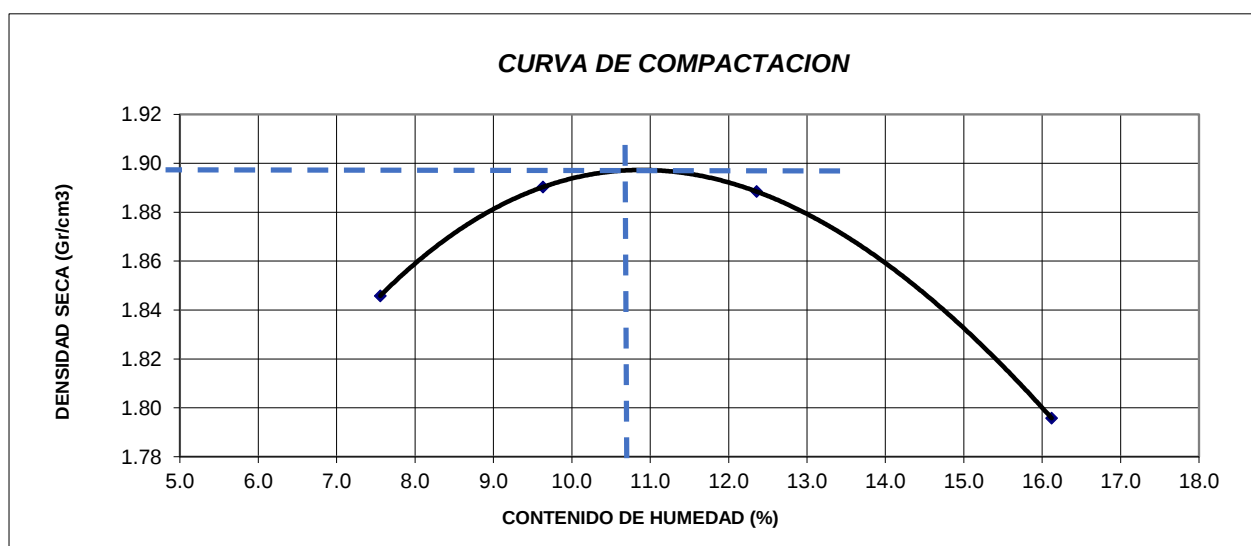
A.2.4.8. 3% DE CAL + 3% DE ESCORIA DE COBRE (C-2)

COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO MTC E 115

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	3% DE CAL + 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 04

Diam. Molde (cm)	10.11	V. Molde (cm ³)	930.82	N° de capas	5
H Molde (cm)	11.60	P. Molde (gr)	4184	N° de golpes	25
		Peso del Martillo (gr)	4545	Metodo:	A

MOLDE N°	1		2		3		4	
Pmh + Molde(gr)	6032.00		6113.00		6159.00		6125.00	
Pmh (gr)	1848.00		1929.00		1975.00		1941.00	
Vmh (cm ³)	930.82		930.82		930.82		930.82	
Dh (gr/cm ³)	1.985		2.072		2.122		2.085	
TARA N°	3	3-A	41	B	58	L	76	E
Pt (gr)	112.36	110.40	122.45	119.40	114.55	112.55	115.95	115.50
Pmh + Pt(gr)	256.40	255.69	248.30	245.70	266.88	265.60	243.10	243.58
Pms + Pt(gr)	246.36	245.40	236.95	234.90	249.95	248.95	225.35	225.90
Pw (gr)	10.04	10.29	11.35	10.80	16.93	16.65	17.75	17.68
Pms (gr)	134.00	135.00	114.50	115.50	135.40	136.40	109.40	110.40
w %	7.49	7.62	9.91	9.35	12.50	12.21	16.22	16.01
W prom.(%)	7.56		9.63		12.36		16.12	
Ds (gr/cm ³)	1.85		1.89		1.89		1.80	



Ds máx. =	1.897 gr/cm ³
W op =	10.88%

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	3% DE CAL y 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	01	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

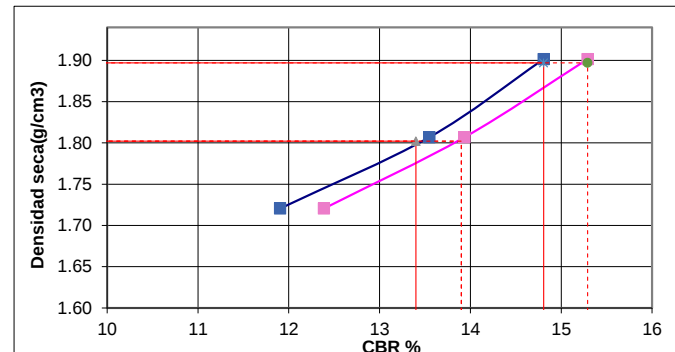
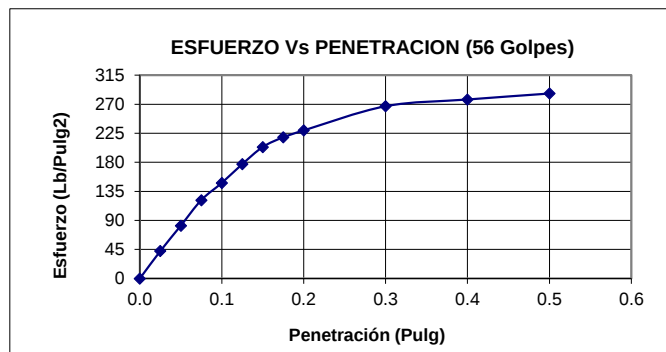
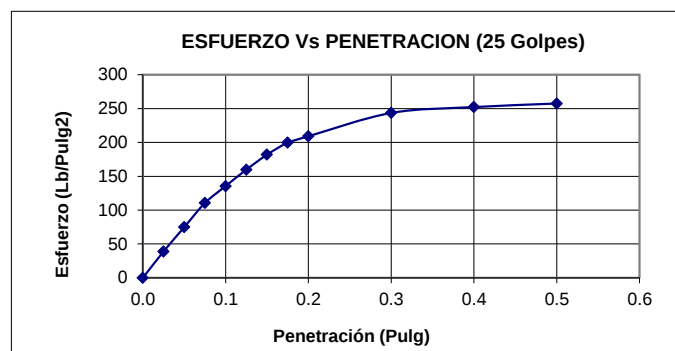
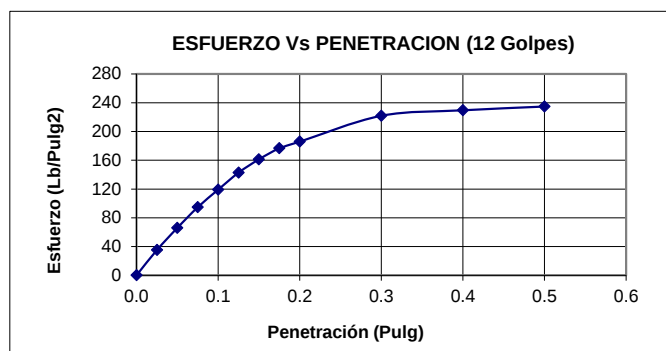
MOLDE N°	E		M		D				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	8241.0	8241.0	8211.0	8211.0	8175.0	8175.0			
Pmh + Molde(gr)	12176.0	12501.0	12393.0	12633.0	12645.0	12815.0			
Pmh (gr)	3935.00	4260.00	4182.00	4422.00	4470.00	4640.00			
Vmh (cm³)	2127.50	2127.50	2128.20	2128.20	2127.60	2127.60			
Dh (gr/cm³)	1.850	2.002	1.965	2.078	2.101	2.181			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	24.11	24.55	24.15	23.99	23.98	23.28	24.01	24.12	23.14
Pmh + Pt(gr)	140.56	136.45	136.45	136.54	137.45	134.57	137.85	136.45	135.56
Pms + Pt(gr)	129.13	125.46	121.29	125.49	126.31	119.65	126.71	125.41	120.85
Pw (gr)	11.43	10.99	15.16	11.05	11.14	14.92	11.14	11.04	14.71
Pms (gr)	105.02	100.91	97.14	101.50	102.33	96.37	102.70	101.29	97.71
W %	10.88	10.89	15.61	10.89	10.89	15.48	10.85	10.90	15.05
W prom.(%)	10.89		15.61	10.89		15.48	10.87		15.05
Ds (gr/cm³)	1.668		1.732	1.772		1.799	1.895		1.895

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.060	0.956	0.76	0.059	0.726	0.58	0.057	0.489	0.39
48	2	0.063	1.497	1.19	0.064	1.001	0.79	0.060	0.989	0.78
72	3	0.068	2.002	1.59	0.066	1.740	1.38	0.063	1.498	1.19
96	4	0.073	2.499	1.98	0.069	2.159	1.71	0.066	2.000	1.59

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	47.60	2.46	35.14	52.60	2.72	38.83	57.60	2.98	42.52
1.27	0.050	89.30	4.61	65.93	101.30	5.24	74.79	110.90	5.73	81.87
1.91	0.075	128.20	6.63	94.65	149.60	7.73	110.45	164.50	8.50	121.45
2.54	0.100	161.24	8.33	119.04	183.52	9.48	135.49	200.56	10.36	148.07
3.18	0.125	193.30	9.99	142.71	216.30	11.18	159.69	240.00	12.40	177.19
3.81	0.150	218.40	11.29	161.24	246.30	12.73	181.84	275.90	14.26	203.69
4.45	0.175	239.20	12.36	176.60	270.20	13.96	199.48	296.30	15.31	218.75
5.08	0.200	251.68	13.01	185.81	283.15	14.63	209.04	310.67	16.06	229.36
7.62	0.300	300.50	15.53	221.85	329.80	17.04	243.48	361.50	18.68	266.89
10.16	0.400	310.80	16.06	229.46	341.60	17.65	252.19	375.60	19.41	277.30
12.70	0.500	317.90	16.43	234.70	348.70	18.02	257.44	388.10	20.06	286.52



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	119.0	185.8	1.732	11.90	12.39
M. 25 Gpl	135.5	209.0	1.799	13.55	13.94
M. 56 Gpl	148.1	229.4	1.895	14.81	15.29

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.897	14.81	15.29
CBR % (95% MDs)	1.80	13.40	13.90
CBR% (Diseño)	13.40		

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	3% DE CAL y 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	4		5		6				
Golpes por capa	12		25		56				
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado			
P.Molde (gr)	7682.0	7682.0	7675.0	7675.0	7596.0	7596.0			
Pmh + Molde(gr)	11735.0	11975.0	11940.0	12199.0	12085.0	12354.0			
Pmh (gr)	4053.00	4293.00	4265.00	4524.00	4489.00	4758.00			
Vmh (cm³)	2207.30	2207.30	2214.50	2214.50	2197.23	2197.23			
Dh (gr/cm³)	1.836	1.945	1.926	2.043	2.043	2.165			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	26.50	27.00	26.30	28.10	29.50	30.20	25.70	28.40	30.10
Pmh + Pt(gr)	142.30	145.60	150.80	142.50	144.00	142.50	138.90	140.00	142.50
Pms + Pt(gr)	130.80	134.00	133.10	130.90	133.00	127.80	127.70	129.10	128.60
Pw (gr)	11.50	11.60	17.70	11.60	11.00	14.70	11.20	10.90	13.90
Pms (gr)	104.30	107.00	106.80	102.80	103.50	97.60	102.00	100.70	98.50
W %	11.03	10.84	16.57	11.28	10.63	15.06	10.98	10.82	14.11
W prom.(%)	10.93		16.57	10.96		15.06	10.90		14.11
Ds (gr/cm³)	1.655		1.668	1.736		1.775	1.842		1.898

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Dias	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.073	1.854	1.47	0.068	1.727	1.37	0.061	1.549	1.23
48	2	0.075	1.905	1.51	0.690	17.526	13.91	0.062	1.575	1.25
72	3	0.077	1.956	1.55	0.072	1.829	1.45	0.065	1.651	1.31
96	4	0.079	2.007	1.59	0.074	1.880	1.49	0.066	1.676	1.33

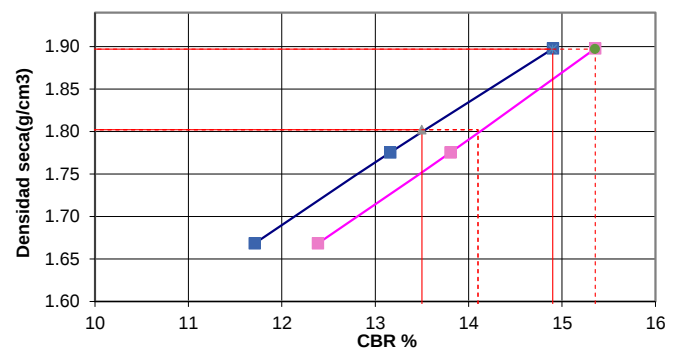
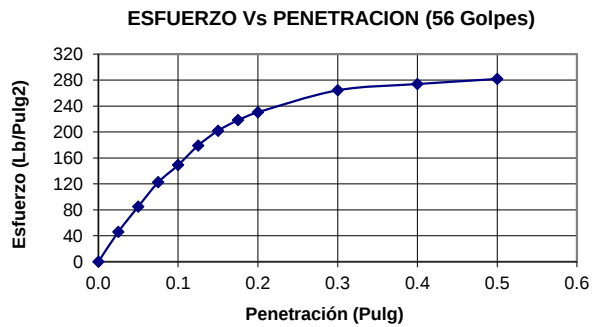
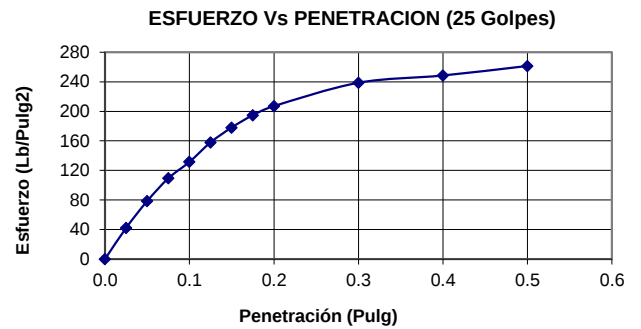
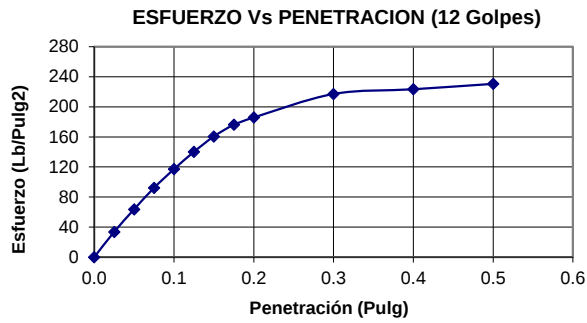
Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	45.60	2.36	33.67	57.20	2.96	42.23	62.40	3.22	46.07
1.27	0.050	86.20	4.45	63.64	106.50	5.50	78.63	115.20	5.95	85.05
1.91	0.075	124.90	6.45	92.21	148.20	7.66	109.41	165.80	8.57	122.41
2.54	0.100	158.61	8.20	117.10	178.28	9.21	131.62	201.87	10.43	149.04
3.18	0.125	189.80	9.81	140.12	214.00	11.06	157.99	242.50	12.53	179.03
3.81	0.150	217.60	11.25	160.65	241.30	12.47	178.15	273.50	14.13	201.92
4.45	0.175	238.60	12.33	176.15	263.90	13.64	194.83	295.50	15.27	218.16
5.08	0.200	251.68	13.01	185.81	280.52	14.50	207.10	311.98	16.12	230.33
7.62	0.300	294.10	15.20	217.13	323.30	16.71	238.68	357.90	18.50	264.23
10.16	0.400	302.60	15.64	223.40	336.60	17.40	248.50	371.00	19.17	273.90
12.70	0.500	312.30	16.14	230.56	354.10	18.30	261.42	381.50	19.72	281.65

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132

Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	3% DE CAL y 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	02	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	117.1	185.8	1.668	11.71	12.39
M. 25 Gpl	131.6	207.1	1.775	13.16	13.81
M. 56 Gpl	149.0	230.3	1.898	14.90	15.36

	0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.897	14.90
CBR % (95% MDs)	1.80	13.50
CBR% (Diseño)	13.50	

CBR DE LOS SUELOS - MTC E 132			
Norma:	AASHTO (ASTM D3282 - 18)	Profundida (m):	0.30 m A 1.50 m
Calicata:	C-02	Material:	3% DE CAL y 3% DE ESCORIA
N° de ensayo:	03	Clasif. (SUCS):	CL
Clasif. (AASHTO):	A-4 (3)	Registro:	JPCT - 05

N° de capas	5
H Molde (mm)	126.00

MOLDE N°	4		5		6	
Golpes por capa	12		25		56	
Condición de la Muestra	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado	No Saturado	Saturado
P.Molde (gr)	8236.0	8236.0	8196.0	8196.0	8157.0	8157.0
Pmh + Molde(gr)	12164.0	12487.0	12375.0	12623.0	12574.0	12765.0
Pmh (gr)	3928.00	4251.00	4179.00	4427.00	4417.00	4608.00
Vmh (cm ³)	2126.00	2126.00	2129.00	2129.00	2128.00	2128.00
Dh (gr/cm ³)	1.848	2.000	1.963	2.079	2.076	2.165

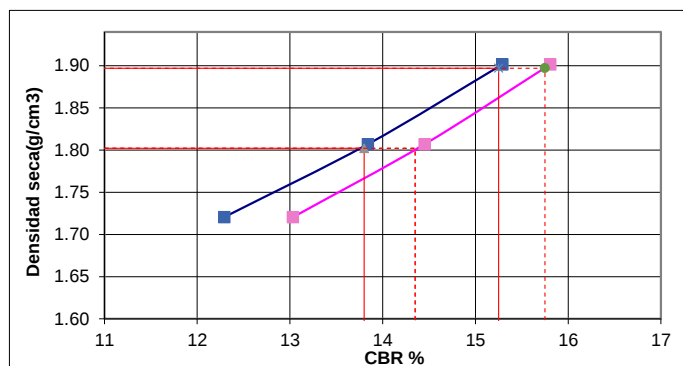
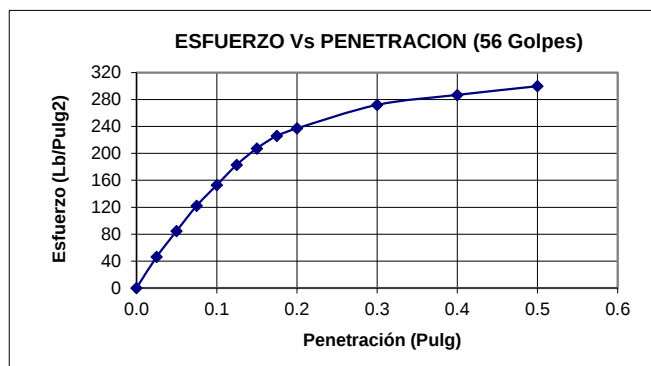
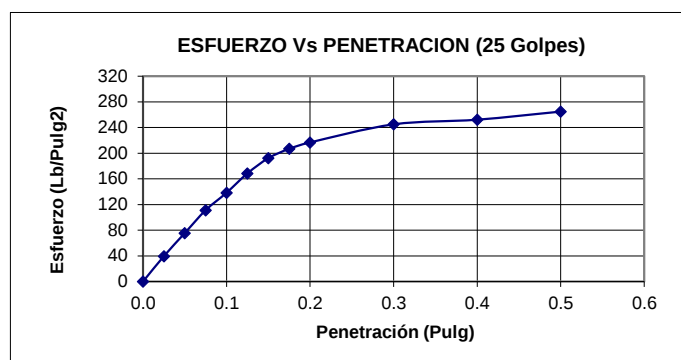
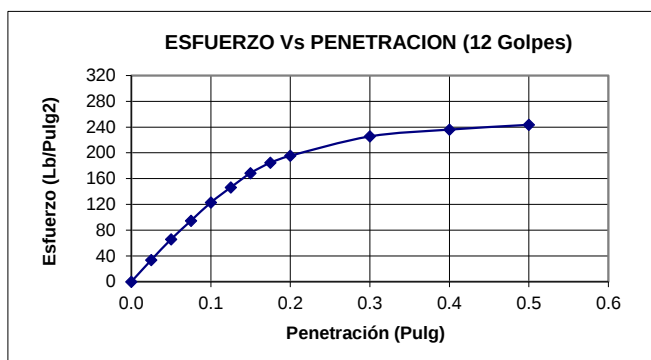
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Pt (gr)	23.48	23.69	23.47	24.05	24.00	24.68	23.57	24.56	23.18
Pmh + Pt(gr)	133.15	133.48	135.48	134.26	135.48	136.27	136.26	138.96	139.29
Pms + Pt(gr)	122.30	122.70	119.85	123.35	124.60	121.65	125.12	127.70	125.14
Pw (gr)	10.85	10.78	15.63	10.91	10.88	14.62	11.14	11.26	14.15
Pms (gr)	98.82	99.01	96.38	99.30	100.60	96.97	101.55	103.14	101.96
W %	10.98	10.89	16.22	10.99	10.82	15.08	10.97	10.92	13.88
W prom.(%)	10.93		16.22	10.90		15.08	10.94		13.88
Ds (gr/cm ³)	1.666		1.721	1.770		1.807	1.871		1.902

Ensayo: **EXPANSIÓN**

TIEMPO		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación		Lect.	Deformación	
Horas	Días	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%	Deform.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.071	1.016	0.81	0.068	0.762	0.60	0.062	0.508	0.40
48	2	0.073	1.524	1.21	0.069	1.270	1.01	0.063	1.016	0.81
72	3	0.075	2.032	1.61	0.071	1.778	1.41	0.065	1.524	1.21
96	4	0.076	2.540	2.02	0.073	2.286	1.81	0.070	2.032	1.61

Ensayo: **CARGA - PENETRACION**

PENETRACION		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
mm	pulg	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	45.60	2.36	33.67	53.60	2.77	39.57	62.60	3.24	46.22
1.27	0.050	89.30	4.61	65.93	102.30	5.29	75.53	114.90	5.94	84.83
1.91	0.075	128.20	6.63	94.65	150.60	7.78	111.18	165.50	8.55	122.18
2.54	0.100	166.48	8.60	122.91	187.45	9.69	138.39	207.12	10.70	152.91
3.18	0.125	198.30	10.25	146.40	228.30	11.80	168.55	248.00	12.82	183.09
3.81	0.150	228.40	11.80	168.62	260.30	13.45	192.17	280.90	14.52	207.38
4.45	0.175	250.20	12.93	184.72	280.20	14.48	206.86	306.30	15.83	226.13
5.08	0.200	264.79	13.68	195.49	293.63	15.17	216.78	321.16	16.60	237.10
7.62	0.300	305.50	15.79	225.54	331.80	17.15	244.96	368.50	19.04	272.05
10.16	0.400	319.80	16.53	236.10	341.60	17.65	252.19	388.60	20.08	286.89
12.70	0.500	329.90	17.05	243.56	358.70	18.54	264.82	406.10	20.99	299.81



PENETRAC.	0.1	0.2	Dens	CBR (0.1)	CBR(0.2)
M. 12 Gpl	122.9	195.5	1.721	12.29	13.03
M. 25 Gpl	138.4	216.8	1.807	13.84	14.45
M. 56 Gpl	152.9	237.1	1.902	15.29	15.81

		0.1	0.2
CBR % (100% MDs)	1.897	15.25	15.75
CBR % (95% MDs)	1.80	13.80	14.35
CBR% (Diseño)		13.80	

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA							
	FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE DE LA VÍA ANTENOR ORREGO MEDIANTE LA ADICIÓN DE CAL Y ESCORIA – JAÉN 2023".							
UBICACIÓN:	DISTRITO DE JAÉN - PROVINCIA DE JAÉN - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA							
SOLICITANTE:	BACH. JESSICA PAOLA CUBAS TORO							
DATOS DE CAMPO								
CALICATA :		C - 1		PROFUNDIDAD (m):	1.50			
PROFUNDIDAD (m)	N.F. (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
		SIMBOLO A.S.T.M. D 422	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
				Material inadecuado (Pastos y raices)	S/M	-	-	-
0.30								
0.50								
1.00	0.00	A - 4 (1)		Arena arcillosa (SC), de mediana plasticidad, mezclada con gran proporción de grava (27%). Se encuentra mediamente denso, poca húmeda, se encuentra sin olor.	M - 1	13.19	27	9
1.50								

DATOS DE CAMPO								
CALICATA :	C - 2		PROFUNDIDAD (m):	1.50				
PROFUNDIDAD (m)	N.F. (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
		SIMBOLO A.S.T.M. D 422	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0.30				Material inadecuado (Pastos y raices)	S/M	-	-	-
0.50								
1.00	0.00	A - 4 (3)		Arcillosa arenosa inorganica (CL), de mediana plasticidad, mezclada con poca proporción de grava (15%) y gran cantidad de arena (23%). Se encuentra mediamente denso, poca húmeda, se encuentra sin olor.	M - 1	14.06	26	10
1.50								

DATOS DE CAMPO								
CALICATA :	C - 3		PROFUNDIDAD (m):	1.50				
PROFUNDIDAD (m)	N.F. (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL	MUESTRAS	W (%)	LIMITES	
		SIMBOLO A.S.T.M. D 422	SIMBOLO GRAFICO				LL (%)	IP (%)
0.30				Material inadecuado (Pastos y raices)	S/M	-	-	-
0.50								
1.00	0.00	A - 4 (6)		Arcillosa inorganica (CL), de mediana plasticidad, mezclada con escasa proporción de grava (6%) y poca cantidad de arena (14%). Se encuentra mediamente denso, poca húmeda, se encuentra sin olor.	M - 1	13.62	30	9
1.50								