

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



**“INFLUENCIA DEL SISTEMA CONSOLID EN EL C.B.R. DEL
MATERIAL DE LA CANTERA LA BENDICIÓN PARA BASES Y SUB
BASES DE PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR EL BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL:
HARLYN YEYSON VÁSQUEZ VÁSQUEZ

ASESOR:
Ing. LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA

CAJAMARCA-PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador: HARLYN YEYSON VÁSQUEZ VÁSQUEZ
DNI: 70442456
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
2. Asesor: LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: "INFLUENCIA DEL SISTEMA CONSOLID EN EL C.B.R. DEL MATERIAL DE LA CANTERA LA BENDICIÓN PARA BASES Y SUB BASES DE PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"
6. Fecha de evaluación: 19 de junio del 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 18% de similitud general
9. Código Documento: oid:3117:361997889
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 18%
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 21 de junio del 2024

 FIRMA DEL ASESOR	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Dra. Yvonne Katherine Fernández León DIRECTORA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
Nombres y Apellidos: Lucio Marcial Sifuentes Inostroza	
DNI:26617505	

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años de apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por brindarme salud y fortaleza para poder lograr mis metas.

A mis padres por la confianza y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, lo que me ha servido para ir logrando mis objetivos en la vida.

A mi asesor de tesis, el Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza, por ser el guía y apoyo constante en el transcurso del presente trabajo de investigación.

Al laboratorio de mecánica de suelos Guersan Ingenieros Srl. en especial al gerente general Leiner Guerrero Gonzales, por haberme brindado plena disposición del laboratorio para el desarrollo de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Formulación de la hipótesis	1
1.3.1. Hipótesis general.....	1
1.4. Justificación de la investigación	2
1.5. Alcances o delimitación de la investigación.....	2
1.6. Limitaciones.....	2
1.7. Objetivos.....	2
1.7.1. Objetivo general	2
1.7.2. Objetivos específicos.....	2
1.8. Variables	3
1.8.1. Variables independientes.....	3
1.8.2. Variables dependientes.....	3
1.9. Descripción de los contenidos	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes Teóricos	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales.....	4
2.2. Bases Teóricas	5

2.2.1. Pavimentos	5
2.2.2. Estabilización de suelos	8
2.2.3. Tipos de estabilización de suelos	9
2.2.4. Aditivo estabilizante sistema Consolid	10
2.2.5. Ensayos de laboratorio	11
2.3. Definición de términos básicos	19
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Ubicación geográfica de la investigación	21
3.2. Época de la investigación.....	23
3.3. Metodología de la investigación	23
3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación	23
3.3.2. Población de estudio	24
3.3.3. Muestra	24
3.3.4. Unidad de Análisis	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	25
3.4.1. Técnicas	25
3.4.2. Instrumentos.....	26
3.5. Procedimiento	26
3.5.1. Primera etapa: obtención de la muestra del suelo	26
3.5.2. Segunda etapa: ensayos de laboratorio	26
3.6. Tratamiento, análisis de datos y presentación de los resultados.....	28
3.6.1. Tratamiento y análisis de datos.....	28
3.6.2. Presentación de resultados	29
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
4.1. Material sin aditivos.....	34

4.2. Material con aditivos.....	34
4.3. Contrastación con la hipótesis	35
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
5.1. Conclusiones	36
5.2. Recomendaciones	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ANEXOS	40
Anexo N°01: Panel Fotográfico.....	40
Anexo N°02: Ensayos de Laboratorio	45
Anexo N°03: Constancia de Laboratorio.....	78
Anexo N°03: Metodología de ensayos de laboratorio con el sistema Consolid.....	80
Anexo N°04: Ficha Técnica del sistema Consolid	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Requerimientos granulométricos para sub base granular</i>	6
Tabla 2. <i>Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular</i>	7
Tabla 3. <i>Requerimiento de C.B.R. en base granular</i>	8
Tabla 4. <i>Dosificación del sistema Consolid expresada en porcentaje del peso del suelo</i>	11
Tabla 5. <i>Tamaños de malla estándar para análisis granulométrico</i>	12
Tabla 6. <i>Clasificación de suelos, según S.U.C.S.</i>	15
Tabla 7. <i>Clasificación de suelos, según AASHTO</i>	17
Tabla 8. <i>Ubicación geográfica del proyecto de investigación.</i>	21
Tabla 9. <i>Coordenadas UTM del punto de muestreo del material de la cantera La Bendición.</i>	21
Tabla 10. <i>Dosificaciones propuestas para la investigación</i>	25
Tabla 11. <i>Ensayos realizados en el laboratorio</i>	26
Tabla 12. <i>Dosificaciones del sistema Consolid propuestas para la investigación</i>	28
Tabla 13. <i>Contenido de humedad</i>	29
Tabla 14. <i>Porcentajes de grava, arena y finos del material de la cantera La Bendición</i>	29
Tabla 15. <i>Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera La Bendición</i> ...	29
Tabla 16. <i>Límites de Atterberg del material de la cantera “La Bendición”</i>	30
Tabla 17. <i>Clasificación AASHTO y SUCS de la cantera “La Bendición”</i>	30
Tabla 18. <i>Proctor Modificado de la cantera “La Bendición”</i>	30
Tabla 19. <i>Ensayo de CBR del material de la cantera “La Bendición”</i>	31
Tabla 20. <i>Ensayos de Proctor Modificado del suelo estabilizado con sistema consolid</i>	31
Tabla 21. <i>Ensayo de CBR del suelo estabilizado con sistema consolid</i>	32
Tabla 22. <i>Ensayo contenido de humedad de la muestra: MP</i>	46
Tabla 23. <i>Ensayo límites de consistencia de la muestra: MP</i>	46

Tabla 24. <i>Ensayo análisis granulométrico de la muestra: MP</i>	47
Tabla 25. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: MP</i>	48
Tabla 26. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: MP</i>	49
Tabla 27. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D1</i>	51
Tabla 28. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D1</i>	52
Tabla 29. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D2</i>	54
Tabla 30. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D2</i>	55
Tabla 31. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D3</i>	57
Tabla 32. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D3</i>	58
Tabla 33. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D4</i>	60
Tabla 34. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D4</i>	61
Tabla 35. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D5</i>	63
Tabla 36. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D5</i>	64
Tabla 37. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D6</i>	66
Tabla 38. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D6</i>	67
Tabla 39. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D7</i>	69
Tabla 40. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D7</i>	70
Tabla 41. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D8</i>	72
Tabla 42. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D8</i>	73
Tabla 43. <i>Ensayo proctor modificado de la muestra: D9</i>	75
Tabla 44. <i>Ensayo C.B.R. de la muestra: D9</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Curva semilogarítmica del análisis granulométrico</i>	13
Figura 2. <i>Carta de plasticidad</i>	16
Figura 3. <i>Mapa político de la zona de estudio</i>	22
Figura 4. <i>Ubicación satelital de la cantera La Bendición</i>	23
Figura 5. <i>Curva de distribución granulométrica del material de la cantera “La Bendición”</i>	30
Figura 6. <i>Valores de máxima densidad seca del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones</i>	32
Figura 7. <i>Valores de óptimo contenido de humedad del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones</i>	33
Figura 8. <i>Valores de CBR al 100% de la máxima densidad seca y 0.1” de penetración del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones</i>	33
Figura 9. <i>Extracción de material de la cantera La Bendición</i>	41
Figura 10. <i>Aditivo estabilizador SOLIDRY</i>	41
Figura 11. <i>Aditivo estabilizador C-444</i>	42
Figura 12. <i>Ensayo de proctor modificado de la cantera la Bendición</i>	42
Figura 13. <i>Preparación de los moldes de CBR del material de la cantera la Bendición</i>	43
Figura 14. <i>Saturación de los moldes de CBR del material de la cantera La Bendición</i>	43
Figura 15. <i>Prueba de soporte del material de la cantera La Bendición</i>	44
Figura 16. <i>Prueba de soporte de la dosificación D4</i>	44
Figura 17. <i>Gráfica del límite líquido de la muestra: MP</i>	47

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del Sistema Consolid en el ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.) del material de la cantera La Bendición para bases y sub bases de pavimentos en la ciudad de Cajamarca, con el fin de cumplir dicho objetivo se determinó el C.B.R. del material de la cantera La Bendición donde se obtuvo como resultado 48.1%, posterior a esto, se determinó el C.B.R. del suelo estabilizado con el Sistema Consolid en diferentes dosificaciones (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 y D9) obteniendo como resultados del C.B.R.: 75%, 82.3%, 109.5%, 126.4%, 148.2%, 157.1%, 170.9%, 175.5% y 183.2% respectivamente, luego se analizó los resultados de los ensayos y se llegó a la conclusión que el uso del Sistema Consolid influyó positivamente en el C.B.R. del material de la cantera La Bendición, incrementando hasta 3.81 veces su valor de C.B.R. del suelo natural.

Palabras clave: *Estabilización de suelos, Sistema Consolid, C.B.R., Consolid 444, Solidry.*

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of the Consolid System in the California Bearing Ratio (C.B.R.) test of the material from the “La Bendición” quarry for bases and subbases of pavements in the city of Cajamarca, in order to meet said objective it was determined the C.B.R. of the material from the “La Bendición” quarry where 48.1% was obtained. After this, the C.B.R. was determined. of the soil stabilized with the Consolid System in different dosages (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 and D9) obtaining C.B.R. results: 75%, 82.3%, 109.5%, 126.4%, 148.2%, 157.1%, 170.9%, 175.5% and 183.2% respectively, then the results of the tests were analyzed and it was concluded that the use of the Consolid System had a positive influence on the C.B.R. of the material from the “La Bendición” quarry, increasing its C.B.R. value up to 3.81 times of the natural soil.

Keywords: *Soil stabilization, Consolid System, C.B.R., Consolid 444, Solidy.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del problema

Son diversos los factores que afectan el buen funcionamiento de la estructura de un pavimento: el intenso tráfico al que están sometidos, el mantenimiento inoportuno, insuficiente o inapropiado; la falta de una capa de rodadura adecuada y la utilización de materiales de bases y sub bases que no cumplen los requerimientos de las normas; todos estos factores contribuyen a que la estructura no tenga un prolongado período de vida útil con el mejor nivel de servicio y confort.

En Cajamarca, como en casi todo el Perú, se necesita material para base y sub base que cumplan con las especificaciones técnicas correspondientes, las canteras de la ciudad de Cajamarca proporcionan material para bases y sub bases que no cumplen el requisito mínimo de C.B.R. establecido por las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción.

Para contrarrestar este problema es necesario realizar un mejoramiento de C.B.R. es por ello que han aparecido varios estabilizadores químicos que buscan dar una solución al mejoramiento de suelos en carreteras. Uno de estos estabilizadores químicos es el Sistema Consolid el cual ha sido utilizado en África, Europa y parte de Latino América con buenos resultados (Ramirez, 2018).

1.2.Formulación del problema

La pregunta que se ajusta al problema tratado es:

¿Cómo influye el sistema Consolid en el C.B.R. del material de la cantera La Bendición, para bases y sub bases de pavimentos en la ciudad de Cajamarca?

1.3. Formulación de la hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La aplicación del sistema Consolid al material de la cantera La Bendición, para bases y sub bases incrementa el valor del C.B.R.

1.4. Justificación de la investigación

La presente investigación ayuda a obtener un material adecuado para bases y sub bases de pavimentos de la ciudad de Cajamarca, aumentando el C.B.R. del suelo de la cantera La Bendición mediante el uso del estabilizador químico Sistema Consolid, sentando precedentes para el uso adecuado de este sistema.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

El estudio se desarrolló con material de base y sub base de la cantera La Bendición que se encuentra en la ciudad de Cajamarca. Este material se estabilizó usando el sistema Consolid en las dosificaciones de: 2% de solidry y 0.045% de Consolid 444, 2% de solidry y 0.034% de Consolid 444, 2% de solidry y 0.023% de Consolid 444, 1.5% de solidry y 0.045% de Consolid 444, 1.5% de solidry y 0.034% de Consolid 444, 1.5% de solidry y 0.023% de Consolid 444, 1% de solidry y 0.045% de Consolid 444, 1% de solidry y 0.034% de Consolid 444, 1% de solidry y 0.023% de Consolid 444.

1.6.Limitaciones

El estudio realizado es válido para el material extraído de la cantera La Bendición, y materiales similares a esté.

1.7.Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del sistema consolid en el C.B.R. del material de la cantera La Bendición para bases y sub bases de pavimentos en la ciudad de Cajamarca.

1.7.2. Objetivos específicos

- Determinar el C.B.R. del material de la cantera la Bendición.
- Determinar el C.B.R. del material de la cantera la Bendición al emplear el sistema consolid.

1.8. Variables

1.8.1. Variables independientes

-Sistema Consolid.

1.8.2. Variables dependientes

-Valor del C.B.R.

1.9. Descripción de los contenidos

Capítulo I. Introducción. Este capítulo abarca el planteamiento y formulación del problema, identificación de variables y el planteo de la hipótesis general, justificación, alcance y objetivos de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico. Este capítulo aborda una revisión del tema de interés partiendo de antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, dando a conocer los resultados más importantes que se lograron, posteriormente se recaudan bases teóricas necesarias sobre las cuales se fundamenta la presente investigación. Por último, las definiciones de términos básicos; necesarios para que el lector tenga una mayor comprensión del desarrollo del contenido.

Capítulo III. Materiales y métodos. Este capítulo da a conocer la ubicación geográfica y época de la investigación, además se describe el procedimiento seguido para el desarrollo de la misma, tratamiento, análisis de los datos y presentación de resultados.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados. Este capítulo describe los resultados más importantes obtenidos a través de la investigación y discusión de los resultados obtenidos acorde a los objetivos planteados.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones. Este capítulo presenta las conclusiones más importantes obtenidas en la investigación, de acuerdo a cada objetivo planteado; así mismo se plantean recomendaciones para las futuras líneas de investigación afines al tema.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Internacionales

-Castro y Manzaba (2022) en su tesis titulada “Evaluación del comportamiento de materiales estabilizados con el sistema consolid” realizada en Ecuador, determinaron que el aditivo sistema consolid mejora la capacidad portante C.B.R. y la resistencia a la compresión; disminuye el índice de plasticidad. El estudio concluye que el estabilizante sistema consolid mejora las propiedades de los suelos estudiados, llegando a cumplir exigencias del Ministerio de Transporte de obras Públicas para bases, subbases y mejoramiento de la subrasante.

- Aguirre y Prado (2014) en su tesis titulada “Estabilización de la subrasante en la vía Cuicocha-Apuela del km32 al km 38, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, utilizando el sistema consolid” realizada en la Universidad Católica de Ecuador, determinaron la variación del C.B.R. e índice plástico comparando el terreno natural y el terreno estabilizado con el sistema consolid, los resultados de esta investigación concluyen que el aditivo sistema consolid disminuye el índice plástico de los suelos e incrementa el valor de C.B.R.

2.1.2. Nacionales

-Ramirez (2018), en su tesis “Evaluación del comportamiento del C.B.R. e impermeabilidad de un suelo areno-arcilloso usando el estabilizador químico Sistema Consolid.” realizada en Lima, concluyó que el comportamiento del C.B.R. al adicionarle diferentes dosificaciones del aditivo consolid tiene una tendencia a elevarse, a pequeñas cantidades del aditivo, el C.B.R. aumenta hasta el doble del C.B.R. natural. En cantidades mayores el C.B.R. puede llegar a aumentar hasta en 12.4 veces su valor.

-Chávez (2018), realizó la tesis “Estudio Comparativo empleando el aditivo PROES y CONSOLID para la estabilización de suelos en caminos vecinales, 2018”, donde el C.B.R del suelo natural es de 3.8% y al adicionar los aditivos consolid 444 y solidry se obtuvo un C.B.R.

de 36.2%, concluyendo que el uso del aditivo consolid mejora considerablemente el valor del C.B.R.

-Gamarra (2020), en su tesis “Mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo de fundación con el sistema Consolid, en Avenida los Eucaliptos, Carabayllo-2019” concluye que el sistema consolid mejora el C.B.R. del suelo de fundación, logrando un incremento de C.B.R. en promedio de 7.98% (Gamarra,2020)

-Huamán y Rojas (2019) en su tesis “Análisis del uso del Sistema Consolid, para el mejoramiento de base granular existente, en una pista de aterrizaje, Chanchamayo,2019” llegaron a la conclusión que el sistema consolid, compuesto por sus dos aditivos, consolid 444 y solidry incrementa el C.B.R. y disminuye el índice plástico de la base granular existente de la pista de aterrizaje.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Pavimentos

Los pavimentos son estructuras viales conformadas por un conjunto de capas superpuestas apoyadas sobre la subrasante del camino para soportar y distribuir esfuerzos producidos por las cargas repetidas del tránsito, asimismo, se diseñan para mejorar las condiciones de seguridad, comodidad y confort para el tránsito que circula sobre su superficie durante el período para el cual fue diseñado (Reyes y Rondón,2015).

2.2.1.1. Elementos de la estructura de un pavimento.

Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos (2014), los pavimentos están conformadas por las siguientes capas: sub base, base y capa de rodadura.

2.2.1.1.1. Sub base.

Es la capa de la estructura de pavimento que soporta a la base y a la carpeta de rodadura, compuesta por materiales granulares que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados

colocados sobre una superficie preparada (subrasante, afirmado o el terraplén). La sub base cumple como función principal, en pavimentos flexibles, transmitir a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en magnitudes moderadas y tolerables por esta. La sub base también tiene una función económica, por estar conformada por agregados pétreos de menor costo que aquellos utilizados en la base (Reyes y Rondón,2015).

El material granular para la construcción de la capa de sub base deberá cumplir los requerimientos mínimos establecidos en la sección 402 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

Tabla 1. *Requerimientos granulométricos para sub base granular*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50– 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Sección 402, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

La curva de Gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Tabla 2. *Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular*

Ensayo	Norma		Requerimiento	
	MTC	ASTM	< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión	MTC E 207	C 131	50 % máx	50 % máx
CBR (*)	MTC E 132	D 1883	40 % mín	40 % mín
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	25% máx	25% máx
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	6% máx	4% máx
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	25% mín	35% mín
Sales Solubles	MTC E 219	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	20% máx	20% máx

Fuente: Sección 402, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Nota: (*) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1".

2.2.1.1.2. Base.

Es la capa de la estructura del pavimento ubicada bajo la carpeta de rodadura, compuesta por materiales granulares que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, con inclusión o no de algún tipo de estabilizador o ligante, colocados sobre la sub base, en algunos casos puede ser construida directamente sobre la subrasante cuando esta presenta un buen comportamiento mecánico. La función principal de esta capa en pavimentos flexibles es transmitir las cargas impuestas por el tránsito con intensidades adecuadas a las capas subyacentes (Reyes y Rondón,2015).

El material granular para la construcción de la capa de base deberá cumplir los requerimientos de calidad establecidos en la sección 403 del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

Los requerimientos granulométricos para base Granular son los mismos de sub bases granulares, los cuales se encuentran en la **Tabla 1**.

El material de Base Granular deberá cumplir además con el requerimiento de C.B.R. que se indica en la **Tabla 3**.

Tabla 3. *Requerimiento de C.B.R. en base granular*

Valor Relativo de Soporte, CBR (*)	Tráficos en ejes equivalentes ($<10^6$)	Min.80%
	Tráficos en ejes equivalentes ($\geq 10^6$)	Min.100%

Fuente: Sección 402, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Nota: (*) Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1".

2.2.1.1.3. Carpeta de rodadura.

Es la última capa que se construye, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie del pavimento, y es sobre esta capa donde circulan los vehículos durante el periodo de servicio del pavimento, por eso esta capa debe presentar dos características: la suavidad, para que sea cómoda, y la rugosidad para que sea segura (Bonett, 2014).

2.2.2. Estabilización de suelos

Un suelo natural no siempre será adecuado para soportar estructuras como edificios, puentes, carreteras y otras construcciones, requiriéndose entonces de procedimientos especiales de mejoramiento de suelo. El mejoramiento de suelos por medio de aditivos se conoce como estabilización. La estabilización o mejoramiento de suelos es un procedimiento especial que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un suelo (Das, 2015).

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (MTC,2014).

2.2.3. Tipos de estabilización de suelos

Existen varios tipos de estabilización de suelos, estos se pueden agrupar en dos grupos principales: estabilización físico-mecánica y estabilización química (Ramirez, 2018).

2.2.3.1. Estabilización físico-mecánica.

Este método de estabilización consiste en mejorar las propiedades del suelo por densificación y/o por mejora de sus características granulométricas mediante la mezcla y/o adición de otro material o componente pudiendo producirse cambios físicos en el mismo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia (Ramirez, 2018). Los métodos de estabilización más usados son:

- Compactación
- Sustitución de suelos
- Mezcla de suelos
- Geosintéticos
- Vibroflotación

2.2.3.2. Estabilización química.

Este método de estabilización mejora el comportamiento del suelo al adicionarle aditivos químicos, los cuales deben mezclarse con el suelo de acuerdo a sus fichas técnicas de cada aditivo (Das, 2015). Los métodos de estabilización química más conocidos son:

- Estabilización con cal
- Estabilización con cemento Portland
- Estabilización con productos asfálticos
- Estabilización con cloruro de sodio
- Estabilización con cloruro de calcio
- Estabilización con aceites sulfonados
- Estabilización con sistemas

2.2.4. Aditivo estabilizante sistema Consolid

EL sistema Consolid es un estabilizante químico de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales, porque a diferencia de otros estabilizadores químicos como el asfalto o cemento que actúan como ligantes formando estructuras rígidas susceptibles a ser rotas con el uso el sistema Consolid no es un ligante evitando la formación de estructuras rígidas, ni un reactor químico (no cambia la estructura química del suelo) como ocurre con la cal (Ramírez,2018).

El sistema Consolid, consiste básicamente en la aplicación y mezclado con el suelo de dos productos: Consolid 444 y Solidry.

2.2.4.1. Consolid 444.

Es un líquido semi viscoso de color blanco, que permite una aglomeración irreversible de las partículas finas. De este modo, permite una reducción de la tensión superficial de agua que circunda dichas partículas de suelo, brindando una mejor compactación entre ellas, aumentando la resistencia a la deformación y disminuyendo el ascenso capilar (Cornejo y Figueroa,2018).

2.2.4.2. Solidry.

Es un polvo muy fino de color blanco, formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos, mezclados con cemento y cal. Es un producto complementario del Consolid 444 que refuerza la protección contra el agua, bloquea los capilares y no permite que el agua de la superficie penetre a la capa tratada, de esta manera impermeabiliza la capa impidiendo el ingreso del agua y controlando la pérdida de humedad (Sanca, 2020).

2.2.4.3. Dosificación del sistema Consolid.

La elección de la dosis está relacionada a la composición granulométrica del suelo, en mayor medida con la cantidad de partículas finas que es donde principalmente actúan los

componentes. La **Tabla 4** nos muestra la dosificación que se requiere de cada componente del sistema Consolid

Tabla 4. *Dosificación del sistema Consolid expresada en porcentaje del peso del suelo*

Dosificación	Consolid 444	Solidry
Máxima	0.045%	2%
Media	0.034%	1.5%
Mínima	0.023%	1%

Fuente: Manual Sistema Consolid 2020.

2.2.5. Ensayos de laboratorio

2.2.5.1. Contenido de humedad.

La NTP 339.127 (2014) define el contenido de humedad de un suelo como una relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{t+h} - M_{t+s}}{M_{t+s} - M_t} \times 100$$

En donde:

w: contenido de humedad, en porcentaje

M_{t+h}: peso de la tara más el suelo húmedo, en gramos

M_{t+s}: peso de la tara más el suelo secado en horno, en gramos

M_t: peso de la tara, en gramos

2.2.5.2. Análisis granulométrico por tamizado.

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. El análisis granulométrico por tamizado se concreta al segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula (Zegarra, 2019).

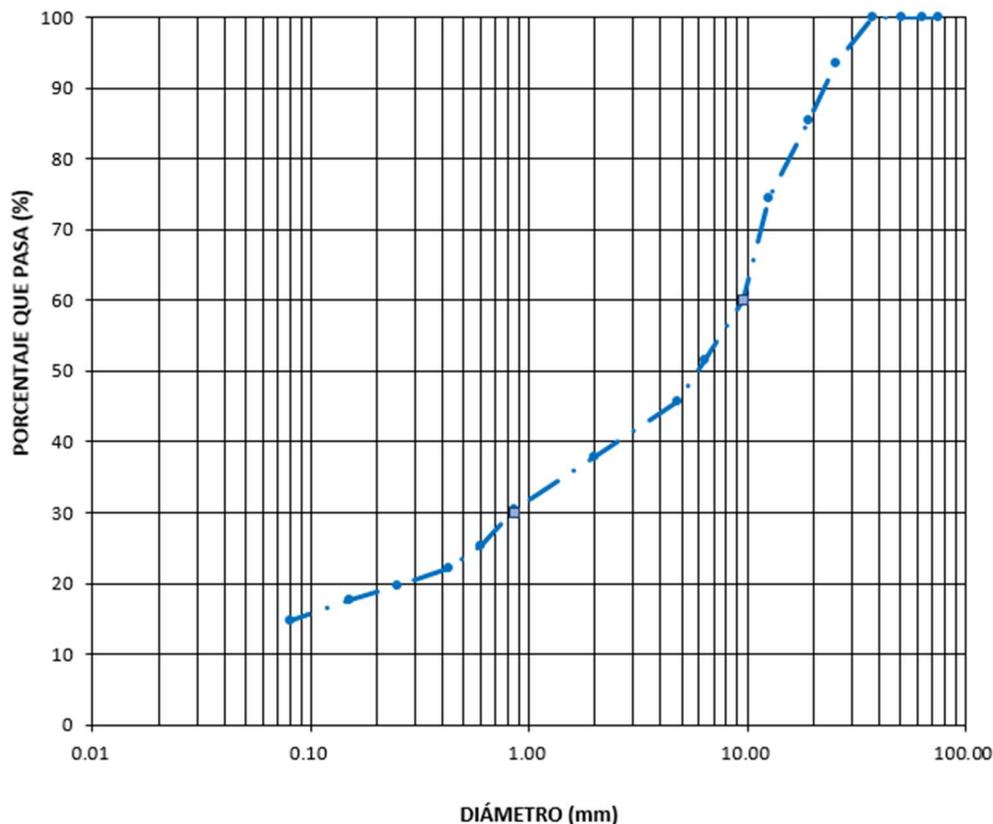
La NTP 339.128 (2019) establece el método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado, determinando los porcentajes de suelo que pasan los distintos tamices empleados en el ensayo, hasta el tamiz N°200. La información que se obtiene del análisis granulométrico se presenta en forma de curva semilogarítmica en la que el porcentaje que pasa representa el eje de las ordenadas y el diámetro de los tamices representa el eje de las abscisas.

Tabla 5. *Tamaños de malla estándar para análisis granulométrico*

Tamiz	Abertura (mm)
3"	75.0
2"	50.00
1 1/2"	37.50
1"	25.00
3/4"	19.00
3/8"	9.50
N° 4	4.75
N° 10	2.00
N° 20	0.85
N° 40	0.43
N° 60	0.25
N° 140	0.11
N° 200	0.08

Fuente: NTP 339.128 (2019).

Figura 1. Curva semilogarítmica del análisis granulométrico



Fuente: Curva semilogarítmica de la distribución granulométrica de un suelo.

2.2.5.3. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

La NTP 339.129 (2014) define al límite líquido como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se encuentra en el límite entre los estados líquido y plástico. Igualmente, define al límite plástico como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se encuentra en el límite entre los estados plástico y semisólido. El índice de plasticidad es el rango de contenido de humedad sobre el cual un suelo se comporta plásticamente.

La NTP 339.129 (2014) establece los métodos de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de una muestra de suelo.

La muestra es procesada para remover cualquier material retenido en el tamiz N°40. El límite líquido de un suelo se determina mediante la ejecución de varios intentos en los cuales una porción de muestra es colocada en la copa de Casagrande, dividida en dos partes por un

ranurador, y forzada a unirse nuevamente mediante los impactos causados por las repetidas caídas del dispositivo antes mencionado. Se requieren tres o más intentos dentro de un rango de contenido de agua para establecer una relación para determinar el límite líquido. El límite líquido se define como el contenido de agua con el cual se obtiene un cierre en la ranura al aplicar 25 golpes.

El límite plástico se determina mediante el amasado y rolado continuo de una porción de suelo hasta que el contenido de agua se reduzca de forma tal que al llegar a formar un rollito de 3,2 mm. de diámetro(aproximadamente), se agriete. El contenido de humedad de suelo en este punto se conoce como límite plástico.

La diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo determina el índice de plasticidad.

2.2.5.4. Clasificación de suelos SUCS.

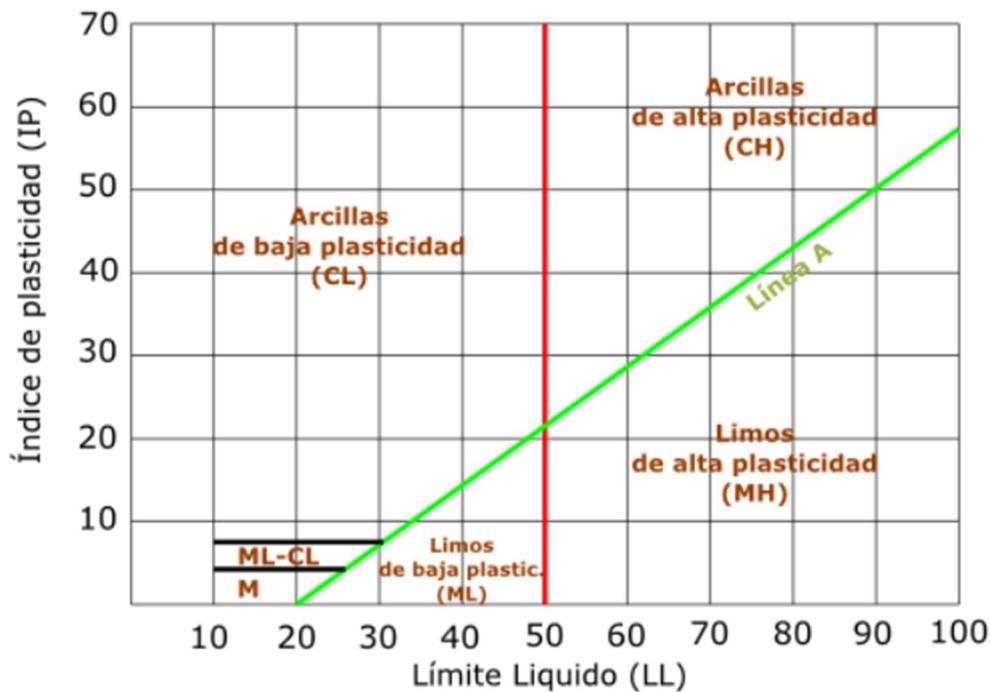
La NTP 339.134 (2014) este método de ensayo describe un sistema para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería, basado en la determinación en el laboratorio de las características de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad, y es utilizado cuando se requiere una clasificación precisa.

Tabla 6. Clasificación de suelos, según S.U.C.S.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)						
División Principal		Símbolo	Nombres Típicos	Criterio de Clasificación en el laboratorio		
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material retenido en el tamiz N°200	Gravas (Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla N°4)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Según el porcentaje de finos (fracción que pasa por la malla N°200). Los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5% GW, GP, SW, SP. Más del 12 % GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12% casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.		
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos			
		GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.			
	Arenas (Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla N°4)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW		Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
			SP		Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
			SC		Arenas arcillosas, mezclas arena y arcilla.	
						Cu>4 ; 1<Cc<3
						No cumplen con los requisitos para GW
			IP<4 o debajo de la línea A IP>7 o sobre la línea A (*)			
Suelos de grano fino Más de la mitad del material pasa el tamiz N°200	Limos y arcillas (Limite líquido menor de 50%)	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	(*) Encima de la línea A con IP entre 4 y 7, son casos de frontera que requiere doble símbolo.		
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
	Limos y arcillas (Limite líquido mayor de 50%)	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.			
		OH	Arcillas orgánicas de media a elevada plasticidad, limos orgánicos.			
	Suelos muy orgánicos		P		Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	

Fuente: NTP 339.134 (2014).

Figura 2. Carta de plasticidad



Fuente: NTP 339.134 (2014).

2.2.5.5. Clasificación de suelos AASHTO.

La NTP 339.135 (2014) esta norma describe un procedimiento para clasificación de suelos minerales y orgánico-minerales en siete grupos, basado en la determinación en el laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice plástico. Puede ser utilizado cuando se requiere una clasificación precisa de ingeniería, especialmente para propósito de construcción de carreteras. La evaluación de los suelos dentro de cada grupo es realizada por medio de un Índice de Grupo, el cual es un valor calculado usando una formula empírica.

Tabla 7. Clasificación de suelos, según AASHTO

Clasificación general	Suelos granulares (pasa menos del 35% por el tamiz N°200)							Suelos finos (pasa más del 35% por el tamiz N°200)				
	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
Análisis granulométrico												
N°10	≤50%											
N°40	≤30%	≤50%	≥51%									
N°200	≤15%	≤25%	≤10%	≤35%	≤35%	≤35%	≤35%	≥36%	≥36%	≥36%	≥36%	≥36%
Límite de Atterberg											IP≤LL-30	IP>LL-30
Límite Líquido				≤40%	≥41%	≤40%	≥41%	≤40%	≥41%	≤40%	≥41%	≥41%
Índice de plasticidad	≤6%	≤6%		≤10%	≤10%	≥11%	≥11%	≤10%	≤10%	≥11%	≥11%	≥11%
Índice de grupo	0	0	0	0	0	≤4%	≤4%	≤8%	≤12%	≤16%	≤20%	≤20%
Tipos de material	Piedras, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Estimación General del suelo como subrasante	Excelente a Buena							Regular a Deficiente				

Fuente: NTP 339.135 (2014).

2.2.5.6. Compactación tipo proctor.

Los ensayos de compactación en laboratorio, proveen las bases para la determinación del porcentaje de compactación y contenido de humedad necesario para lograr las propiedades ingenieriles requeridas y para controlar la construcción a fin de asegurar que se estén alcanzando las especificaciones del proyecto. Generalmente el esfuerzo de compactación imparte al suelo un incremento en la resistencia al corte, en el potencial de expansión, y en la densidad; y una disminución en la contracción, permeabilidad y comprensibilidad. De estas propiedades influenciadas por la compactación, se puede decir que la compactación va más allá de un simple requerimiento de incrementar la densidad del suelo (Zegarra, 2019).

Según NTP 339.141 (2014) el ensayo de compactación tipo proctor (tanto estándar como modificado), es aplicable sólo a aquellos suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en la malla de 3/4". El suelo, con un contenido de humedad seleccionado, se coloca en capas dentro de un molde de dimensiones determinadas. Cada capa es compactada por un cierto número de golpes realizados mediante el empleo de un martillo con peso y altura de caída estandarizada. Se calcula la densidad seca resultante y se repite el procedimiento con distintos contenidos de humedad, un número suficiente de veces como para establecer la correlación entre la densidad seca obtenida y la humedad del suelo. Estos datos graficados representan la curva de compactación, a partir de esta curva se puede obtener los valores de máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.

2.2.5.7. C.B.R.

Este método de prueba es usado para evaluar la fuerza potencial de la base, sub base y subrasante del material incluyendo materiales reciclables para el uso en carreteras y pavimentos de aeropuertos. El valor obtenido de C.B.R. en esta prueba forma una parte integral de los varios métodos de diseño de pavimentos (Zegarra, 2019).

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

2.3. Definición de términos básicos

-Base

Es la capa de la estructura del pavimento ubicada bajo la carpeta de rodadura, compuesta por materiales granulares que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, con inclusión o no de algún tipo de estabilizador o ligante, colocados sobre la sub base (Reyes y Rondón,2015).

-C.B.R.

California Bering Ratio (valor de la relación de soporte), indicador de la resistencia del material de base, sub base y sub rasante a la deformación bajo las cargas de vehículos.

-Cantera

Es la fuente de materiales de donde se extraen agregados para diferentes usos principales como mejoramientos de suelos, terraplenes, afirmado, agregados para rellenos, sub base y base granular, agregados para tratamientos bituminosos, agregados para mezclas asfálticas y agregados para mezclas de concreto (MTC, 2013)

-Pavimento

Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso de denominado Periodo de Diseño. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías.

-Sistema Consolid

Es un sistema de estabilización química, que consiste básicamente en el mezclado de dos aditivos (Consolid 444 y Solidry) con el suelo a tratar.

-Sub base

Es la capa de la estructura de pavimento que soporta a la base y a la carpeta de rodadura, compuesta por materiales granulares que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados colocados sobre una superficie preparada (Reyes y Rondón,2015).

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica de la investigación

La investigación se realizó usando el material extraído de la cantera La Bendición, ubicada en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca (**Figura 3**); de esta cantera se extrajo muestra de terreno natural, posteriormente se realizaron ensayos en el laboratorio de suelos Guersan Ingenieros SRL.

Tabla 8. *Ubicación geográfica del proyecto de investigación.*

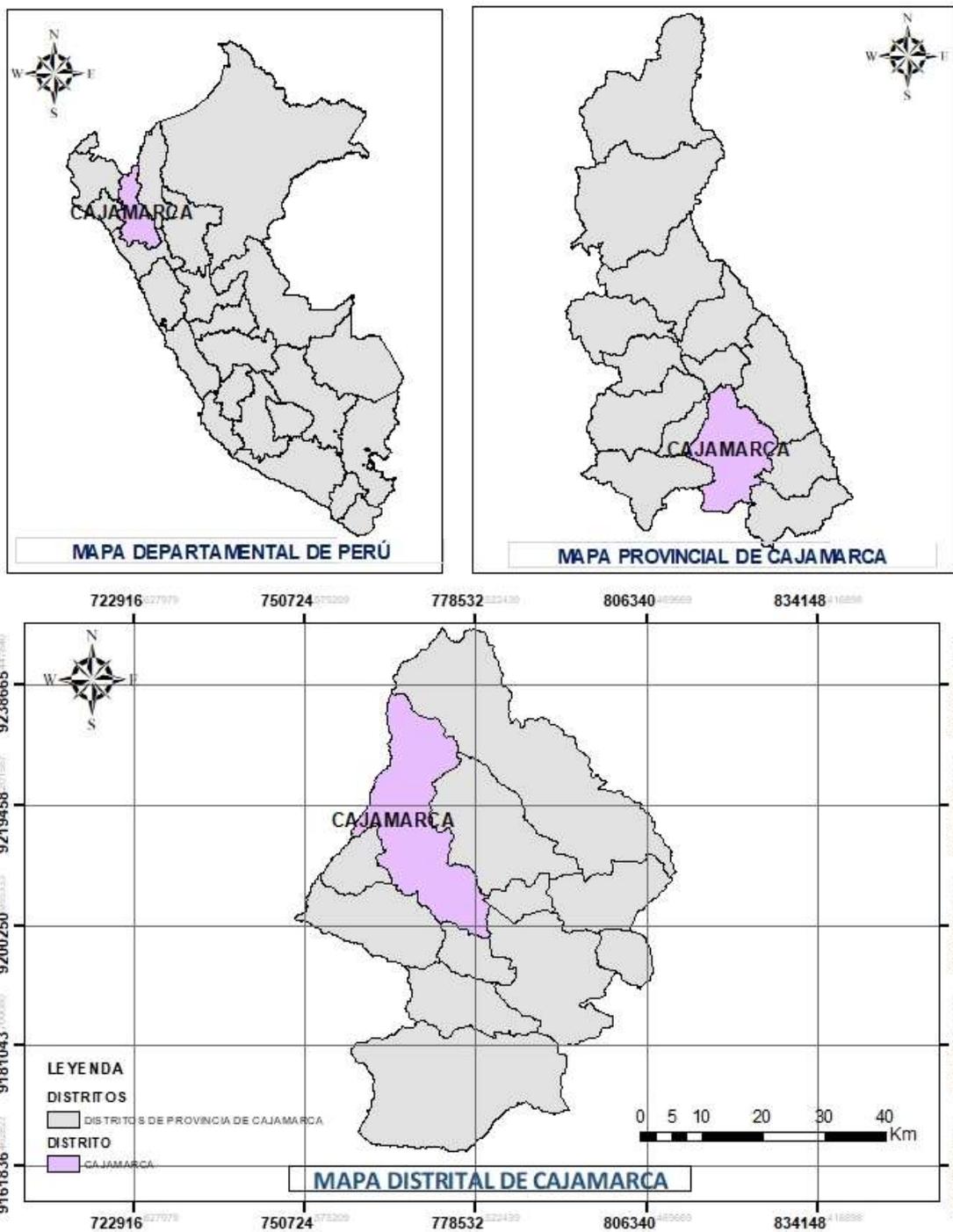
Ubicación Geográfica	
Departamento	Cajamarca
Provincia	Cajamarca
Distrito	Cajamarca

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

Tabla 9. *Coordenadas UTM del punto de muestreo del material de la cantera La Bendición.*

Coordenadas UTM	
Norte	9202429 m.
Este	775470 m.

Figura 3. Mapa político de la zona de estudio



Fuente: ArcMap.

Figura 4. *Ubicación satelital de la cantera La Bendición*



Fuente: Google Earth.

3.2. Época de la investigación

La presente investigación se inició el 06 de enero del 2023, con la extracción del material de la cantera La Bendición, posteriormente del 09 de enero hasta el 31 de marzo del 2023 se realizó los ensayos de laboratorio.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

3.3.1.1. Tipo de investigación. La investigación es del tipo aplicada, porque buscó conocer los conocimientos ya existentes sobre estabilizaciones con el sistema Consolid y se actuó en la realidad problemática de la ciudad de Cajamarca que es de no contar con material adecuado que cumpla los requerimientos de C.B.R. para bases y sub bases de pavimentos, a partir de ahí construir y modificar esa realidad problemática logrando obtener un material adecuado usando material de la cantera La Bendición.

3.3.1.2. Nivel de investigación. La investigación es correlacional, porque en la investigación se buscó determinar la relación de la variable independiente sistema Consolid y el C.B.R. (variable dependiente) del material de la cantera La Bendición.

3.3.1.3. Diseño de la investigación. El diseño de la investigación es experimental, porque se realizaron ensayos de laboratorio manipulando la variable independiente sistema Consolid en diferentes dosificaciones para ver su efecto en el C.B.R. (variable dependiente) del material de la cantera La Bendición.

3.3.2. Población de estudio

La población de estudio está definida por el material granular para bases y sub bases de la cantera La Bendición.

3.3.3. Muestra

Del material extraído de la cantera La Bendición, se tomó ochenta especímenes para determinar la influencia del sistema Consolid en el C.B.R.; se usaron 50 especímenes en ensayos de proctor modificado y 30 especímenes en ensayos de C.B.R. Los especímenes fueron elaborados utilizando dosificaciones del estabilizante sistema Consolid (aditivos Consolid 444 y Solidry) como se detalla en la **Tabla 10**.

Tabla 10. *Dosificaciones propuestas para la investigación*

N°	Dosificación	Sistema Consolid		Nomenclatura
		Consolid 444	Solidry	
1	Muestra Patrón	Sin aditivo	Sin aditivo	MP
2	Dosificación 01	0.023%	1%	D1
3	Dosificación 02	0.023%	1.5%	D2
4	Dosificación 03	0.023%	2%	D3
5	Dosificación 04	0.034%	1%	D4
6	Dosificación 05	0.034%	1.5%	D5
7	Dosificación 06	0.034%	2%	D6
8	Dosificación 07	0.045%	1%	D7
9	Dosificación 08	0.045%	1.5%	D8
10	Dosificación 09	0.045%	2%	D9

Nota: Los porcentajes del aditivo Consolid 444 y Solidry se consideró según la **Tabla 4**.

3.3.4. Unidad de Análisis

Es la influencia del sistema Consolid en el C.B.R. del material de la cantera La Bendición.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas

En la presente investigación se utilizó la técnica de estudios experimentales, porque se manipuló la variable independiente sistema Consolid en diferentes dosificaciones para ver su efecto en el C.B.R. (variable dependiente) del material de la cantera La Bendición y los datos recolectados fueron plasmados en formatos adecuados de ensayos de suelos.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados de esta investigación fueron los formatos de recolección de datos para los ensayos de laboratorio que se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 11. *Ensayos realizados en el laboratorio*

Ensayo	Norma Técnica
Contenido de humedad	NTP 339.127
Análisis granulométrico por tamizado	NTP 339.128
Límites líquido, plástico e índice de plasticidad	NTP 339.129
Clasificación SUCS	NTP 339.134
Clasificación AASHTO	NTP 339.135
Ensayo de compactación tipo proctor	NTP 339.141
Ensayo de CBR	NTP 339.145

Fuente: Comité Técnico de Normalización Peruana (2014).

3.5. Procedimiento

3.5.1. Primera etapa: obtención de la muestra del suelo

Primeramente, se visitó la cantera La Bendición, luego se extrajo material granular necesario para realizar los ensayos de laboratorio indicados en la **Tabla 11**. Se obtuvo las coordenadas UTM del punto de muestreo indicadas en la **Tabla 9**. Seguidamente se transportó la muestra de suelo siguiendo las pautas establecidas en la norma MTC E 104 (Conservación y transporte de muestras de suelo). Para el ensayo de contenido de humedad se trasladó la muestra en bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad.

3.5.2. Segunda etapa: ensayos de laboratorio

Esta etapa inició una vez llegado el material al laboratorio, los ensayos de laboratorio del material de la cantera “La Bendición” se realizaron de acuerdo a las normas técnicas peruanas (NTP) y al Manual de Ensayo de Materiales 2016 del MTC.

-Antes de hacer las dosificaciones para estabilizar el suelo, es necesario conocer las características del material a estabilizar, esto servirá para evaluar el comportamiento de las propiedades del suelo estabilizado.

-Se realizó el ensayo de contenido de humedad de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 339.127.

-El ensayo de granulometría, fue llevado a cabo según la norma NTP 339.128, esta norma establece el método para el análisis granulométrico por tamizado y por sedimentación de los suelos, pudiendo efectuarse en forma combinada con uno de los métodos indicados, para el caso de nuestro material de la cantera La Bendición utilizamos el método para el análisis granulométrico por tamizado.

-Se ejecutó el ensayo para obtener los límites de consistencia, según la norma NTP 339.129, la cual establece los métodos de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de una muestra de suelo.

-Se clasificó la muestra del suelo utilizando el sistema de clasificación AASHTO por ser el sistema más usado en el ámbito de carreteras.

-Se realizó el ensayo de proctor modificado de acuerdo con la norma NTP 339.141, para el material de la cantera “La Bendición” se utilizó el procedimiento C de la norma antes descrita

-El ensayo de C.B.R. se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.145, este método de ensayo comprende la determinación del CBR para material de bases y sub bases de especímenes compactados en el laboratorio, este ensayo evalúa principalmente la resistencia del material.

- Una vez realizado todos los ensayos a la muestra patrón (suelo sin aditivo), se procedió con los ensayos de proctor modificado y C.B.R. a las muestras estabilizadas con el sistema

Consolid, se trabajó con un total de nueve dosificaciones, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 12. *Dosificaciones del sistema Consolid propuestas para la investigación*

N°	Muestra	Sistema Consolid		Nomenclatura
		Consolid 444	Solidry	
1	Dosificación 01	0.023%	1%	D1
2	Dosificación 02	0.023%	1.5%	D2
3	Dosificación 03	0.023%	2%	D3
4	Dosificación 04	0.034%	1%	D4
5	Dosificación 05	0.034%	1.5%	D5
6	Dosificación 06	0.034%	2%	D6
7	Dosificación 07	0.045%	1%	D7
8	Dosificación 08	0.045%	1.5%	D8
9	Dosificación 09	0.045%	2%	D9

Nota: Los porcentajes del aditivo Consolid 444 y Solidry se consideró de la ficha técnica del sistema Consolid que se adjunta en los anexos.

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

3.6.1. Tratamiento y análisis de datos

El tratamiento y procesamiento de los datos recolectados con los formatos presentados en la sección 3.4.2. se realizó con hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, dichas hojas de cálculo fueron creadas de acuerdo a las indicaciones para cálculos y reporte de resultados de cada norma NTP usada en los ensayos de suelos de esta investigación. Los reportes de las hojas de cálculo se muestran en el **Anexo N°02**.

El tipo de análisis usado en la presente investigación fue el estadístico descriptivo, porque a la información obtenida se crearon histogramas para el análisis y discusión de resultados.

3.6.2. *Presentación de resultados*

3.6.2.1. **Resultados de ensayos del suelo sin estabilizar**

Tabla 13. *Contenido de humedad*

Muestra	Contenido de Humedad (%)
Muestra Patrón	5.43

Tabla 14. *Porcentajes de grava, arena y finos del material de la cantera La Bendición*

Muestra	Muestra Patrón
Grava (%)	57.59
Arena Gruesa (%)	16.71
Arena Fina (%)	13.52
Finos (%)	12.18
Total (%)	100.00

Tabla 15. *Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera La Bendición*

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
1 1/2"	100.00
1"	89.41
3/4"	82.79
1/2"	75.60
3/8"	65.23
1/4"	56.77
N° 4	48.80
N° 10	42.41
N° 20	37.25
N° 30	31.64
N° 40	25.70
N° 60	19.48
N° 100	14.53
N° 200	12.18

Figura 5. Curva de distribución granulométrica del material de la cantera “La Bendición”

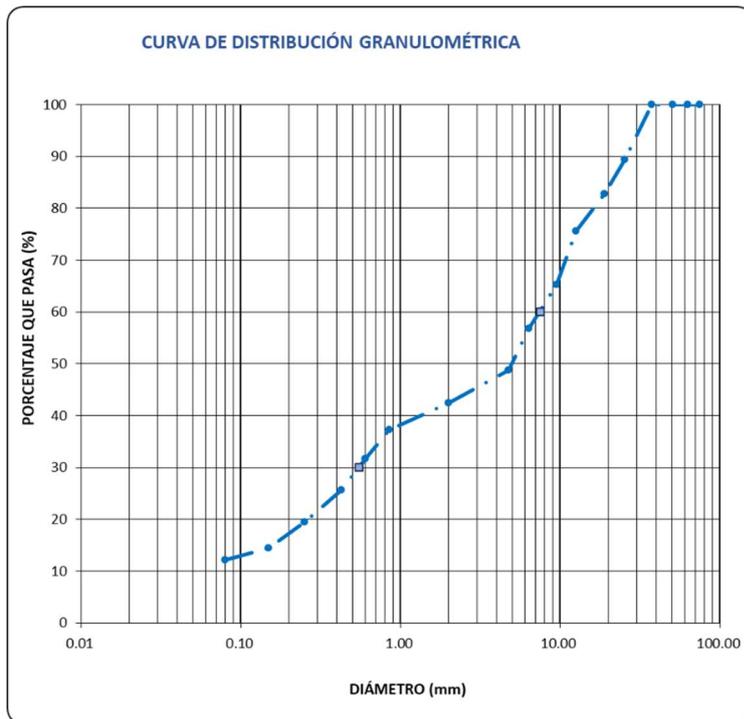


Tabla 16. Límites de Atterberg del material de la cantera “La Bendición”

Límites de Consistencia	
Límite Líquido (%)	22
Límite Plástico (%)	19
Índice de Plasticidad (%)	3

Tabla 17. Clasificación AASHTO y SUCS de la cantera “La Bendición”

Clasificación del suelo	
Clasificación AASHTO	A-1-a(0)
Clasificación SUCS	GM

Tabla 18. Proctor Modificado de la cantera “La Bendición”

Proctor Modificado	
Densidad Seca Máxima (g/cm ³)	2.132
Contenido de Humedad Óptimo (%)	7.00

Tabla 19. *Ensayo de CBR del material de la cantera “La Bendición”*

Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)				
Muestra	95% de la D.S.M. (0.1")	100% de la D.S.M. (0.1")	95% D.S.M. (0.2")	100% D.S.M. (0.2")
MP	35.4%	48.1%	43.9%	59.7%

3.6.2.2. Resultados de ensayos del suelo estabilizado con sistema Consolid**Tabla 20.** *Ensayos de Proctor Modificado del suelo estabilizado con sistema consolid*

Dosificación de aditivos			Proctor Modificado	
Muestras	C-444 (%)	Solidry(%)	Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	Contenido de humedad óptimo (%)
D1	0.021	1	2.194	6.25
D2	0.021	1.5	2.199	6.10
D3	0.021	2	2.197	6.20
D4	0.032	1	2.202	5.95
D5	0.032	1.5	2.208	5.50
D6	0.032	2	2.214	5.60
D7	0.043	1	2.219	5.45
D8	0.043	1.5	2.217	5.40
D9	0.043	2	2.229	5.10

Tabla 21. Ensayo de CBR del suelo estabilizado con sistema consolid

Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)				
Muestras	CBR para el 95%	CBR para el 100%	CBR para el 95%	CBR para el 100%
	de la densidad	de la densidad	de la densidad	de la densidad
	seca máxima	seca máxima	seca máxima	seca máxima
	(0.1")	(0.1")	(0.2")	(0.2")
D1	56.8%	75%	70.4%	93.1%
D2	62.7%	82.3%	77.7%	102%
D3	85.9%	109.5%	98.2%	126.5%
D4	96.1%	126.4%	116.7%	151%
D5	112.7%	148.2%	136.8%	177.1%
D6	120.4%	157.1%	146.2%	187.7%
D7	132.3%	170.9%	160.6%	204.2%
D8	136.2%	175.5%	165.3%	209.7%
D9	141%	183.2%	172%	218.9%

Figura 6. Valores de máxima densidad seca del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones

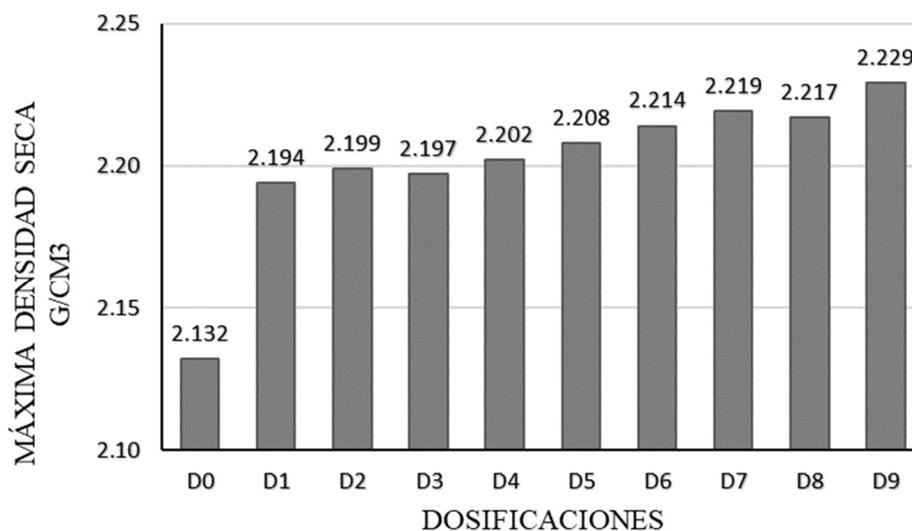


Figura 7. Valores de óptimo contenido de humedad del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones

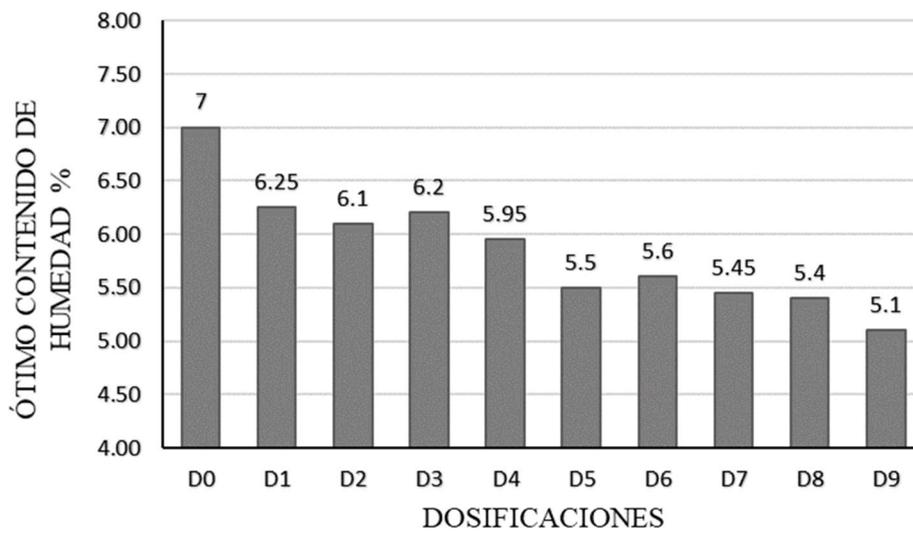
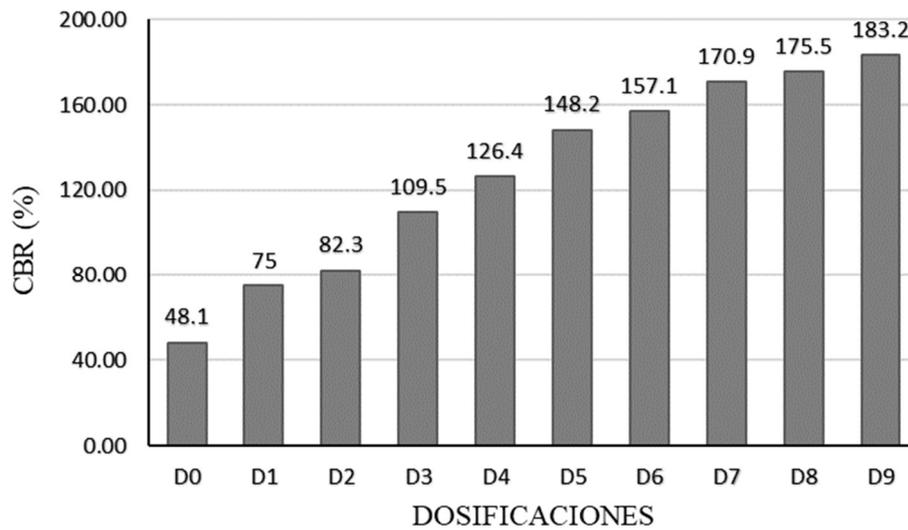


Figura 8. Valores de CBR al 100% de la máxima densidad seca y 0.1" de penetración del suelo estabilizado con diferentes dosificaciones



CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Material sin aditivos

El suelo tiene una clasificación según AASHTO A-1-a(0), y según SUCS es un suelo GM, y tiene un CBR de 48.1% para el 100% de la densidad seca máxima a la penetración de 0.1".

4.2. Material con aditivos

Como resultado de las pruebas de proctor modificado se han obtenido valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad, de los cuales se han tenido variaciones respecto a los obtenidos del suelo sin estabilizar.

Como se observa en la **Figura 6**, la máxima densidad seca de las muestras con el aditivo sistema consolid aumentan en hasta 0.097 g/cm^3 respecto de la máxima densidad seca del suelo sin estabilizar. Se aprecia que la variación en la máxima densidad seca tiene mayor influencia con la dosis más alta de aditivo.

En la **Figura 7** se observa que los resultados del óptimo contenido de humedad del suelo estabilizado con el sistema Consolid son menores que el obtenido del suelo natural, llegando a disminuir hasta en 1.9% con respecto al óptimo contenido de humedad del suelo natural, se aprecia que la variación en el óptimo contenido de humedad tiene mayor influencia con la dosis más alta de aditivo.

El CBR es uno de los parámetros más importantes al momento de decidir por una dosificación de cualquier estabilizador, además que es parte del objetivo principal de esta tesis evaluar su comportamiento al adicionarle el aditivo sistema Consolid, en la **Figura 8** se muestra una gráfica con los valores de CBR obtenidos con diferentes dosificaciones de aditivo.

Como se aprecia en la **Figura 8**, al adicionarse el aditivo sistema Consolid los valores de CBR se incrementan hasta 3.81 veces el valor del CBR del suelo sin aditivo, también podemos inferir que la mayor influencia en el valor del CBR se da con la dosis más alta de aditivo; también podemos observar que a partir de la dosificación D3 todos los valores del CBR son superiores a 100%, que es un parámetro mínimo que debe cumplir el suelo estabilizado.

4.3. Contrastación con la hipótesis

En base a los resultados obtenidos en las secciones precedentes se validó la hipótesis planteada porque la aplicación del sistema Consolid al material de la cantera La Bendición, para bases y sub bases incrementa el valor del CBR.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El material de la cantera de La Bendición se clasificó según el sistema AASHTO como un suelo A-1-a(0), y según SUCS como un suelo GM y tiene un CBR de 48.1% para el 100% de la densidad seca máxima a la penetración de 0.1", con este valor de C.B.R. puede ser usado como sub base de pavimentos porque cumple con el requerimiento de la sección 402 del Manual de Carreteras (EG-2013), pero no puede ser usado como base granular de pavimentos porque no cumple con el requerimiento de la sección 403 del Manual de Carreteras (EG-2013).
- Del material estabilizado con sistema Consolid se determinó el C.B.R. para las diferentes dosificaciones (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9) y los resultados fueron: 75%, 82.3%, 109.5%, 126.4%, 148.2%, 157.1%, 170.9%, 175.5% y 183.2% respectivamente para el 100% de la densidad seca máxima a la penetración de 0.1", de los resultados se concluye que el material de la cantera La Bendición estabilizado con el Sistema Consolid en las dosificaciones D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9 puede ser usado como base granular de pavimentos.
- Se concluye que el uso del sistema Consolid en el material de la cantera La Bendición incrementa el valor de C.B.R. en las nueve dosificaciones (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9) y el máximo incremento es de hasta 3.81 veces el valor del C.B.R. del suelo natural, este incremento se da con la mezcla que contiene 0.045% del aditivo líquido Consolid 444 y 2% del aditivo sólido Solidry.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda seguir con la investigación aumentando la cantidad de aditivo para saber hasta cuanto puede aumentar el valor del CBR del material de la cantera La Bendición al aplicar el sistema Consolid.
- Realizar una investigación de permeabilidad y ascenso capilar usando el sistema Consolid.
- Realizar futuras investigaciones con sistema Consolid con diferentes tipos de material de base y sub bases usados en la provincia de Cajamarca.
- Realizar un estudio comparativo del CBR de laboratorio y penetración dinámica de cono, en un material estabilizado con Sistema Consolid.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. y Prado, M. (2014). *Estabilización de la subrasante en la vía Cuicocha-Apuela del km32 al km 38, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, utilizando el sistema consolid*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Bonett, G. (2014). *Guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.
- Castro, R. y Manzaba, A. (2022). *Evaluación del comportamiento de materiales estabilizados con el sistema consolid*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.
- Chávez, R. (2018). *Estudio Comparativo empleando el aditivo PROES y CONSOLID para la estabilización de suelos en caminos vecinales, 2018*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Cornejo, O. y Figueroa, J. (2018). *Comportamiento físico-mecánico de unidades de albañilería de tierra cruda fabricadas con suelo de los sectores Tambillo-Cusco y PetroPerú-San Jerónimo, estabilizadas con sistema Consolid, Cusco 2018*. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Das, M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotecnia*. Cengage Learning Editore.
- Gamarra, J. (2020). *Mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo de fundación con el sistema Consolid, en Avenida los Eucaliptos, Carabayllo-2019*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Herrera, R. (2014). *Efecto del cemento portland tipo I, como estabilizante del material granular de la cantera el guitarrero para bases de pavimentos rígidos*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Huamán, F. y Rojas, Y. (2019). *Análisis del uso del Sistema Consolid, para el mejoramiento de base granular existente, en una pista de aterrizaje, Chanchamayo, 2019*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013, Tomo I*. Lima, Perú.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). (2014). *Manual de Carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección Suelos y pavimentos*. R.D. N° 10-2014-MTC/14. Lima, Perú.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Lima, Perú.

- Ramirez, B. (2018). *Evaluación del comportamiento del C.B.R. e impermeabilidad de un suelo areno-arcilloso usando el estabilizador químico sistema consolid.* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Reyes, F. y Rondón, H. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño.* Editorial Macro.
- Sanca, J. (2020). *Estudio de la estabilización de suelos para mejorar su capacidad portante aplicando cloruro de sodio y sistema Consolid-Puente Piedra 2019.* Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Zegarra, J. (2019). *Laboratorio de mecánica de suelos: Guía de ensayos.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo N°01: Panel Fotográfico

Figura 9. Extracción de material de la cantera La Bendición



Figura 10. Aditivo estabilizador SOLIDRY



Figura 11. *Aditivo estabilizador C-444*



Figura 12. *Ensayo de proctor modificado de la cantera la Bendición*

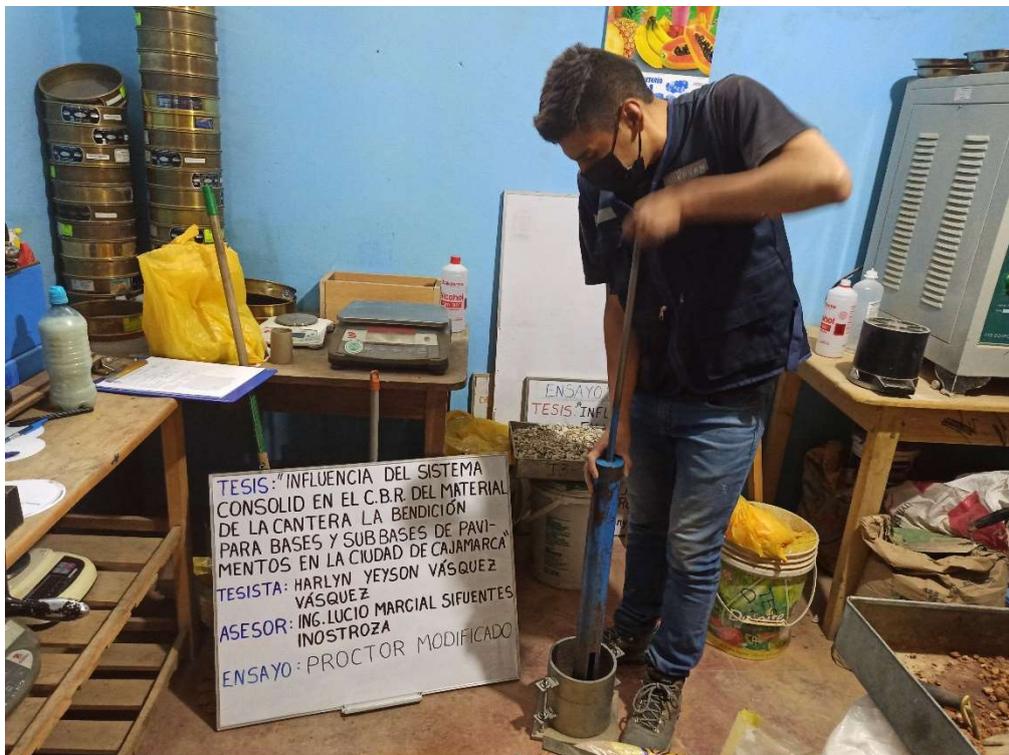


Figura 13. Preparación de los moldes de CBR del material de la cantera la Bendición



Figura 14. Saturación de los moldes de CBR del material de la cantera La Bendición

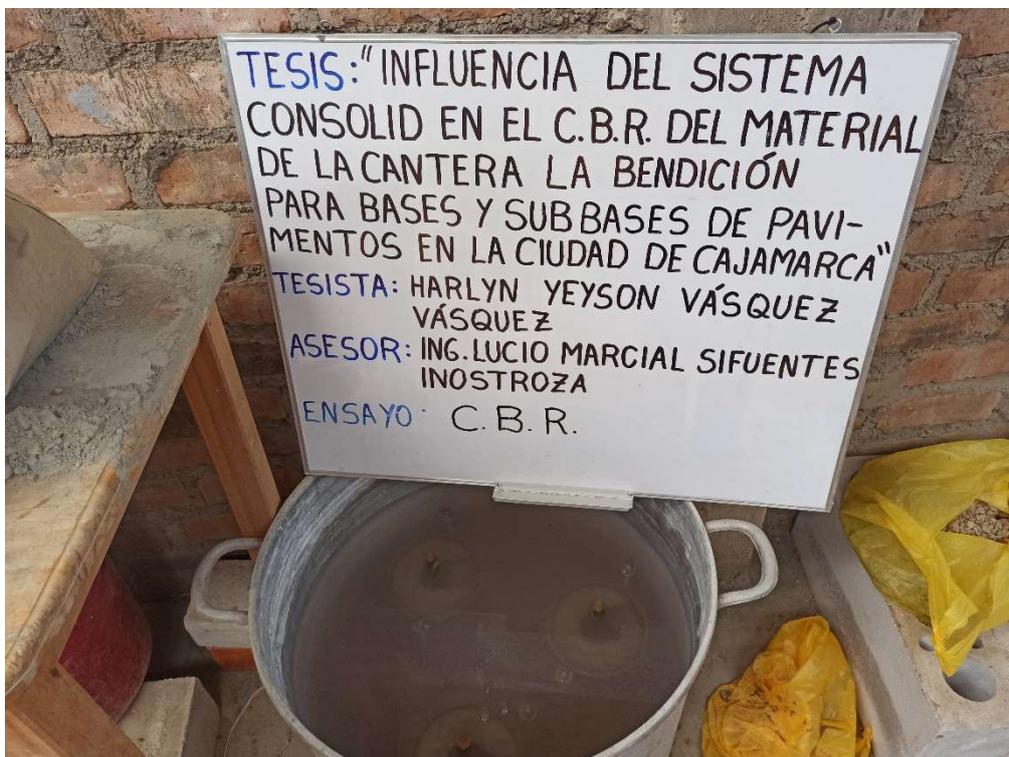


Figura 15. Prueba de soporte del material de la cantera La Bendición



Figura 16. Prueba de soporte de la dosificación D4



Anexo N°02: Ensayos de Laboratorio

Tabla 22. *Ensayo contenido de humedad de la muestra: MP*

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Identificación de Tara	B-6
Masa de tara (g)	353.00
M. Tara + M.Húmeda (g)	4764.00
M. Tara + M. Seca (g)	4537.00
Masa de agua (g)	227.00
Masa de Muestra Seca (g)	4184.00
W (%)	5.43%

Tabla 23. *Ensayo límites de consistencia de la muestra: MP*

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
TARA N°	1	2	3	TARA N°	4	5
M tara (g)	10.94	11.13	10.70	M tara (g)	11.22	10.95
Mt+ M.Húmeda (g)	39.35	48.56	42.57	Mt+ M.Húmeda (g)	18.57	19.68
Mt+ M. Seca (g)	33.98	41.71	36.93	Mt+ M. Seca (g)	17.39	18.27
M agua (g)	5.37	6.85	5.64	M agua (g)	1.18	1.41
M M.Seca (g)	23.04	30.58	26.23	M. Muestra Seca (g)	6.17	7.32
W(%)	23.31%	22.40%	21.50%	W(%)	19.12%	19.26%
N.GOLPES	16	23	33	Contenido de Humedad Promedio: 19.19%		

LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
22.00%	19.00%	3.00%

Figura 17. Gráfica del límite líquido de la muestra: MP

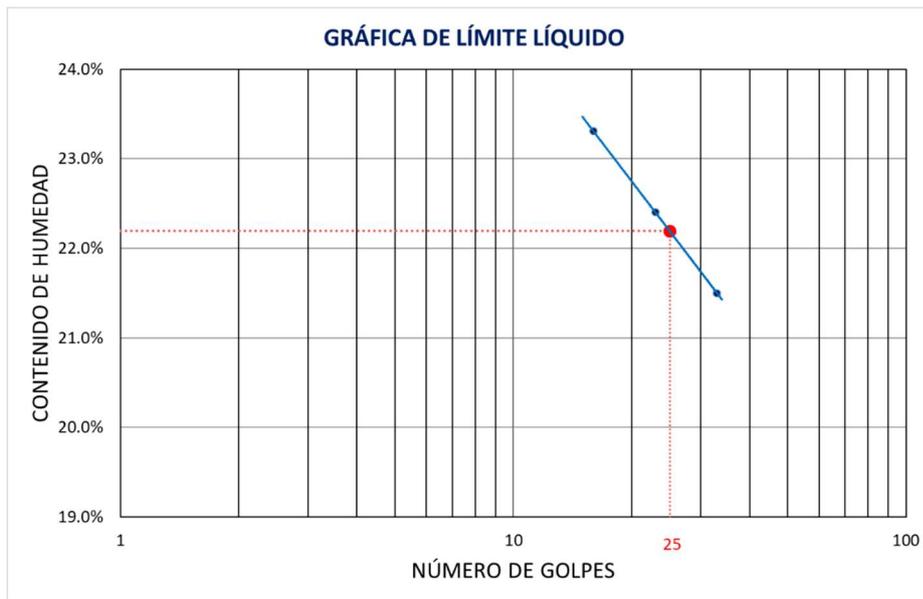


Tabla 24. Ensayo análisis granulométrico de la muestra: MP

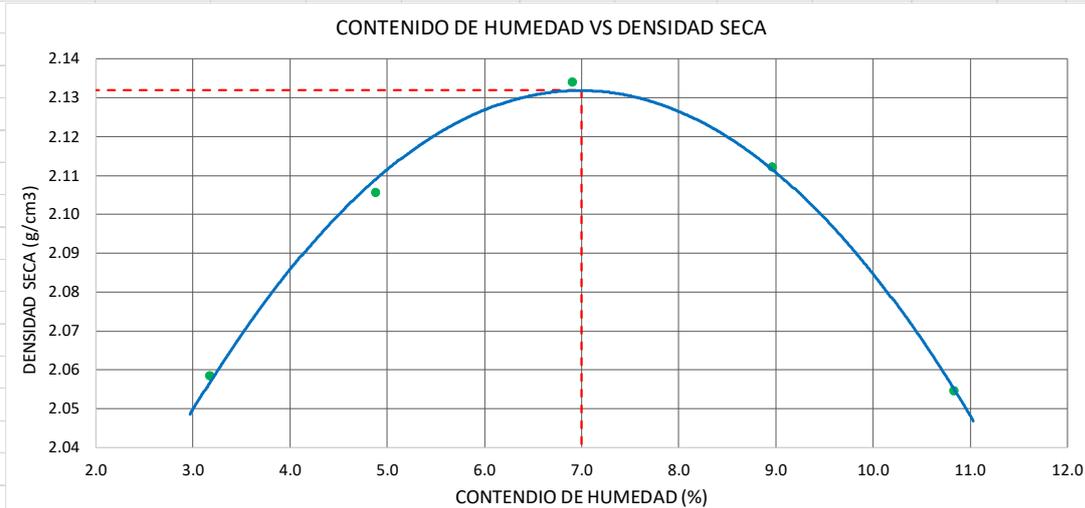
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MUESTRA : MP			PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS		% TOTAL
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)	9937.00	GRAVA (%):	57.59	100.00	
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)	4849.00	ARENA GRUESA (%):	16.71		
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)	5088.00	ARENA FINA (%):	13.52		
PESO TOTAL (<N°4) USADO EN GRANULOMETRÍA(g)	250.00	FINOS (%):	12.18		

ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA					
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	1052.00	10.59	10.59	89.41
¾"	19.05	658.00	6.62	17.21	82.79
½"	12.70	715.00	7.20	24.40	75.60
3/8"	9.52	1030.00	10.37	34.77	65.23
¼"	6.35	841.00	8.46	43.23	56.77
N°4	4.75	792.00	7.97	51.20	48.80
TOTAL	W G =	5088.00			

ANÁLISIS FRACCIÓN FINA					
CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA :					0.1952
PESO SECO FRACCIÓN FINA :					250.00
N	Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N 10	2.00	32.73	6.39	57.59	42.41
N 20	0.85	26.45	5.16	62.75	37.25
N 30	0.60	28.72	5.61	68.36	31.64
N 40	0.43	30.44	5.94	74.30	25.70
N 60	0.25	31.84	6.21	80.52	19.48
N 100	0.15	25.40	4.96	85.47	14.53
N 200	0.08	12.04	2.35	87.82	12.18
Cazoleta	--	--	--	--	--

Tabla 25. Ensayo proctor modificado de la muestra: MP

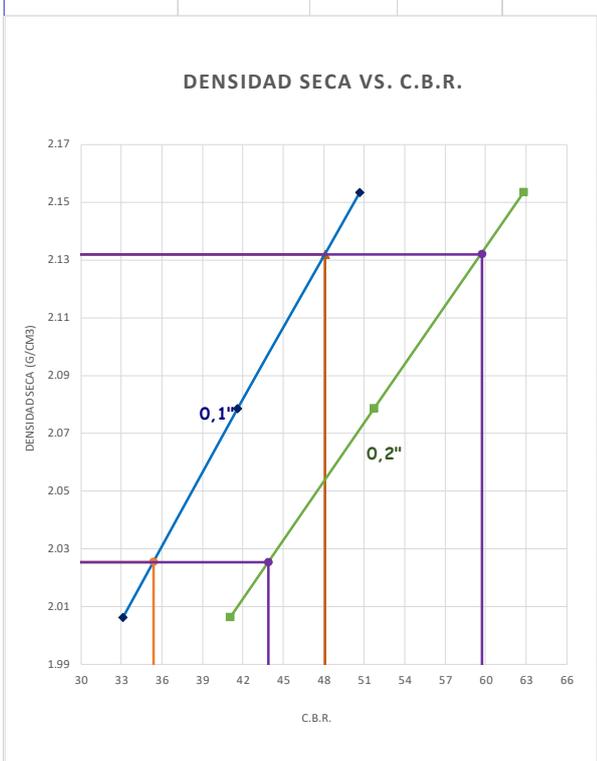
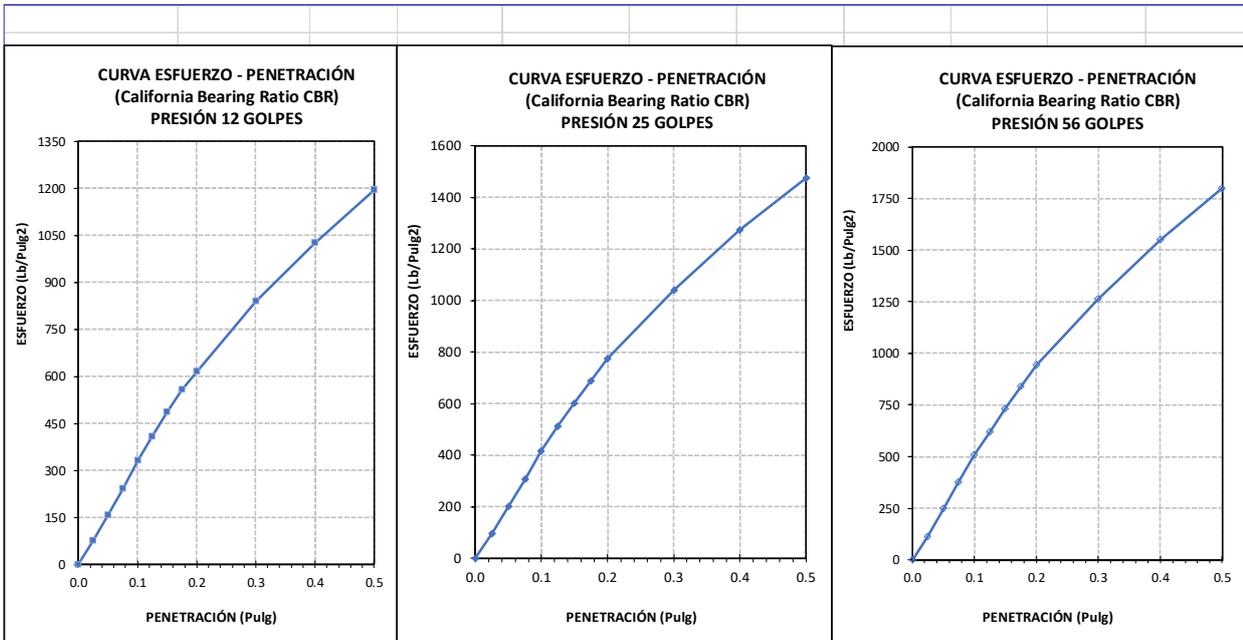
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA	MP	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7610.00	7791.00	7947.00	7990.00	7938.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4538.00	4719.00	4875.00	4918.00	4866.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.124	2.208	2.281	2.301	2.277
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	578.40	611.90	627.30	596.20	588.10
Peso Seco + Tara (g)	562.50	586.20	590.70	552.20	536.50
Peso Agua (g)	15.90	25.70	36.60	44.00	51.60
Peso Tara (g)	61.20	59.80	60.70	61.30	60.20
Peso Muestra Seca (g)	501.30	526.40	530.00	490.90	476.30
Contenido de Humedad (%)	3.17	4.88	6.91	8.96	10.83
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.058	2.105	2.134	2.112	2.054



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.132	7.00

Tabla 26. Ensayo C.B.R. de la muestra: MP

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		117.190			117.130			116.970		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9312.0		9368.0	9445.0		9503.0	9596.0		9657.0
Peso Molde (g)		4744.0		4744.0	4690.0		4690.0	4694.0		4694.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4568.0		4624.0	4755.0		4813.0	4902.0		4963.0
Volumen del Molde (cm3)		2126.51		2126.51	2139.43		2139.43	2128.10		2128.10
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.148		2.174	2.223		2.250	2.303		2.332
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		681.40		705.70	659.90		672.50	694.30		716.70
Peso Seco + Tara (g)		641.40		657.50	621.80		627.70	654.10		668.40
Peso Agua (g)		40.00		48.20	38.10		44.80	40.20		48.30
Peso Tara (g)		75.90		76.20	72.50		73.40	77.70		75.60
Peso Muestra Seca (g)		565.50		581.30	549.30		554.30	576.40		592.80
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		7.07%		8.29%	6.94%		8.08%	6.97%		8.15%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.006		2.008	2.078		2.081	2.153		2.156
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	103.7	5.28	75.47	134.6	6.85	97.92	153.2	7.80	111.47
1.27	0.050	215.7	10.99	156.93	279.7	14.24	203.48	343.9	17.51	250.19
1.91	0.075	333.7	17.00	242.82	425.1	21.65	309.29	517.5	26.36	376.54
2.54	0.100	455.3	23.19	331.24	572.2	29.14	416.34	696.4	35.47	506.66
3.18	0.125	560.7	28.56	407.97	703.4	35.83	511.79	853.3	43.46	620.86
3.81	0.150	668.8	34.06	486.59	827.8	42.16	602.31	1005.4	51.21	731.50
4.45	0.175	767.3	39.08	558.27	948.5	48.31	690.11	1153.7	58.76	839.41
5.08	0.200	845.9	43.08	615.42	1066.5	54.32	775.94	1295.1	65.96	942.30
7.62	0.300	1151.8	58.66	838.04	1431.3	72.89	1041.33	1737.8	88.51	1264.36
10.16	0.400	1409.2	71.77	1025.28	1752.3	89.24	1274.91	2129.8	108.47	1549.54
12.70	0.500	1641.8	83.62	1194.53	2029.6	103.37	1476.66	2474.5	126.03	1800.36



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.132
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	7.00

(*) Valores Corregidos

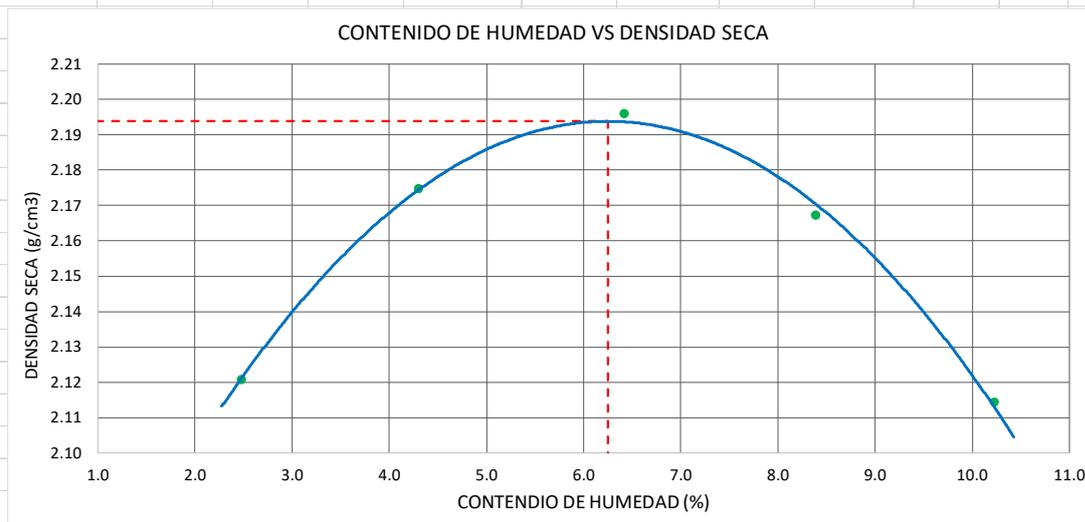
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	331.24	23.19	1000	33.12	2.006
PRESION 25 GOLPES	416.34	29.14	1000	41.63	2.078
PRESION 56 GOLPES	506.66	35.47	1000	50.67	2.153

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	615.42	43.08	1500	41.03	2.006
PRESION 25 GOLPES	775.94	54.32	1500	51.73	2.078
PRESION 56 GOLPES	942.30	65.96	1500	62.82	2.153

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	35.4%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	48.1%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	43.9%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	59.7%

Tabla 27. Ensayo proctor modificado de la muestra: D1

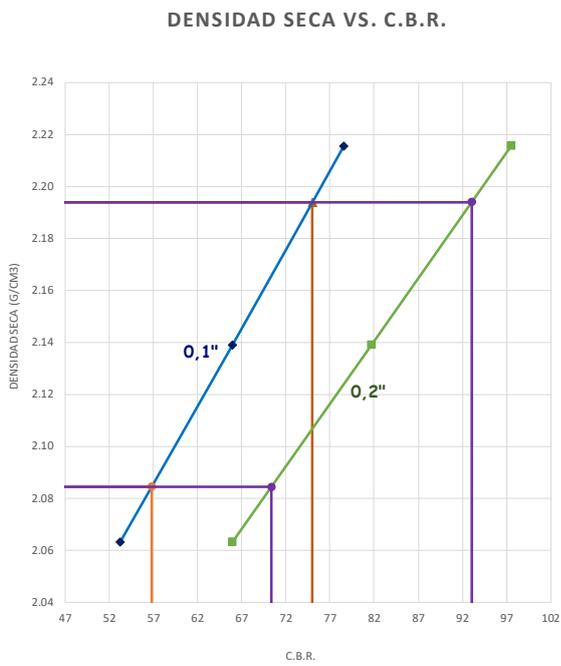
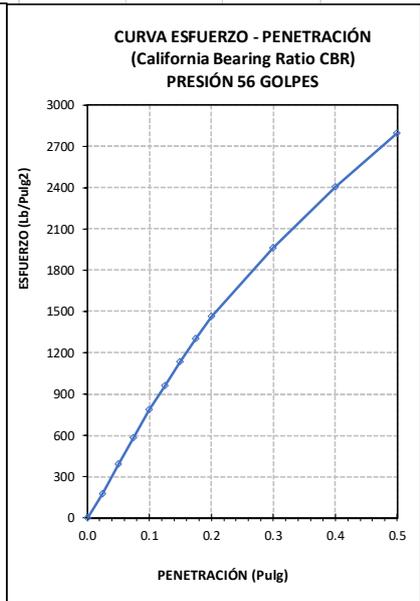
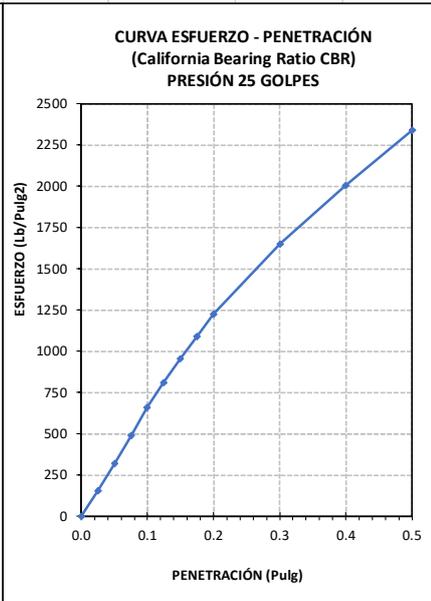
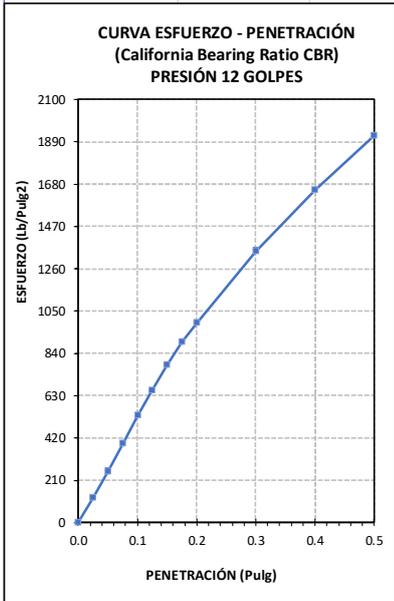
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA :	D1	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7716.00	7919.00	8066.00	8092.00	8052.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4644.00	4847.00	4994.00	5020.00	4980.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.173	2.268	2.337	2.349	2.330
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	621.50	586.30	604.70	599.40	617.10
Peso Seco + Tara (g)	607.90	564.60	571.80	557.70	565.50
Peso Agua (g)	13.60	21.70	32.90	41.70	51.60
Peso Tara (g)	58.70	60.20	59.60	60.90	61.10
Peso Muestra Seca (g)	549.20	504.40	512.20	496.80	504.40
Contenido de Humedad (%)	2.48	4.30	6.42	8.39	10.23
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.121	2.175	2.196	2.167	2.114



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.194	6.25

Tabla 28. Ensayo C.B.R. de la muestra: D1

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		116.670			116.520			116.770		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9521.0		9577.0	9545.0		9606.0	9677.0		9738.0
Peso Molde (g)		4865.0		4865.0	4724.0		4724.0	4655.0		4655.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4656.0		4712.0	4821.0		4882.0	5022.0		5083.0
Volumen del Molde (cm3)		2125.44		2125.44	2119.92		2119.92	2132.85		2132.85
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.191		2.217	2.274		2.303	2.355		2.383
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		712.30		729.70	637.10		654.50	681.80		699.20
Peso Seco + Tara (g)		675.50		685.10	603.70		614.00	646.10		656.10
Peso Agua (g)		36.80		44.60	33.40		40.50	35.70		43.10
Peso Tara (g)		80.60		78.50	74.70		75.50	77.30		76.90
Peso Muestra Seca (g)		594.90		606.60	529.00		538.50	568.80		579.20
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.19%		7.35%	6.31%		7.52%	6.28%		7.44%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.063		2.065	2.139		2.142	2.216		2.218
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm ²		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	166.8	8.49	121.34	213.2	10.86	155.11	237.6	12.10	172.90
1.27	0.050	346.8	17.66	252.32	443.0	22.56	322.33	533.4	27.16	388.05
1.91	0.075	536.6	27.33	390.42	673.4	34.30	489.94	802.7	40.88	584.03
2.54	0.100	732.0	37.28	532.57	906.5	46.17	659.51	1080.1	55.01	785.86
3.18	0.125	901.6	45.92	655.94	1114.3	56.75	810.71	1323.6	67.41	962.99
3.81	0.150	1075.3	54.77	782.36	1311.4	66.79	954.10	1559.4	79.42	1134.59
4.45	0.175	1233.7	62.83	897.61	1502.5	76.52	1093.19	1789.5	91.14	1301.96
5.08	0.200	1360.0	69.26	989.50	1684.0	85.77	1225.24	2009.7	102.35	1462.19
7.62	0.300	1852.0	94.32	1347.42	2267.2	115.47	1649.55	2695.4	137.27	1961.07
10.16	0.400	2265.8	115.39	1648.49	2759.6	140.55	2007.82	3303.3	168.24	2403.40
12.70	0.500	2639.8	134.44	1920.61	3215.0	163.74	2339.14	3838.0	195.47	2792.43



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³) :	2.194
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.25

(*) Valores Corregidos

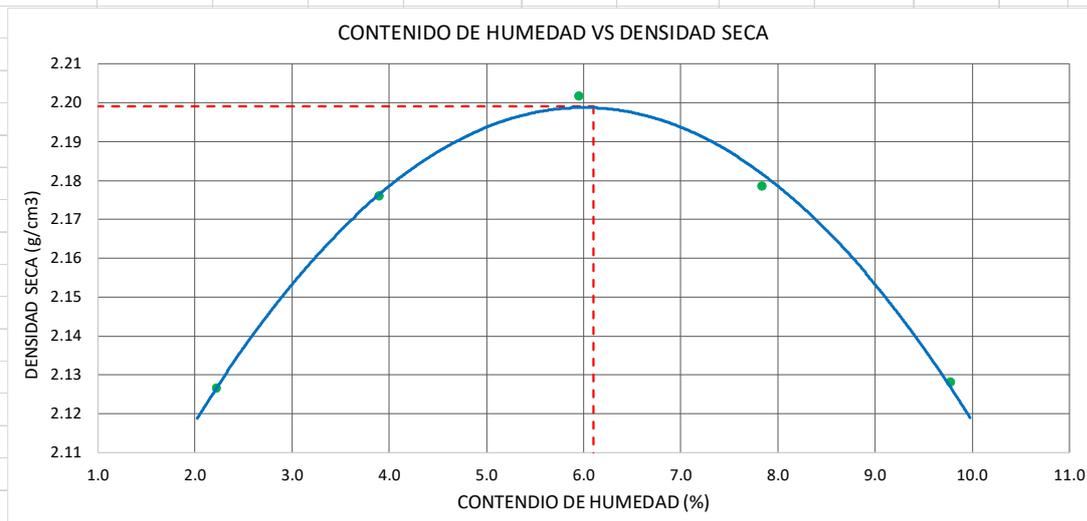
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0,1" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0,1" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	532.57	37.28	1000	53.26	2.063
PRESION 25 GOLPES	659.51	46.17	1000	65.95	2.139
PRESION 56 GOLPES	785.86	55.01	1000	78.59	2.216

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0,2" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0,2" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	989.50	69.26	1500	65.97	2.063
PRESION 25 GOLPES	1225.24	85.77	1500	81.68	2.139
PRESION 56 GOLPES	1462.19	102.35	1500	97.48	2.216

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	56.8%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	75%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	70.4%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	93.1%

Tabla 29. Ensayo proctor modificado de la muestra: D2

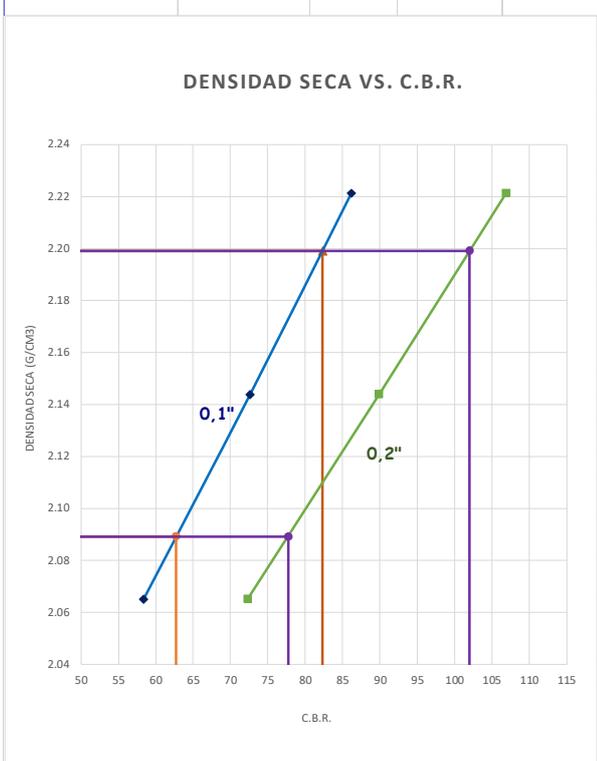
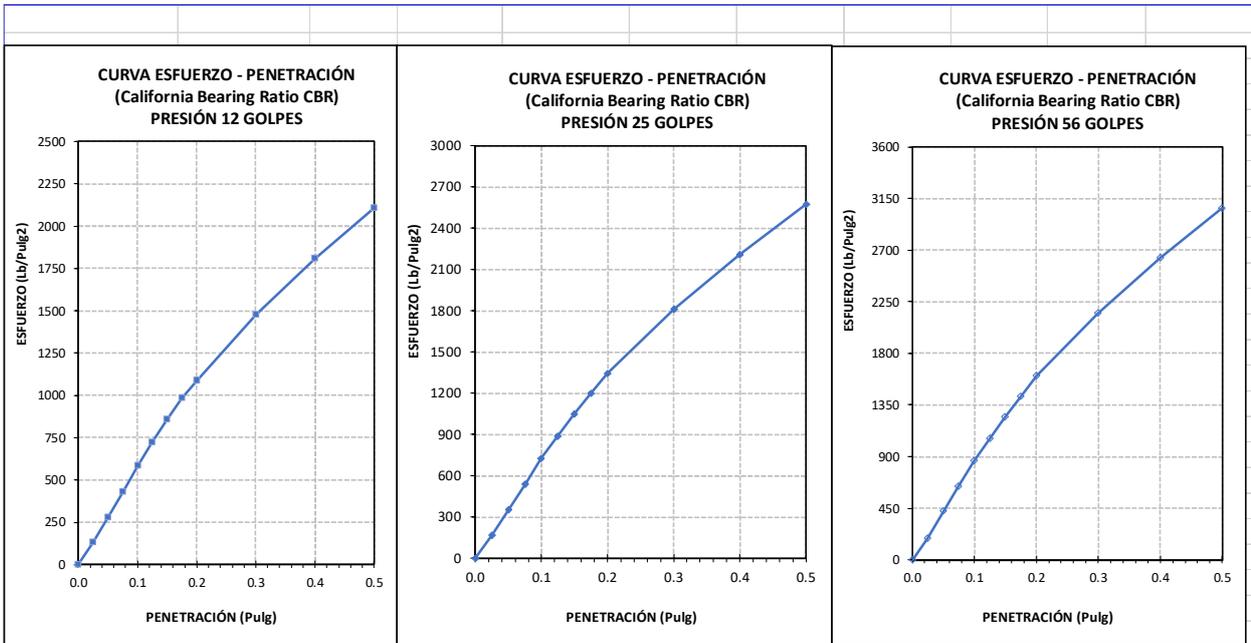
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D2	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7717.00	7903.00	8057.00	8092.00	8064.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4645.00	4831.00	4985.00	5020.00	4992.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.174	2.261	2.333	2.349	2.336
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	645.80	597.70	619.40	621.60	584.30
Peso Seco + Tara (g)	633.10	577.50	587.90	580.80	537.60
Peso Agua (g)	12.70	20.20	31.50	40.80	46.70
Peso Tara (g)	61.40	58.70	59.10	60.20	59.80
Peso Muestra Seca (g)	571.70	518.80	528.80	520.60	477.80
Contenido de Humedad (%)	2.22	3.89	5.96	7.84	9.77
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.126	2.176	2.202	2.178	2.128



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.199	6.10

Tabla 30. Ensayo C.B.R. de la muestra: D2

COMPACTACIÓN C B R												
N° Golpes por Capa		12			25			56				
Altura Molde (mm)		116.670			117.170			117.070				
N° Capas		5			5			5				
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS		
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9221.0		9277.0	9604.0		9662.0	9475.0		9535.0		
Peso Molde (g)		4579.0		4579.0	4754.0		4754.0	4473.0		4473.0		
Peso de Muestra Húmeda (g)		4642.0		4698.0	4850.0		4908.0	5002.0		5062.0		
Volumen del Molde (cm3)		2119.86		2119.86	2131.75		2131.75	2124.33		2124.33		
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.190		2.216	2.275		2.302	2.355		2.383		
CONTENIDO DE HUMEDAD												
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B		
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		734.70		752.10	768.50		784.40	715.20		698.90		
Peso Seco + Tara (g)		697.40		706.90	728.90		736.70	679.10		657.50		
Peso Agua (g)		37.30		45.20	39.60		47.70	36.10		41.40		
Peso Tara (g)		79.50		80.40	82.10		86.80	78.30		79.10		
Peso Muestra Seca (g)		617.90		626.50	646.80		649.90	600.80		578.40		
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.04%		7.21%	6.12%		7.34%	6.01%		7.16%		
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.065		2.067	2.144		2.145	2.221		2.224		
ENSAYO DE EXPANSIÓN												
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES				
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN			
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		
0	0	NO EXPANSIVO										
24	1											
48	2											
72	3											
96	4											
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN												
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5			cm			ÁREA DEL PISTÓN:		19.635		cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES				
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO			
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00		
0.64	0.025	182.8	9.31	133.02	234.6	11.95	170.71	260.7	13.28	189.66		
1.27	0.050	380.2	19.36	276.62	487.6	24.83	354.74	585.1	29.80	425.67		
1.91	0.075	588.3	29.96	428.02	741.1	37.74	539.21	880.5	44.85	640.64		
2.54	0.100	802.5	40.87	583.86	997.6	50.81	725.83	1184.8	60.34	862.03		
3.18	0.125	988.4	50.34	719.11	1226.3	62.46	892.23	1451.9	73.94	1056.33		
3.81	0.150	1178.9	60.04	857.70	1443.2	73.50	1050.04	1710.6	87.12	1244.57		
4.45	0.175	1352.5	68.88	984.05	1653.6	84.22	1203.12	1962.9	99.97	1428.17		
5.08	0.200	1491.0	75.94	1084.79	1853.4	94.39	1348.45	2204.5	112.27	1603.93		
7.62	0.300	2030.3	103.40	1477.18	2495.2	127.08	1815.42	2956.7	150.58	2151.16		
10.16	0.400	2484.0	126.51	1807.24	3037.1	154.68	2209.72	3623.6	184.55	2636.37		
12.70	0.500	2894.0	147.39	2105.57	3538.3	180.21	2574.36	4210.1	214.42	3063.11		



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.199
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.10

(*) Valores Corregidos

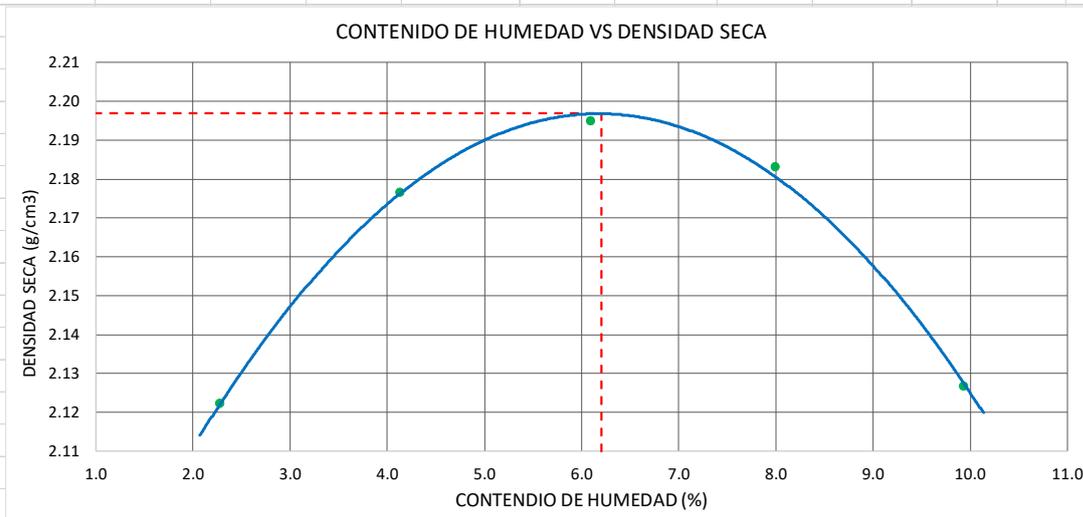
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	583.86	40.87	1000	58.39	2.065
PRESION 25 GOLPES	725.83	50.81	1000	72.58	2.144
PRESION 56 GOLPES	862.03	60.34	1000	86.20	2.221

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1084.79	75.94	1500	72.32	2.065
PRESION 25 GOLPES	1348.45	94.39	1500	89.90	2.144
PRESION 56 GOLPES	1603.93	112.27	1500	106.93	2.221

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	62.7%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	82.3%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	77.7%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	102%

Tabla 31. Ensayo proctor modificado de la muestra: D3

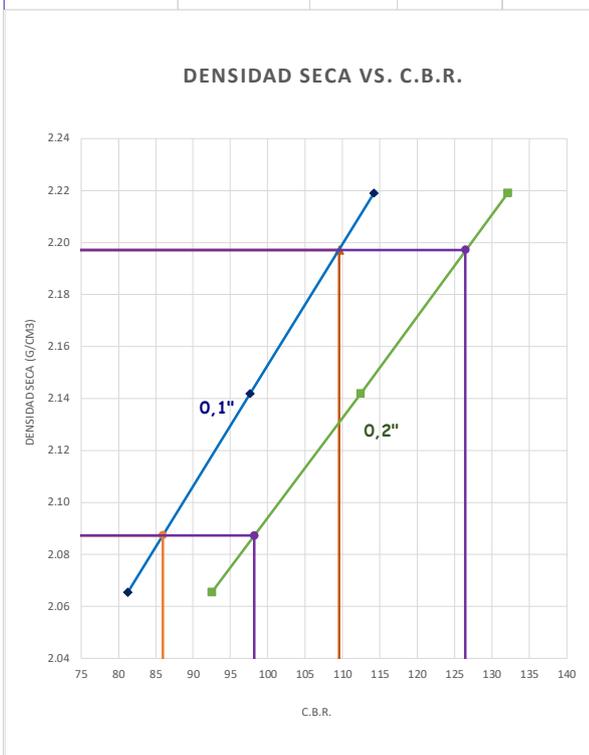
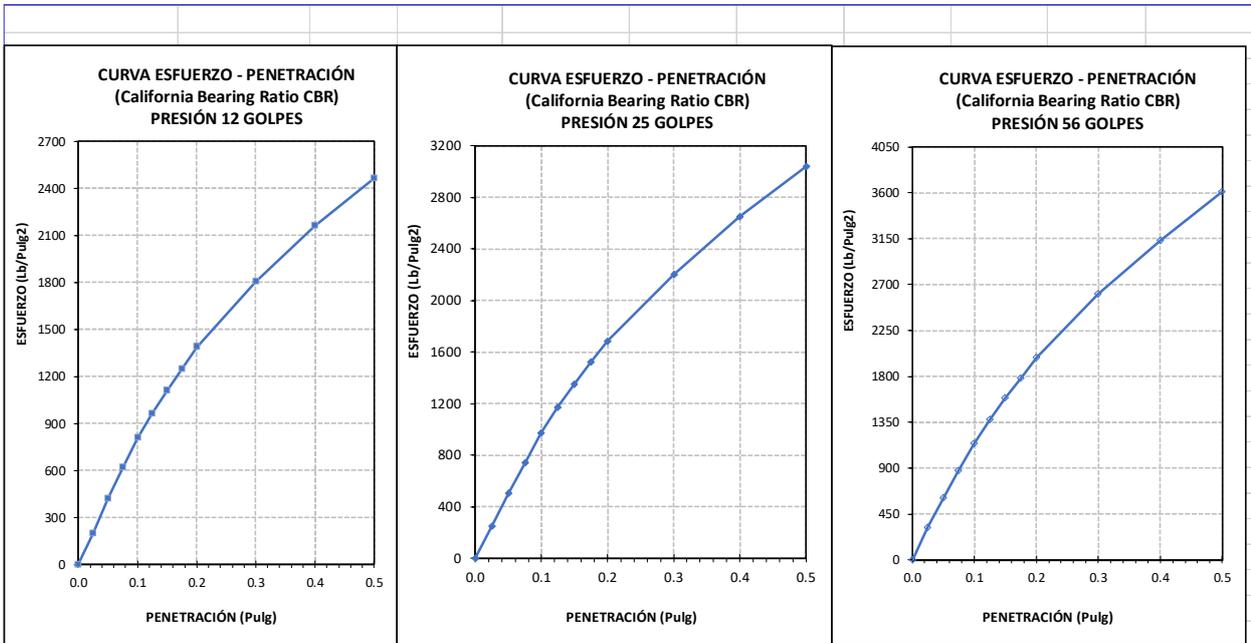
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA	D3	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7710.00	7915.00	8048.00	8110.00	8068.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4638.00	4843.00	4976.00	5038.00	4996.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.170	2.266	2.328	2.358	2.338
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	617.40	643.90	588.20	615.50	597.80
Peso Seco + Tara (g)	605.00	620.80	557.90	574.30	549.40
Peso Agua (g)	12.40	23.10	30.30	41.20	48.40
Peso Tara (g)	59.50	61.20	60.70	58.90	62.30
Peso Muestra Seca (g)	545.50	559.60	497.20	515.40	487.10
Contenido de Humedad (%)	2.27	4.13	6.09	7.99	9.94
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.122	2.176	2.195	2.183	2.127



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.197	6.20

Tabla 32. Ensayo C.B.R. de la muestra: D3

COMPACTACIÓN C B R											
N° Golpes por Capa		12			25			56			
Altura Molde (mm)		116.970			117.970			116.570			
N° Capas		5			5			5			
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9226.0		9279.0		9516.0		9576.0		9698.0	
Peso Molde (g)		4673.0		4673.0		4688.0		4688.0		4675.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)		4553.0		4606.0		4828.0		4888.0		5023.0	
Volumen del Molde (cm3)		2075.31		2075.31		2120.99		2120.99		2131.99	
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.194		2.219		2.276		2.305		2.356	
CONTENIDO DE HUMEDAD											
TARA N°		1-A		1-B		2-A		2-B		3-A	
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		683.60		708.20		725.90		741.50		711.40	
Peso Seco + Tara (g)		647.50		664.30		687.30		694.80		674.00	
Peso Agua (g)		36.10		43.90		38.60		46.70		37.40	
Peso Tara (g)		67.40		68.80		71.90		70.50		69.20	
Peso Muestra Seca (g)		580.10		595.50		615.40		624.30		604.80	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.22%		7.37%		6.27%		7.48%		6.18%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.065		2.067		2.142		2.144		2.219	
ENSAYO DE EXPANSIÓN											
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	NO EXPANSIVO									
24	1										
48	2										
72	3										
96	4										
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2			
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	
0.64	0.025	273.0	13.91	198.65	349.6	17.80	254.36	430.3	21.91	313.04	
1.27	0.050	576.6	29.37	419.55	700.0	35.65	509.30	834.1	42.48	606.87	
1.91	0.075	852.8	43.44	620.50	1027.2	52.31	747.36	1205.0	61.37	876.70	
2.54	0.100	1116.4	56.86	812.25	1342.4	68.37	976.68	1569.2	79.92	1141.73	
3.18	0.125	1326.2	67.54	964.89	1608.8	81.94	1170.51	1889.3	96.22	1374.58	
3.81	0.150	1523.3	77.58	1108.31	1858.4	94.65	1352.11	2184.9	111.28	1589.68	
4.45	0.175	1716.2	87.41	1248.68	2096.8	106.79	1525.56	2449.5	124.75	1782.21	
5.08	0.200	1907.0	97.13	1387.50	2316.8	117.99	1685.62	2724.1	138.74	1981.94	
7.62	0.300	2481.6	126.39	1805.52	3025.6	154.09	2201.32	3585.9	182.63	2608.97	
10.16	0.400	2969.7	151.24	2160.64	3647.2	185.75	2653.58	4305.8	219.30	3132.79	
12.70	0.500	3387.1	172.51	2464.37	4181.6	212.97	3042.39	4963.8	252.80	3611.47	



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³) :	2.197
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	6.20

(*) Valores Corregidos

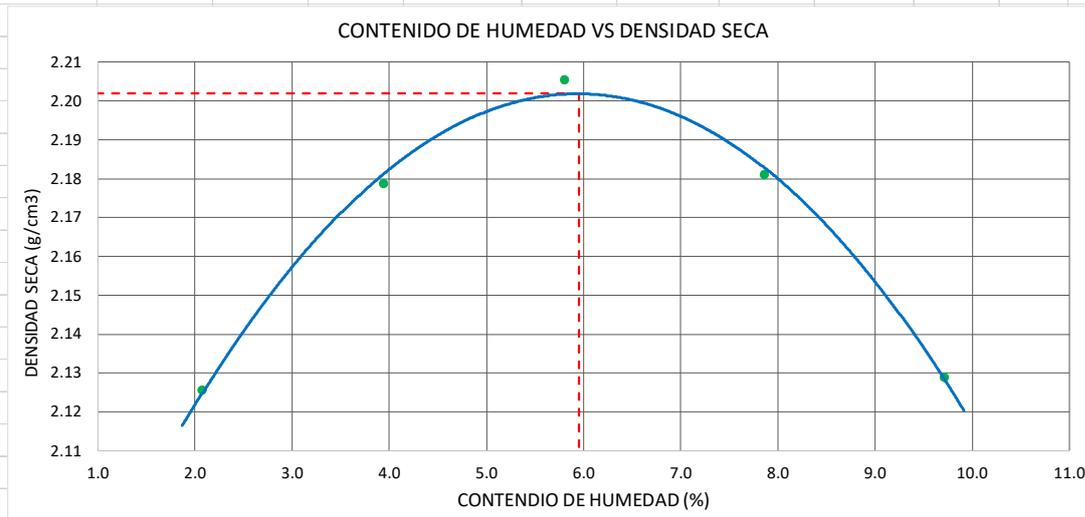
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	812.25	56.86	1000	81.23	2.065
PRESION 25 GOLPES	976.68	68.37	1000	97.67	2.142
PRESION 56 GOLPES	1141.73	79.92	1000	114.17	2.219

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1387.50	97.13	1500	92.50	2.065
PRESION 25 GOLPES	1685.62	117.99	1500	112.37	2.142
PRESION 56 GOLPES	1981.94	138.74	1500	132.13	2.219

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	85.9%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	109.5%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	98.2%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	126.5%

Tabla 33. Ensayo proctor modificado de la muestra: D4

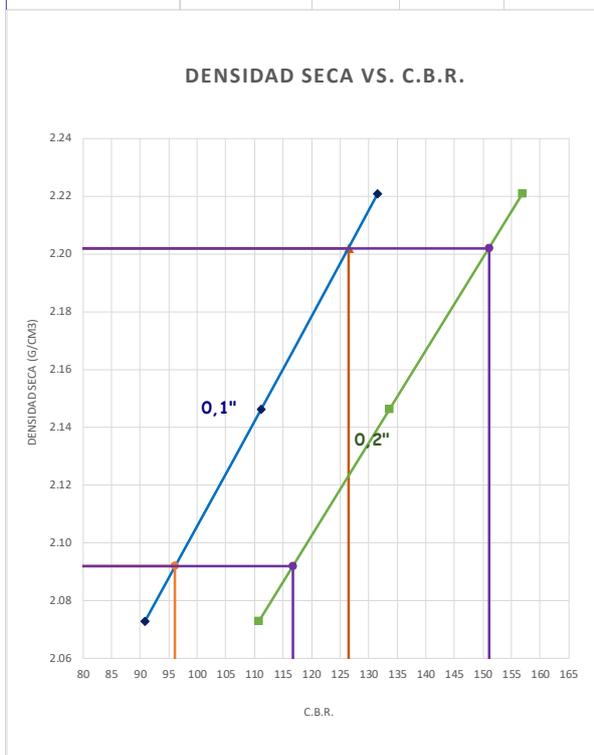
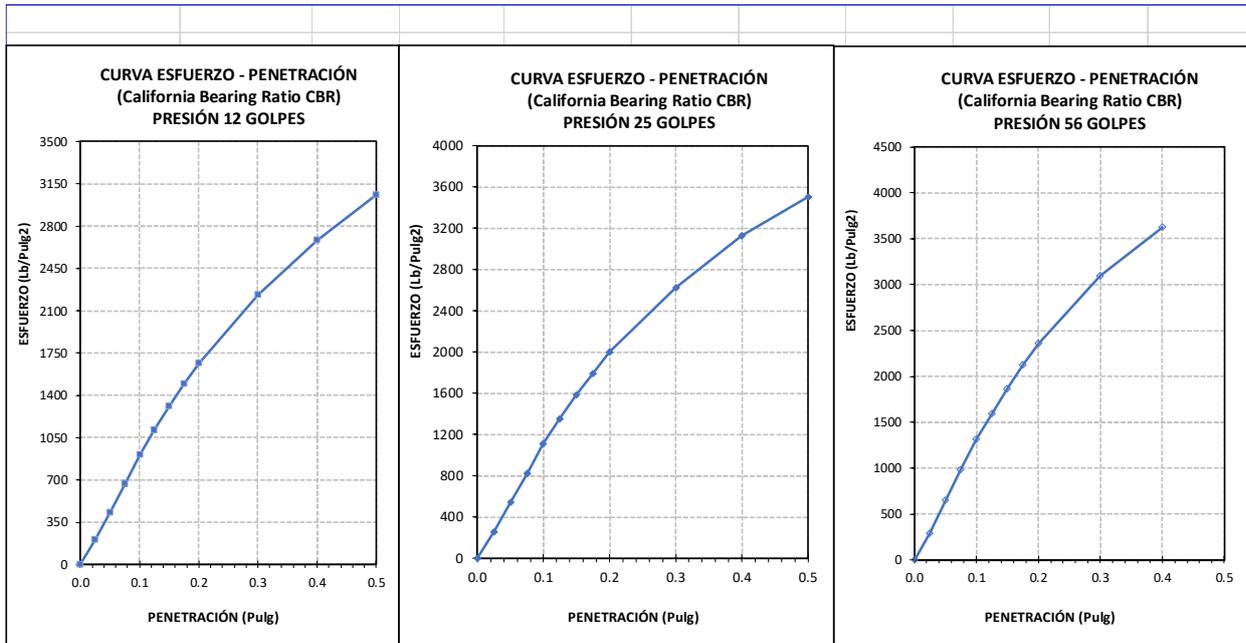
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D4	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7708.00	7911.00	8058.00	8099.00	8063.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4636.00	4839.00	4986.00	5027.00	4991.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.169	2.264	2.333	2.352	2.336
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	621.50	597.90	613.20	640.80	617.10
Peso Seco + Tara (g)	610.10	577.50	582.80	598.40	567.90
Peso Agua (g)	11.40	20.40	30.40	42.40	49.20
Peso Tara (g)	59.50	60.30	59.10	58.90	61.40
Peso Muestra Seca (g)	550.60	517.20	523.70	539.50	506.50
Contenido de Humedad (%)	2.07	3.94	5.80	7.86	9.71
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.125	2.178	2.205	2.181	2.129



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.202	5.95

Tabla 34. Ensayo C.B.R. de la muestra: D4

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		117.190			117.130			116.970		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9417.0		9478.0	9552.0		9608.0	9700.0		9762.0
Peso Molde (g)		4744.0		4744.0	4690.0		4690.0	4694.0		4694.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4673.0		4734.0	4862.0		4918.0	5006.0		5068.0
Volumen del Molde (cm ³)		2126.51		2126.51	2139.43		2139.43	2128.10		2128.10
Densidad Húmeda (g/cm ³)		2.197		2.226	2.273		2.299	2.352		2.381
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		714.70		731.50	732.30		750.80	688.10		705.60
Peso Seco + Tara (g)		678.20		687.10	695.90		706.50	653.80		663.50
Peso Agua (g)		36.50		44.40	36.40		44.30	34.30		42.10
Peso Tara (g)		71.30		73.50	77.10		76.40	74.50		75.10
Peso Muestra Seca (g)		606.90		613.60	618.80		630.10	579.30		588.40
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		6.01%		7.24%	5.88%		7.03%	5.92%		7.15%
DENSIDAD SECA (g/cm ³)		2.073		2.076	2.146		2.148	2.221		2.222
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm ²		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		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	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	284.3	14.48	206.84	359.6	18.31	261.61	397.7	20.26	289.37
1.27	0.050	591.2	30.11	430.12	747.2	38.05	543.64	892.6	45.46	649.45
1.91	0.075	914.7	46.59	665.52	1135.7	57.84	826.33	1343.4	68.42	977.44
2.54	0.100	1247.8	63.55	907.85	1528.8	77.86	1112.32	1807.7	92.07	1315.22
3.18	0.125	1530.9	77.97	1113.82	1857.6	94.61	1351.52	2185.2	111.29	1589.90
3.81	0.150	1802.1	91.78	1311.14	2175.5	110.80	1582.81	2557.5	130.25	1860.78
4.45	0.175	2055.5	104.68	1495.48	2468.0	125.70	1795.66	2912.6	148.34	2119.14
5.08	0.200	2282.7	116.25	1660.78	2754.2	140.27	2003.89	3234.9	164.75	2353.58
7.62	0.300	3061.8	155.93	2227.64	3606.5	183.68	2623.96	4249.4	216.42	3091.69
10.16	0.400	3683.9	187.62	2680.26	4300.3	219.01	3128.72	4980.6	253.66	3623.71
12.70	0.500	4202.5	214.03	3057.60	4815.6	245.26	3503.67			



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.202
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	5.95

(*) Valores Corregidos

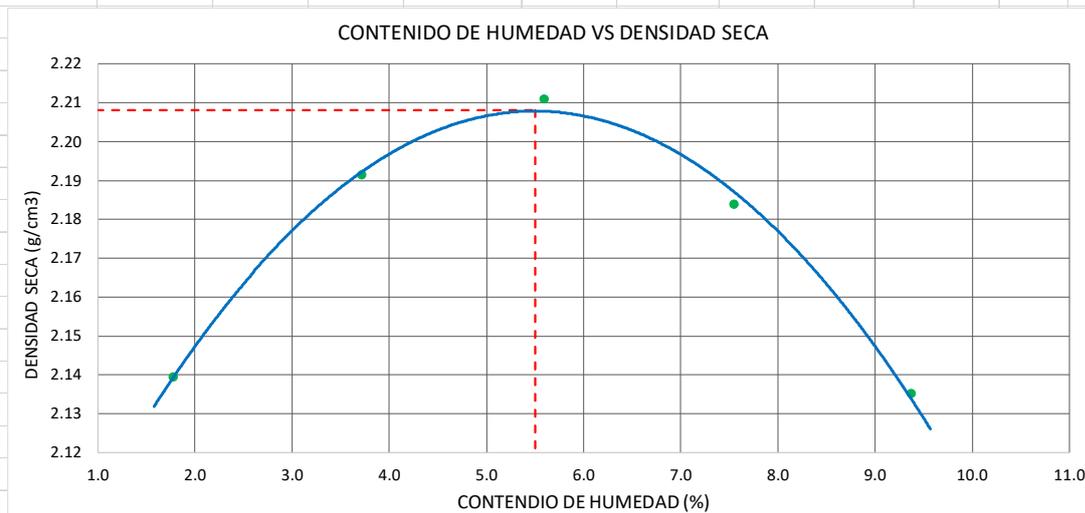
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	907.85	63.55	1000	90.78	2.073
PRESION 25 GOLPES	1112.32	77.86	1000	111.23	2.146
PRESION 56 GOLPES	1315.22	92.07	1000	131.52	2.221

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1660.78	116.25	1500	110.72	2.073
PRESION 25 GOLPES	2003.89	140.27	1500	133.59	2.146
PRESION 56 GOLPES	2353.58	164.75	1500	156.91	2.221

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	96.1%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	126.4%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	116.7%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	151%

Tabla 35. Ensayo proctor modificado de la muestra: D5

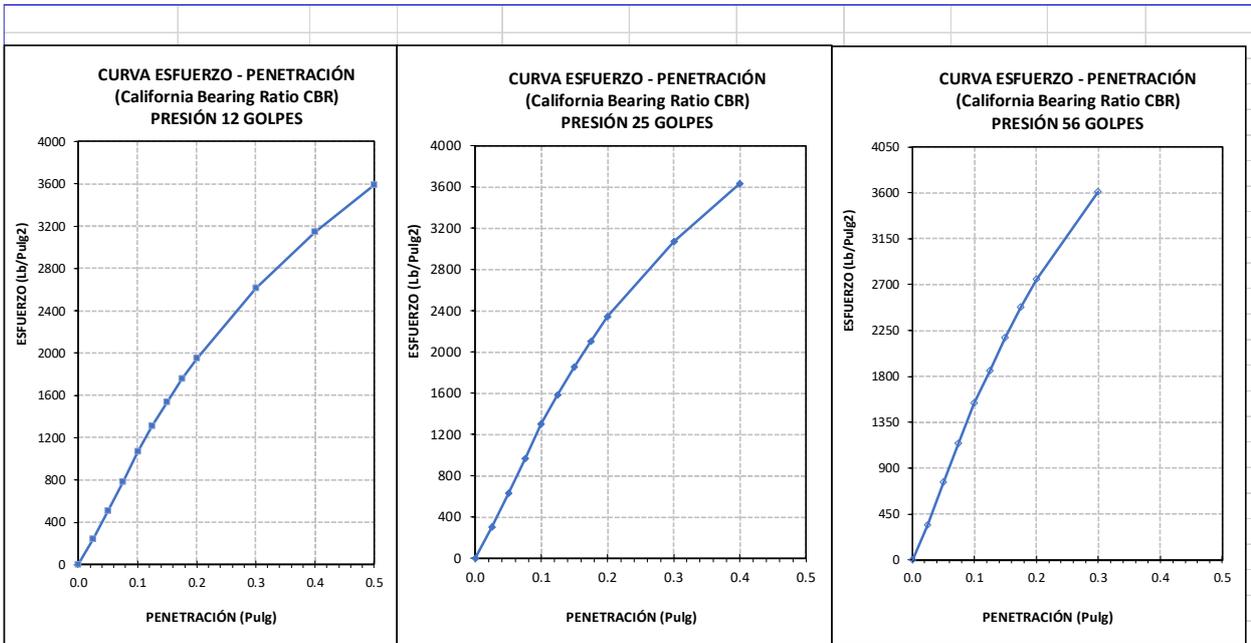
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D5	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7725.00	7929.00	8061.00	8091.00	8062.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4653.00	4857.00	4989.00	5019.00	4990.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.177	2.273	2.335	2.349	2.335
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	645.70	612.10	637.80	640.50	595.20
Peso Seco + Tara (g)	635.50	592.40	607.10	599.70	549.40
Peso Agua (g)	10.20	19.70	30.70	40.80	45.80
Peso Tara (g)	61.30	62.50	58.70	59.10	60.60
Peso Muestra Seca (g)	574.20	529.90	548.40	540.60	488.80
Contenido de Humedad (%)	1.78	3.72	5.60	7.55	9.37
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.139	2.191	2.211	2.184	2.135



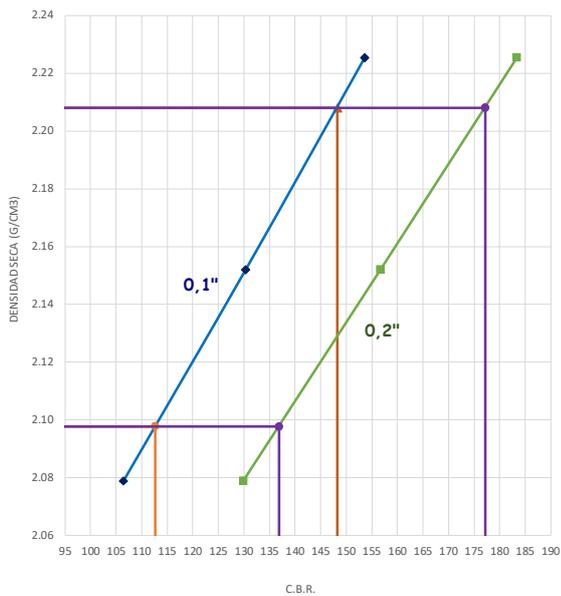
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.208	5.50

Tabla 36. Ensayo C.B.R. de la muestra: D5

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		116.670			116.520			116.770		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9523.0		9577.0	9539.0		9597.0	9661.0		9719.0
Peso Molde (g)		4865.0		4865.0	4724.0		4724.0	4655.0		4655.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4658.0		4712.0	4815.0		4873.0	5006.0		5064.0
Volumen del Molde (cm3)		2125.44		2125.44	2119.92		2119.92	2132.85		2132.85
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.192		2.217	2.271		2.299	2.347		2.374
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		648.70		661.30	675.00		689.50	621.80		642.30
Peso Seco + Tara (g)		619.20		625.30	643.60		650.90	593.30		606.90
Peso Agua (g)		29.50		36.00	31.40		38.60	28.50		35.40
Peso Tara (g)		75.80		77.20	78.10		76.50	72.60		74.10
Peso Muestra Seca (g)		543.40		548.10	565.50		574.40	520.70		532.80
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		5.43%		6.57%	5.55%		6.72%	5.47%		6.64%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.079		2.080	2.152		2.154	2.225		2.226
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:				19.635 cm ²	
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	333.5	16.99	242.68	421.6	21.47	306.75	464.7	23.67	338.10
1.27	0.050	693.6	35.33	504.65	876.2	44.62	637.46	1043.0	53.12	758.82
1.91	0.075	1073.2	54.66	780.84	1331.7	67.83	968.93	1569.7	79.94	1142.04
2.54	0.100	1464.0	74.56	1065.14	1792.7	91.30	1304.27	2112.1	107.57	1536.71
3.18	0.125	1796.1	91.48	1306.81	2178.2	110.93	1584.76	2553.2	130.04	1857.65
3.81	0.150	2114.3	107.68	1538.32	2550.9	129.92	1855.96	2988.2	152.19	2174.14
4.45	0.175	2411.6	122.82	1754.59	2894.0	147.39	2105.54	3403.2	173.32	2476.02
5.08	0.200	2678.2	136.40	1948.53	3229.5	164.48	2349.70	3779.6	192.50	2749.93
7.62	0.300	3592.3	182.95	2613.61	4228.9	215.38	3076.79	4965.0	252.86	3612.34
10.16	0.400	4322.2	220.13	3144.66	4995.4	254.41	3634.48			
12.70	0.500	4930.7	251.12	3587.37						



DENSIDAD SECA VS. C.B.R.



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.208
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	5.50

(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1065.14	74.56	1000	106.51	2.079
PRESION 25 GOLPES	1304.27	91.30	1000	130.43	2.152
PRESION 56 GOLPES	1536.71	107.57	1000	153.67	2.225

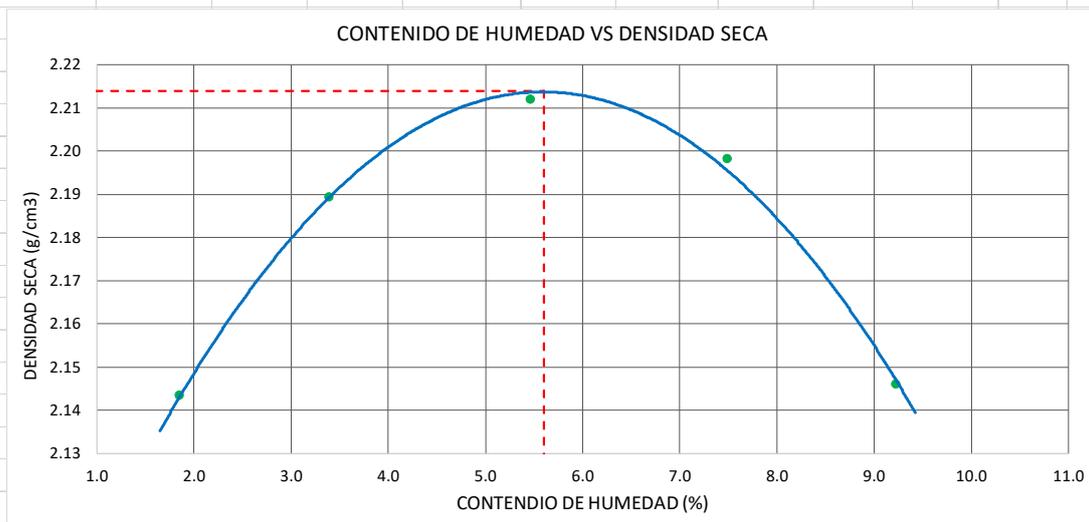
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1948.53	136.40	1500	129.90	2.079
PRESION 25 GOLPES	2349.70	164.48	1500	156.65	2.152
PRESION 56 GOLPES	2749.93	192.50	1500	183.33	2.225

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.

C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	112.7%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	148.2%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	136.8%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	177.1%

Tabla 37. Ensayo proctor modificado de la muestra: D6

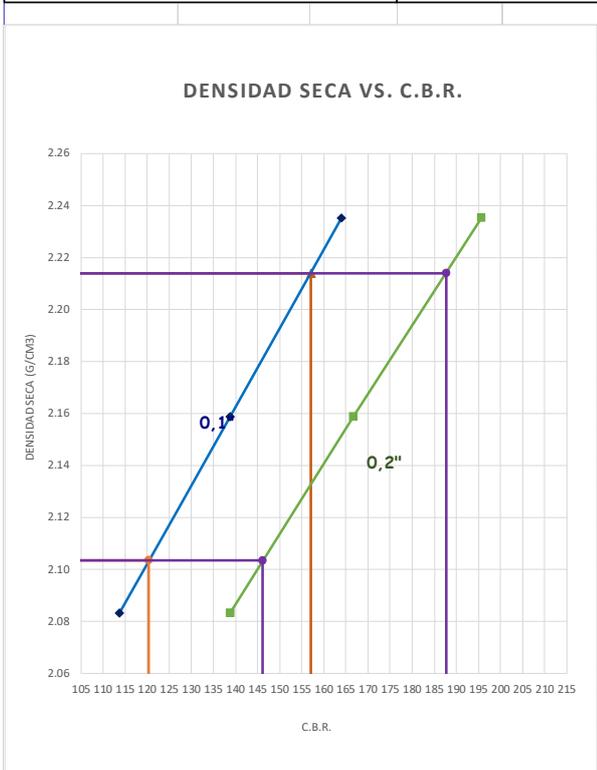
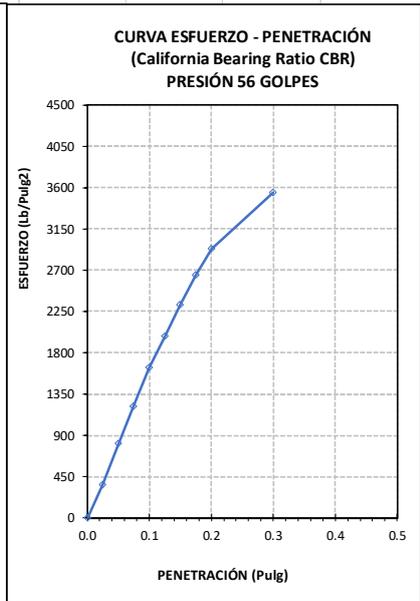
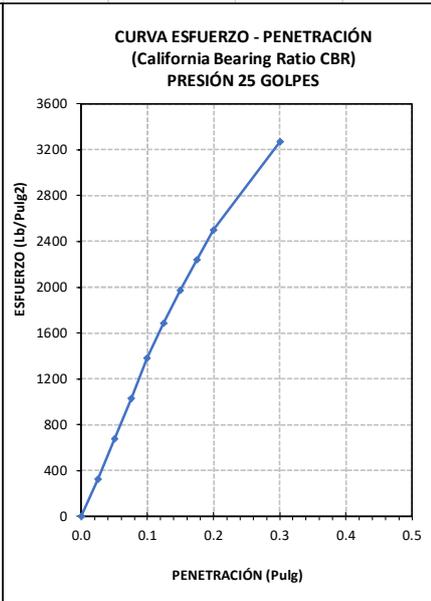
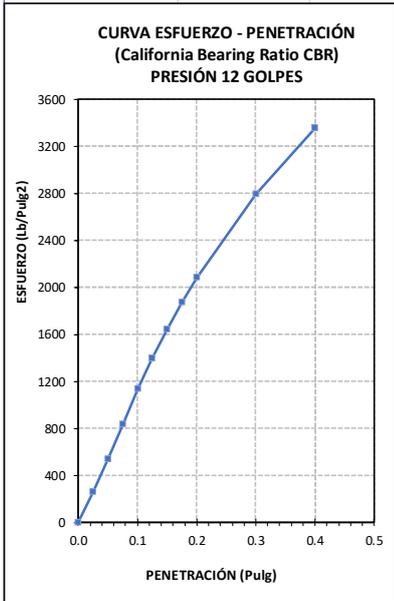
MÉTODO DE ENSAYO	"C"		MUESTRA:	D6	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA						
ENSAYO	1	2	3	4	5	
N° de Capas	5	5	5	5	5	
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56	
Peso Húmedo+ Molde (g)	7737.00	7909.00	8057.00	8121.00	8081.00	
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	
Peso Húmedo (g)	4665.00	4837.00	4985.00	5049.00	5009.00	
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.183	2.263	2.333	2.363	2.344	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
ENSAYO	1	2	3	4	5	
Peso Húmedo + Tara (g)	576.20	622.80	595.70	630.40	637.90	
Peso Seco + Tara (g)	566.80	604.40	567.90	590.70	589.20	
Peso Agua (g)	9.40	18.40	27.80	39.70	48.70	
Peso Tara (g)	58.40	61.70	59.10	60.50	61.20	
Peso Muestra Seca (g)	508.40	542.70	508.80	530.20	528.00	
Contenido de Humedad (%)	1.85	3.39	5.46	7.49	9.22	
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.143	2.189	2.212	2.198	2.146	



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.214	5.60

Tabla 38. Ensayo C.B.R. de la muestra: D6

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		116.670			117.170			117.070		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9244.0		9302.0	9612.0		9670.0	9484.0		9543.0
Peso Molde (g)		4579.0		4579.0	4754.0		4754.0	4473.0		4473.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4665.0		4723.0	4858.0		4916.0	5011.0		5070.0
Volumen del Molde (cm3)		2119.86		2119.86	2131.75		2131.75	2124.33		2124.33
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.201		2.228	2.279		2.306	2.359		2.387
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		654.10		670.40	671.50		692.80	659.70		681.40
Peso Seco + Tara (g)		623.20		632.20	639.80		653.50	629.20		643.70
Peso Agua (g)		30.90		38.20	31.70		39.30	30.50		37.70
Peso Tara (g)		74.80		75.90	71.40		71.20	78.70		79.20
Peso Muestra Seca (g)		548.40		556.30	568.40		582.30	550.50		564.50
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		5.63%		6.87%	5.58%		6.75%	5.54%		6.68%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.083		2.085	2.158		2.160	2.235		2.237
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	356.1	18.14	259.09	448.6	22.85	326.39	496.0	25.26	360.91
1.27	0.050	740.5	37.71	538.78	932.3	47.48	678.27	1113.3	56.70	810.01
1.91	0.075	1145.8	58.36	833.65	1417.0	72.17	1030.97	1675.6	85.34	1219.08
2.54	0.100	1563.0	79.60	1137.19	1907.4	97.15	1387.79	2254.6	114.83	1640.36
3.18	0.125	1917.6	97.66	1395.20	2317.6	118.04	1686.23	2725.5	138.81	1982.95
3.81	0.150	2257.4	114.97	1642.37	2714.3	138.24	1974.80	3189.8	162.46	2320.79
4.45	0.175	2574.7	131.13	1873.28	3079.3	156.82	2240.36	3632.7	185.01	2643.03
5.08	0.200	2859.3	145.62	2080.34	3436.3	175.01	2500.15	4034.6	205.48	2935.42
7.62	0.300	3835.3	195.33	2790.40	4499.7	229.17	3273.80	4865.3	247.79	3539.82
10.16	0.400	4614.5	235.02	3357.37						
12.70	0.500									



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm ³) :	2.214
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	5.60

(*) Valores Corregidos

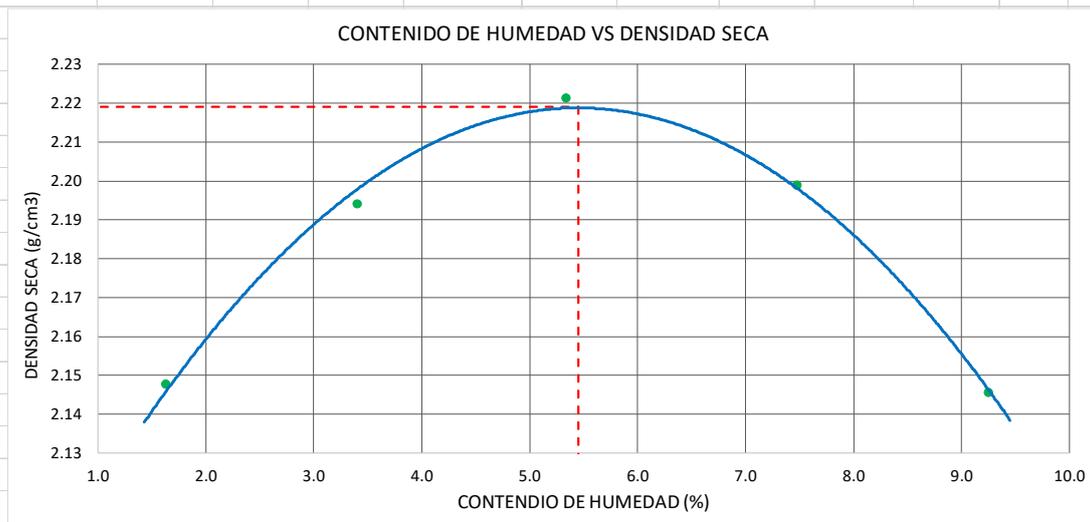
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	1137.19	79.60	1000	113.72	2.083
PRESION 25 GOLPES	1387.79	97.15	1000	138.78	2.158
PRESION 56 GOLPES	1640.36	114.83	1000	164.04	2.235

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg ²)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)
PRESION 12 GOLPES	2080.34	145.62	1500	138.69	2.083
PRESION 25 GOLPES	2500.15	175.01	1500	166.68	2.158
PRESION 56 GOLPES	2935.42	205.48	1500	195.69	2.235

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	120.4%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	157.1%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	146.2%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	187.7%

Tabla 39. Ensayo proctor modificado de la muestra: D7

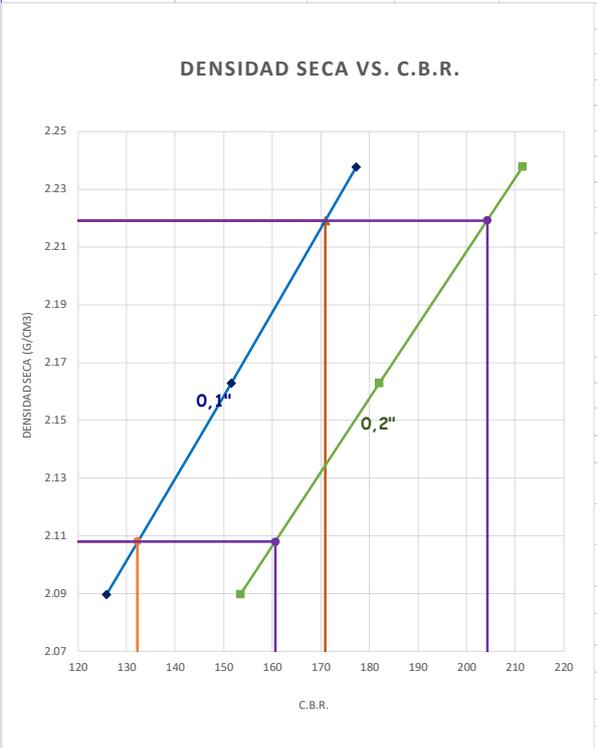
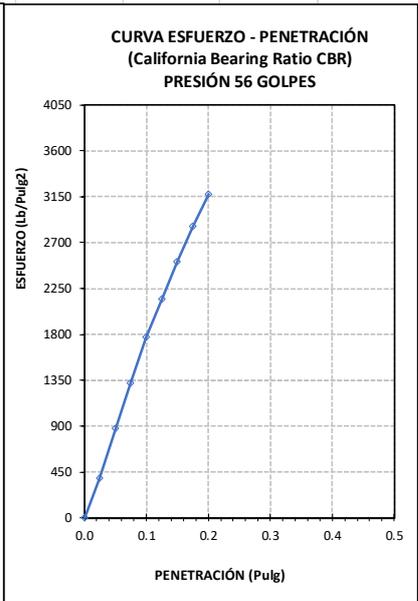
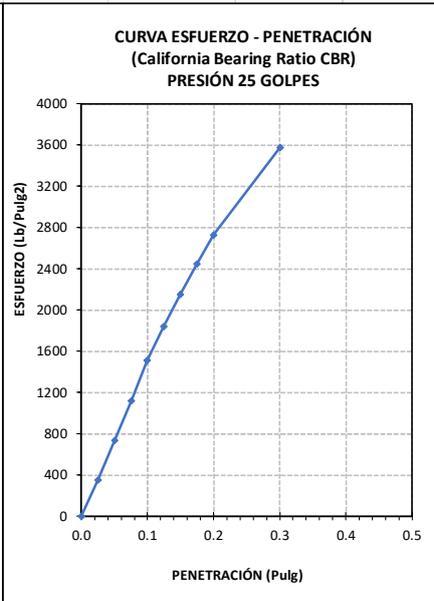
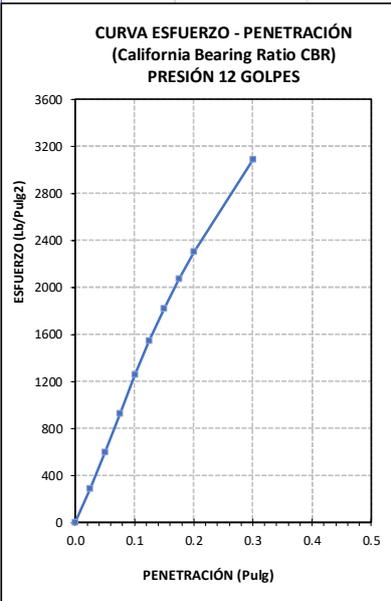
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D7	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7736.00	7920.00	8072.00	8122.00	8081.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4664.00	4848.00	5000.00	5050.00	5009.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.182	2.269	2.340	2.363	2.344
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	572.80	615.40	598.60	624.10	606.40
Peso Seco + Tara (g)	564.60	597.10	571.20	584.90	560.30
Peso Agua (g)	8.20	18.30	27.40	39.20	46.10
Peso Tara (g)	61.80	59.50	58.20	60.70	62.10
Peso Muestra Seca (g)	502.80	537.60	513.00	524.20	498.20
Contenido de Humedad (%)	1.63	3.40	5.34	7.48	9.25
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.147	2.194	2.221	2.199	2.145



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.219	5.45

Tabla 40. Ensayo C.B.R. de la muestra: D7

COMPACTACIÓN C B R											
N° Golpes por Capa		12			25			56			
Altura Molde (mm)		116.970			117.970			116.570			
N° Capas		5			5			5			
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9249.0		9309.0	9524.0		9586.0	9702.0		9763.0	
Peso Molde (g)		4673.0		4673.0	4688.0		4688.0	4675.0		4675.0	
Peso de Muestra Húmeda (g)		4576.0		4636.0	4836.0		4898.0	5027.0		5088.0	
Volumen del Molde (cm3)		2075.31		2075.31	2120.99		2120.99	2131.99		2131.99	
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.205		2.234	2.280		2.309	2.358		2.387	
CONTENIDO DE HUMEDAD											
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B	
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		644.70		661.40	689.50		702.10	658.90		673.50	
Peso Seco + Tara (g)		614.80		624.40	658.10		663.20	628.90		636.70	
Peso Agua (g)		29.90		37.00	31.40		38.90	30.00		36.80	
Peso Tara (g)		72.60		75.10	78.50		77.80	70.40		72.90	
Peso Muestra Seca (g)		542.20		549.30	579.60		585.40	558.50		563.80	
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		5.51%		6.74%	5.42%		6.65%	5.37%		6.53%	
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.090		2.093	2.163		2.165	2.238		2.240	
ENSAYO DE EXPANSIÓN											
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	NO EXPANSIVO									
24	1										
48	2										
72	3										
96	4										
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN											
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5			cm			ÁREA DEL PISTÓN:		19.635	cm2
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES			
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	
0.64	0.025	394.1	20.07	286.72	490.1	24.96	356.58	536.2	27.31	390.12	
1.27	0.050	819.5	41.74	596.24	1018.5	51.87	741.00	1203.4	61.29	875.58	
1.91	0.075	1268.0	64.58	922.56	1548.1	78.84	1126.32	1811.2	92.24	1317.76	
2.54	0.100	1729.7	88.09	1258.47	2083.8	106.13	1516.13	2437.1	124.12	1773.15	
3.18	0.125	2122.1	108.08	1543.99	2532.0	128.95	1842.17	2946.1	150.04	2143.47	
3.81	0.150	2498.1	127.23	1817.52	2965.3	151.02	2157.43	3448.0	175.61	2508.66	
4.45	0.175	2849.3	145.11	2073.05	3364.0	171.33	2447.54	3926.8	199.99	2856.99	
5.08	0.200	3164.2	161.15	2302.19	3754.1	191.20	2731.36	4361.2	222.11	3173.05	
7.62	0.300	4244.3	216.16	3087.98	4915.8	250.36	3576.55				
10.16	0.400										
12.70	0.500										



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.219
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	5.45

(*) Valores Corregidos

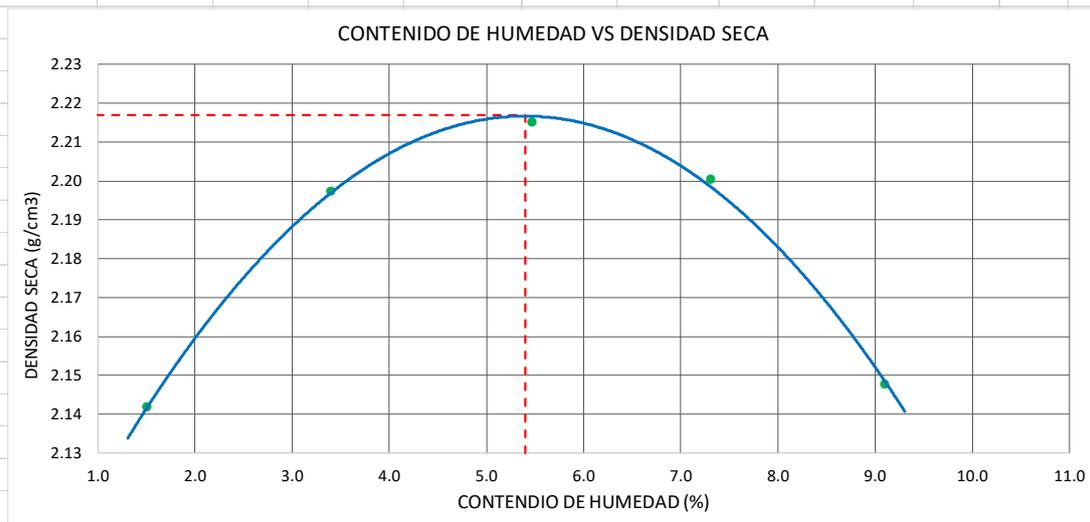
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0,1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0,1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1258.47	88.09	1000	125.85	2.090
PRESION 25 GOLPES	1516.13	106.13	1000	151.61	2.163
PRESION 56 GOLPES	1773.15	124.12	1000	177.32	2.238

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0,2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0,2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2302.19	161.15	1500	153.48	2.090
PRESION 25 GOLPES	2731.36	191.20	1500	182.09	2.163
PRESION 56 GOLPES	3173.05	222.11	1500	211.54	2.238

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	132.3%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	170.9%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	160.6%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	204.2%

Tabla 41. Ensayo proctor modificado de la muestra: D8

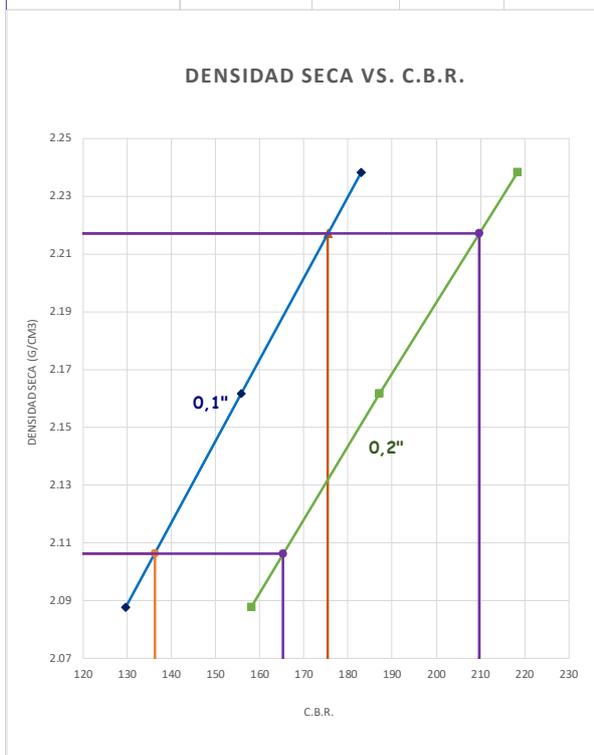
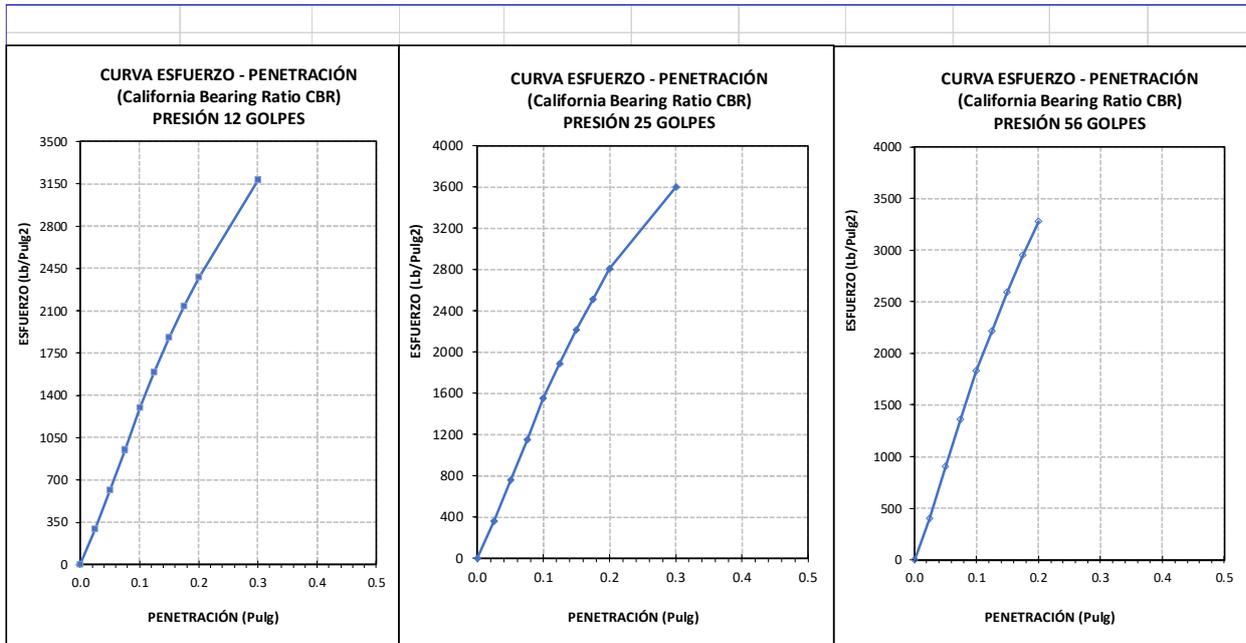
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D8	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7718.00	7927.00	8064.00	8118.00	8079.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4646.00	4855.00	4992.00	5046.00	5007.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.174	2.272	2.336	2.361	2.343
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	624.70	591.50	647.30	628.20	613.80
Peso Seco + Tara (g)	616.30	574.10	616.80	589.50	567.70
Peso Agua (g)	8.40	17.40	30.50	38.70	46.10
Peso Tara (g)	59.40	61.70	58.90	60.20	61.30
Peso Muestra Seca (g)	556.90	512.40	557.90	529.30	506.40
Contenido de Humedad (%)	1.51	3.40	5.47	7.31	9.10
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.142	2.197	2.215	2.200	2.148



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.217	5.40

Tabla 42. Ensayo C.B.R. de la muestra: D8

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		117.190			117.130			116.970		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9422.0		9476.0	9569.0		9676.0	9716.0		9773.0
Peso Molde (g)		4744.0		4744.0	4690.0		4690.0	4694.0		4694.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4678.0		4732.0	4879.0		4986.0	5022.0		5079.0
Volumen del Molde (cm3)		2126.51		2126.51	2139.43		2139.43	2128.10		2128.10
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.200		2.225	2.281		2.331	2.360		2.387
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		647.50		664.50	685.90		712.70	670.60		689.10
Peso Seco + Tara (g)		618.20		628.40	654.10		667.50	639.90		651.10
Peso Agua (g)		29.30		36.10	31.80		45.20	30.70		38.00
Peso Tara (g)		72.70		71.70	75.20		77.60	74.80		72.30
Peso Muestra Seca (g)		545.50		556.70	578.90		589.90	565.10		578.80
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		5.37%		6.48%	5.49%		7.66%	5.43%		6.57%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.088		2.090	2.162		2.165	2.238		2.240
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	406.0	20.68	295.38	503.7	25.65	366.48	553.4	28.19	402.66
1.27	0.050	844.3	43.00	614.25	1046.8	53.31	761.59	1242.1	63.26	903.72
1.91	0.075	1306.3	66.53	950.42	1591.1	81.03	1157.61	1869.4	95.21	1360.12
2.54	0.100	1781.9	90.75	1296.48	2141.7	109.08	1558.25	2515.4	128.11	1830.15
3.18	0.125	2186.2	111.34	1590.62	2602.3	132.53	1893.35	3040.8	154.87	2212.38
3.81	0.150	2573.5	131.07	1872.41	3047.7	155.22	2217.37	3558.9	181.25	2589.31
4.45	0.175	2935.4	149.50	2135.66	3457.5	176.09	2515.54	4053.0	206.42	2948.83
5.08	0.200	3259.8	166.02	2371.72	3858.4	196.51	2807.25	4501.4	229.25	3275.05
7.62	0.300	4372.5	222.69	3181.25	4952.4	252.22	3603.20			
10.16	0.400									
12.70	0.500									



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3)	:	2.217
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%)	:	5.40

(*) Valores Corregidos

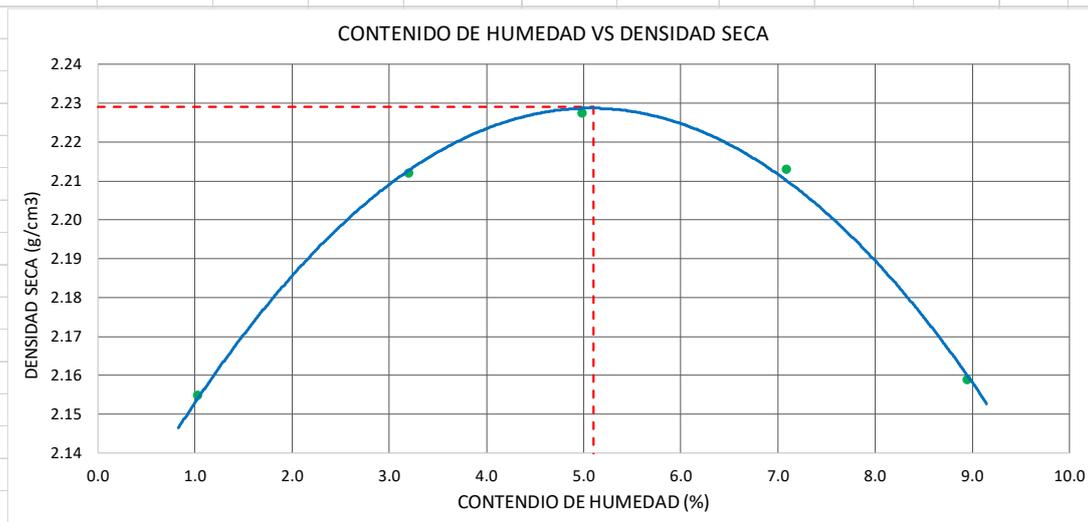
N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1296.48	90.75	1000	129.65	2.088
PRESION 25 GOLPES	1558.25	109.08	1000	155.83	2.162
PRESION 56 GOLPES	1830.15	128.11	1000	183.02	2.238

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2371.72	166.02	1500	158.11	2.088
PRESION 25 GOLPES	2807.25	196.51	1500	187.15	2.162
PRESION 56 GOLPES	3275.05	229.25	1500	218.34	2.238

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	136.2%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	175.5%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	165.3%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	209.7%

Tabla 43. Ensayo proctor modificado de la muestra: D9

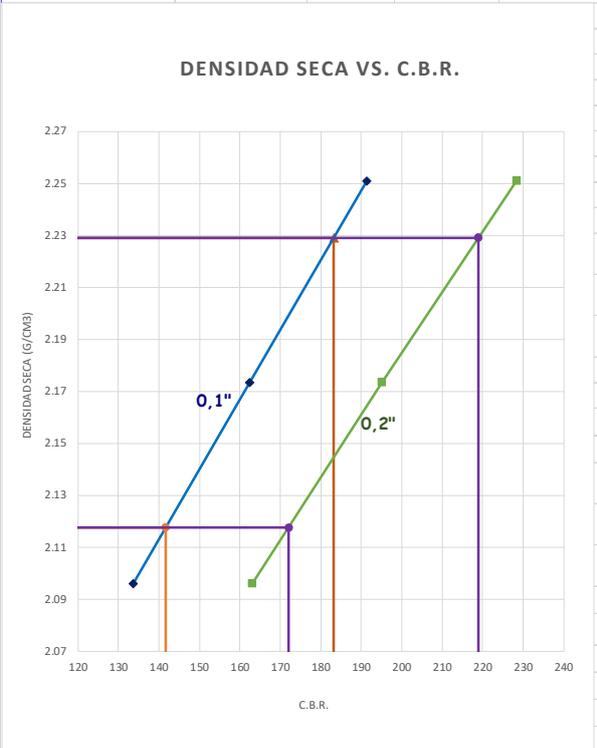
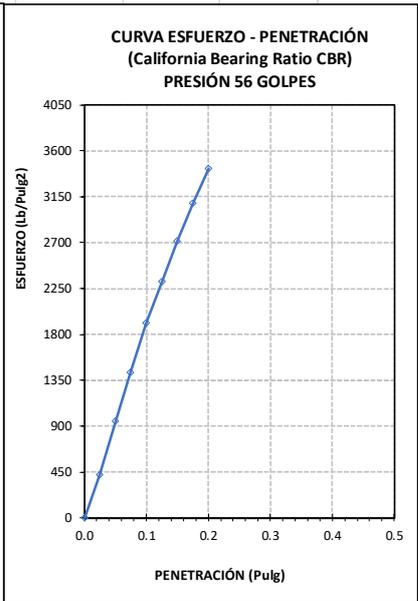
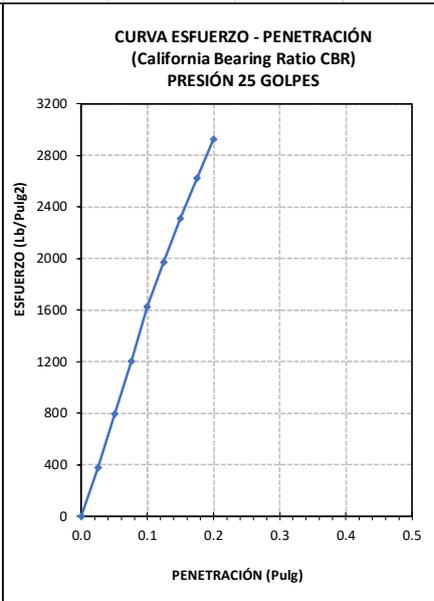
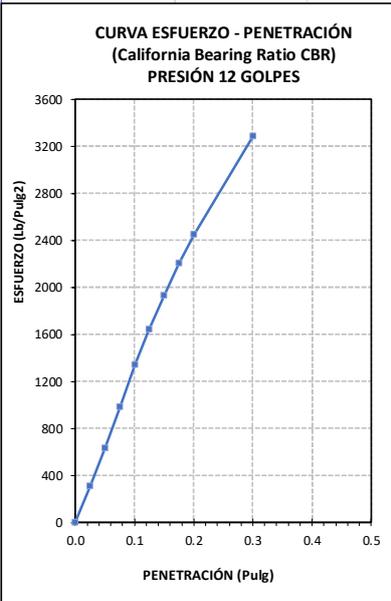
MÉTODO DE ENSAYO	"C"	MUESTRA:	D9	DIÁMETRO MOLDE (cm) :	15.29
DENSIDAD HÚMEDA					
ENSAYO	1	2	3	4	5
N° de Capas	5	5	5	5	5
N° de Golpes por Capa	56	56	56	56	56
Peso Húmedo+ Molde (g)	7724.00	7950.00	8069.00	8136.00	8098.00
Peso Molde (g)	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00	3072.00
Peso Húmedo (g)	4652.00	4878.00	4997.00	5064.00	5026.00
Volumen del Molde (cm ³)	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00	2137.00
Densidad Húmeda (g/cm³)	2.177	2.283	2.338	2.370	2.352
CONTENIDO DE HUMEDAD					
ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso Húmedo + Tara (g)	591.20	622.80	645.70	617.50	629.40
Peso Seco + Tara (g)	585.80	605.30	617.90	580.60	582.50
Peso Agua (g)	5.40	17.50	27.80	36.90	46.90
Peso Tara (g)	61.70	58.40	59.90	60.20	58.50
Peso Muestra Seca (g)	524.10	546.90	558.00	520.40	524.00
Contenido de Humedad (%)	1.03	3.20	4.98	7.09	8.95
DENSIDAD SECA (g/cm³)	2.155	2.212	2.227	2.213	2.159



DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm³) :	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :
2.229	5.10

Tabla 44. Ensayo C.B.R. de la muestra: D9

COMPACTACIÓN C B R										
N° Golpes por Capa		12			25			56		
Altura Molde (mm)		116.970			117.970			116.570		
N° Capas		5			5			5		
CONDICIÓN DE MUESTRA (ANTES Y DESPUÉS DE SATURAR)		ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS	ANTES		DESPUÉS
Peso Molde + Muestra Húmeda (g)		9248.0		9303.0	9532.0		9589.0	9720.0		9779.0
Peso Molde (g)		4673.0		4673.0	4688.0		4688.0	4675.0		4675.0
Peso de Muestra Húmeda (g)		4575.0		4630.0	4844.0		4901.0	5045.0		5104.0
Volumen del Molde (cm3)		2075.31		2075.31	2120.99		2120.99	2131.99		2131.99
Densidad Húmeda (g/cm3)		2.204		2.231	2.284		2.311	2.366		2.394
CONTENIDO DE HUMEDAD										
TARA N°		1-A		1-B	2-A		2-B	3-A		3-B
Peso Muestra Húmeda + Tara (g)		658.90		681.70	675.80		692.50	642.30		660.90
Peso Seco + Tara (g)		630.20		645.60	647.00		656.70	614.70		626.50
Peso Agua (g)		28.70		36.10	28.80		35.80	27.60		34.40
Peso Tara (g)		75.20		76.80	79.60		77.90	76.20		78.30
Peso Muestra Seca (g)		555.00		568.80	567.40		578.80	538.50		548.20
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)		5.17%		6.35%	5.08%		6.19%	5.13%		6.28%
DENSIDAD SECA (g/cm3)		2.096		2.098	2.174		2.176	2.251		2.253
ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORMÍMETRO	EXPANSIÓN	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0	NO EXPANSIVO								
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
DIÁMETRO DEL PISTÓN:		5 cm			ÁREA DEL PISTÓN:			19.635 cm2		
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO		CARGA (kg)	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.64	0.025	418.7	21.32	304.62	525.2	26.75	382.14	578.8	29.48	421.13
1.27	0.050	870.6	44.34	633.45	1091.5	55.59	794.12	1299.1	66.16	945.16
1.91	0.075	1347.1	68.61	980.13	1659.0	84.49	1207.06	1955.1	99.57	1422.49
2.54	0.100	1837.6	93.59	1337.00	2233.2	113.74	1624.82	2630.8	133.98	1914.07
3.18	0.125	2254.6	114.82	1640.34	2713.5	138.20	1974.23	3180.2	161.97	2313.82
3.81	0.150	2654.0	135.17	1930.94	3177.8	161.85	2312.09	3722.0	189.56	2708.03
4.45	0.175	3027.1	154.17	2202.42	3605.2	183.61	2623.00	4238.8	215.88	3084.04
5.08	0.200	3361.7	171.21	2445.86	4023.2	204.90	2927.17	4707.8	239.77	3425.22
7.62	0.300	4509.1	229.65	3280.69						
10.16	0.400									
12.70	0.500									



DATOS DE ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (g/cm3) :	2.229
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%) :	5.10

(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.1" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	1337.00	93.59	1000	133.70	2.096
PRESION 25 GOLPES	1624.82	113.74	1000	162.48	2.174
PRESION 56 GOLPES	1914.07	133.98	1000	191.41	2.251

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Lb/pulg2)	PRESIÓN APLICADA - 0.2" (Kg/cm2)	PRESIÓN PATRÓN (Lb/pulg2)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (g/cm3)
PRESION 12 GOLPES	2445.86	171.21	1500	163.06	2.096
PRESION 25 GOLPES	2927.17	204.90	1500	195.14	2.174
PRESION 56 GOLPES	3425.22	239.77	1500	228.35	2.251

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,1")=	141.7%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,1")=	183.2%
C.B.R. PARA EL 95% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA (0,2")=	172%
C.B.R. PARA EL 100% DE LA DENSIDAD SECA MÁXIMA. (0,2")=	218.9%

Anexo N°03: Constancia de Laboratorio

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

CONSTANCIA:

Que, **HARLYN YEYSON VÁSQUEZ VÁSQUEZ**, identificado con DNI N° 70442456 bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha ejecutado todos sus ensayos de laboratorio que corresponden a su proyecto de Tesis: **“INFLUENCIA DEL SISTEMA CONSOLID EN EL C.B.R. DEL MATERIAL DE LA CANTERA LA BENDICIÓN PARA BASES Y SUB BASES DE PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**, aprobado mediante Resolución de consejo de Facultad N° 00493-2022-FI-UNC, bajo la supervisión del Ingeniero encargado del laboratorio **Jhonny Vásquez Torres** especialista de Mecánica de Suelos y Pavimentos. Los ensayos ejecutados por el Tesista fueron los siguientes:

- Ensayos estándar para clasificar el suelo: Contenido de humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg
- Ensayo de Proctor modificado
- Ensayo de CBR

Los ensayos fueron realizados desde el 09 de enero de 2023 hasta el 31 de marzo del 2023.

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

Cajamarca, 31 de enero de 2024

Atentamente;

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

.....
LEINER GUERRERO GONZALES
GERENTE GENERAL

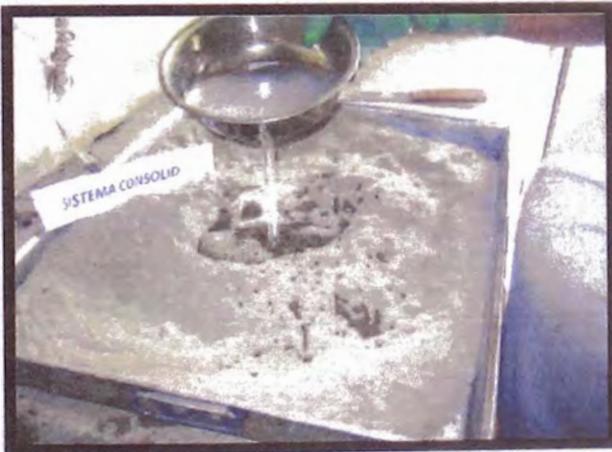
Anexo N°03: Metodología de ensayos de laboratorio con el sistema Consolid



Procedimiento de mezclado de los aditivos estabilizantes en laboratorio



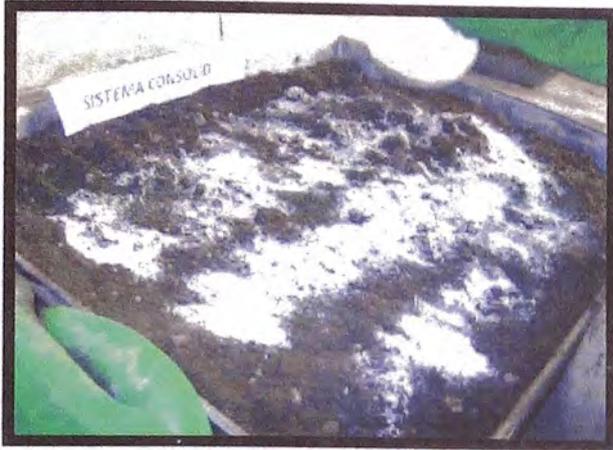
Mezclando Consolid 444 con Agua



Agregado del Consolid 444



Agregado del Solidry



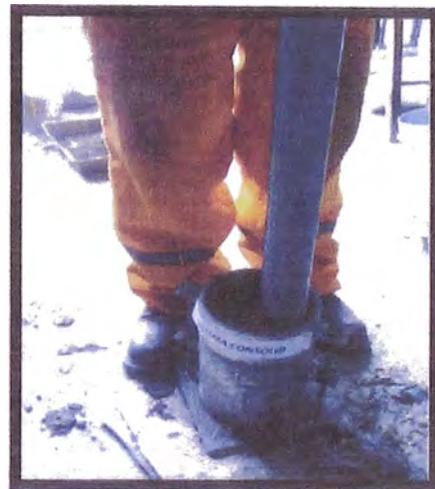
Distribución homogénea del Solidry



Mezclado de los aditivos



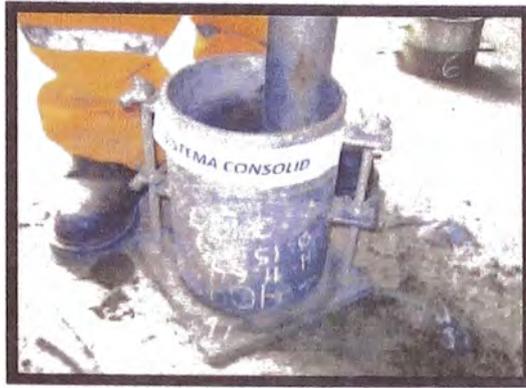
Homogeneizando el Material



Ensayo de Proctor

Con el suelo homogéneo y listo para compactación se toma una muestra para verificar el contenido de humedad, que debe ser cercana al valor de la óptima humedad.

En el molde cilíndrico colocamos el disco espaciador y papel filtro, luego empezamos a agregar el suelo sobre el molde y empezamos a compactar a 12 golpes en 5 capas.



Terminada la compactación quitamos el collarín y enrasamos por medio de una regla hasta quedar nivelada y lo pesamos.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Sobre ella colocamos la sobrecarga circular la cual producirá una presión equivalente a las carga de los vehículos sobre la vía. Repetimos el procedimiento con las 2 muestras más separadas a 25 y 56 golpes. Luego lo sumergimos en la poza de agua para su saturación.

Sumergimos en la poza de agua y tomamos lecturas de hinchamientos por cada día colocando el trípode sobre los bordes del molde, mantenemos las condiciones saturadas durante 4 días con el nivel de agua constante.

Después del periodo de inmersión sacamos el molde del tanque y se vierte el agua retenida de la parte superior, sosteniendo firmemente la placa y la sobrecarga, dejamos escurrir el agua durante 15 minutos, retiramos la sobrecarga y pesamos, procedemos al ensayo de penetración.

Para el ensayo de penetración llevamos las probetas a la máquina de ensayo y colocamos sobre ellas cargas para producir sobrecargas semejantes a las que producirá los vehículos sobre la base o sub base y el pavimento sobre el camino proyectado.



Ensayo de Penetración en la Prensa

Sobre el orificio central de la sobrecarga llevamos el pistón de la prensa hasta chocar con el suelo, montamos el dial medidor de manera de medir la penetración del pistón aplicándole una carga de 50N, para que el pistón se asiente situamos en cero el medidor y empezamos la penetración de la carga sobre el pistón y registramos las lecturas del dial controlando los tiempos con un cronometro.



Molde después del ensayo de penetración

Finalmente se desmolda el molde, repetimos el procedimiento para las muestras de 25 y 56 golpes.

Anexo N°04: Ficha Técnica del sistema Consolid

MANUAL



 992194007

 info@sistemaconsolid.com

www.sistemaconsolid.com



ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

El suelo que conforma una calle o un camino tiene la posibilidad de petrificarse mediante un proceso llamado **compactación**. Éste proceso consiste en el reacomodamiento de las partículas que componen el suelo, de tal manera que pueden estrechamente vincularse y trabarse entre sí conformando un cuerpo muy compacto.

La compactación del suelo sólo se logra ante una fuerte presión y con una cantidad óptima de humedad (proctor modificado), situación en que las partículas se recubren con una fina película de agua que lubrica y favorece el reacomodamiento. Este estado de compactación del suelo, si bien es ideal para soportar las grandes cargas ocasionadas por el tránsito, es sumamente inestable.

Hagamos el ejemplo de un camino de tierra sin tratar, comunmente observamos dos situaciones: una de ellas es cuando el camino tiene un exceso de agua por factores climáticos (precipitaciones). En esta situación las partículas no pueden ligarse entre sí porque el exceso de agua las sobrelubrica y las separa, rompiendo el estado de compactación y formándose barro. La otra situación se observa cuando el camino tiene escasa humedad en periodos de sequía. También aquí el suelo pierde compactación; las partículas se desprenden, se transforman en polvo y se produce el deterioro del camino.

Los métodos de estabilización son aquellos procedimientos a los que es sometido el suelo con el objetivo de prolongar el tiempo de compactación y disgregación de partículas que generan la rotura o deterioro de un camino.

La calidad de una estabilización convencional realizada con métodos tradicionales se mide en función del mayor o menor tiempo de duración del estado de compactación.

EL SISTEMA CONSOLID

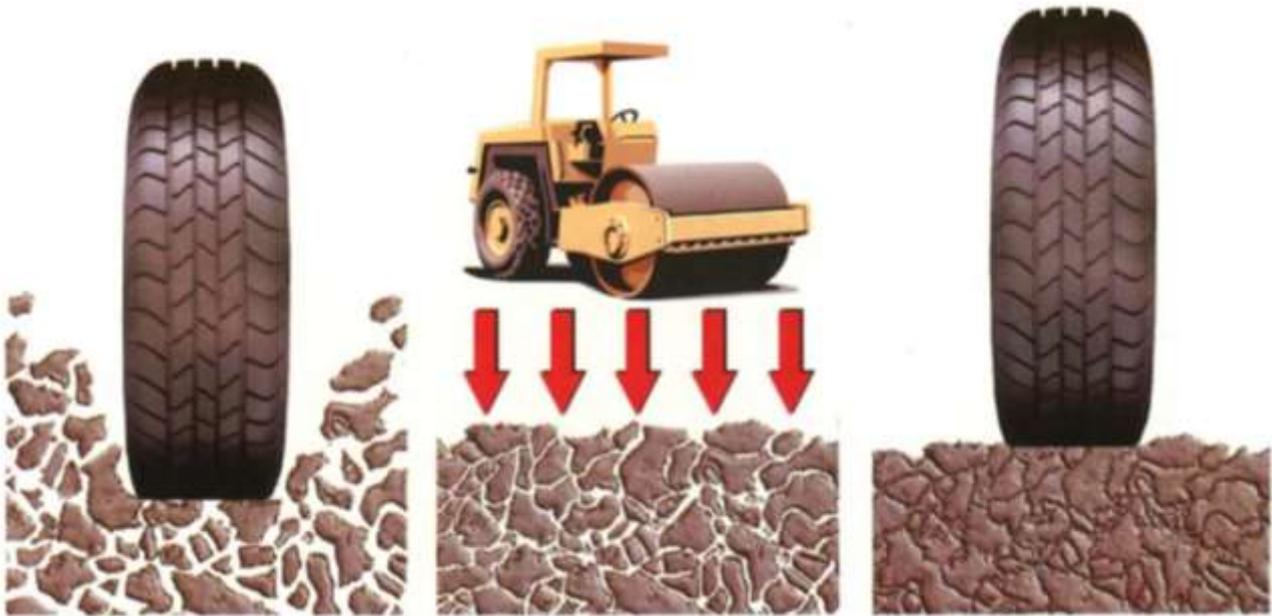
CONSOLID es un sistema de estabilización de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales, porque toma la compactación del suelo en un estado absolutamente **irreversible**.

El sistema **CONSOLID** actúa favoreciendo la compactación y regulando la humedad óptima del suelo, independizando el estado del mismo de las variaciones climatológicas (lluvias y sequías).

De esta manera, un camino tratado modifica de forma **irreversible** los componentes del suelo, estabilizando en forma **definitiva** su compactación.

Los aditivos **CONSOLID** se aplican entre las partículas del suelo formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reducen la tensión superficial del agua que circunda dichas partículas de tal manera que la película de agua que las cubre y hace las veces de barrera entre ellas, es dispersada permitiendo así su evaporación.

El sistema **CONSOLID** tiene un enorme impacto sobre la sensibilidad al agua del suelo (controlando el ascenso de humedad por capilaridad o la disolución por lluvias) y la disminuye a su cantidad óptima.



El suelo descompactado es mecánicamente inestable, por lo que en un camino se producen polvo, barro y baches.

Con humedad óptima y con una fuerte presión se reacomodan las partículas hasta formar un cuerpo compacto.

El estado de compactación del suelo es el ideal para soportar las grandes cargas que ocasiona el tránsito.

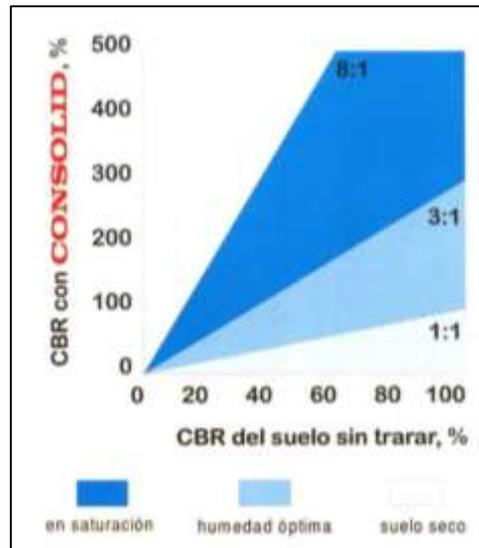
De esta forma **el suelo pierde en gran medida su comportamiento mecánico natural**, como es el encogimiento cuando se seca y la hinchazón cuando se humedece, lo cual trae aparejado la pérdida de la compactación del suelo y disgregación que produce el deterioro del camino por inestabilidad mecánica.

De esta forma **el suelo pierde en gran medida su comportamiento mecánico natural**, como es el encogimiento cuando se seca y la hinchazón cuando se humedece, lo cual trae aparejado la pérdida de la compactación del suelo y disgregación que produce el deterioro del camino por inestabilidad mecánica.

Acompañando los comportamientos descritos, y como consecuencia de ellos, se produce en los suelos tratados un aumento significativo del valor soporte.

Expresado en términos porcentuales del valor CBR se observa que éste aumenta entre un 20 a un 50% para un suelo en condiciones de humedad óptima, pero, sobre todo, debe destacarse que el valor soporte aumenta al menos de 3 a 5 veces en situaciones de alta humedad respecto al del suelo no tratado.





Lo que ocurre, justamente, es que el material tratado al no verse afectado por el ataque del agua mantiene en forma permanente su valor de humedad óptimo y el comportamiento característico del suelo seco.

Es de destacar que la base estabilizada con el sistema **CONSOLID** tiene una duración indefinida, pudiendo medirse en términos de décadas.

Es importante aclarar que el sistema **CONSOLID** sólo actúa sobre la compactación natural del suelo, no ligando las partículas entre sí, evitando la formación de estructuras de suelo rígidas susceptibles de ser "rotas" con el uso, como ocurre, por ejemplo, con el suelo cemento.

Esto le confiere condiciones excepcionales en cuanto a la capacidad de resistir estructuralmente cualquier tipo de tránsito por más pesado que sea.

El hecho de que el sistema **CONSOLID** no actúe como un agente ligante de partículas hace que requiera de un recubrimiento asfáltico que actúe como capa de rodamiento **no estructural** para evitar el desgaste superficial ocasionado por el tránsito.

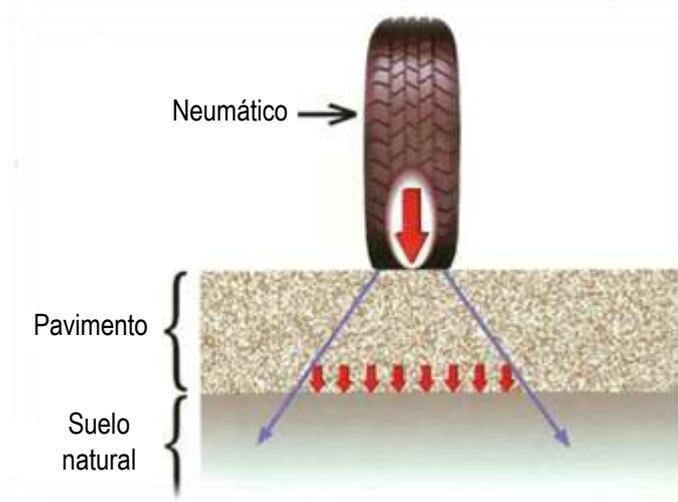
Las características de este recubrimiento varían de acuerdo al tipo de tránsito (en cuanto a peso y densidad) que debe de soportar el camino estabilizado. Puede ir desde un simple regado asfáltico con una delgada capa de arena gruesa o pedregullo para caminos con pocas sollicitaciones, hasta carpetas asfálticas de 10 a 40mm.



Luego de varios días de lluvia, se puede observar como la base tratada con **CONSOLID** impone un límite preciso entre ésta y el sector mojado.

ESPEORES DE TRATAMIENTO

Se puede definir a un pavimento como un elemento estructural que aleja y distribuye la carga puntual que genera el neumático de un vehículo, sobre el terreno natural.



Tal como se puede apreciar en el gráfico, el peso del vehículo se transmite a la superficie del pavimento a través del neumático en forma de carga puntual (flecha roja grande). Esta carga es transmitida hacia abajo en forma cónica (flechas azules), de tal manera que cuanto más grande es la altura del cono, mayor es la superficie de la base, con lo cual se distribuye la carga (inicialmente puntual en la parte superior) en toda la base (flechas rojas pequeñas).

Esto significa que la elección del espesor de tratamiento está relacionada con los requerimientos mecánicos, a los cuales la base estabilizada vaya a estar sometida, debiéndose tener en cuenta el tipo de tránsito que circulará y las condiciones naturales de valor soporte que el suelo tenga, ya sea en la porción a tratar o en la parte inferior o subbase que es donde la primera se apoya.

A modo de ejemplo podemos establecer que un tránsito pesado y/o una subbase débil demandará un mayor espesor de tratamiento. Por el contrario, el tránsito de una calle en un barrio residencial y/o una subbase buena requerirá un espesor significativamente menor.

DOSIS

La elección de la dosis está relacionada en alguna medida con la composición química del suelo y en mayor medida con su composición granulométrica, es decir, con la cantidad de gránulos finos (donde principalmente actúan los componentes) en relación con las partículas de mayor tamaño, ya que éstas últimas ocupan volúmenes de suelo que no necesitan ser estabilizados. Esto significa que (generalmente) a mayor cantidad de partículas grandes, menor será la cantidad de productos necesarios.

La siguiente tabla nos muestra las dosis que se requieren de cada producto expresadas en porcentaje del peso del suelo y la cantidad de cada producto por metro cuadrado de suelo, asumiendo que este último pesa aproximadamente 2000Kg/m³.

CANTIDAD DE PRODUCTOS POR METRO CUADRADO

Observe en la tabla de dosis que la cantidad de **CONSOLID 444** (salvo en condiciones especiales) es fija. Lo que podemos variar es el espesor de la capa a tratar. La siguiente tabla nos muestra la cantidad de producto necesario por m², según los distintos espesores.

Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad	Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad	Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad
			l/m ²				l/m ²				l/m ²
CONSOLID	20.00 cm	Máx. 0.045	0.18	CONSOLID	15.00 cm	Máx. 0.045	0.14	CONSOLID	10.00 cm	Máx. 0.045	0.09
		Med. 0.034	0.14			Med. 0.034	0.10			Med. 0.034	0.07
		Mín. 0.023	0.09			Mín. 0.023	0.07			Mín. 0.023	0.05

NOTA: El espesor del CD444 se aplicará dependiendo del diseño de pavimento elaborado por el consultor.

La dosis del **SOLIDRY** que observaremos en la siguiente tabla son variables. A los efectos prácticos. En la siguiente tabla combinamos las tres dosis a utilizar con distintos espesores, obteniendo las cantidades de producto necesario para estabilizar cada combinación.

Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad	Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad	Producto	Espesor	Dosificación (%)	Cantidad
			Kg/m ²				Kg/m ²				Kg/m ²
SOLIDRY	10.00 cm	Máx. 2.0	4	SOLIDRY	7.50 cm	Máx. 2.0	3	SOLIDRY	5.00 cm	Máx. 2.0	2
		Med. 1.5	3			Med. 1.5	2.25			Med. 1.5	1.5
		Mín. 1.0	2			Mín. 1.0	1.5			Mín. 1.0	1

NOTA: El SOLIDRY dado que es un sellador de base se aplica solamente a la mitad del espesor a trabajar.

La experiencia indica que si se tiene cuidado en realizar un buen mezclado de los productos (ver método de aplicación) las dosis estándar tienen un excelente desempeño en la gran mayoría de los suelos. No obstante, el ensayo ascenso capilar es la forma más ajustada para determinar la dosis.

EQUIPOS NECESARIOS

Antes de determinar los equipos a utilizar, es necesario definir la metodología constructiva: Mezcla en acopio o en terreno; con recicladora o motoniveladora. Por lo general, se recomienda para el uso de la tecnología en el caso de mezcla en terreno se debe utilizar una recicladora o motoniveladora, mientras que en el caso de mezcla en acopio y/o planta se debe utilizar una motoniveladora o excavadora.

A continuación, algunas imágenes de los trabajos propuestos:

- **Mezcla en Acopio:** Si el diseño considera la estabilización de materiales traídos de fuentes externas al camino actual, es recomendable generar la mezcla de los materiales con el aditivo sólido en un acopio, lo que permite controlar de mejor manera los materiales y la homogenización. Al aditivo líquido y el agua pueden ser adicionados en el mismo camino a estabilizar o cuando se carga a los camiones para el despacho. Una vez agregado el aditivo sólido se debe concluir la colocación y compactación en un plazo de 4 horas.



- **Mezcla In situ:** Considera el uso de una máquina recicladora o motoniveladora, asegurando la homogenización de los materiales y aditivos. En este caso el aditivo sólido es distribuido sobre la superficie del camino.



Dependiendo del caso, para llevar a cabo la estabilización con el Sistema Consolid, se requiere contar con los siguientes equipos:

- Mezcla en Acopio:

- Excavadora, para extracción de material y mezcla del suelo con los aditivos.
- Camión volquete, para el traslado del material.
- Camión Cisterna o Aljibe, para humectación y aplicación del aditivo líquido.
- Motoniveladora, para extender, perfilar y nivelar.
- Rodillo liso vibratorio y/o Rodillo Pata de Cabra, para la compactación.

- Mezcla In Situ:

- Camión esparcidor de aditivo sólido, para distribuir dicho aditivo sobre el terreno.
- Recicladora o Pullver-Mixer con Camión Cisterna, para aplicación de aditivo líquido y para mezclado de los aditivos sólido y líquido con el material a estabilizar.
- Motoniveladora, para perfilar y nivelar.
- Retroexcavadora o cargador frontal, para la manipulación del aditivo sólido, transportado en sacos.
- Rodillo liso vibratorio y/o Rodillo Pata de Cabra, para la compactación.

Los rendimientos promedios de construcción de base estabilizada con el Sistema Consolid están en el rango de 900 a 1500 m³ por jornada de 8 horas, con recicladora y en el caso de utilizar solamente motoniveladora en el rango de 300 a 500 m³ por jornada.

MÉTODO DE APLICACIÓN

PRIMERA ETAPA: Se escarifica el suelo a estabilizar, en este caso con una motoniveladora, ya que tenemos que reconstruir la forma del camino.



- Se riega el CONSOLID 444 sobre el camino utilizando una Cisterna para luego poder ser mezclado cuidadosamente con el Arador de discos o con una Motoniveladora.



- Finalmente se concluye la primera etapa compactando, utilizando un Rodillo liso vibratorio o un Rodillo Pata de Cabra según el tipo de suelo a estabilizar.



SEGUNDA ETAPA: Comienza con la distribución de las bolsas de SOLIDRY sobre la superficie a tratar (polvo blanco en bolsas de 25 Kg).



Cabe aclarar que el SOLIDRY es un polvo que el viento se lleva con mucha facilidad, por lo que hay que evitar los días ventosos y tratar de programar su aplicación en horas que, según las regiones, habitualmente haya poco viento.

La cantidad de SOLIDRY a aplicar estará determinada por la forma en que hagamos la distribución de las bolsas, tal como se puede apreciar en la siguiente imagen.



En primer lugar, determinaremos qué cantidad de bolsas demandará la superficie que queremos tratar.

- Una vez terminada la distribución, se abrirá un extremo de la bolsa, vaciando su contenido en todo el ancho del camino.

- Luego se distribuye con una madera de aproximadamente 1 metro a la que se le fija en el centro y en forma transversal un palo o caña que oficia de mango (algo así como un escobillón o secador, pero todo de madera).



- Tanto el vaciado de las bolsas, como la distribución del material deben efectuarse lenta y suavemente para evitar el desperdicio del material que se vuela.
- Se escarifica a la mitad del espesor a trabajar con una motoniveladora, ya que el SOLIDRY trabaja como sellador.
- El mezclado del material, en el comienzo, se realiza con una motoniveladora o tractor a muy baja velocidad para evitar el venteo del material. A medida que se avanza con la mezcla, se observará que la nube de polvo que levanta la rastra de discos va disminuyendo, en cuyo caso se podrá ir aumentando la velocidad del tractor.



- Una vez terminada la mezcla se inicia la compactación final, utilizando un Rodillo Liso Vibratorio o un Rodillo Pata de Cabra si en el caso fuera necesario.



- El trabajo de compactación final se termina con un Rodillo Neumático.



- Finalmente, se puede cubrir la superficie estabilizada con un tratamiento asfáltico tipo simple. Sobre la superficie compactada un riego con asfalto diluido tipo R-1.



- Inmediatamente después de aplicar el riego se distribuye material árido.





El árido distribuido se rodilla para que los gránulos se incrusten en la superficie de la base estabilizada y para que se mezclen con el asfalto regado que actúa como material ligante.

Por último, se puede apreciar un riego asfáltico final muy liviano y sobre éste esparcirse arena fina para terminar de sellar la superficie.





RECOMENDACIONES

- Antes de cargar CONSOLID 444 en un regador, deberá batirse en contenido de los tambores. Una forma sencilla es acostar los tambores y hacerlos rodar reiteradas veces.
- Deberá tenerse especial cuidado en cerrar bien los tambores cuando quede en ellos material sin usar.
- No dejar almacenados los tambores al sol
- Las bolsas de SOLIDRY se debe de almacenar en lugares cubiertos y secos, de preferencia colocarlos sobre estibas; protegidas de lluvias y de las corrientes del viento.