

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA
CONSOLID.”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE

ASESOR

ING. SAMUEL ARTEMIO MORA QUIÑONES

LIMA- PERÚ

2018

© 2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Ramirez Ponce, Bruno Yadin

bramirezp@uni.pe

941-381626

DEDICATORIA

A todas las personas que
comparten su conocimiento
desinteresadamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo y la confianza 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 maestro y asesor Ing. Samuel Mora, por impartir y difundir sus conocimientos ingenieriles, así como también complementarlo con sus enseñanzas de moral, honestidad y ética, lo cual hace que sus alumnos seamos profesionales intachables.

Al Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos de mi alma mater, la UNI, en especial a la Ing. Luisa Shuan, por haberme brindado plena disposición del Laboratorio para el desarrollo de mi tesis.

Finalmente, y no menos importante, realizar un agradecimiento póstumo al Sr. Víctor Hugo López, quien fue representante del Sistema Consolid en Perú, y me brindó su apoyo desinteresadamente.

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
PRÓLOGO	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1 PROBLEMÁTICA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Principal	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 HIPÓTESIS	17
CAPÍTULO II: GENERALIDADES	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.2 CONOCIMIENTOS PREVIOS	19
2.2.1 Suelo	19
2.2.2 Principales Tipos de Suelos	20
2.2.2.1 <i>Suelos Granulares</i>	21
2.2.2.2 <i>Suelos Cohesivos</i>	22
2.2.2.3 <i>Suelos orgánicos</i>	22
2.2.3 Carretera	22
2.2.4 Tipos de Carretera	23
2.2.4.1 <i>Según su transitabilidad</i>	23
2.2.4.2 <i>Según su demanda</i>	25
2.2.5 Pavimento	26
2.2.6 Estructura del Pavimento	26
2.2.6.1 <i>Suelo de Fundación</i>	27
2.2.6.2 <i>Subrasante</i>	27
2.2.6.3 <i>Subbase</i>	28
2.2.6.4 <i>Base</i>	28
2.2.6.5 <i>Superficie de rodadura</i>	28

2.2.7	Tipos de Pavimento	29
2.2.7.1	<i>Pavimento Flexible</i>	29
2.2.7.2	<i>Pavimento Rígido</i>	29
2.2.7.3	<i>Pavimentos Articulados</i>	30
2.2.7.4	<i>Pavimentos Compuestos</i>	30
2.2.7.5	<i>Pavimentos Afirmados</i>	31
2.2.7.6	<i>Pavimentos Básicos</i>	31
2.3	INFRAESTRUCTURA VIAL DEL PERÚ	32
2.3.1	Sistema Nacional de Carreteras (SINAC)	32
2.3.1.1	<i>Red Vial Nacional</i>	33
2.3.1.2	<i>Red Vial Departamental o Regional</i>	33
2.3.1.3	<i>Red Vial Vecinal o Rural</i>	33
2.3.2	Conservación Vial	34
2.3.2.1	<i>Importancia de la Conservación Vial</i>	34
2.3.2.2	<i>Niveles de Servicio</i>	34
2.3.2.3	<i>Conservación Vial por Niveles de Servicio</i>	35
2.3.3	Programas de Infraestructura Vial	35
2.3.3.1	<i>Proyecto Perú</i>	35
2.4	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	36
2.4.1	Definición	36
2.4.2	Criterios para establecer la estabilización de suelos	36
2.4.3	Propiedades de suelos a estabilizar	40
2.4.3.1	<i>Estabilidad Volumétrica</i>	40
2.4.3.2	<i>Resistencia</i>	41
2.4.3.3	<i>Permeabilidad</i>	41
2.4.3.4	<i>Compresibilidad</i>	42
2.4.3.5	<i>Durabilidad</i>	42
2.4.4	Tipos de Estabilización	43
2.4.4.1	<i>Estabilización Físico-Mecánica</i>	43
2.4.4.2	<i>Estabilización Química</i>	44
2.5	ORIGEN DEL SUELO A ESTABILIZAR	47
2.5.1	Ubicación	47
2.5.2	Geología Local	49
2.6	SISTEMA CONSOLID	49
2.6.1	Descripción	49

2.6.2	Consolid 444	50
2.6.3	Solidry	51
2.6.4	Ventajas y Limitaciones	51
2.6.5	Dosificación del Sistema Consolid	52
2.6.6	Método de aplicación en campo	53
CAPÍTULO III: ESTUDIOS EXPERIMENTALES		57
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO A ESTABILIZAR	57
3.1.1	Análisis Granulométrico	57
3.1.1.1	<i>Análisis Granulométrico por Tamizado</i>	58
3.1.1.2	<i>Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro</i>	59
3.1.2	Límites de Consistencia	62
3.1.2.1	<i>Límite Líquido</i>	63
3.1.2.2	<i>Límite Plástico</i>	64
3.1.3	Clasificación de Suelos	66
3.1.3.1	<i>Sistema de Clasificación AASHTO</i>	66
3.1.3.2	<i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)</i>	69
3.1.4	Humedad Natural	73
3.1.5	Ensayos Químicos	74
3.1.5.1	<i>Sales Solubles Totales</i>	74
3.1.5.2	<i>Materia Orgánica en Suelos</i>	74
3.1.5.3	<i>Sulfatos Solubles en Suelos</i>	75
3.1.6	Abrasión Los Ángeles	75
3.1.7	Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio	76
3.1.8	Ensayos de Compactación	78
3.1.9	California Bearing Ratio (C.B.R.)	80
3.1.10	Resistencia a la Compresión no confinada	83
3.1.11	Ascensión Capilar	86
3.2	ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID	92
3.2.1	Dosificaciones	92
3.2.2	Proctor Modificado	94
3.2.3	California Bearing Ratio (C.B.R.)	97
3.2.4	Resistencia a la Compresión no Confinada	100
3.2.5	Ascensión Capilar	101
3.3	ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO	102
3.3.1	Dosificación	103

3.3.2	Relación Densidad – Humedad	107
3.3.3	Resistencia a la Compresión	108
3.3.4	California Bearing Ratio (C.B.R)	109
3.3.5	Ascensión Capilar	110
	CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA	111
4.1	EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	111
4.1.1	Densidad - Humedad	112
4.1.2	C.B.R.	114
4.1.3	Resistencia a la Compresión	118
4.1.4	Ascensión Capilar	119
4.1.5	Absorción	122
4.1.6	Expansión	124
4.1.7	Límites de Consistencia	127
4.1.8	Selección de Dosificación del Sistema Consolid	130
4.2	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	133
4.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA	136
4.3.1	Análisis de Costos Unitarios	136
4.3.2	Presupuesto	140
	CONCLUSIONES	143
	RECOMENDACIONES	147
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
	ANEXOS	

RESUMEN

Esta investigación se centra en evaluar la mejora de las propiedades mecánicas de un suelo areno-arcilloso, y la disminución de la susceptibilidad de este ante el agua con la adición de un estabilizador químico nuevo llamado Sistema Consolid y un estabilizador químico de uso tradicional, para esta tesis se eligió el cemento.

Con el fin de cumplir los objetivos de la tesis, se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo a estabilizar. Posterior a esto, se determinaron las dosificaciones del Sistema Consolid con las que se iba a trabajar. Luego se evaluó la mejora de las propiedades mecánicas realizando los ensayos de C.B.R. y de Resistencia a la compresión de las diferentes dosificaciones del Sistema Consolid y del suelo-cemento. Para evaluar la susceptibilidad del suelo ante el agua se realizó el ensayo de ascensión capilar, también se evaluó la absorción y la expansión en los ensayos de C.B.R. y Ascensión Capilar. Posteriormente se eligieron las dosificaciones que cumplían las especificaciones para el suelo estabilizado químicamente y el suelo-cemento. Con los resultados de las pruebas experimentales se realizó un diseño de pavimento con la metodología propuesta por NAASRA determinándose los espesores para las 5 soluciones propuestas. Luego de ello se realizó una evaluación económica haciendo el comparativo de costos de las 5 soluciones propuestas.

Por último, después de evaluar las propiedades físicas, mecánicas y volumétricas de los suelos estabilizados con el Sistema Consolid se concluye que, si existe mejora de las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, así como una disminución en la susceptibilidad del suelo ante el agua, y de igual manera ocurre con el suelo-cemento, sin embargo, no existe una disminución significativa del costo ante una solución tradicional. Se recomienda finalmente realizar investigaciones sobre ensayos para simular el efecto del agua en los suelos compactados para pavimentos.

ABSTRACT

This research focuses on evaluating the improvement of the mechanical properties of a sandy-clayey soil, and the reduction of the susceptibility of this one to water with the addition of a new chemical stabilizer called Consolid System and a traditional chemical stabilizer, for this thesis cement was chosen.

In order to achieve the objectives of the thesis, the physical, chemical and mechanical properties of the soil to be stabilized were evaluated. Subsequent to this, the dosages of the Consolid System with which it was going to work were determined. The improvement of the mechanical properties was evaluated by performing C.B.R. test and Resistance to compression test of the different dosages of the Consolid System and the soil-cement. In order to evaluate the susceptibility of the soil to water, the capillary ascension test was performed, absorption and expansion were also evaluated in C.B.R. Test and Capillary Rise Test. Subsequently, the dosages that met the specifications for chemically stabilized soil and soil-cement were chosen. With the results of the experimental tests, a pavement design was carried out using the methodology proposed by NAASRA, determining the thicknesses for the 5 proposed solutions. After that, an economic evaluation was made comparing the costs of the 5 proposed solutions.

Finally, after evaluating the physical, mechanical and volumetric properties of the soils stabilized with the Consolid System, it is concluded that there is improvement of the physical-mechanical properties of the natural soil, as well as a decrease in the susceptibility of the soil to water, and in the same way it happens with the soil-cement, however, there is no significant reduction of the cost against a traditional solution. Finally, it is recommended to research on tests to simulate the effect of water on compacted soils for pavements.

PRÓLOGO

Esta tesis nace por la preocupación de recuperar y mantener las diferentes vías con las que cuenta el país, objetivo que es muy complicado de alcanzar debido a los altos costos que este conlleva, además de la escasez de material adecuado. Es por ello que en este trabajo de investigación se aborda el uso de un aditivo que, aunque poco conocido, ayuda en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de los materiales que se usan para la habilitación y conservación de una vía.

El presente estudio se ha dividido en tres partes. En la primera se encuentran las definiciones generales que ayudan a entender la investigación, desde sus antecedentes, descripciones del suelo a estabilizar, hasta las características del aditivo a evaluar. En la segunda parte se describen los ensayos realizados para la evaluación de las características finales del suelo estabilizado y su aplicación en una vía una vez aplicado el aditivo. Finalmente, en la tercera parte se realiza la evaluación técnica – económica para conocer el impacto que tiene el uso de este aditivo y hacer el comparativo con el uso del cemento como estabilizador.

Se espera que esta tesis sirva para que las conservaciones viales que se realizan actualmente tengan una alternativa de solución, así como también para que sea la base de futuras investigaciones sobre el aditivo analizado en esta investigación.

Ing. Samuel A. Mora Quiñones

LISTA DE TABLAS

Tabla N°2.1 Brecha de Inversión en Infraestructura del Perú - Sector Transporte	32
Tabla N°2.2 Sistema Nacional de Carreteras	32
Tabla N°2.3 Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador	38
Tabla N°2.4 Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador.....	39
Tabla N°2.5 Especificaciones Técnicas de Tipos de Estabilizadores y su aplicación según Región.....	40
Tabla N°2.6 Requerimiento de cemento de acuerdo al tipo de suelo.....	46
Tabla N°3.1 Análisis Granulométrico Combinado	60
Tabla N°3.2 Resultado de Límites de Consistencia.	63
Tabla N°3.3 Resultado de Contenido de Humedad del Suelo.	73
Tabla N°3.4 Resultado de Ensayos Químicos.	74
Tabla N°3.5 Resultado de Ensayo de Abrasión.....	76
Tabla N°3.6 Resultado del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	77
Tabla N°3.7 Diagrama para selección del Método de Ensayo.....	78
Tabla N°3.8 Gradación del Suelo en los Tamices indicados para el Ensayo de Proctor.	79
Tabla N°3.9 Resultados del Ensayo de Proctor Modificado.....	80
Tabla N°3.10 Resultados del Ensayo C.B.R. al Suelo Areno-Arcilloso.	82
Tabla N°3.11 Resultados de Expansión y Absorción para cada Molde.....	82
Tabla N°3.12 Cálculo de Número de Golpes por Capa para compactación.	85
Tabla N°3.13 Resultados del Ensayo de Compresión No Confinada.....	85
Tabla N°3.14 Resultados del Ensayo de Ascensión Capilar al Suelo Natural.	92
Tabla N°3.15 Dosificaciones propuestas para el Sistema Consolid.....	93
Tabla N°3.16 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de Proctor.	94
Tabla N°3.17 Resultados de Máxima Densidad Seca (g/cm^3) de las 16 dosificaciones.....	96
Tabla N°3.18 Resultados del Óptimo Contenido de Humedad (%) de las 16 dosificaciones.....	96
Tabla N°3.19 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de C.B.R.....	97
Tabla N°3.20 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y a 0.1" de Penetración.....	98

Tabla N°3.21 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y a 0.2" de Penetración.....	98
Tabla N°3.22 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y a 0.1" de Penetración... 98	
Tabla N°3.23 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y a 0.2" de Penetración... 98	
Tabla N°3.24 Resultados de Expansión en el Ensayo de C.B.R.	99
Tabla N°3.25 Resultados de Absorción en el Ensayo de C.B.R.	99
Tabla N°3.26 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.	100
Tabla N°3.27 Resultados de Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) de las 16 dosificaciones.....	101
Tabla N°3.28 Resultados de Ascensión Capilar a 24 horas (%) de las 16 dosificaciones.....	101
Tabla N°3.29 Resultados de Ascensión Capilar a 72 horas (%) de las 16 dosificaciones.....	102
Tabla N°3.30 Resultados de Absorción(%) de las 16 dosificaciones.	102
Tabla N°3.31 Resultados de Expansión(%) de las 16 dosificaciones.	102
Tabla N°3.32 Rangos de Cemento según tipo de suelo.	106
Tabla N°3.33 Resultados del Ensayo Relación Densidad-Humedad para la mezcla Suelo-Cemento.	107
Tabla N°2.34 Resultados de Resistencia a la Compresión del Suelo-Cemento.	109
Tabla N°3.35 Resultado de Proctor Modificado por Reemplazo del Suelo-Cemento.	109
Tabla N°3.36 Resultados del Ensayo C.B.R. al Suelo-Cemento.	110
Tabla N°3.37 Resultados de Expansión y Absorción para el Suelo-Cemento..	110
Tabla N°3.38 Resultados del Ensayo de Ascensión Capilar en el Suelo-Cemento.	110
Tabla N°4.1 Dosificaciones del Sistema Consolid.....	111
Tabla N°4.2 Clasificación del suelo de acuerdo con el C.B.R.....	131
Tabla N°4.3 Categorías de Subrasante.....	131
Tabla N°4.4 Requerimientos de C.B.R. para capas de Pavimento.....	131
Tabla N°4.5 Guía para la clasificación de suelos expansivos.....	131
Tabla N°4.6 Parámetros de Aceptación en suelos estabilizados.....	132
Tabla N°4.7 Dosificaciones para Subrasante Mejorada con Sistema Consolid.132	
Tabla N°4.8 Dosificaciones para Subbase Mejorada con Sistema Consolid.	132
Tabla N°4.9 Dosificaciones para Base Mejorada con Sistema Consolid.....	132

Tabla N°4.10 Soluciones propuestas para Diseño de Pavimento.	133
Tabla N°4.11 Resultado de espesores hallados con metodología NAASRA.	135
Tabla N°4.12 Cálculo de Espesores de mejoramiento en subrasante.	135
Tabla N°4.13 Espesores propuestos para el Diseño de Pavimento.	136
Tabla N°4.14 Análisis de Costo Unitario de Perfilado y Compactado de Subrasante.	137
Tabla N°4.15 Análisis de Costo Unitario de mejoramiento de subrasante con Sistema Consolid.	137
Tabla N°4.16 Análisis de Costo Unitario de Base estabilizada con Sistema Consolid.	138
Tabla N°4.17 Análisis de Costo Unitario de mejoramiento de subrasante con Cemento.	138
Tabla N°4.18 Análisis de Costo Unitario de Base estabilizada con Cemento.	139
Tabla N°4.19 Análisis de Costo Unitario de Base Granular.	139
Tabla N°4.20 Presupuesto de Solución 1.	140
Tabla N°4.21 Presupuesto de Solución 2.	140
Tabla N°4.22 Presupuesto de Solución 3.	141
Tabla N°4.23 Presupuesto de Solución 4.	141
Tabla N°4.24 Presupuesto de Solución 5.	141

LISTA DE FIGURAS

Figura N°2.1 Proceso de formación de suelos.....	20
Figura N°2.2 Clasificación composicional de los suelos.....	20
Figura N°2.3 Ejemplo Curva Granulométrica de un suelo.	21
Figura N°2.4 Carretera Pavimentada, Autopista Panamericana Norte.....	23
Figura N°2.5 Carretera Afirmada en el departamento de Huancavelica.	24
Figura N°2.6 Carretera No Afirmada, en el departamento de Arequipa.	24
Figura N°2.7 Estructura de los Pavimentos Flexibles y Rígidos.	27
Figura N°2.8 Estructura de Pavimento Articulado.	30
Figura N°2.9 Estructura de un Pavimento compuesto.....	31
Figura N°2.10 Fases del Proyecto Perú.	36
Figura N°2.11 Imagen Satelital de la distancia de Coracora al punto de muestreo.	47
Figura N°2.12 Imagen Satelital del punto de extracción de la muestra.	48
Figura N°2.13: Fotografía del punto de extracción de la muestra.	48
Figura N°2.14: Proceso de transformación y retransformación de la roca.....	49
Figura N°2.15 Variación de los arreglos de partículas por efecto del Consolid 444.	50
Figura N°2.16 Escarificado de suelo con Motoniveladora.	53
Figura N°2.17 Riego del aditivo Consolid 444.....	54
Figura N°2.18 Distribución del aditivo Solidry en todo el área.	54
Figura N°2.19 Mezclado de Solidry con la Motoniveladora.	55
Figura N°2.20 Compactación de suelo estabilizado con el Sistema Consolid. ...	55
Figura N°2.21 Recicladora conectada a Cisterna con Aditivo Consolid 444.....	56
Figura N°3.1 Distribución de partículas del suelo después del Tamizado.	59
Figura N°3.2 Análisis Granulométrico por Sedimentación.	61
Figura N°3.3 Curva de Distribución Granulométrica Combinada.	61
Figura N°3.4 Copa de Casagrande para Ensayo de Límite Líquido.....	64
Figura N°3.5 Diagrama de Fluidez del Suelo ensayado.	64
Figura N°3.6 Ensayo para determinar el Límite Plástico del suelo.....	65
Figura N°3.7 Cuadro de Clasificación de Suelos AASHTO.	67
Figura N°3.8 Rango del Límite Líquido e Índice de Plasticidad para suelos limo- arcillosos.	68
Figura N°3.9 Tabla de Clasificación de suelos SUCS - ASTM D2487.	70
Figura N°3.10 Diagrama de Flujo para clasificar suelos de grano grueso.	71

Figura N°3.11 Diagrama de Flujo para clasificar suelo de grano fino.....	72
Figura N°3.12 Diagrama de Flujo para clasificar suelo orgánico de grano fino. .	72
Figura N°3.13 Carta de Plasticidad.	73
Figura N°3.14 Muestra de Suelo con las esferas de acero dentro de la Máquina de los Ángeles.	76
Figura N°3.15 Muestras de Agregado Grueso y Fino saturadas en Sulfato de Magnesio.	77
Figura N°3.16 Molde de 4" con suelo compactado por el método de Proctor Modificado.....	79
Figura N°3.17 Gráfico de la Curva Densidad Seca(g/cm ³) vs Humedad (%).....	80
Figura N°3.18 Especímenes de C.B.R. colocados en la poza de saturación.....	82
Figura N°3.19 Molde de diámetro 7.95 cm y altura de 15.9 cm.	84
Figura N°3.20 Especímenes de Suelo Remoldeados.....	85
Figura N°3.21 Esquema donde se muestra los posibles ingresos de agua en un pavimento.	86
Figura N°3.22 Lado Izquierdo: Ascensión Capilar en espécimen compactado, Lado Derecho: Modelo de Tubo Capilar.....	88
Figura N°3.23 Equipo para Ensayo de Ascensión Capilar.....	90
Figura N°3.24 Lado Izquierdo, aditivo C-444 puro y diluido y en el Lado Derecho el aditivo Solidry.	93
Figura N°3.25 Adición del aditivo Consolid 444 a la muestra de suelo.	95
Figura N°3.26 Adición del aditivo Solidry a la muestra de suelo.....	96
Figura N°3.27 Densidades máximas promedio de mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.	105
Figura N°3.28 Contenido de cemento recomendado para mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.....	105
Figura N°3.29 Resistencias a la compresión mínimas requeridas a los 7 días para mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.....	106
Figura N°4.1 Valores de Máxima Densidad Seca (g/cm ³).	112
Figura N°4.2 Valores de Óptimo Contenido de Humedad (%).	113
Figura N°4.3 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y 0.1" de Penetración.	114
Figura N°4.4 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y 0.2" de Penetración.	115
Figura N°4.5 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y 0.1" de Penetración. ...	116
Figura N°4.6 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y 0.2" de Penetración. ...	117
Figura N°4.7 Valores de Resistencia a la Compresión (kg/cm ²).	118

Figura N°4.8 Ascensión Capilar (%) a las 24 horas.	119
Figura N°4.9 Espécimen 1 de la dosificación 6 que presenta desmoronamiento.	120
Figura N°4.10 Espécimen 1 de la dosificación 9 que presenta desmoronamiento.	121
Figura N°4.11 Ascensión Capilar (%) a las 72 horas.	122
Figura N°4.12 Absorción (%) en el C.B.R. para 56 golpes/capa.	123
Figura N°4.13 Absorción (%) en la Ascensión Capilar.	124
Figura N°4.14 Expansión (%) del C.B.R de 56 golpes/capa.	125
Figura N°4.15 Expansión (%) en Ascensión Capilar.	126
Figura N°4.16 Espécimen con presencia de fisuras debido a la expansión diametral.	127
Figura N°4.17 Valores de Límite Líquido.	128
Figura N°4.18 Valores de Límite Plástico.	129
Figura N°4.19 Valores de Índice de Plasticidad.	129
Figura N°4.20 Muestra de Suelo-Cemento que no presenta plasticidad.	130
Figura N°4.21 Ábaco para determinar el espesor de la capa de revestimiento granular.	134
Figura N°4.22 Costos de Soluciones propuestas.	142

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway Officials
AFIN	Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional
ASTM	American Society for Testing and Materials
AS	Australian Standards
Cc	Coefficiente de curvatura
cm	centímetro
CR	Capillary Rise
Cu	Coefficiente de uniformidad
Dv.	División
EMP.	Empalme
ft	pies
g	gramo
h	hora
IECA	Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones
IMD	Índice medio diario
IMDA	Índice medio diario anual
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidad
kg	kilogramo
km	kilometro
kN	kilonewton
kPa	kilopascales
l	litro
lbf	libras fuerza
m	metro
MAC	mezcla asfáltica en caliente
ml	mililitro
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
m.s.n.m	metros sobre el nivel del mar
MVCS	Ministerio de vivienda construcción y saneamiento
NAASRA	National Association of Australian State Road Authorities
p.	página
PATS	Programa de Apoyo al Transporte Subnacional
PCA	Portland Cement Association

PE	Perú
RVD	Red Vial Departamental
RVN	Red Vial Nacional
RVV	Red Vial Vecinal
s	segundo
SINAC	Sistema Nacional de Carreteras
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
T_s	Tensión Superficial
UCS	Unconfined Compressive Strength
U.S.	United States
Veh.	Vehículo
θ	Angulo de contacto
γ_w	Peso unitario del agua

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

A través de los años muchos aditivos naturales y artificiales han sido usados por muchas civilizaciones y aún están perennes. Una de las obras más significativas son las calzadas romanas donde se utilizó la cal, en mezcla con la arena, y el cemento en las capas denominadas “nucleus”. Estos métodos fueron transmitiéndose de generación en generación; sin embargo, eran empíricos. Hoy en día, con el desarrollo tecnológico, se han creado un sinnúmero de aditivos artificiales, los cuales pasan por rigurosos procesos experimentales y de investigación antes de ser presentados a la comunidad ingenieril.

1.1 PROBLEMÁTICA

La construcción de carreteras en el Perú es de suma importancia para su desarrollo económico y social. Hasta el año 2015 solo el 13.7 % de la red vial del Perú se encontraba pavimentada, es decir se tenía un déficit de 86.3 % de toda la red vial del Perú, la cual se encuentra en condición de vía afirmada o trocha carrozable. Esto dificulta el desarrollo de los pueblos que se conectan con estas vías pues este tipo de carreteras son de difícil acceso y no comfortable para el usuario. Debido al déficit en carreteras, en el año 2007 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (M.T.C.) lanzó el Proyecto Perú, el cual tiene como principal estrategia recuperar y mantener las redes viales del Perú. Sin embargo, el presupuesto asignado para los proyectos de conservación y mejoramiento vial de las carreteras es bajo, por lo cual se tiene la necesidad de buscar una solución que sea rentable y sobretodo sostenible. Es por ello que han aparecido varios estabilizadores químicos que buscan dar una solución técnico-económica al mejoramiento de suelos en carreteras. Uno de estos estabilizadores es el Sistema Consolid el cual ha sido utilizado en África, Europa y parte de Latino América con buenos resultados, es por ello que en esta tesis se evaluará el aditivo tanto técnicamente, es decir mejora en propiedades físico-mecánicas y volumétricas, así como económicamente, comparándola con un estabilizador de uso frecuente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Evaluar el comportamiento del C.B.R. y la reducción de la susceptibilidad a la influencia del agua de un suelo areno-arcilloso usando el estabilizador químico Sistema Consolid.

1.2.2 Objetivos Específicos

- A. Estudiar las propiedades físico-mecánicas del suelo areno-arcilloso de la cantera del km. 25+000 del tramo Coracora - Piedras Blancas del corredor vial Coracora ubicado en el Departamento de Ayacucho.
- B. Realizar ensayos de laboratorio para evaluar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas y volumétricas del suelo tratado con el Sistema Consolid y con un estabilizador de uso frecuente.
- C. Realizar una evaluación técnica y económica del suelo estabilizado con el Sistema Consolid y compararlo con el suelo estabilizado con un estabilizador de uso frecuente.

1.3 HIPÓTESIS

Se evalúa técnicamente el suelo estabilizado con el Sistema Consolid verificándose el incremento del C.B.R. del suelo estabilizado con respecto al C.B.R. del suelo natural. Además, se logra una mejora de la susceptibilidad del suelo ante agua debido a la adición del aditivo químico.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El aditivo denominado “Sistema Consolid”, el cual se ha utilizado en esta investigación, está compuesto por dos aditivos que actúan conjuntamente: el Consolid 444 y el Solidry. Este aditivo fue creado en los años 60 por el Dr. Gunther Scherren. La primera aplicación documentada del aditivo Sistema Consolid fue en el año 1975 en Sudáfrica, utilizando material de suelo in-situ, usándose por 5 años sin ningún tipo de mantenimiento; Posteriormente en 1977, se estabiliza el Camino Forestal del Chara en España y, después de 16 años, se observó que solo se presentó desgaste en el tratamiento superficial pero no hubo ningún bache. En Latinoamérica la primera aplicación se dio en Argentina en el año 1990, dando buenos resultados en su aplicación en una diversidad de suelos, incluyendo suelos orgánicos, y en todo tipo de climas, secos, húmedos, cálidos y fríos con grandes amplitudes térmicas y congelamiento.

En el Perú, en el año 2010 se estabilizaron 103 kilómetros de la Carretera: “Ruta EMP. PE-1N – Dv. Nepeña-San Jacinto – Moro – Hornillo – Pamparomas – Dv. Huata- Pueblo Libre –EMP. PE 3N”, ubicada en el Departamento de Ancash. Se realizaron ensayos de laboratorio dando resultados favorables como por ejemplo la disminución de la ascensión capilar, y el aumento del C.B.R del suelo natural en hasta 18 veces su valor inicial. Entre los años 2011 y 2012, la Dirección de Estudios Especiales del MTC realizó investigaciones sobre soluciones técnico-económicas para mejorar la capacidad portante de suelos de fundación y el comportamiento de superficies de rodadura de carreteras no pavimentadas en zonas de selva baja, donde se evaluó al Sistema Consolid, presentando mejoras en el C.B.R. de los suelos analizados en hasta 3.5 veces su valor inicial. En el 2013, se realizaron pruebas para el Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo Carretera Pongo de Caynarachi – Barranquita-Pellejo, ubicado en el departamento de San Martín, donde se reportaron incrementos en el C.B.R. de 8.6 veces su valor inicial. En el 2014, Provias Descentralizado ejecutó 2 tramos pilotos en los proyectos: Mantenimiento Periódico del Camino Vecinal La Joya-Infierno y el Mantenimiento Periódico del Camino Vecinal Dv. Km 166 – Tropezón, evaluando 9 estabilizadores de suelos en el Laboratorio Central del MTC. Como

resultado de estas pruebas se seleccionaron 2 estabilizadores de suelos, siendo el Sistema Consolid uno de ellos.

En cuanto a tesis universitarias se han encontrado las siguientes:

- En el año 2006, El Ing. Le Quoc Treng del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba, realizó la tesis “Estabilización de suelo aplicando el Sistema Consolid”, concluyendo que el mayor beneficio es la disminución de la absorción y el ascenso capilar.
- En el año 2001, El Ingeniero Patricio Guarderas Valverde de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Ecuador, realizó la tesis “Estabilización de arcillas expansivas con el Sistema Consolid”, llegando a la conclusión de que se logra la disminución del hinchamiento hasta menos del 1 %, eliminando con ello la denominación de arcilla expansiva. También se notó el aumento del C.B.R volviendo al suelo hidrófugo.
- También en el año 2001, el Ing. Mauricio Moreno Pedraza de la Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, realizó la tesis “Estabilización de suelos para pavimentos flexible con el Sistema Consolid”, concluyendo que es factible el uso por el sustancial mejoramiento de las propiedades de resistencia y permeabilidad de suelos finos-arcillosos.

2.2 CONOCIMIENTOS PREVIOS

Es necesario conocer previamente conceptos ligados a la estabilización de suelos y pavimentos, que ayudarán a entender esta tesis.

2.2.1 Suelo

Das (2015) define el suelo como “el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (p.1). Otra definición dada por Rico y Del Castillo (2000) es que “Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de desintegración mecánica o de descomposición química de rocas preexistentes” (p.18). Estas dos definiciones coinciden en que el suelo contiene partículas minerales; es decir, tiene una composición química, la cual es obtenida de un proceso de descomposición natural a partir de una roca madre (ver Figura

Nº2.1). Con esto queremos hacer notar que el suelo, al presentar una composición química, puede sufrir cambios o mejoras por un proceso natural o artificial.

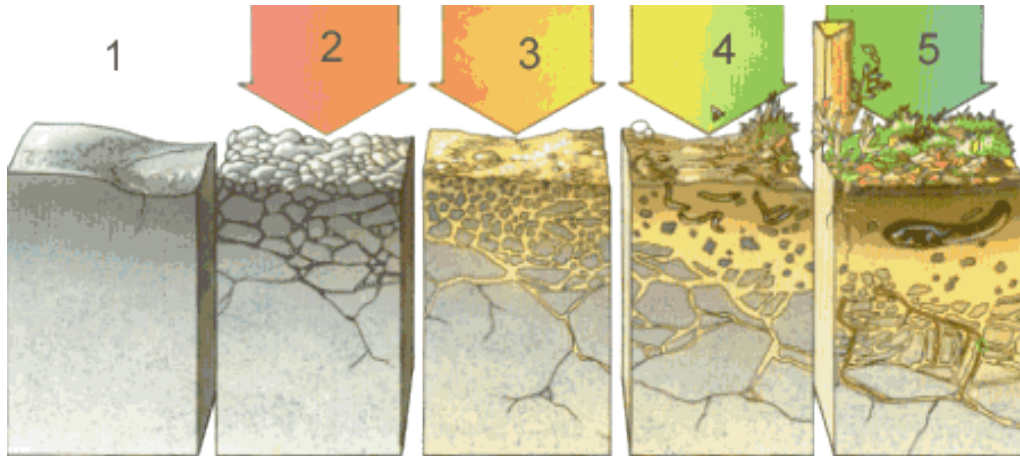


Figura Nº2.1 Proceso de formación de suelos.

Fuente: <https://pacheco4diversif.wordpress.com/2009/11/18/la-formacion-y-evolucion-del-suelo/>

2.2.2 Principales Tipos de Suelos

Dada la infinita variedad con la que los suelos se presentan en la naturaleza, existen diversas formas de clasificar los suelos. Una forma primaria de clasificar o identificar los tipos de suelos es hacerla en función de la naturaleza de la roca madre y del tamaño de las partículas que la componen (ver Figura Nº2.2) (Bañón y Beviá, 2000).

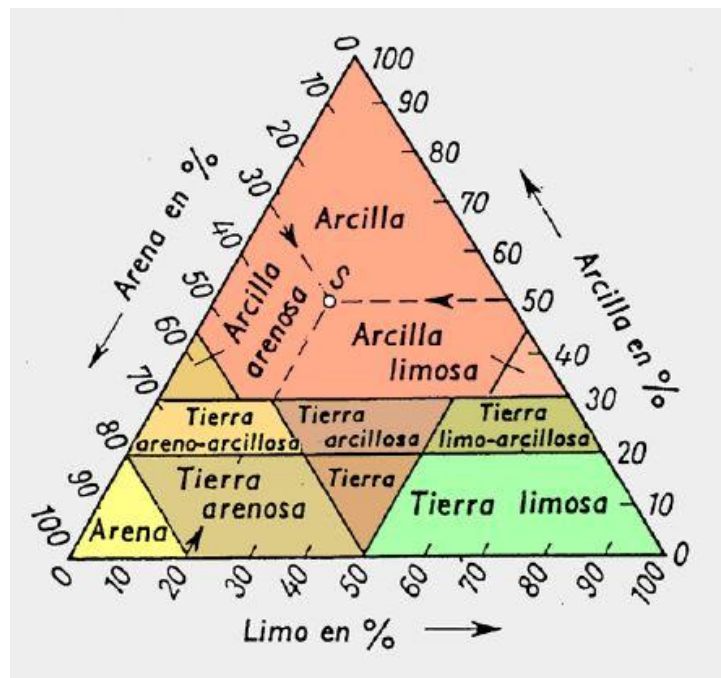


Figura Nº2.2 Clasificación composicional de los suelos.

Fuente: Bañón y Beviá, 2000.

Los tamaños de partículas que conforman el suelo, es decir su granulometría, pueden variar en un amplio intervalo (ver Figura N°2.3). Estos suelos están divididos en 3 grandes grupos: suelos granulares o gruesos, suelos cohesivos o finos y suelos orgánicos.

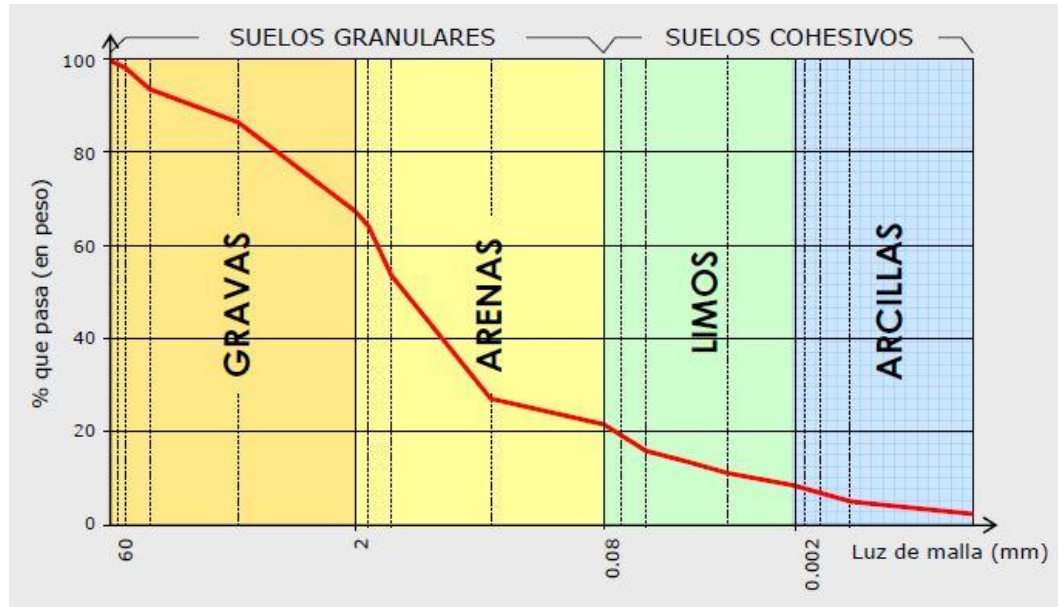


Figura N°2.3 Ejemplo Curva Granulométrica de un suelo.
Fuente: Bañon y Beviá, 2000.

2.2.2.1 Suelos Granulares

Son aquellos suelos de partículas gruesas y que no presentan cohesión entre estas. Este tipo de suelos son originados mayormente por meteorización física, tienen como principales características, su buena capacidad de soporte, y una alta permeabilidad, lo que permite una evacuación rápida de agua ante cargas externas. Esta capacidad para drenar es proporcional al tamaño de las partículas, o, dicho de otro modo, a la porosidad del suelo (Bañon y Beviá, 2000).

Este tipo de suelos está subdividido en dos grandes grupos; Gravas, que pueden ser fragmentos de rocas con partículas ocasionales de cuarzo, feldespato y otros minerales, y Arenas, con granos de menor tamaño que las gravas donde predominan el cuarzo y el feldespato y otros minerales. La separación de estos grupos se da por granulometría, considerándose como Arenas a las fracciones menores a 2 mm (Bañon y Beviá, 2000).

2.2.2.2 Suelos Cohesivos

Este tipo de suelos poseen partículas de tamaños menores a 0.075 mm. Su principal propiedad es la cohesión, la cual se define como la fuerza interparticular que produce el agua presente en el suelo no saturado. La importancia de la cohesión reside en el aumento de la resistencia del suelo frente a esfuerzos cortantes (Bañon y Beviá, 2000).

Los suelos cohesivos se subdividen en dos grupos: los limos, que están formados por partículas de tamaños entre 0.075 y 0.002 mm, y las arcillas, las cuales están compuestas por partículas microscópicas que proceden de la meteorización química de las rocas. Los limos y arcillas se diferencian principalmente por sus propiedades plásticas. Los suelos cohesivos poseen una baja permeabilidad, lo cual dificulta el paso del agua debido al tamaño reducido de sus poros y a su alta compresibilidad, ya que estos se comprimen de forma brusca cuando se aumenta su porcentaje de humedad hasta un valor crítico, esto debido a que se rompen los enlaces que unen sus partículas. Esta propiedad se emplea de forma directa en la compactación de suelos (Bañon y Beviá, 2000).

2.2.2.3 Suelos orgánicos

Dentro los suelos orgánicos están incluidos aquellos suelos que se forman por la descomposición de restos orgánicos de origen animal y/o vegetal. Estos se encuentran principalmente en las capas superficiales. Estos suelos se caracterizan por poseer una baja capacidad portante, compresibilidad alta y ser muy susceptibles al agua, además estos presentan procesos orgánicos que pueden reducir aún más sus propiedades de resistencia (Bañon y Beviá, 2000).

2.2.3 Carretera

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013a), en su glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, define carretera como el camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el MTC. Usualmente se confunde camino con carretera, pero la definición de camino es la siguiente: “Es la vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de

las vías férreas”. Es decir que las diferencias entre camino y carretera son principalmente el uso y el modo de concepción.

2.2.4 Tipos de Carretera

Las carreteras se pueden clasificar según su transitabilidad, según su demanda (IMD) y según su jerarquización (este último se verá en el punto 2.3).

2.2.4.1 Según su transitabilidad

A. Carretera Pavimentada

Es aquella cuya superficie de rodadura está conformada por una mezcla bituminosa o de concreto hidráulico (MTC, 2013a). Se puede adicionar a esta definición que se da el nombre de pavimentada si es que se ha construido sobre el suelo de fundación un pavimento (ver Figura N°2.4).



Figura N°2.4 Carretera Pavimentada, Autopista Panamericana Norte.
Fuente: Google.

B. Carretera Afirmada

Es aquella cuya superficie de rodadura está compuesta por material de afirmado (ver Figura N°2.5), siendo el afirmado una capa de material granular con una gradación específica que soporta cargas y esfuerzos del tránsito directamente (MTC, 2013a).



Figura N°2.5 Carretera Afirmada en el departamento de Huancavelica.
Fuente: Google.

C. Carretera No Afirmada

Es aquella en la cual la superficie de rodadura es el nivel de subrasante o cuando se haya perdido el afirmado u otro material que se haya adicionado previamente (ver Figura N°2.6) (MTC, 2013a).



Figura N°2.6 Carretera No Afirmada, en el departamento de Arequipa.
Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4.2 Según su demanda

A. Autopistas de Primera Clase

Una autopista de primera clase esta debe tener un IMDA (Índice Medio Diario Anual) mayor a 6000 veh/día, tener calzadas divididas y un ancho de carril de mínimo 3.60 m, además debe tener control total de accesos, sin cruces o pasos a nivel y debe contar con puentes peatonales en las zonas urbanas. (MTC, 2014a).

B. Autopistas de Segunda Clase

Una autopista de segunda clase es aquella con un IMDA entre 4001 y 6000 veh/día, con calzadas divididas; de dos o más carriles de ancho mínimo 3.60 m pudiendo tener pasos vehiculares a nivel y puentes peatonales en las zonas urbanas (MTC, 2014a).

C. Carreteras de Primera Clase

Una carretera de primera clase es aquella que cuenta con un IMDA entre 2001 y 4000 veh/día, con una calzada de dos carriles de mínimo 3.60 m de ancho. (MTC, 2014a).

D. Carreteras de Segunda Clase

Una carretera de segunda clase es aquella con un IMDA entre 400 y 2000 veh/día, con una calzada de dos carriles de mínimo 3.30 m de ancho (MTC, 2014a).

E. Carreteras de Tercera Clase

Las carreteras de tercera clase son aquellas con IMDA menores a 400 veh/día, con dos carriles de mínimo 3.00 m de ancho, estas pueden tener con el debido sustento técnico carriles de 2.50 m. En estas carreteras se pueden aplicar las denominadas soluciones básicas, las cuales consisten en la aplicación de estabilizadores de suelos conjuntamente con Micropavimentos (MTC, 2014a).

F. Trochas Carrozables

Las trochas Carrozables son aquellas que no cumplen con las características geométricas de una carretera, éstas tienen por lo general un IMDA menor a 200 veh/día, sus calzadas cuentan con un ancho de 4.00 m como mínimo, su superficie de rodadura puede ser afirmada o sin afirmar (MTC, 2014a).

2.2.5 Pavimento

Un pavimento puede definirse como un conjunto de capas superpuestas, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montejo, 2006). También se define como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de la terracería y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito (Rico y Del Castillo, 1999). En resumen, un pavimento es un conjunto de capas de material selecto compactado capaz de resistir las cargas de vehículos que circulan sobre esta.

2.2.6 Estructura del Pavimento

Como se mencionó el pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas las cuales soportan las cargas de tránsito y están apoyadas sobre el suelo de fundación (ver Figura N°2.7). Dependiendo del tipo de pavimento se tendrá una estructura diferente.

En la Figura N°2.7, se muestra una estructura típica de un pavimento, En el lado izquierdo se aprecia la estructura de un Pavimento Rígido o Pavimento de Concreto Hidráulico, está compuesta generalmente por: Superficie de rodadura (1); Subbase (2); Capa de subrasante (3), que en muchos casos es mejorada.

En el lado derecho para el Pavimento Flexible o Pavimento de Concreto Asfáltico, tenemos adicionalmente la Base (2); Subbase (2'); Suelo de fundación (4); y en algunos casos el Terraplén (5).

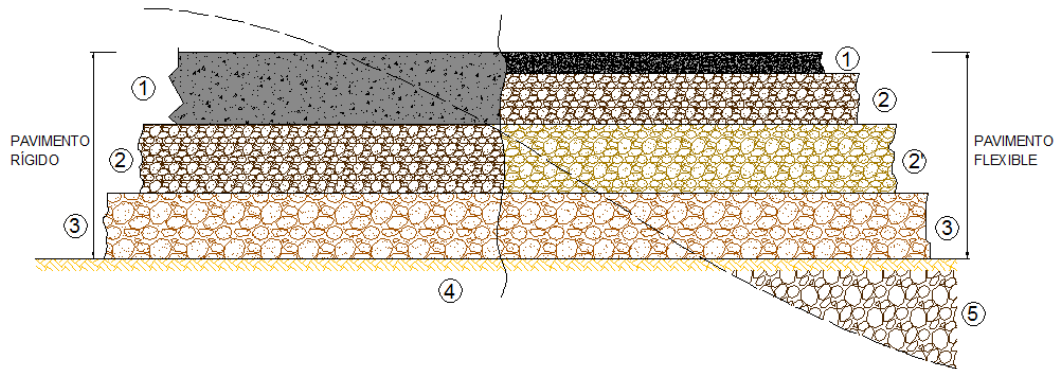


Figura N°2.7 Estructura de los Pavimentos Flexibles y Rígidos.
Fuente: Céspedes, 2002.

2.2.6.1 Suelo de Fundación

El suelo de fundación es el soporte de la estructura del pavimento y proporciona una parte sustancial de la capacidad general del sistema estructural del pavimento, especialmente para los pavimentos flexibles (Menéndez, 2013). Este suelo de fundación es el que se encuentra en el momento previo de la construcción, es decir el terreno existente que no siempre cumplirá con las condiciones requeridas y podrá ser reemplazado o mejorado.

2.2.6.2 Subrasante

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras, sobre la cual se coloca la estructura del pavimento. La subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en el suelo de fundación. Está compuesta por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño. El MTC (2014c) indica que para suelos debajo del nivel de subrasante, en una profundidad no menor de 0.6 m, deberán ser suelos con C.B.R. $\geq 6\%$ en caso contrario deberá estabilizarse, para lo cual el Ingeniero encargado deberá analizar la alternativa más conveniente para el tipo de suelo existente.

2.2.6.3 Subbase

La subbase es la capa de la estructura de pavimento que subyace a la base, compuesta por materiales granulares no tratados colocados generalmente sobre la subrasante, el afirmado o el terraplén. La subbase cumple como función principal, en pavimentos flexibles, transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito impone en magnitudes moderadas y tolerables por esta. Por estar conformada por agregados pétreos de menor costo que aquellos utilizados en la base, cumple una función económica (Rondón y Reyes, 2015). El MTC (2013b) indica como requerimiento mínimo de C.B.R. para subbase 40 % y un IP de máximo 6 % en altitudes < 3000 msnm y 4 % para > 3000 msnm.

2.2.6.4 Base

La Base es la capa de la estructura de pavimento 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 subbase, en algunas ocasiones 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 (Rondón y Reyes, 2015). En pavimentos rígidos se coloca debajo de las losas de concreto y tiene las mismas características y funciones que la subbase, por eso muchas veces se le denomina indistintamente con uno u otro nombre (Vivar, 1995). En lo que respecta a requerimientos MTC (2013b) indica que se debe tener un C.B.R. mínimo de 80 % para un tráfico en ejes equivalente menor de 10 000 000 y mínimo de 100 % para un tráfico de ejes equivalente mayor igual de 10 000 000.

2.2.6.5 Superficie de rodadura

Es la capa más superficial de un pavimento. Está constituida por una mezcla íntima de agregados gruesos y finos y un aglomerante, que, en el caso de pavimentos flexibles o de concreto asfáltico, puede ser cemento asfáltico, asfalto líquido o emulsiones asfálticas y en el caso de pavimentos rígidos o de concreto hidráulico es el cemento portland. Esta capa sirve para proteger a las capas inferiores del pavimento contra el desgaste, tomar los esfuerzos cortantes generados por las cargas de tránsito, proporcionar una superficie no deslizante, más bien suave al

deslizamiento y confortable al tránsito además de prevenir la penetración de agua hacia las capas inferiores del pavimento. En un pavimento rígido, la capa de desgaste o superficie de rodadura es además el principal elemento estructural (Vivar, 1995).

2.2.7 Tipos de Pavimento

Para clasificar un pavimento existen diferentes criterios, por lo cual actualmente no existe una clasificación unificada. En la actualidad existe una gama diversa de pavimentos que tienen diferentes estructuras. Los principales tipos de pavimentos son: Asfáltico o flexible, de concreto hidráulico o rígido, articulados o adoquinados y estabilizados.

2.2.7.1 Pavimento Flexible

También llamados asfálticos, son pavimentos compuestos por una o más capas de mezcla asfáltica, o por tratamientos superficiales. Estos se pueden clasificar por el espesor de la superficie de rodadura y/o su función. Los dos grandes grupos son: Superficies de asfalto, tratamiento o capas no estructurales: Tratamientos superficiales, morteros asfálticos o slurry seal, cape seal, sellos de arena, imprimación reforzada y micropavimentos; y Superficies asfálticas con capas estructurales: mezcla en frío, mezcla asfáltica en tibio, mezcla asfáltica en caliente (Menéndez, 2013).

2.2.7.2 Pavimento Rígido

También llamados de Concreto Hidráulico, son los que están constituidos por losas de concreto de cemento portland. Como la losa es la que absorbe los esfuerzos transmitidos por las cargas, muchas veces solo es necesario un terreno uniforme que reúna requisitos de una subbase (Céspedes, 2002). Los tipos de pavimento rígido son: Pavimento de concreto hidráulico simple sin elementos de transferencia de carga y con elementos de transferencia de carga, Pavimentos de concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero no estructural y estructural, Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo, Pavimentos de concreto hidráulico pre o postensado, Pavimentos de concreto hidráulico reforzado con fibras (Menéndez, 2013).

2.2.7.3 Pavimentos Articulados

Conocidos también como pavimentos adoquinados, son aquellos en los cuales la capa superior del pavimento está constituida por elementos prefabricados de concreto llamados adoquines (ver Figura N°2.8). Está formado típicamente por una base granular, cuando sea necesario, una capa de arena de asiento, los adoquines de concreto, la arena de sello, los confinamientos laterales y el drenaje, construido sobre una subrasante de suelo preparado para recibirlo. Se construyen de tal manera que las cargas verticales de los vehículos se transmitan a los adoquines adyacentes por corte a través de la arena de sello de las juntas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2010).

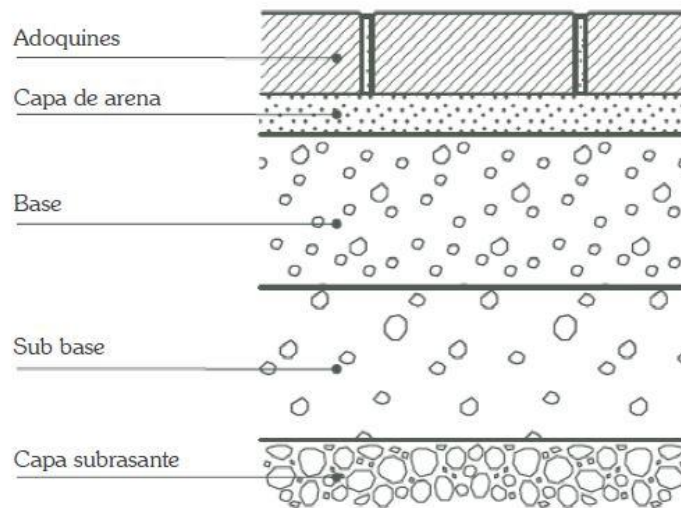


Figura N°2.8 Estructura de Pavimento Articulado.
Fuente: Google.

2.2.7.4 Pavimentos Compuestos

Un pavimento compuesto es aquel que se compone de una mezcla asfáltica en caliente (MAC) y un pavimento de concreto de cemento portland (CCP) (ver Figura N°2.9). El uso de CCP como una capa inferior y el MAC como capa superior resulta en un pavimento resistente de características deseables para soportar grandes cargas de tránsito. El CCP proporciona una base fuerte y el MAC proporciona una superficie lisa y no reflectante. Sin embargo, este tipo de pavimento es muy costoso y rara vez se utiliza como una nueva construcción. Desde el 2001, existe cerca de 155,000 km de pavimento compuesto en los Estados Unidos, casi todos

los cuales son la rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando una capa de asfalto (Huang, 2004).

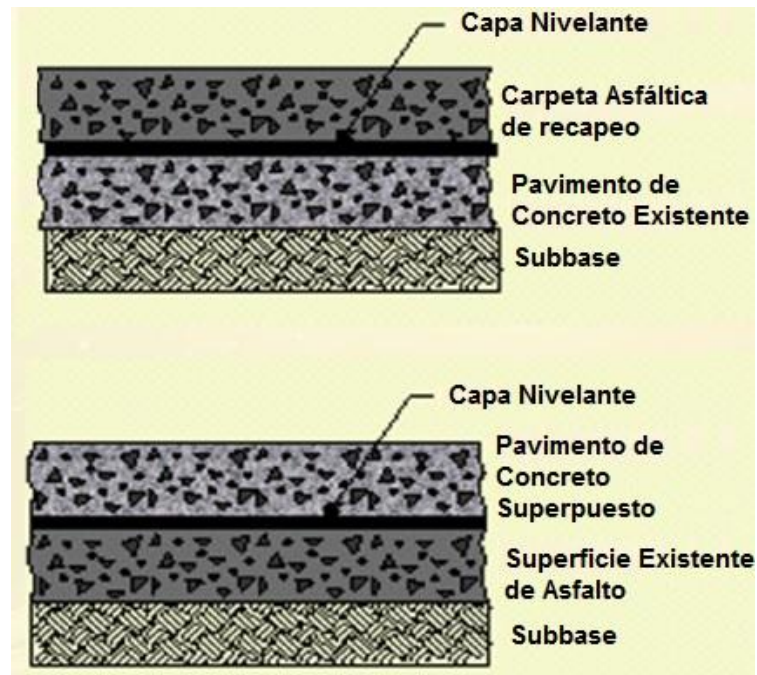


Figura N°2.9 Estructura de un Pavimento compuesto.
Fuente: Menéndez, 2013.

2.2.7.5 Pavimentos Afirmados

Este tipo de pavimentos tiene una superficie de rodadura conformada por el material granular seleccionado, afirmado, o directamente el suelo natural compactado (Menéndez, 2013).

2.2.7.6 Pavimentos Básicos

También denominados Pavimentos Económicos o Soluciones Básicas, las cuales consisten en alternativas técnicas, económicas y ambientales, en donde se aplican estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las capas de rodadura de las vías no pavimentadas tengan una mayor durabilidad y presten un mejor de servicio (MTC, 2015). Estos materiales estabilizados pueden estar expuestos directamente al tráfico en vías de bajo y medio nivel de tránsito; sin embargo, en la mayoría de casos pasan a formar parte de la estructura como capa de base, subbase o subrasante mejorada (Menéndez, 2013).

2.3 INFRAESTRUCTURA VIAL DEL PERÚ

La Infraestructura vial en Perú constituye un componente fundamental para el desarrollo nacional, sin embargo, lamentablemente aún no se tiene una infraestructura vial desarrollada. Según la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional ([AFIN], 2012), la brecha de infraestructura para redes viales es de 12,791 millones de dólares americanos (ver Tabla N°2.1), la cual se da sobre todo en redes subnacionales, a cargo de gobiernos regionales y locales.

Tabla N°2.1 Brecha de Inversión en Infraestructura del Perú - Sector Transporte

Sector	Brecha (Millones de US\$)
Transporte	20,935
Aeropuertos	128
Puertos	708
Ferrocarriles	7,308
Redes Viales	12,791

Fuente: Plan Nacional de Infraestructura 2012-2021 - AFIN

2.3.1 Sistema Nacional de Carreteras (SINAC)

El SINAC está conformado por 3 grandes redes viales; La Red Vial Nacional (RVN), la Red Vial Departamental (RVD) y la Red Vial Vecinal (RVV). En la Tabla N°2.2 podemos observar que solo un 13.7 % del SINAC se encuentra pavimentada (asfalto o solución básica), siendo la RVN la que tiene mayor porcentaje. El MTC a través de su ente encargado, Provias Nacional, tiene como meta al 2021 pavimentar el 100 % de la RVN, además cuenta con Programas de Infraestructura vial para intervenir las redes viales departamentales y vecinales.

Tabla N°2.2 Sistema Nacional de Carreteras

Red Vial del Perú	Pavimentado		No Pavimentado		Red Vial Existente	
	km	%	km	%	km	%
RV Nacional	18,420	69.7	8,016	30.3	26,436	15.9
RV Departamental	2,430	9.7	22,582	90.3	25,012	15.1
RV Vecinal	1,925	1.7	112,741	98.3	114,666	69.0
TOTAL	22,775	13.7	143,339	86.3	166,114	100.0

Fuente: MTC-OGPP-Oficina de Estadística / RVN, actualizada al 12-2015; RVD y RVV, actualizada a 12-2014.

2.3.1.1 Red Vial Nacional

La red vial nacional comprende las carreteras de importancia nacional que interconectan al país longitudinalmente y/o transversalmente, permitiendo la vinculación con los países vecinos. También interconectan las capitales de departamentos, además de interconectar 2 o más carreteras de la RVN. La red vial nacional está conformada por 133 rutas (AFIN, 2012). Hasta diciembre del 2015 la red vial nacional tenía una longitud de 25836 km de los cuales 69.7% están en condición de pavimentado y el 30.3 % en condición de no pavimentado (ver Tabla N°2.2).

2.3.1.2 Red Vial Departamental o Regional

La red vial departamental está conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un Gobierno Regional, conformada por 393 rutas. Articula básicamente a la red vial nacional con la red vial vecinal. Además, esta red posee vías complementarias o alimentadoras de la red vial nacional y sirve como elemento receptor de los caminos vecinales. Las vías de esta red pueden, indistintamente, ser longitudinales o transversales, siendo necesario que estén comunicadas entre sí conformando una red vial (AFIN, 2012). Hasta el año 2014 la red vial departamental tenía una longitud de 25012 km de los cuales un 9.7 % está pavimentado y el 90.3% en condición de no pavimentado (ver Tabla N°2.2).

2.3.1.3 Red Vial Vecinal o Rural

La red vial vecinal está conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito local, gobiernos locales; conformada por 6240 rutas, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, sirviendo de elemento de unión y comunicación entre los principales centros poblados, articulándose con la red vial departamental y/o la red vial nacional (AFIN, 2012). Hasta el año 2014 la red vial vecinal contaba con 114666 km de vías de las cuales solo 1.7 % estaba en condición de pavimentado y el 98.3% se encontraba sin pavimentar (ver Tabla N°2.2).

2.3.2 Conservación Vial

Es el conjunto de actividades que se realizan, con el fin de preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de tal manera que se garantice el confort del usuario (MTC, 2014b).

La conservación vial puede ser rutinaria, que comprende las actividades que se realizan en vías con carácter permanente con el fin de conservar sus niveles de servicio. Estas actividades comprenden principalmente labores de limpieza, bacheo, roce y otras actividades que pueden ser manuales o mecánicas necesarias para cuidar la seguridad del camino y prevenir el desarrollo de deterioros en todos los componentes de la infraestructura vial (MTC, 2014b).

Además, la conservación vial puede ser periódica, que comprende las actividades programadas cada cierto periodo. Es de naturaleza distinta pues esta mayormente referida a las condiciones que se requiere recuperar en los elementos que conforman la infraestructura vial. Algunas actividades que involucran son: reposición de carpeta de rodadura, colocación de capa nivelantes, reparación o reconstrucción de capas inferiores del pavimento (MTC, 2014b).

2.3.2.1 Importancia de la Conservación Vial

La importancia de la conservación vial radica, especialmente, en los costos que representan al país el no intervenir oportunamente las vías, para asegurar su uso permanente, siendo una de las mayores dificultades la diferencia de costos entre la conservación y la rehabilitación de esta. No realizar las actividades de conservación en el momento que corresponde implicará mayores costos de mantenimiento y mayores costos a los usuarios de la vía.

2.3.2.2 Niveles de Servicio

Son los indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario

(comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles (MTC, 2014b).

2.3.2.3 Conservación Vial por Niveles de Servicio

En la conservación vial por niveles de servicio o también llamado por resultados, las actividades se realizan con el fin de cumplir los parámetros admisibles, no midiéndose la cantidad de actividades. Siendo parte del contrato que el conservador mantenga la vía en las condiciones establecidas, por lo cual el pago se hace el cumplimiento de los parámetros previstos (MTC, 2014b). Se consideran dentro de esta la conservación periódica para restituir el nivel de serviciabilidad y la conservación rutinaria para mantener la serviciabilidad durante el tiempo de conservación.

2.3.3 Programas de Infraestructura Vial

El MTC con el fin de potenciar y expandir las redes viales alcanzando niveles razonables de transitabilidad con los cuales se piensa lograr el desarrollo económico a través de la integración total del territorio ha puesto en marcha distintos programas de infraestructura vial. Para el 2021, se tiene proyectado intervenir cerca de 5000 km de la Red Vial Departamental a través de su programa PRO REGIÓN y 2200 km de la Red Vial Vecinal con su programa PATS (Programa de Apoyo al Transporte Subnacional). Adicionalmente se tiene el Programa Proyecto Perú el cual introdujo el concepto de la conservación por niveles de servicio.

2.3.3.1 Proyecto Perú

Es un programa de conservación lanzado por el MTC en el año 2007, cuya estrategia es recuperar y mantener las vías de las redes viales del Perú en buen estado para el usuario final, con contratos de conservación por niveles de servicio de 5 años en corredores económico-viales de entre 300 a 400 km. El Proyecto se ha dividido en tres 3 fases (ver Figura N°2.10): Fase I, esta fase denominada de conservación en donde se hacen trabajo de mantenimiento rutinario y periódico por niveles de servicio, así como atención de emergencias. En esta fase se utilizarán los pavimentos básicos o económicos, no hay modificación de geometría. Fase II, donde se propone el ensanche de puntos críticos,

uniformizando el ancho de la calzada, además del uso de pavimentos básicos. Fase III, que se realiza una vez que el corredor vial haya alcanzado un IMD de 500 veh/día, en esta fase implementa el asfalto definitivo de la vía. Hasta el año 2016 se intervinieron más de 14000 km de la Red Vial Nacional.

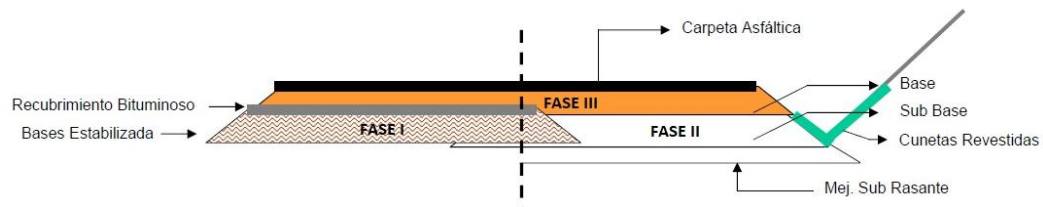


Figura N°2.10 Fases del Proyecto Perú.
Fuente: Provias Nacional

2.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

2.4.1 Definición

La estabilización de suelos, también denominada mejoramiento de suelos, es definida por Das (2015) como el “proceso de alteración de las propiedades de ingeniería de suelo in situ o tomado a un costo más bajo y con mejor control de calidad” (p.266). MTC(2014c) lo define como “el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos” (p.92). Otra definición más orientada a pavimentos es la dada por Vivar (1995) “como un medio de consolidación permanente de los materiales de subrasante, subbase y base, incrementando de manera notoria su resistencia y capacidad de carga y decreciendo su sensibilidad al agua y a los cambios volumétricos” (p.84). La estabilización de suelos es el proceso por el cual se logran mejorar las propiedades de los suelos con el fin de reducir costos, utilizando los materiales que se dispone en la zona de trabajo.

2.4.2 Criterios para establecer la estabilización de suelos

En el Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos - MTC (2014c) se establecen ciertos criterios para establecer la estabilización de suelos.

- 1) Cuando la capa de la subrasante tiene un C.B.R. < 6 %, o se presenten zonas húmedas o áreas blandas, esta será materia de un estudio especial para estabilización.

- 2) Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.
- 3) Los factores que se consideran al seleccionar el método más conveniente de estabilización son:
 - Tipo de suelo a estabilizar y el uso propuesto.
 - Tipo de aditivo estabilizador y la experiencia en su aplicación.
 - Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
 - Disponibilidad del equipo adecuado
 - Costos comparativos
- 4) Se presentan dos guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador, que satisface las restricciones y observaciones de cada tipo de suelo (ver Tabla N°2.3) y (ver Tabla N°2.4) (MTC, 2014c).

Además, la aplicación de los estabilizadores se da de acuerdo a las características particulares de cada proyecto, principalmente en función a su ubicación y tipo de suelo predominante. Las condiciones climáticas de cada proyecto (temperatura y precipitaciones pluviales), según su ubicación, es determinante para la selección del estabilizador. El Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras no pavimentadas MTC (2015) muestra las especificaciones técnicas de los tipos de estabilizadores y su aplicación de acuerdo a la región donde se ubica el proyecto, condiciones climatológicas y materiales disponibles en la zona (ver Tabla N°2.5)

Tabla N°2.3 Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

Área	Clase de suelo ^(a)	Tipo de Estabilizador Recomendado		Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla N° 200	Observaciones
1A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW-SM o SP-SM o SW-SC o SP-PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no excede de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM o SC o SM-SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2B	GW-GM o GP-GM o GW-GC o GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2C	GM o GC o GM-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la Malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volantes	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML u OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL menor de 40 IP menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		

(a) La clasificación de suelo corresponde a MIL-STD-619B. La restricción del LL y del IP es en concordancia con el Método 103 en MIL-STD-621A.
(b) $IP \leq 20 + (50 - \% \text{ QUE PASA LA MALLA N° 200})/4$

Fuente: MTC (2014c), Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos, p. 96. / U.S. Army Corps of Engineers.

Tabla N°2.4 Guía Complementaria Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo ⁽¹⁾	Dosificación ⁽³⁾	Curado (Apertura al Tránsito) ⁽⁵⁾	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 306B ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL < 40% IP ≤ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a las recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2 y A-3 Pasante N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 10% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 307B ASTM C977 AASHTO M216	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 3.0% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7 8% ≤ IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	7 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E 1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E 1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7 6% ≤ IP ≤ 15% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe tener Abrasión < 50% % < N°200: 10-35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

(1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8". Tamaño máximo: 2", debe carecer de restos vegetales.

Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto

(2) CMO: Contenido de materia orgánica

(3) Los diseños o dosificaciones deben indicar: fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua a, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado.

(4) Para altitudes mayores a 3000 msnm.

(5) Después de finalizado el proceso de compactación.

Fuente: MTC (2014c), Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, p.97.

Tabla N°2.5 Especificaciones Técnicas de Tipos de Estabilizadores y su aplicación según Región

ZONA	MATERIALES O SUELOS PREDOMINANTES	ESTABILIZADOR DE SUELOS APLICABLE
COSTA (Altitud: hasta 500 msnm)	Suelo granulares, de nula a baja plasticidad (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	- Sales - Cemento Portland, Ceniza Volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.).
SIERRA (Altitud: entre 500 y 4800 msnm)	Suelo granulares, de nula a plasticidad media (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	- Cemento Portland, Ceniza Volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.).
CEJA DE SELVA Y SELVA ALTA (Altitud: entre 400 y 1000 msnm)	Suelo granulares, de nula a plasticidad alta (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7)	- Cemento Portland, Ceniza Volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Cal - Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.).
SELVA BAJA (Altitud: menos a 400 msnm)	Suelos Limo-Arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas (Clasificación AASHTO: A-2-4, A-3, A-6, A-7)	- Cemento Portland, Ceniza Volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Cal - Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.).

Fuente: MTC (2015), Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas, p.5.

2.4.3 Propiedades de suelos a estabilizar

La gran variabilidad de suelos y sus composiciones hacen que no se pueda aplicar el mismo método de estabilización para todos, por lo que se debe analizar qué propiedades se desean mejorar (Rico y Del Castillo, 1999). Las propiedades de los suelos que mayormente se estudian y deben ser tomadas en cuenta por los ingenieros cuando se estudian problemas de estabilización, son:

2.4.3.1 Estabilidad Volumétrica

La estabilidad volumétrica hacer referencia principalmente a suelos expansivos por cambio de humedad, relacionado con cambios estacionales o con la actividad del ingeniero. Por ello, si las expansiones que se desarrollan respecto debido al cambio de humedad no se controlan de alguna forma, las presiones generadas por los suelos expansivos pueden generar grandes deformaciones y rupturas en

el pavimento y en general en cualquier obra, es por ello que es necesario detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado (Montejo, 2006). Usualmente para controlar los suelos expansivos se usan técnicas como uso de capas permeables, uso de cargas, introducción de agua entre otras, sin embargo, la estabilización de suelos a través de medios químicos térmicos trata de transformar la masa de arcilla expansiva en una masa rígida o en una granulada, con sus partículas suficientemente ligadas como para resistir las presiones internas de la expansión. Usualmente en tratamientos de capas superficiales de arcilla expansiva, se estabiliza solamente la parte superior y esto será suficiente siempre que se balancee correctamente la presión de expansión que producirá las capas subyacentes no tratadas (Rico y Del Castillo, 1999).

2.4.3.2 Resistencia

La resistencia de los suelos, con algunas excepciones, es en general menor cuanto mayor sea su contenido de humedad, es decir cuando este encima de su óptimo contenido de humedad (Montejo, 2006). Además, los suelos en los que se presenta un importante contenido de materia orgánica presentan problemas de falta de resistencia (Rico y Del Castillo, 1999). Por ello al estabilizar el suelo se deberá lograr alcanzar la resistencia adecuada para soportar las cargas a las que ha de estar sometido.

La compactación es de hecho una forma de estabilización a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos. Adicionalmente se usan otras técnicas como: la vibro flotación, la precarga, el drenaje, la mezcla de suelos y la estabilización química (Rico y Del Castillo, 1999).

2.4.3.3 Permeabilidad

Es la propiedad de los suelos que permite el paso del agua y el aire, siendo una de las cualidades más importantes a definir en los suelos, ya que involucra dos problemas básicos, como son el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado al flujo de agua a través del suelo. El exceso de presión de poros puede originar deslizamientos en explanaciones y el flujo de agua origina tubificaciones y arrastres (Montejo, 2006).

La modificación sustancial de la permeabilidad de formaciones de suelo se suele hacer por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos se suele usar defloculantes como los polifosfatos, los cuales pueden reducir la permeabilidad significativamente; el uso de floculantes como el hidróxido de cal o el yeso aumenta el valor de permeabilidad. Además, en la actualidad se dispone de otros químicos que pueden ayudar a disminuir la permeabilidad del suelo, pero se debe analizar que no afecte negativamente la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos (Rico y Del Castillo, 1999).

2.4.3.4 Compresibilidad

Es la propiedad que posee un suelo a sufrir variaciones volumétricas bajo el estado de cualquier carga. La compresibilidad influye en las propiedades de los suelos, pues se modifica la permeabilidad y se alteran las fuerzas existentes entre partículas, lo cual modifica la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos (Montejo, 2006). La compactación es una forma común de estabilización que modifica la compresibilidad de los suelos, sin embargo, la compactación no es el único método de estabilización que influye en esta propiedad, se podría decir que la mayoría de métodos de estabilización influyen en la variación de la compresibilidad (Rico y Del Castillo, 1999).

2.4.3.5 Durabilidad

Se suele relacionar la durabilidad con la resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico, por ello, los problemas de durabilidad en vías suelen estar ligadas a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento. Estos problemas pueden afectar tanto a los suelos naturales como a los estabilizados. Por ello en suelos estabilizados se debe tener en cuenta al momento de la elección del método de estabilización y además si el material estabilizado estará en contacto directo con el tráfico o irá debajo de un tratamiento superficial. En la actualidad no existen métodos que permitan establecer con seguridad cual va a ser la durabilidad de un suelo estabilizado y esta es la razón por la cual el concepto de durabilidad es hoy en día uno de los más difíciles de analizar, por lo menos cuantitativamente (Rico y Del Castillo, 1999).

2.4.4 Tipos de Estabilización

Existen diversos métodos de estabilización de suelos. Estos se clasifican en función de su incidencia el comportamiento del suelo, colocándose en dos categorías principales.

2.4.4.1 Estabilización Físico-Mecánica

Se denomina así a la técnica de estabilización que 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. Las más conocidas y usadas son:

A. Compactación

Es el método más conocido, en el cual las propiedades del suelo se mejoran a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre la masa de suelo parcialmente saturado, utilizando equipos llamados compactadores (Rico y Del Castillo, 2000).

B. Mezcla de Suelos

Este tipo de tratamiento busca lograr determinadas propiedades mediante la incorporación al material existente de otro material de préstamo verificándose en la fracción fina una granulometría uniforme y en la fracción gruesa una plasticidad adecuada de tal manera que el proceso de compactación se facilite (Rico y Del Castillo, 1999).

C. Vibroflotación

Este método es especialmente aplicable en la compactación de arenas o suelo con alta permeabilidad y consiste en la inserción de un dispositivo vibratorio capaz de aplicar un chorro de agua simultáneamente con el vibrador, lo cual produce la licuación de la arena lográndose con ello su compactación (Montejo, 2006).

D. Geosintéticos

A diferencia de los suelos, los geosintéticos proporcionan resistencia a la tracción y una mejora significativa en el rendimiento y construcción de

pavimentos. La función drenante y anticontaminante es la misión específica de los geotextiles, la función de impermeabilización o protección es de las geomembranas y el armado y refuerzo de los pavimentos es de las geomallas (MTC, 2014c).

2.4.4.2 Estabilización Química

Este método implica la aplicación de aditivos químicos, genéricamente llamados estabilizadores químicos, los cuales se deben mezclar homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas para mejorar el comportamiento de los suelos (Das, 2015). La aplicación de un estabilizador químico busca mejorar las propiedades del suelo, pudiéndose reducir la plasticidad, el potencial de expansión-contracción y así darle mayor capacidad de respuesta a los requerimientos de carga dinámica a los que estará sometido. Los principales métodos de estabilización química son:

A. Estabilización con Cal

El suelo-cal se obtiene por mezcla íntima de suelo, cal y agua. La cal que se utiliza es óxido cálcico (cal viva) o hidróxido cálcico (cal hidratada). Al mezclar el suelo con la cal, se produce una reacción inmediata de floculación e intercambio iónico, seguida de otra lenta de tipo puzolánico. Uno de los efectos más importantes de la cal en el suelo, es el de reducir su plasticidad, así como reducir la humedad óptima de compactación lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural. Los suelos apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina de cierta plasticidad (MTC, 2014c). La National Lime Association indica que las propiedades que se obtienen después de estabilizar el suelo con cal son:

- Reducción del Índice de Plasticidad.
- Obtención de un material más trabajable producto de la reducción del contenido de agua.
- Reducción del potencial de contracción
- Incremento de la resistencia a la compresión simple.
- Incremento de la capacidad portante del suelo (C.B.R.)
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.

- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar.

B. Estabilización con productos asfálticos

La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad, el aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo; la impermeabilización del suelo haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas. La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la superficie específica del suelo. Los suelos más adecuados para este método son los suelos granulares con pocos finos, de poca plasticidad, y otros requerimientos que se indican en las Tablas N°2.4 y N°2.5. Los materiales asfálticos usualmente empleados son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica. La dosificación depende de la granulometría del suelo, los suelos finos requieren mayor cantidad de asfalto (MTC, 2014c).

C. Estabilización con Cemento

Los inicios de la estabilización de suelos con cemento se remontan a 1917, cuando Joseph H. Amies patentó un primer procedimiento de mejoramiento de suelos a base de mezclas con proporciones variables de cemento tipo Portland, desde entonces la utilización del suelo-cemento se ha extendido por el mundo (Rico y Del Castillo, 1999). El suelo-cemento, como comúnmente se le conoce a este método, se obtiene por la mezcla de un suelo disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto.

Las propiedades del suelo-cemento dependerán, del tipo de suelo, cantidad de cemento y agua, el proceso constructivo y la edad de la mezcla compactada y tipo de curado (MTC, 2014c).

Al igual que la cal, el cemento ayuda a aumentar la resistencia de los suelos y aumenta la fuerza con el tiempo de curado. Los suelos que mejor se adecuan a este método son los suelos granulares y los suelos arcillosos de baja o media plasticidad y que cumplan los requerimientos de las Tablas N°2.4 y N°2.5.

Al añadir cemento al suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad óptima varían, según el tipo de suelo pudiendo disminuir o aumentar. En la Tabla N°2.6 se proporciona porcentajes iniciales de cemento para pruebas de laboratorio de acuerdo al tipo de suelo.

Tabla N°2.6 Requerimiento de cemento de acuerdo al tipo de suelo.

Clasificación de Suelo según AASHTO	Clasificación de Suelo según SUCS	Rango Usual de Cemento Requerido		Contenido típico de cemento para prueba de humedad-densidad, % en peso
		Porcentaje en Volumen (%)	Porcentaje en Peso (%)	
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	5-7	3-5	5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7-9	5-8	6
A-2	GM, GC, SM, SC	7-10	5-9	7
A-3	SP	8-12	7-11	9
A-4	CL, ML	8-12	7-12	10
A-5	ML, MH, CH	8-12	8-13	10
A-6	CL, CH	10-14	9-15	12
A-7	MH, CH	10-14	10-16	13

Fuente: Soil-Cement Laboratory Handbook, Portland Cement Association, 1992

D. Otros Estabilizadores Químicos

Existen actualmente en el mercado un sinnúmero de estabilizadores químicos, por ejemplo, los aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, catalizadores, enzimas, entre otros, que son usados para mejorar las propiedades de los suelos. Cada estabilizador debe ser usado según su especificación técnica, ya que actúan de distinta forma en reacción con el suelo a estabilizar, algunos presentan restricciones y no son aplicables a todo tipo de suelos. El uso de este tipo de estabilizadores no está muy difundido debido a la falta de experimentación con los mismos por parte de los Ingenieros y entidades encargadas.

2.5 ORIGEN DEL SUELO A ESTABILIZAR

2.5.1 Ubicación

La muestra de suelo usada para las pruebas de laboratorio con los estabilizadores fue obtenida en el km 25+000, Lado Izquierdo, del Tramo Coracora – Piedras Blancas que tiene una longitud de 43 kilómetros y con altitudes que varían entre 1900 y 3200 m.s.n.m. Este tramo pertenece al corredor vial Puquio – Cora Cora – Emp. 1S (Chala)/Cora Cora – Yauca – Emp. PE 1S / Emp. PE 32 (Ullaccasa) – Pausa.

La zona donde se extrajo la muestra pertenece a la Comunidad Campesina de Acos a 46 minutos de Coracora (ver Figura N°2.11) ubicada en el distrito de Chumpi, Provincia de Parinacochas y Departamento de Ayacucho, a una altitud aproximada de 2350 m.s.n.m. (Ver Figuras N°2.12 y 2.13).



Figura N°2.11 Imagen Satelital de la distancia de Coracora al punto de muestreo.
Fuente: Google Maps.

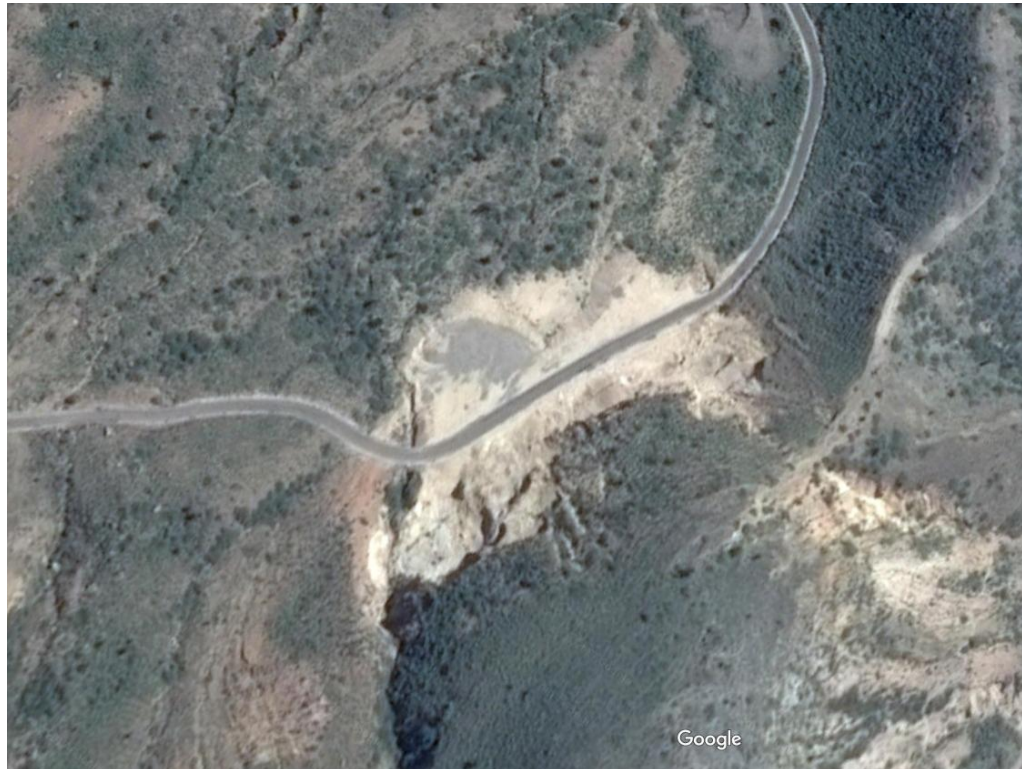


Figura N°2.12 Imagen Satelital del punto de extracción de la muestra.
Fuente: Google Earth.



Figura N°2.13: Fotografía del punto de extracción de la muestra.
Fuente: Elaboración Propia.

2.5.2 Geología Local

Según el mapa geológico del cuadrángulo Coracora el sector de donde se extrajo la muestra pertenece al Cenozoico-Neogeno-Mioceno-Grupo Tacaza (PN-ta) que se describe como una secuencia volcano sedimentaria conformada por conglomerados basales e intercalación de arena gris clara, pelita parda a blanquecina, toba lapilli, toba cristalolitica y flujos de lava de composición andesítica.

2.6 SISTEMA CONSOLID

Durante los años 60 en Suiza, el Dr. Gunter Cherr desarrolló una forma de incidir en los suelos de modo que hubiera un cambio permanente en su comportamiento, para esto estudió el comportamiento de las rocas que por efectos químicos y mecánicos son transformadas en suelo y a su vez el suelo bajo una presión prolongada durante mucho tiempo se convierte en roca de nuevo, lo que se denomina petrificación (ver Figura N°2.14), a raíz de este estudio nace el Sistema Consolid. Este producto ha sido usado desde su creación en Europa, Asia, África y América.

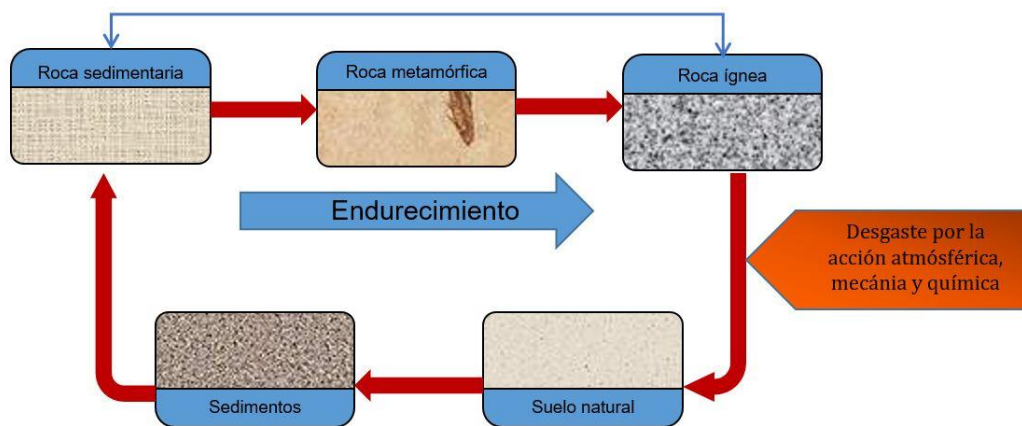


Figura N°2.14: Proceso de transformación y retransformación de la roca.
Fuente: Sistema Consolid.

2.6.1 Descripción

El Sistema Consolid es un estabilizador de suelos cohesivos y semicohesivos ya que estos suelos tienen la propiedad de volver a petrificarse en tiempos prolongados y a presiones muy altas, mediante la adición de catalizadores el

Sistema Consolid acelera el proceso de petrificación. El tratamiento se basa en la aplicación del Sistema Consolid que, a diferencia de otros estabilizadores químicos como el asfalto que actúan como ligantes y otros que reaccionan químicamente con el suelo, el Sistema Consolid no es un ligante (no pega las partículas entre sí) ni un reactor químico (no cambia la estructura química del suelo). El Sistema Consolid se basa en la aplicación y mezcla con el suelo de dos componentes: Consolid 444 y Solidry.

2.6.2 Consolid 444

Consolid 444 (C-444) es un líquido semi viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros catalizadores aceleradores de la penetración. Este componente líquido induce la aglomeración irreversible de las partículas finas y de este modo una reducción de la superficie activa del suelo. Actúa sobre el agua absorbida insertándose entre las partículas del suelo formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reducen la tensión superficial de agua que circunda dichas partículas de manera tal que la película de agua que las cubre se dispersan permitiendo así su evaporación, quedando la cantidad suficiente para la lubricación entre las partículas del suelo, promoviendo una mayor capacidad de compactación y atracción electromagnética entre ellas de manera tal de proveer al suelo de una mayor resistencia a la deformación (ver Figura N°2.15). Los contenidos de agua del suelo, especialmente su saturación capilar, es altamente disminuida logrando inhibir casi por completo el ascenso capilar.

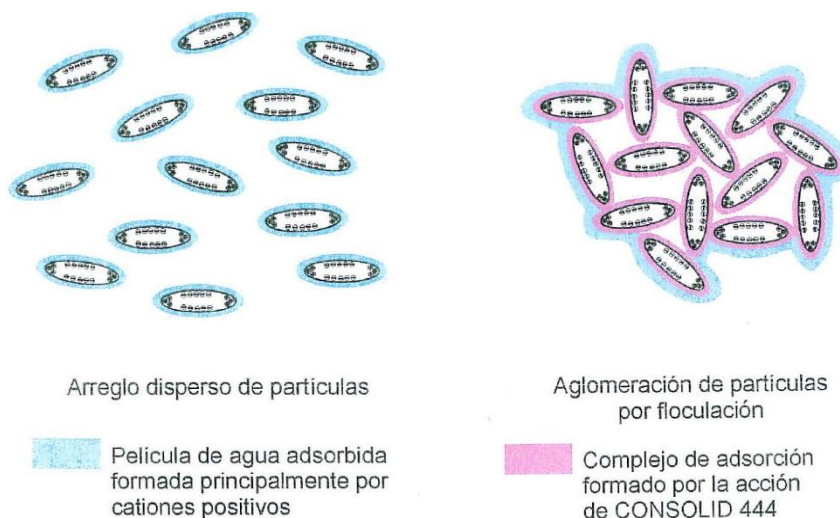


Figura N°2.15 Variación de los arreglos de partículas por efecto del Consolid 444.
Fuente: Sistema Consolid.

2.6.3 Solidry

Solidry es un polvo granulado formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos, mezclados con cemento y cal hidratada. Este producto complementario del C-444, refuerza la protección contra el agua, bloqueando los capilares y permitiendo además que el agua de la superficie no penetre en la capa tratada, impermeabiliza el suelo de manera que impide el ingreso y controla la pérdida de humedad, controla los procesos de capilaridad como de permeabilidad, transformando al suelo en un material hidrófugo. El espectro de suelo al que se puede aplicar Solidry es muy amplio, pudiendo ser suelos no plásticos, pero está diseñado principalmente para ser aplicado a suelos de alta plasticidad, llevando su índice plástico a valores tales que el suelo pueda ser trabajado fácilmente. Solidry, es el componente sólido del sistema y el que permite en conjunto con el componente líquido, Consolid 444, iniciar el proceso catalítico del suelo estabilizado. Esta propiedad diferencia totalmente al Sistema Consolid de otros estabilizadores químicos, enzimáticos, etc., al lograr obtener valores estructurales altos y estables en el tiempo del suelo estabilizado.

2.6.4 Ventajas y Limitaciones

Según indican las especificaciones técnicas del Sistema Consolid las ventajas que se presentan en el suelo estabilizado con este producto son:

- Incremento de la capacidad de soporte, el valor de C.B.R. se logra incrementar entre 6 a 7 veces más de su valor natural.
- Aumento de la máxima densidad seca entre 5 a 10 %, pudiendo no haber variación en algunos suelos.
- Reduce el óptimo contenido de humedad.
- La liberación al tránsito de la vía estabilizada puede ser inmediatamente después de terminada la compactación.
- El rendimiento promedio puede llegar de hasta 1km por día de colocación y compactación del suelo estabilizado en un ancho de 6m.
- Reduce la permeabilidad y la velocidad de ascenso capilar.
- Reduce el índice de plasticidad.
- No susceptible a los cambios de temperatura, ni heladas.
- Al no ser un ligante, no rigidiza el pavimento manteniéndolo flexible.

- Reduce la expansión e hinchamiento del suelo hasta un 100 %.
- El suelo tratado es reciclable, es decir puede ser recuperado y utilizado en otro lugar sin perder sus propiedades.
- La construcción puede ser interrumpida a causa de la lluvia sin consecuencias negativas.

Sin embargo, unos de las limitaciones que presenta el Sistema Consolid es que no posee resistencia al desgaste superficial producido por el tránsito, siendo imprescindible la colocación de una superficie o capa de rodadura, la cual puede ser un tratamiento superficial.

Si bien en la práctica se dice que el Sistema Consolid es aplicable a todo tipo de suelos existen casos en los que no podría ser aplicable, por ejemplo, en arenas muy sueltas o suelos altamente orgánicos. Como recomendación el contenido de finos no debe ser menor de 20 %.

2.6.5 Dosificación del Sistema Consolid

La elección de la dosificación 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 granos finos (donde principalmente actúan los componentes). Para encontrar la dosificación adecuada se debe realizar ciertas pruebas de laboratorio, para ello el distribuidor del Sistema Consolid en Perú recomienda el siguiente rango de dosificaciones para realizar los ensayos de laboratorio.

Consolid 444: 0.08 l/m³ a 0.16 l/m³

Solidry: 0.5 % a 2.0 %

Según el Manual del Sistema Consolid los pasos a seguir para obtener la dosificación apropiada son:

1. Realizar los ensayos de caracterización del suelo a estabilizar, tales como: Análisis Granulométrico, Límites de Consistencia y Humedad Natural, para determinar el tipo de suelo; también es necesario realizar los ensayos de Proctor Modificado y C.B.R. para determinar las propiedades mecánicas del suelo natural.

2. Una vez clasificado el suelo, el siguiente paso es seleccionar las dosificaciones a usar para los ensayos de laboratorio. Según el manual del Sistema Consolid, hay dos ensayos con los cuales se selecciona la dosificación óptima para el proyecto a realizar, estos ensayos son: Ascensión Capilar y C.B.R.
3. Las ecuaciones 2.1 y 2.2 se usan para determinar la cantidad de aditivo a usar en las pruebas de laboratorio.

$$C - 444 \text{ (ml)} = \frac{[(\text{Peso de Suelo}) \times (\text{Dosificación } C - 444) \times 100] \times 1000}{\text{Máxima Densidad Seca}} \dots (2.1)$$

$$\text{Solidry (g)} = [(\text{Peso de Suelo}) \times (\text{Dosificación Solidry}) \times 1000] \dots (2.2)$$

4. Realizar el ensayo de Proctor modificado para cada una de las dosificaciones, las cuales nos darán nuevos resultados de Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad.
5. Luego, realizar los ensayos de ascensión capilar y C.B.R. con estos datos se selecciona la dosificación adecuada para los requerimientos del proyecto a ejecutar.

2.6.6 Método de aplicación en campo

Una vez seleccionada la dosificación adecuada, se procede de la siguiente manera para su aplicación en campo:

1. En primer lugar, se escarifica el suelo con una motoniveladora, esto se realiza hasta que el suelo quede bien desmenuzado (ver Figura N°2.16).



Figura N°2.16 Escarificado de suelo con Motoniveladora.
Fuente: Sistema Consolid.

2. Luego se aplica el primero de los dos productos a utilizar que es el Consolid 444 (ver Figura N°2.17). Para ello, se deberá cargar agua en una cisterna. La cantidad (en litros) debe ser aproximadamente 3 a 4 veces la superficie (en m^2) a tratar, después agregar al agua el Consolid 444 en la dosificación que se haya escogido. El contenido de la cisterna se esparce en varias pasadas, lo más uniformemente posible sobre la superficie a tratar. Luego se mezcla cuidadosamente con la motoniveladora.



Figura N°2.17 Riego del aditivo Consolid 444.
Fuente: Sistema Consolid.

3. La segunda etapa comienza con la distribución de las bolsas de Solidry sobre la superficie a tratar. Una vez terminada la distribución, se vaciará su contenido en todo el ancho del camino, luego se distribuye en toda el área calculada para cada bolsa de Solidry. Esta distribución debe efectuarse lenta y suavemente para evitar el desperdicio del material (ver Figura N°2.18).



Figura N°2.18 Distribución del aditivo Solidry en todo el área.
Fuente: Sistema Consolid.

4. El mezclado con la motoniveladora se inicia a baja velocidad para evitar el venteo del material, luego se podrá ir aumentando la velocidad (ver Figura N°2.19).



Figura N°2.19 Mezclado de Solidry con la Motoniveladora.
Fuente: Sistema Consolid.

5. Una vez terminada la mezcla se inicia la compactación final. De ser necesaria la incorporación de agua para realizar la compactación y llegar al óptimo contenido de humedad se puede agregar sin ningún problema (ver Figura N°2.20).



Figura N°2.20 Compactación de suelo estabilizado con el Sistema Consolid.
Fuente: Sistema Consolid.

6. Para facilitar el proceso de mezclado y obtener mezclas más homogéneas, se puede usar una recicladora de pavimentos (ver Figura N°2.21).



Figura N°2.21 Recicladora conectada a Cisterna con Aditivo Consolid 444.
Fuente: Sistema Consolid.

7. El Manual del Sistema Consolid da las siguientes recomendaciones:
- Antes de mezclar el Consolid 444 con el agua en la cisterna, deberá batirse el contenido de los tambores, acostando los tambores y haciéndolos girar varias veces.
 - El Solidry es un polvo que el viento se puede llevar con mucha facilidad, por lo que hay que evitar su aplicación en días ventosos y en horas donde habitualmente hay mucho viento.

CAPÍTULO III: ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Este capítulo abarca la parte experimental de la tesis, la cual es de suma importancia para lograr los objetivos de esta. Los ensayos realizados para evaluar las propiedades de comportamiento del suelo estabilizado en el laboratorio son los requeridos por el MTC en su Directiva N° 007-2005-MTC/14 “Evaluación de la aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos” en complemento con la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109 y El Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas.

Los ensayos de laboratorio se han realizado de acuerdo a las normas internacionales ASTM, AASHTO y Australian Standard y el Manual de Ensayo de Materiales 2016 del MTC. Además, para realizar el diseño con el aditivo químico se usó el Manual del Sistema Consolid y para el suelo-cemento el Soil-Cement Laboratory Handbook de la Portland Cement Association (PCA).

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO A ESTABILIZAR

Antes de realizar cualquier trabajo de estabilización de suelos es importante conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo a estabilizar. La caracterización del suelo nos ayuda a seleccionar si el método de estabilización elegido es el correcto, y también a encontrar la dosificación óptima del aditivo estabilizador a usar.

3.1.1 Análisis Granulométrico

Se denomina análisis granulométrico a la separación del suelo en diferentes fracciones seleccionadas por el tamaño de sus partículas, expresados como un porcentaje del peso seco de la muestra. Esta muestra debe ser representativa para obtener un resultado significativo por lo cual se utilizan los métodos de separación indicados en las normas, pudiendo ser uno de estos el cuarteo. El análisis granulométrico es una parte importante que se toma como criterio de aceptabilidad de los suelos usados en carreteras, aeropuertos entre otros, este puede servir para predecir movimientos del agua a través del suelo y también para predecir la susceptibilidad de sufrir acción de las heladas en climas muy fríos (Bowles, 1981).

El análisis granulométrico es parte importante para la determinación del tipo y cantidad de aditivo a utilizar en la estabilización de suelos. El Manual del Sistema Consolid indica que para un mejor comportamiento del aditivo el suelo a estabilizar debe tener un contenido de finos, material pasante el tamiz N°200, mayor de 20%. En el suelo-cemento, el análisis granulométrico se usa para obtener la cantidad de cemento inicial para el diseño.

Se usan dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: Análisis Granulométrico por tamizado, para partículas mayores de 0.075 mm (tamiz N° 200) y Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro, para partículas menores de 0.075 mm de diámetro.

3.1.1.1 Análisis Granulométrico por Tamizado

El análisis granulométrico por tamizado consiste en agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices de aberturas diferentes, ordenados de manera decreciente según el tamaño de la abertura. El tamiz más pequeño utilizado en este ensayo es el tamiz N° 200. Una vez que se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz, los cálculos se representan en una gráfica semilogarítmica, considerándose como ordenada en escala aritmética al porcentaje que pasa y a la abertura del tamiz como la abscisa en escala logarítmica, esto se conoce como curva de distribución granulométrica (Das, 2015).

Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado.

En la Figura N°3.1 se observa la separación de los granos del suelo tamizado, además en la Tabla N°3.1 se presenta el resultado del ensayo de Análisis Granulométrico y en la Figura N°3.3 se muestra la curva de distribución combinada.



Figura N°3.1 Distribución de partículas del suelo después del Tamizado.
Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.2 Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro

Este método es utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz N° 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001 mm. Se basa en el principio de la sedimentación de los granos del suelo en agua, cuando una muestra se dispersa en agua, las partículas se depositan a diferentes velocidades, en función de su forma, tamaño y peso, suponiéndose que las partículas del suelo son esferas y que su velocidad puede ser expresada por la Ley de Stokes (Das, 2015) (ver Figura N°3.2). Según Bowles (1981), el principal objetivo del análisis granulométrico por hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (tamaño menor que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12 % del material pasa a través del tamiz N°200 no es utilizada como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos. Los datos se presentan en un gráfico semilogarítmico de igual manera que en el análisis granulométrico por tamizado, por lo cual se pueden combinar ambas gráficas (ver Figura N°3.3).

Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
MTC E 109 Análisis Granulométrico por medio del Hidrómetro.

El resultado del análisis granulométrico realizado al suelo se muestra en la Tabla N°3.1 y la curva de distribución granulométrica combinada se observa en la Figura N°3.3.

Tabla N°3.1 Análisis Granulométrico Combinado

Tamiz	Abertura (mm)	% Que Pasa
3/4"	19.050	100.0
1/2"	12.700	93.9
3/8"	9.525	86.7
1/4"	6.350	75.1
N°4	4.760	68.2
N°10	2.000	52.8
N°20	0.840	44.8
N°30	0.590	42.5
N°40	0.426	40.3
N°60	0.250	37.4
N°100	0.149	34.8
N°200	0.074	31.7
	0.043	11.74
	0.031	11.30
	0.020	10.86
	0.014	9.51
	0.012	8.76
	0.008	7.44
	0.006	6.79
	0.003	5.66
	0.001	4.74

Fuente: Elaboración Propia.

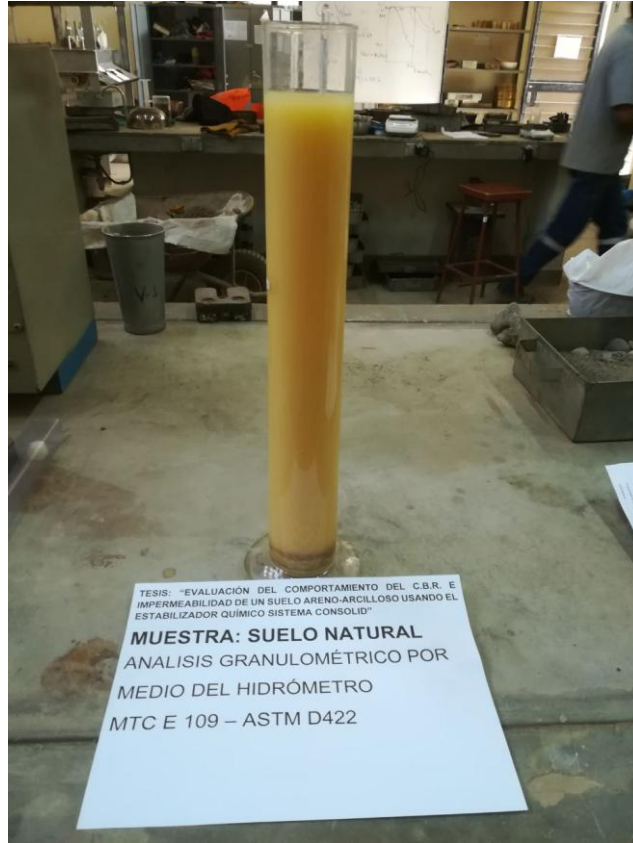


Figura N°3.2 Análisis Granulométrico por Sedimentación.
Fuente: Elaboración Propia.

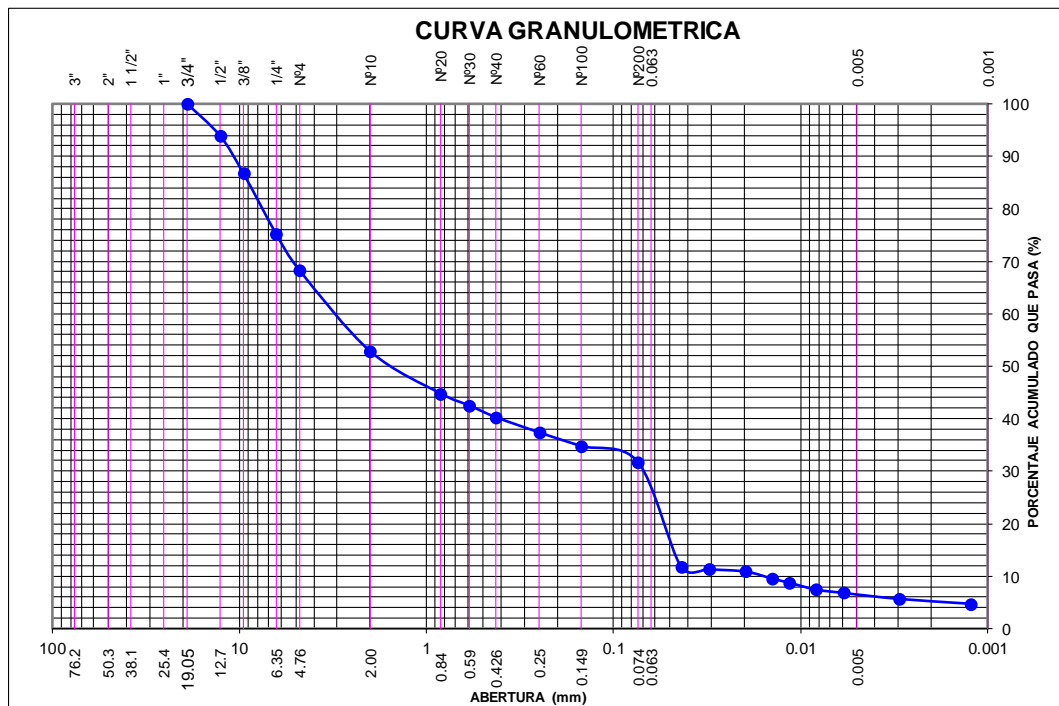


Figura N°3.3 Curva de Distribución Granulométrica Combinada.
Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2 Límites de Consistencia

Para medir la plasticidad de los suelos finos que contienen arcillas se han desarrollado varias metodologías, pero el método desarrollado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1900 y mejorado posteriormente por Arthur Casagrande es el que se usa hoy en día para la ejecución de los ensayos de laboratorio (Das, 2015). Atterberg indicó que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, si no circunstancial y que dependía de su contenido de humedad, por ejemplo, una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo y no presentar plasticidad, por otro lado, esa misma arcilla con un contenido de humedad mayor, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de humedad en que la arcilla se comporta plásticamente. También, Atterberg mencionó que la plasticidad de un suelo, para ser expresada en forma conveniente, exige la utilización de dos parámetros en lugar de uno solo, como se venía haciendo hasta esa época (Rico y Del Castillo, 2000).

Según su contenido de humedad, un suelo que es susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg. Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión. Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso. Estado plástico, donde el suelo se comporta plásticamente. Estado semisólido, en el que el suelo muestra la apariencia de un sólido. Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado (Rico y Del Castillo, 2000).

Los estados mencionados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando. Atterberg estableció las primeras convenciones para definir la frontera entre estos estados y las denominó Límites de Consistencia. La frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico fue denominada por Atterberg como Límite Líquido, la frontera entre los estados plástico y semi-sólido fue denominada Límite Plástico y por último la frontera entre los estados semisólido y sólido se denomina Límite de Contracción. Atterberg denominó a los límites líquido y plástico como límites de plasticidad. Actualmente se utiliza mucho como parámetro de plasticidad el llamado Índice de Plasticidad, que es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (Rico y Del Castillo, 2000).

3.1.2.1 Límite Líquido

Bowles (1981), define al límite líquido como el contenido de humedad al cual una masa de suelo húmedo colocado en un recipiente en forma de capsula de bronce, es separada en dos por la acción de una herramienta para hacer una ranura patrón, y dejada caer desde una altura de 1 cm, sufriendo después de dejarla caer 25 veces una falla o cierre de la ranura en una longitud de 12.7 mm. Ya que es difícil ajustar el contenido de humedad en el suelo para satisfacer el cierre requerido de 12.7 mm, la ASTM indica que se deben realizar al menos cuatro pruebas para el mismo suelo con un contenido variable de humedad para determinar el número de golpes N, que varía entre 15 y 35, necesario para lograr el cierre (ver Figura N°3.4). El contenido de humedad del suelo en porcentaje y el correspondiente número de golpes se representan en una gráfica semilogarítmica (ver Figura N°3.5). La relación entre el contenido de humedad y log N es casi como una línea recta, esto se conoce como curva de flujo. El contenido de humedad correspondiente a N=25, determinado a través de la curva de flujo, da el Límite Líquido del suelo (Das, 2015). Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los suelos.

MTC (2013b) indica que, para estabilizar el suelo con cemento, este debe presentar un Límite Líquido menor a 40 %.

El resultado del ensayo para determinar el Límite Líquido del suelo se muestra en la Tabla N°3.2 y el diagrama de Fluidez se muestra en la Figura N°3.5.

Tabla N°3.2 Resultado de Límites de Consistencia.

Límites de Consistencia	
Límite Líquido (%)	39.5
Límite Plástico (%)	20.9
Índice de Plasticidad (%)	18.6

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°3.4 Copa de Casagrande para Ensayo de Límite Líquido.
Fuente: Elaboración propia.

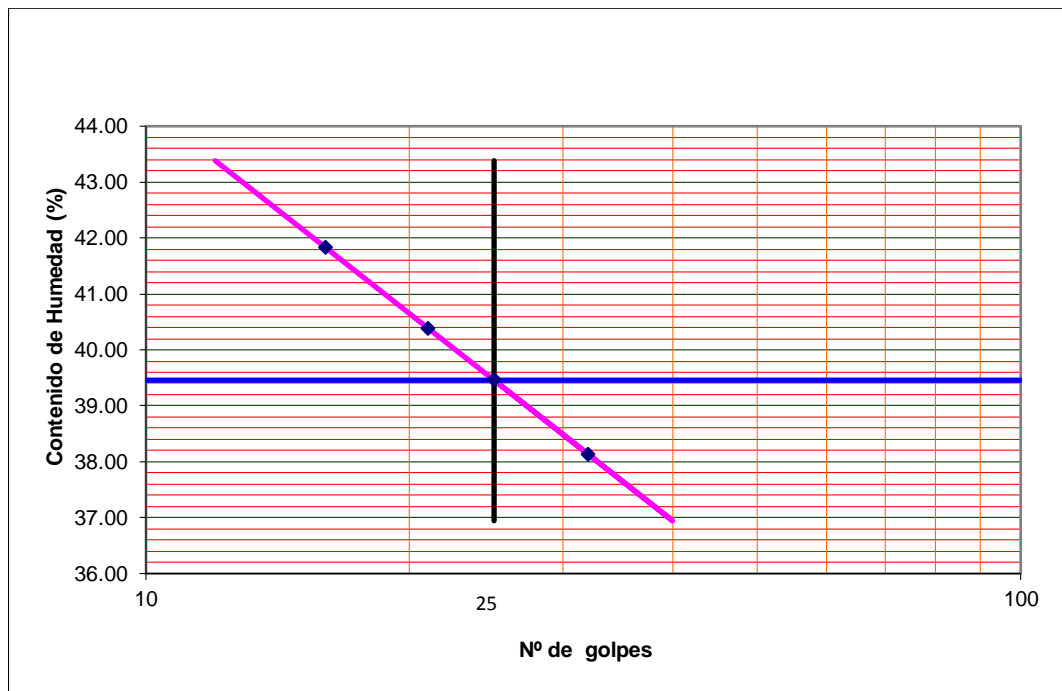


Figura N°3.5 Diagrama de Fluides del Suelo ensayado.

3.1.2.2 Límite Plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba se realiza rodando dicho

suelo sobre un vidrio esmerilado (Das, 2015) (Ver Figura N°3.6). Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

MTC E 111 Determinación del Límite Plástico de los suelos e Índice de Plasticidad.

Para los suelos estabilizados con cemento se deberá tener un Índice de Plasticidad (IP) menor de 18 % (MTC, 2013b). El resultado del ensayo para determinar el Límite Plástico del suelo, así como el IP se muestran en la Tabla N°3.2.



Figura N°3.6 Ensayo para determinar el Límite Plástico del suelo.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Clasificación de Suelos

Das (2015), menciona que los suelos pueden clasificarse en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar de forma adecuada y concisa las características generales de los suelos. En la actualidad, existen dos sistemas de clasificación que utilizan la granulometría y la plasticidad de los suelos, estos son el sistema de la American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En Estados Unidos, el sistema AASHTO es utilizado principalmente por los departamentos de carreteras estatales y del condado, mientras que los ingenieros geotécnicos normalmente prefieren utilizar el SUCS (Das, 2015).

3.1.3.1 Sistema de Clasificación AASHTO

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Public Road Administration Classification System y ha sufrido varias modificaciones siendo la versión actual fue propuesta por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1945 (Das, 2015). El procedimiento para realizar la clasificación AASHTO esta descrito en la norma:

ASTM D3282 Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.

De acuerdo con este sistema de clasificación, los suelos se clasifican en siete grupos principales. Los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35 % o menos de las partículas pasan a través del tamiz N°200. Los suelos donde más de 35 % pasa a través del tamiz N°200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, siendo principalmente limos y arcillas (Ver Figura N°3.7) (Das, 2015).

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6 [†]
Grupo de clasificación				
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			

*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$
[†]Para A-7-6, $PI > LL - 30$

Figura N°3.7 Cuadro de Clasificación de Suelos AASHTO.
Fuente: Das, 2015.

Según Das (2015), el sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

1. Tamaño de grano: Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenida en el tamiz N°10 (2mm). Arena: fracción que pasa el tamiz N°10 y es retenido en el tamiz N°200 (0.075mm). Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz N°200.
2. Plasticidad: el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones finas tienen un índice de plasticidad de 11 o más.

- Si se encuentran cantos y guijarros (tamaño mayor a 75 mm), se excluyen de la porción de la muestra de suelo en el que hizo la clasificación, sin embargo, se registra el porcentaje de este tipo de material.

Para clasificar un suelo de acuerdo con la Figura N°3.7, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por proceso de eliminación, el primer grupo de la izquierda en la que quepan los datos de prueba es la clasificación correcta (Das, 2015).

La Figura N°3.8 se muestra un gráfico del rango del límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos que se dividen en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

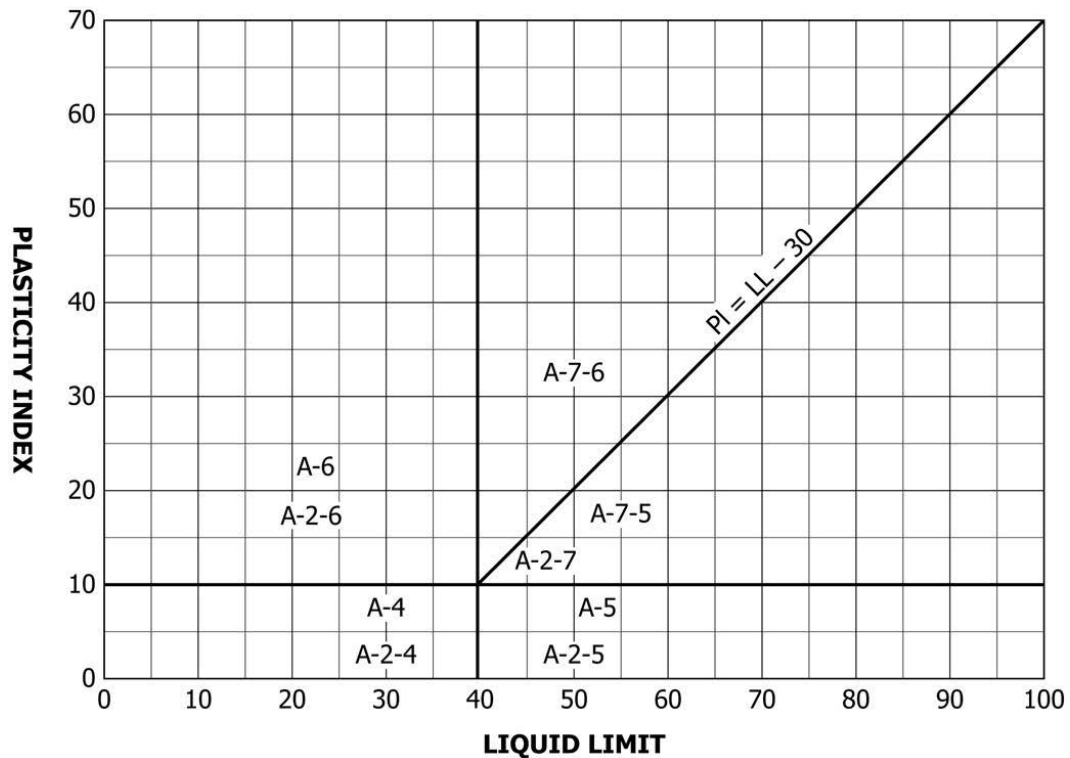


Figura N°3.8 Rango del Límite Líquido e Índice de Plasticidad para suelos limo-arcillosos.
Fuente: ASTM.

Das (2015), indica que para la evaluación de la calidad de un suelo como un material de subrasante de carretera, también se incorpora un número llamado índice de grupo (IG) a los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe entre paréntesis después de la designación del grupo o subgrupo. El índice de grupo está dado por la ecuación 3.1, donde F, representa el porcentaje que pasa por el tamiz N°200. El primer término de la ecuación, es el IG parcial determinado por el LL, el segundo término, es el IG parcial determinado por el IP.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad \dots \quad (3.1)$$

Algunas reglas para la determinación del IG son:

- Si el resultado del IG da un valor negativo, se asume 0.
- El resultado se redondea al número entero más próximo.
- No hay límite superior para el índice de grupo.
- El IG de los suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.
- Al calcular el IG para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, utilice el índice de grupo parcial para IP.

En general, la calidad del rendimiento de un suelo como material de subrasante es inversamente proporcional al índice de grupo (Das, 2015).

El suelo estudiado está clasificado según AASHTO como **A-2-6(1)**.

3.1.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Este sistema de clasificación fue propuesto en 1948 por el Dr. Arthur Casagrande para su uso en la construcción de aeropuertos durante la segunda guerra Mundial por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército y fue revisado, en 1952, en colaboración con el US Bureau of Reclamation (Das, 2015). El procedimiento para realizar la clasificación SUCS esta descrito en la norma:

ASTM D2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Das (2015), indica que SUCS se clasifica en dos grandes categorías (ver Figura N°3.9):

1. Suelos de grano grueso, grava y arena en estado natural con menos 50 % de material pasante el tamiz N°200. Sus símbolos de grupo comienzan con el prefijo G para la grava y S para el suelo arenoso.

2. Suelos de grano fino con 50 % o más que pasa por el tamiz N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, para limos inorgánicos, C para la arcilla y O para limos y arcillas orgánicas, el símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name ^B	
COARSE-GRAINED SOILS	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	Clean Gravels (Less than 5 % fines ^C)	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	GW	Well-graded gravel ^E	
		Gravels with Fines (More than 12 % fines ^C)	$Cu < 4$ and/or $[Cc < 1 \text{ or } Cc > 3]^D$	GP	Poorly graded gravel ^E	
			Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{E,F,G}	
	More than 50 % retained on No. 200 sieve	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	Clean Sands (Less than 5 % fines ^H)	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^D$	SW	Well-graded sand ^I
			Sands with Fines (More than 12 % fines ^H)	$Cu < 6$ and/or $[Cc < 1 \text{ or } Cc > 3]^D$	SP	Poorly graded sand ^I
		Fines classify as CL or CH		SM	Silty sand ^{F,G,I}	
FINE-GRAINED SOILS	Silt and Clays	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}	
		organic	$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K,L,M}	
	Liquid limit less than 50	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	OH	Organic silt ^{K,L,M,O}
	50 % or more passes the No. 200 sieve	Silt and Clays	inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K,L,M}
			organic	PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K,L,M}
Liquid limit 50 or more	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	OH	Organic silt ^{K,L,M,O}	
						organic
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat	

^A Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.
^B If field sample contained cobbles or boulders, or both, add "with cobbles or boulders, or both" to group name.
^C Gravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:
 GW-GM well-graded gravel with silt
 GW-GC well-graded gravel with clay
 GP-GM poorly graded gravel with silt
 GP-GC poorly graded gravel with clay
^D $Cu = D_{60}/D_{10}$, $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
^E If soil contains ≥ 15 % sand, add "with sand" to group name.
^F If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, or SC-SM.
^G If fines are organic, add "with organic fines" to group name.
^H Sands with 5 to 12 % fines require dual symbols:
 SW-SM well-graded sand with silt
 SW-SC well-graded sand with clay
 SP-SM poorly graded sand with silt
 SP-SC poorly graded sand with clay
^I If soil contains ≥ 15 % gravel, add "with gravel" to group name.
^J If Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML, silty clay.
^K If soil contains 15 to < 30 % plus No. 200, add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.
^L If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly sand, add "sand" to group name.
^M If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.
^N $PI \geq 4$ and plots on or above "A" line.
^O $PI < 4$ or plots below "A" line.
^P PI plots on or above "A" line.
^Q PI plots below "A" line.

Figura N°3.9 Tabla de Clasificación de suelos SUCS - ASTM D2487.
Fuente: ASTM.

Otros símbolos que también se usan para la clasificación son:

W: bien graduado

P: pobremente graduado

L: baja plasticidad ($LL < 50$)

H: alta plasticidad ($LL \geq 50$)

Das (2015) indica que para la clasificación SUCS se debe conocer la siguiente información:

1. Porcentaje de grava, es decir la fracción que pasa el tamiz 3" y es retenida en el tamiz N°4 (4.75 mm).
2. Porcentaje de arena, es decir la fracción que pasa el tamiz N°4 y es retenida en el tamiz N°200 (0.075 mm).
3. Porcentaje de limo y arcilla, es la fracción que pasa el tamiz N°200.
4. El coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c).
5. El límite líquido y el índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz N°40.

Los nombres de los grupos de los distintos suelos clasificados bajo el Sistema de Clasificación Unificado se pueden determinar usando las Figuras N°3.10, N°3.11 y N°3.12, además de la carta de plasticidad en la Figura N°3.13.

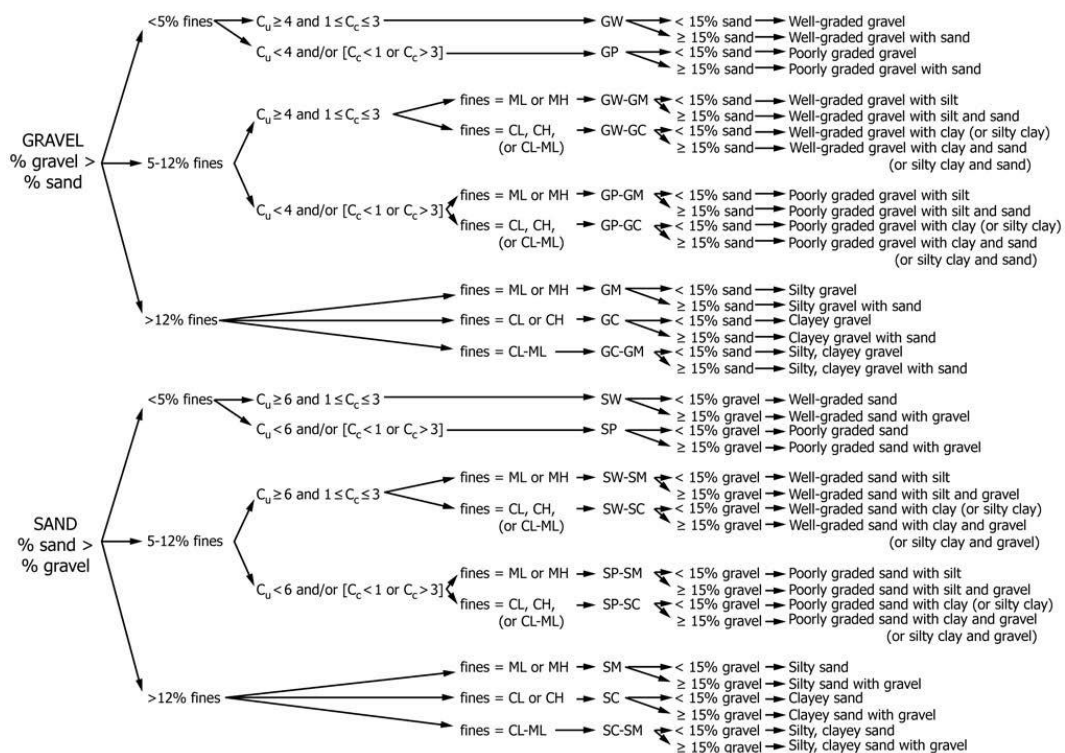


Figura N°3.10 Diagrama de Flujo para clasificar suelos de grano grueso.
Fuente: ASTM.

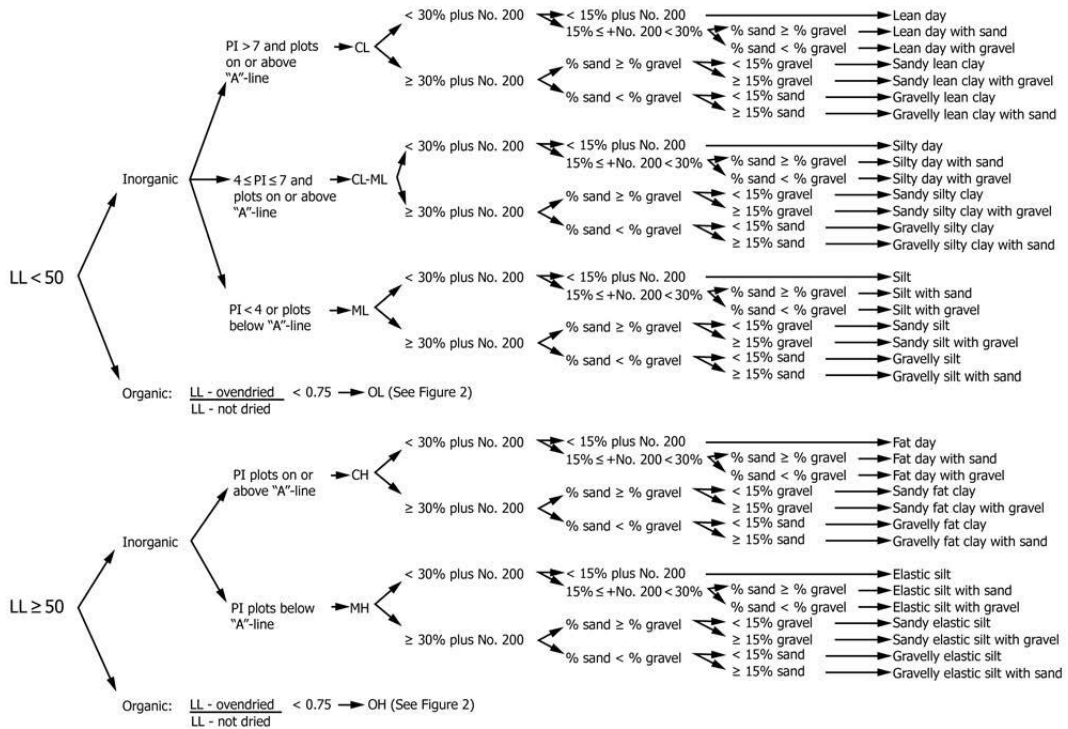


Figura N°3.11 Diagrama de Flujo para clasificar suelo de grano fino.
Fuente: ASTM.

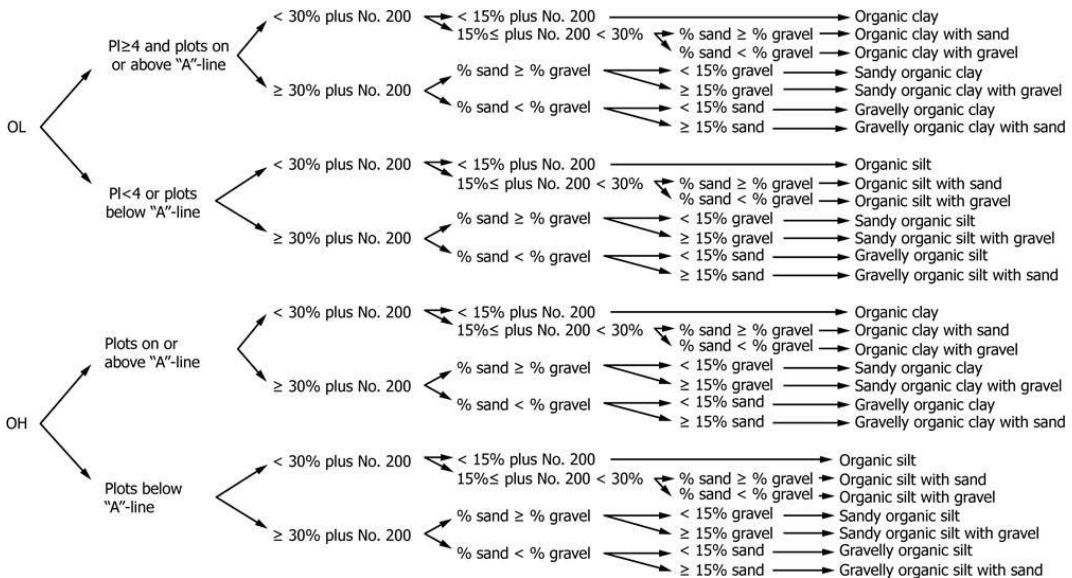


Figura N°3.12 Diagrama de Flujo para clasificar suelo orgánico de grano fino.
Fuente: ASTM.

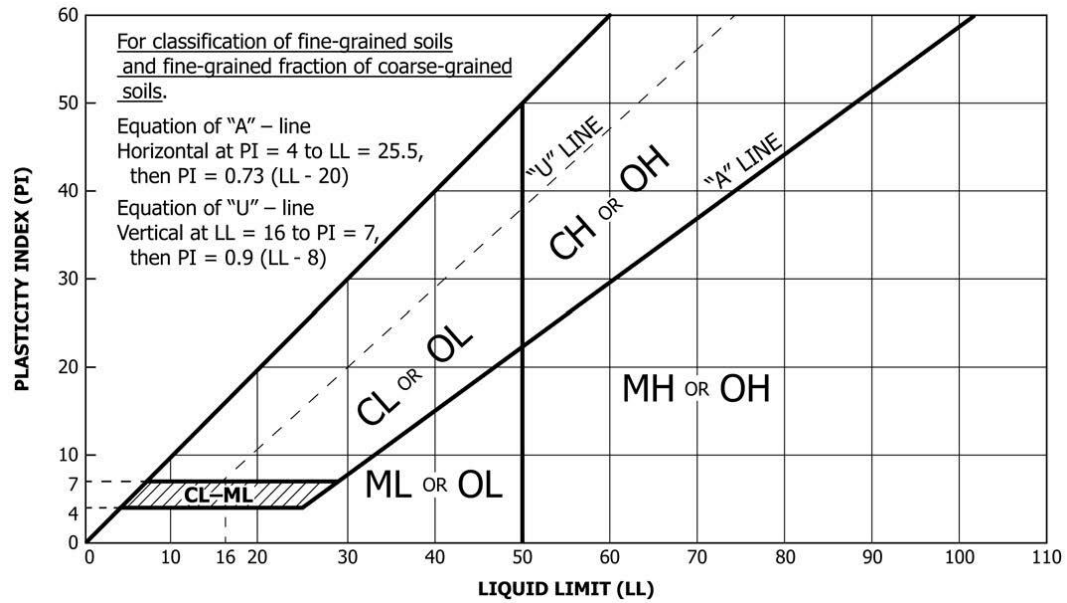


Figura N°3.13 Carta de Plasticidad.
Fuente: ASTM.

El suelo estudiado está clasificado según SUCS como **SC (Arena Arcillosa con Gravas)**.

3.1.4 Humedad Natural

La determinación del contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en un suelo en términos de su peso seco. Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D2216 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo.

El Contenido de Humedad del suelo a estabilizar se muestra en la Tabla N°3.3.

Tabla N°3.3 Resultado de Contenido de Humedad del Suelo.

Ensayo	Resultado
Contenido de Humedad (%)	8.9

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5 Ensayos Químicos

La composición química de los suelos es muy importante sobre todo para el suelo-cemento. El exceso de ciertos componentes químicos en el suelo, como los sulfatos, pueden generar reacciones adversas a este método de estabilización. Los principales ensayos requeridos se muestran a continuación.

3.1.5.1 Sales Solubles Totales

Este ensayo sirve para determinar el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas. La muestra de agregado es sometida a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición hasta la extracción total de las sales. La presencia de estas se detecta mediante reactivos químicos que al menor indicio de sales forman precipitados fácilmente visibles (MTC, 2016). Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma:

MTC E 219 Sales Solubles en agregados para Pavimentos Flexibles.

El contenido de Sales Solubles Totales del suelo se muestra en la Tabla N°3.4

Tabla N°3.4 Resultado de Ensayos Químicos.

Ensayo	Resultado
Sales Solubles Totales	0.04%
Materia Orgánica	0.37%
Sulfatos Solubles	0.02%

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5.2 Materia Orgánica en Suelos

Con este ensayo se determina la oxidación cuantitativa de materia orgánica en suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta proporcionando una estimación del contenido orgánico (MTC, 2016). Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

AASHTO T 267 Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss of Ignition.

MTC E 118 Materia orgánica en suelos (pérdida por ignición).

Para la estabilización suelo con cemento se tiene permitido un máximo de 1% de contenido de materia orgánica (MTC, 2013b), ya que la presencia de materia orgánica puede inhibir el endurecimiento de la mezcla (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones [IECA], 2013). El resultado del ensayo de contenido de materia orgánica se presenta en la Tabla N°3.4.

3.1.5.3 Sulfatos Solubles en Suelos

Este ensayo sirve para determinar cuantitativamente el contenido de ion sulfato en los suelos. Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

AASHTO T 290 Water Soluble Sulfate Content in Soil

NTP 339.178 Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea

Para la estabilización con cemento se permite un máximo de 0.2% en peso de sulfatos del suelo (MTC, 2013b), porque la presencia de sulfatos en esta puede conllevar a la formación de etringita, muy expansiva, rompiendo las capas ya extendidas y compactadas (IECA, 2013). El resultado del ensayo de determinación cuantitativa de sulfatos solubles se presenta en la Tabla N°3.4.

3.1.6 Abrasión Los Ángeles

Según MTC (2016), el ensayo de Abrasión Los Ángeles sirve para medir la degradación de los agregados de gradaciones normalizadas, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero, que contiene un número especificado de esferas de acero la cual depende de la gradación de la muestra (ver Figura N°3.14). Luego de un número determinado de revoluciones, el agregado es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida. Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM C131 / C131M Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
MTC E 207 Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½")



Figura N°3.14 Muestra de Suelo con las esferas de acero dentro de la Máquina de los Ángeles.
Fuente: Elaboración Propia.

Para el suelo-cemento se indica que los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión no mayor a 50% (MTC, 2013b). Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla N°3.5, los cuales cumplen con el requerimiento.

Tabla N°3.5 Resultado de Ensayo de Abrasión.

Resultados	
Gradación	D
Revoluciones	500
Desgaste (%)	33.50

Fuente: Elaboración Propia

3.1.7 Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Este ensayo sirve para determinar la solidez del agregado cuando se le somete a la acción de la intemperie, especialmente cuando no se tiene información adecuada sobre el comportamiento del material expuesto a condiciones atmosféricas reales. Este ensayo se lleva a cabo por la inmersión repetida en solución saturada de sulfato de magnesio seguido de un secado en horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los espacios de poros permeables (ver Figura N°3.15). La fuerza expansiva interna derivada de la rehidratación de la sal al volver a sumergirse, simula la expansión del agua al congelarse (MTC, 2016).



Figura N°3.15 Muestras de Agregado Grueso y Fino saturadas en Sulfato de Magnesio.
Fuente: Elaboración Propia.

Este ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM C88 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate

MTC E 209 Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio

Para el suelo-cemento MTC (2013b) indica que si se va a conformar capas estructurales y el material se encuentra a una altitud \geq a 3000 m.s.n.m, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en el sulfato de magnesio superiores al 18 % y en materiales finos superiores al 15 %. Los porcentajes de pérdida del agregado grueso y fino se muestran en la Tabla N°3.6.

Tabla N°3.6 Resultado del Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio.

Agregado	Pérdida (%)
Agregado Grueso	74
Agregado Fino	30

Fuente: Elaboración Propia

3.1.8 Ensayos de Compactación

Das (2015) define la compactación como la densificación de un suelo por la eliminación de aire, requiriendo de energía mecánica. Los suelos al ser compactados incrementan sus características de resistencia aumentando así su capacidad de carga. La prueba de Laboratorio utilizada generalmente para obtener la máxima densidad seca de compactación y el óptimo contenido de humedad se denomina Proctor. Las principales pruebas de compactación que se usan en el Laboratorio son, el Proctor Estándar y el Proctor Modificado.

El Proctor Modificado nace a partir de la modificación de la prueba de Proctor estándar, debido a la necesidad de representar mejor las condiciones de campo en el laboratorio por el desarrollo de nuevos equipos de compactación. Este ensayo sirve para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos compactados en moldes de 4 o 6 pulgadas de diámetro con un pisón de 10 lbf que cae de una altura de 18 pulgadas, produciendo una energía de compactación de 56000 pie-lbf/pie³ (ver Figura N°3.16). Dentro del ensayo se proporcionan 3 métodos los cuales están basados en la gradación del material (ver Tabla N°3.7), para nuestro caso de acuerdo a la gradación del suelo (ver Tabla N°3.8) corresponde trabajar con el método B. El ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))

MTC E 115 Compactación de suelos en Laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)

Tabla N°3.7 Diagrama para selección del Método de Ensayo.

Método	% Acum. Retenido N°4	% Acum. Retenido 3/8"	% Acum. Retenido 3/4"	Material a Usar
A	≤ 25 %	-	-	Pasante N°4
B	> 25 %	≤ 25 %	-	Pasante 3/8"
C	-	> 25 %	≤ 30 %	Pasante 3/4"

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo a la Norma ASTM D1557.

Tabla N°3.8 Gradación del Suelo en los Tamices indicados para el Ensayo de Proctor.

Tamiz	%Retenido Acumulado
3/4"	0.0
3/8"	13.3
N°4	31.8

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°3.16 Molde de 4" con suelo compactado por el método de Proctor Modificado.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla N°3.7, el material a utilizar para el ensayo de Proctor Modificado es el pasante del tamiz 3/8" con el cual se determina la Máxima Densidad Seca (MDS) y el Óptimo Contenido de Humedad (OCH), sin embargo, en la Norma ASTM D1557 indica que si la muestra de suelo contiene más del 5 % en masa de la fracción de sobre tamaño, es decir mayor a 3/8", y este material no se incluirá se deben hacer correcciones a la máxima densidad seca y al óptimo contenido de humedad utilizando la norma ASTM D4718.

En la Tabla N°3.9 se muestran los resultados de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de la fracción menor a 3/8" y también los valores

corregidos según la norma ASTM D4718, además en la Figura N°3.17 se presenta la Curva Densidad Seca vs Humedad.

Tabla N°3.9 Resultados del Ensayo de Proctor Modificado.

RESULTADOS DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"	
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	1.890
Óptimo Contenido de Humedad (%)	14.90
RESULTADOS CORREGIDOS FRACCIÓN GRUESA > 3/8"	
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	1.920
Óptimo Contenido de Humedad (%)	13.50

Fuente: Elaboración Propia.

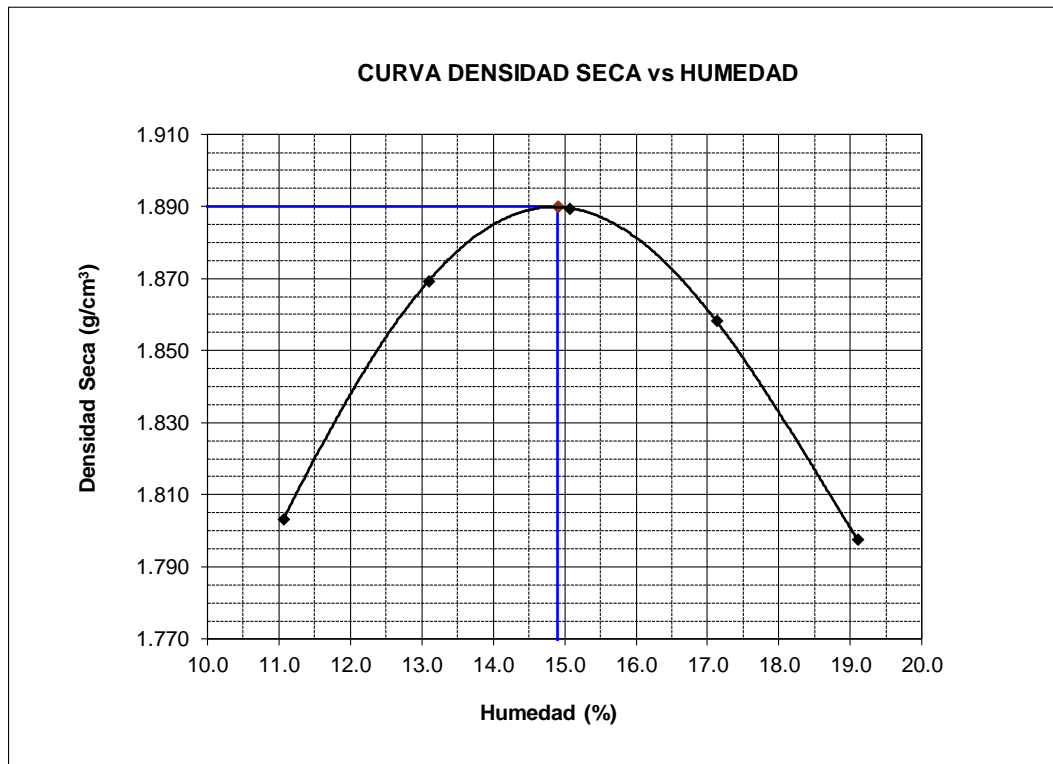


Figura N°3.17 Gráfico de la Curva Densidad Seca(g/cm3) vs Humedad (%).
Fuente: Elaboración Propia.

3.1.9 California Bearing Ratio (C.B.R.)

El Ensayo de California Bearing Ratio conocido como C.B.R. fue desarrollado por la División de Carretera de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o como material de base en construcción de carreteras. El cuerpo de Ingenieros de los Estados

Unidos adoptó este ensayo para ser utilizado en la construcción de aeropuertos durante la segunda guerra mundial (Bowles, 1981).

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo de C.B.R. es utilizado ampliamente en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de los suelos que constituyen un pavimento, además de su uso como parámetro para el diseño de pavimentos en los métodos empíricos (Bowles, 1981).

El C.B.R. se obtiene como la relación de la carga unitaria, en libras por pulgada cuadrada (psi), necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración de un pistón de 3 pulgadas² de área dentro de una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dados, con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de piedra chancada de California (Bowles, 1981). El C.B.R. se expresa matemáticamente como se indica en la ecuación 3.2

$$C. B. R. (\%) = \frac{\text{Esfuerzo en el Suelo Ensayado}}{\text{Esfuerzo en el Suelo Patrón}} \times 100 \quad \dots \quad (3.2)$$

Este ensayo debe realizarse sobre el suelo en estado saturado para simular su condición más crítica, por este motivo los especímenes en el laboratorio se sumergen en agua durante 4 días con una carga aplicada sobre la superficie de dichos especímenes, la cual representa en teoría a la masa de la estructura del pavimento que soporta la subrasante (ver Figura N°3.18) (Rondón y Reyes, 2015). El ensayo se realizó de acuerdo a las normas:

ASTM D1883 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils
MTC E 132 CBR de Suelos (Laboratorio)

En la Tabla N°3.10 se muestra los resultados de C.B.R. para penetraciones de 0.1" y 0.2" al 95 % y al 100 % de la MDS, además se presentan los valores de Expansión (%) y Absorción de Agua (%) en la Tabla N°3.11.

La humedad a la cual fueron compactados los especímenes ensayados fue obtenida del Proctor Modificado utilizando el método por reemplazo como se

indica en la Norma ASTM D1883. El valor de la máxima densidad seca es de **1.914 g/cm³** y el óptimo contenido de humedad es de **14 %**.

Tabla N°3.10 Resultados del Ensayo C.B.R. al Suelo Areno-Arcilloso.

C.B.R.	Penetración	
	0.1"	0.2"
Al 95 % de la MDS	7.2%	12.4%
Al 100 % de la MDS	13.7%	22.9%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.11 Resultados de Expansión y Absorción para cada Molde.

MOLDE N°	I	II	III
Número de golpes/capa	56	25	10
Expansión (%)	0.9	1.2	2.8
Absorción de Agua (%)	3.0	4.1	6.0

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°3.18 Especímenes de C.B.R. colocados en la poza de saturación.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.10 Resistencia a la Compresión no confinada

Este ensayo tiene por finalidad determinar un valor de resistencia a la compresión no confinada de suelos que poseen suficiente cohesión para poder ser ensayados en el estado no confinado. Además, el ensayo de compresión no confinada se utiliza también para determinar la resistencia al corte de un suelo cohesivo de manera aproximada. El ensayo de resistencia a la compresión no confinada puede hacerse con control de deformación unitaria o con control de esfuerzo (Bowles, 1981).

Este ensayo se realiza aplicando un esfuerzo axial a un espécimen el cual puede ser inalterado o remoldeado, para esta tesis el ensayo se realizó con especímenes remoldeados para lo cual se elaboraron probetas de 7.95 cm de diámetro y una altura de 15.9 cm, las cuales se remoldearon en un molde con esas medidas (ver Figura N°3.19) cumpliendo la relación altura/diámetro la cual debe estar entre 2 y 2.5 según la norma ASTM D2166. A estos especímenes se les aplica una carga axial hasta que la lectura del dial comience a decrecer (cuando el suelo falla) o hasta que se haya desarrollado una deformación unitaria del 15%.

Austroroads (2006) recomienda la prueba de compresión no confinada de suelos para la determinación de la fuerza asociada con los materiales estabilizados. Esta prueba se puede usar para indicar la ganancia en fuerza con el tiempo asociado con los aglutinantes cementosos. En la ecuación 3.3 se proporciona una relación entre la Resistencia a la compresión no confinada (UCS) y el módulo elástico (E_r) para su uso en el diseño de mecanístico-empírico de pavimentos.

$$E_r(MPa) = f \times UCS(MPa) \dots (3.3)$$

Donde f es una constante entre 1000 y 1500 dependiendo de la calidad del material de pavimento no estabilizado (Austroroads, 2006). El ensayo se realizó de acuerdo las normas:

ASTM D2166/D2166M Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

MTC E 121 Compresión No Confinada en Muestras de Suelos.



Figura N°3.19 Molde de diámetro 7.95 cm y altura de 15.9 cm.
Fuente: Elaboración Propia.

El procedimiento para preparar la muestra y los especímenes para la realización de esta prueba es el siguiente:

- a) Preparar el suelo siguiendo el mismo procedimiento que el realizado en el Proctor por reemplazo del ensayo C.B.R., realizando el reemplazo de sobre tamaño. En este caso la corrección del material pasante el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz N°4.
- b) Mezclar el suelo con la cantidad de agua requerida para llegar al OCH del Proctor modificado por reemplazo y lograr una mezcla homogénea.
- c) Limpiar y engrasar el molde para remoldear los especímenes.
- d) Rellenar el molde con la cantidad material requerido para llegar a la máxima densidad húmeda, esto se logra compactando con un martillo de Proctor modificado en 3 capas de 35 golpes/capa, el cálculo del número de golpes por capa para este molde se muestra en la Tabla N°3.12.
- e) Remover el espécimen compactado de molde de tal manera que no se desmorone (ver Figura N°3.20).

Tabla N°3.12 Cálculo de Número de Golpes por Capa para compactación.

Cálculo para la Energía de Proctor Modificado	
Energía de Compactación (E_c)	: 56000 lb-pie/pie ³
Número de Capas (n)	: 3
Peso del martillo (W)	: 10 lb
Altura de caída (H)	: 1.5 pie
Volumen del Molde (V)	: 0.028 pie ³
Golpes/capa (N)	: 35

Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°3.20 Especímenes de Suelo Remoldeados.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla N°3.13 se muestran los resultados del ensayo de compresión no confinada para el suelo areno arcilloso.

Tabla N°3.13 Resultados del Ensayo de Compresión No Confinada.

Parámetros de Resistencia		
Carga Última	(kPa)	190.93
Cohesión	(kPa)	95.47
Resistencia a la Compresión	(kg/cm ²)	1.95

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.11 Ascensión Capilar

Unos de los principales problemas con los que tienen que lidiar los pavimentos es la infiltración del agua. El agua puede ingresar a un suelo o pavimento por 3 importantes vías como se muestra en la Figura N°3.21, por percolación de la precipitación o agua superficial estancada; por acción capilar del agua subterránea subyacente debido al aumento en el nivel freático, y por afluencia de agua lateral no drenada (por ejemplo, agua de drenaje obstruida y filtración lateral). Adicionalmente, en zonas donde hay población, infiltración por rotura de tuberías (Lee, Kodikara y Bouazza, 2004).

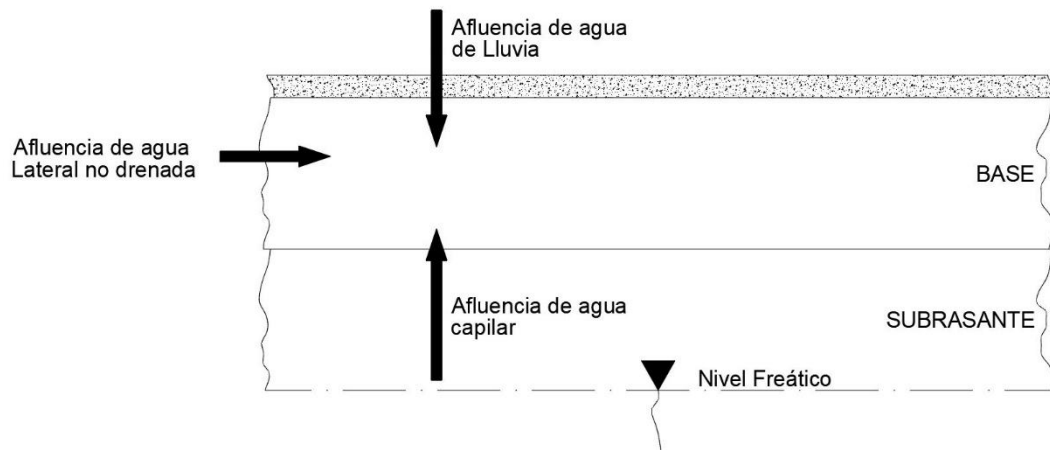


Figura N°3.21 Esquema donde se muestra los posibles ingresos de agua en un pavimento.
Fuente: Kodikara, Wightwick y Ranjith, 2006.

La presencia y movimiento de la humedad juegan un papel importante en la durabilidad de las estructuras del pavimento influyendo directamente en su resistencia y rigidez, junto con el aumento del potencial de agrietamiento por contracción, lo que acelera el deterioro del material.

La ascensión capilar ocurre cuando la parte inferior de una masa de suelo seco se pone en contacto con el agua, el líquido sube por los vacíos hasta alcanzar cierta altura por encima del nivel libre. Este ascenso del agua se atribuye a la tensión superficial que se desarrolla en la zona límite entre el aire y el agua. En esta zona, el agua se encuentra en un estado de tensión comparable al que se desarrollaría en una membrana de goma tendida y unida a las paredes de los vacíos del suelo, con la diferencia de que la tensión superficial del agua no resulta afectada por una contracción o extensión de la película que separa el agua y el aire. El fenómeno de la ascensión capilar puede demostrarse sumergiendo en

agua la parte inferior de un tubo de vidrio de diámetro muy pequeño, que recibe el nombre de tubo capilar, al ponerlo en contacto con el agua, la atracción molecular entre el vidrio y el agua se combina con la tensión superficial, provocando el ascenso del agua dentro del tubo hasta una altura h_c por encima del nivel de agua libre (ver Figura N°3.22), esta altura se denomina altura de ascensión capilar y se calcula con la ecuación 3.4 (Terzagui y Peck, 1978).

$$h_c = \frac{4T_s \cos\theta}{d \cdot \gamma_w} \quad \dots \quad (3.4)$$

En donde: T_s : Tensión Superficial
 θ : Angulo de contacto
 d : Diámetro de tubo capilar
 γ_w : Peso unitario del agua

Esta ecuación indica que el ascenso capilar es inversamente proporcional al diámetro del tubo capilar, es decir cuanto menor sea el diámetro del tubo capilar o poro (o cuanto más denso sea el material) mayor será la altura de ascenso capilar. Además, la tensión superficial del agua varía según la temperatura, a mayor temperatura menor será la tensión superficial (Lee et al., 2004).

En contraste con lo que ocurre en tubos capilares, los vacíos continuos de los suelos y de la mayoría de materiales porosos tienen el ancho variable y se comunican entre sí en toda dirección constituyendo un enrejado de vacíos, simulando un conjunto de tubos capilares desconectados (ver Figura N°3.22) (Lee et al., 2004). Estas propiedades hacen que la medición exacta de la altura de ascensión capilar en el suelo sea casi imposible. Sin embargo, Hazen en 1930 dio la relación mostrada en la ecuación 3.5, para aproximarse al máximo aumento capilar en el suelo:

$$h_c = \frac{C}{eD_{10}} \quad \dots \quad (3.5)$$

En la cual e es la relación de vacíos, D_{10} es el tamaño efectivo de Allen Hazen, y C es una constante empírica que depende de la forma de los granos y de las impurezas superficiales con un valor que varía entre 0.1 y 0.5 cm² (Terzagui y Peck, 1978).

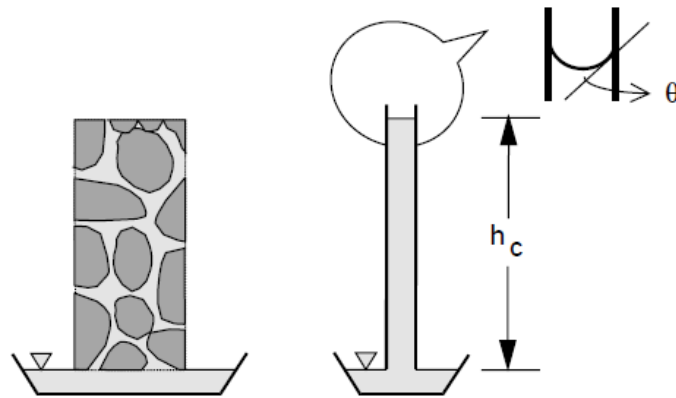


Figura N°3.22 Lado Izquierdo: Ascensión Capilar en espécimen compactado, Lado Derecho: Modelo de Tubo Capilar.
Fuente: Lee et al., 2004

La importancia del control de la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes, es muy importante, pues así se protege al pavimento de los hinchamientos que se producen en épocas de helada, causados por el congelamiento del agua capilar.

Se evaluó la ascensión capilar en suelos estabilizados usados para conformar la estructura del pavimento usando como referencia las normas australianas:

AS 1141.53-1996 Absorption, swell and capillary rise of compacted materials

Test Method Q125D: Capillary rise of stabilized material

Test Method T172 Capillary rise and absorption of modified or bound road construction materials

La norma AS 1141.53 es recomendada por Austroads en su publicación del año 2002 Mix Design for Stabilised Pavement Materials y en la publicación del año 2006 Guide to Pavement Technology Part 4D: Stabilised Materials. Este ensayo proporciona evidencia visual de la compatibilidad de las muestras tratadas, evalúa el potencial de absorción de humedad de los materiales del pavimento de las fuentes de agua externa, además de determinar la expansión como dato adicional.

Austroads (2002) recomienda un nivel absoluto de aceptación para la altura de ascenso capilar para materiales estabilizados de 25% del total de la altura del espécimen en 24 horas. Además, Austroads (2006) menciona que el hinchamiento libre no debe ser mayor de 0.5%. Para el caso de la absorción Austroads no

menciona un límite, sin embargo, Fedrigo (2015) recomienda que la absorción debe ser menor de 2%.

El ensayo de ascensión capilar se realizó de acuerdo a la norma AS 1141.53-1996. Se realizaron algunas variaciones tomando como referencia las normas Q125D y T172, así como las recomendaciones dadas por Lee et al. (2004).

Se detalla a continuación, los aparatos, procedimiento de ensayo y cálculos con los cuales se realizó el ensayo de ascensión capilar.

A. Aparatos

- a) Molde Cilíndrico de Acero de 79.5 mm de diámetro y 159 mm de altura.
- b) Martillo usado en el Proctor Modificado, de 10 lbf y altura de caída de 18 pulgadas (457.2 mm).
- c) Balanzas con aproximaciones de 1 g y 0.1 g.
- d) Horno de Secado
- e) Regla de acero de 300 mm de longitud.
- f) Vernier con aproximación de 0.5 mm.

B. Equipo de Ascensión Capilar

Para facilitar el proceso del ensayo se fabricó un equipo capaz de mantener una altura constante agua de 10 ± 2 mm como indica la norma (ver Figura N°3.23). El equipo consta de los siguientes componentes:

- a) 2 Baldes de para salida y recepción de agua.
- b) 2 Bandejas para colocar los especímenes.
- c) 1 bomba sumergible capaz de elevar agua hasta 1 m de altura.
- d) Mangueras de Silicona de 3/8" de diámetro.
- e) 6 Conectores de bronce.
- f) 6 abrazaderas.



Figura N°3.23 Equipo para Ensayo de Ascensión Capilar.
Fuente: Elaboración Propia.

C. Preparación de muestra y especímenes

La preparación de la muestra y el moldeo de especímenes se realizó de la misma forma como se indicó en el punto 3.1.10. Resistencia a la compresión no confinada.

D. Procedimiento de Ensayo

- a) Secar el espécimen en el horno a una temperatura de entre 45 °C a 60 °C hasta obtener un peso constante, en nuestro caso se obtuvo peso constante a 50 °C durante 3.5 horas. Pesar el espécimen después del secado (m_2).
- b) Medir con un vernier el diámetro del espécimen en su base (D_1).
- c) Colocar el espécimen en un recipiente con 10 ± 2 mm de agua por 72 h, manteniendo esta altura durante las 72 h.
- d) Usando la regla, determinar la altura de ascenso capilar (h) a los 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 16, 24, 48 y 72 horas.
- e) Retirar el espécimen del agua, secar su superficie y determinar la masa del espécimen húmedo (m_1).
- f) Medir con el vernier el diámetro del espécimen en su base (D_2).
- g) Medir la altura del espécimen húmedo con la regla metálica.

E. Fórmulas de Calculo

Estas fórmulas son proporcionadas en la norma AS 1141.53-1996.

La ascensión capilar (CR) se calcula como porcentaje de la altura del espécimen con la ecuación 3.6.

$$CR = \frac{h}{H} \times 100 \quad \dots \quad (3.6)$$

En donde:

CR: Ascenso Capilar en el espécimen, en porcentaje.

h: Altura del ascenso capilar, en milímetros.

H: Altura inicial del espécimen, en milímetros.

La absorción de agua (A) como porcentaje de la masa total del espécimen, se calcula con la ecuación 3.7.

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100 \quad \dots \quad (3.7)$$

En donde:

A: Absorción de agua, en porcentaje.

m₁: Masa del espécimen después de ser colocado en agua, en gramos.

m₂: Masa del espécimen secado en horno de 45°C a 60°C, en gramos.

m₃: Masa del espécimen seco, en gramos.

La expansión (S) después de la absorción como un porcentaje del área inicial, con la ecuación 3.8.

$$S = \left(\frac{(D_2)^2}{(D_1)^2} - 1 \right) \times 100 \quad \dots \quad (3.8)$$

En donde:

S: Expansión después de la absorción, en porcentaje.

D₁: Diámetro de la base del espécimen antes de ser colocado en agua, en milímetros.

D₂: Diámetro de la base del espécimen después de ser colocado en agua, en milímetros.

El resultado del ensayo de Ascensión Capilar al suelo areno-arcilloso se muestra en la Tabla N°3.14, además se muestran los valores de Expansión y Absorción.

Tabla N°3.14 Resultados del Ensayo de Ascensión Capilar al Suelo Natural.

Parámetros	Resultado
Ascensión Capilar a 24h (%)	36.5
Ascensión Capilar a 72h (%)	49.1
Expansión (%)	11.9
Absorción (%)	6.2

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

Los ensayos realizados al suelo estabilizado con el Sistema Consolid servirán para analizar el comportamiento de este al incluirle distintas dosificaciones del aditivo. Estos se han realizado de acuerdo a lo indicado en Manual del Sistema Consolid.

3.2.1 Dosificaciones

El Manual del Sistema Consolid indica que se pueden usar dosis estándar del aditivo y éstas darán excelentes resultados, pero si se requiere un mejor análisis para optimizar rendimientos y costos se pueden determinar las dosis óptimas con el ensayo de ascensión capilar. Sin embargo, se ha optado por hacer el análisis completo para el rango de dosificaciones elegido. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir:

1. Una vez realizados los ensayos de caracterización del suelo a estabilizar, y determinado el tipo de suelo, para nuestro caso la clasificación SUCS da SC (Arena Arcillosa con Gravas) y la clasificación AASHTO A-2-6(1), el proveedor recomienda el siguiente rango de dosificaciones para cada aditivo que compone el Sistema Consolid.

Consolid 444: 0.08 l/m³ a 0.12 l/m³.

Solidry: 0.75 % a 1.5 % en peso del suelo.

2. Con el objetivo de analizar las propiedades del Sistema Consolid, se amplió el rango de dosificaciones tanto para el Consolid 444 como para el Solidry, obteniendo los siguientes rangos de dosificación para cada aditivo:

Consolid 444: 0.04 l/m³, 0.08 l/m³, 0.12 l/m³ y 0.24 l/m³.
Solidry: 0.375 %, 0.75 %, 1.50 % y 3.00 % en peso del suelo.

- El Sistema Consolid es la interacción de los 2 aditivos por lo que cada dosificación corresponde a una combinación entre los aditivos Consolid 444 y Solidry (ver Figura N°3.24), el resultado de esta combinación se puede observar en la Tabla N°3.15. Como se observa en la Tabla N°3.15 se trabajó con un total de 16 dosificaciones para el Sistema Consolid.

Tabla N°3.15 Dosificaciones propuestas para el Sistema Consolid

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	D1	D2	D3	D4
	0.75 %	D5	D6	D7	D8
	1.50 %	D9	D10	D11	D12
	3.00 %	D13	D14	D15	D16

Fuente: Elaboración Propia.

- Como siguiente paso se debe determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de cada dosificación, a partir de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad obtenido en el Ensayo de Proctor por reemplazo del suelo natural en el punto 3.1.9. Este paso se describe en el siguiente punto.

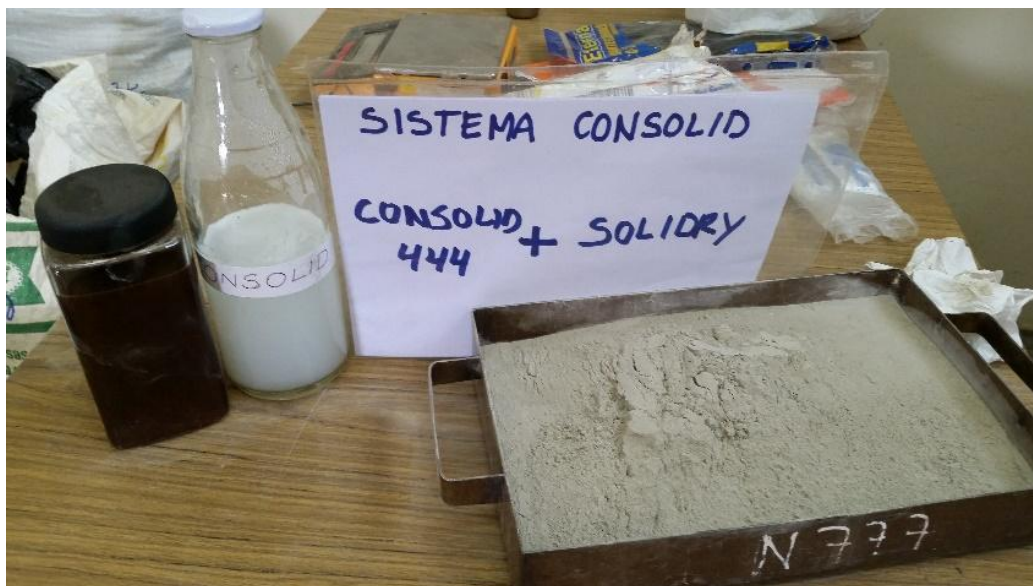


Figura N°3.24 Lado Izquierdo, aditivo C-444 puro y diluido y en el Lado Derecho el aditivo Solidry.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2 Proctor Modificado

Como parte del procedimiento de laboratorio para la estabilización del suelo con el Sistema Consolid, como se indicó líneas arriba, se debe calcular el OCH y la MDS de cada dosificación. Estos se obtienen con el ensayo de Proctor Modificado por reemplazo, es decir el Proctor modificado realizado para el Ensayo de C.B.R. En las ecuaciones 3.9 y 3.10 el peso del suelo se expresa en kg y la máxima densidad seca en kg/m³.

$$C - 444 \text{ (ml)} = \frac{[(\text{Peso de Suelo}) \times (\text{Dosificación } C - 444) \times 100] \times 1000}{\text{Máxima Densidad Seca}} \dots \text{ (3.9)}$$

$$\text{Solidry (g)} = [(\text{Peso de Suelo}) \times (\text{Dosificación Solidry}) \times 1000] \dots \text{ (3.10)}$$

En la Tabla N°3.16 se muestran las cantidades de aditivo para cada dosificación y una muestra de suelo de 3 kg, obtenidos con las ecuaciones 3.9 y 3.10. Como se aprecia en la ecuación 3.9 se multiplica por 100 ya que los valores del aditivo C-444 son muy pequeños y difíciles de medir por cual para poder trabajar con estas cantidades se diluyó el aditivo en agua en una proporción de 1:100 (C-444: Agua).

Tabla N°3.16 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de Proctor.

Dosificación	C-444 (1:100) (ml)	Solidry (g)
D1	6.3	11.25
D2	12.7	11.25
D3	19.0	11.25
D4	38.0	11.25
D5	6.3	22.50
D6	12.7	22.50
D7	19.0	22.50
D8	38.0	22.50
D9	6.3	45.00
D10	12.7	45.00
D11	19.0	45.00
D12	38.0	45.00
D13	6.3	90.00
D14	12.7	90.00
D15	19.0	90.00
D16	38.0	90.00

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenida la cantidad de aditivo a utilizar se procede a mezclarlo con el suelo natural. El Manual de Sistema Consolid indica que se tiene que mezclar primero el suelo con el aditivo C-444 diluido y la cantidad de agua que se necesite (ver Figura N°3.25). Una vez que se ha logrado una mezcla homogénea se adiciona el aditivo Solidry (ver Figura N°3.26) hasta lograr nuevamente una mezcla homogénea y luego se procede a compactar la muestra como indica el ensayo de Proctor Modificado. Este procedimiento se repite con los porcentajes de agua necesarios para dibujar la curva de Densidad Seca vs Humedad y así poder obtener los valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad para cada dosificación propuesta, los cuales serán usados para compactar los especímenes de los ensayos de C.B.R., Resistencia a la compresión y Ascensión Capilar.

Los resultados del ensayo de Proctor Modificado, máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad de las 16 dosificaciones se muestran en las Tablas N°3.17 y N°3.18 respectivamente.



Figura N°3.25 Adición del aditivo Consolid 444 a la muestra de suelo.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°3.26 Adición del aditivo Solidry a la muestra de suelo.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.17 Resultados de Máxima Densidad Seca (g/cm^3) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	1.925	1.921	1.941	1.948
	0.75 %	1.939	1.947	1.947	1.948
	1.50 %	1.942	1.946	1.945	1.941
	3.00 %	1.933	1.930	1.944	1.939

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.18 Resultados del Óptimo Contenido de Humedad (%) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	13.30	13.35	12.50	12.60
	0.75 %	12.60	12.10	12.60	11.95
	1.50 %	11.65	12.70	12.05	12.90
	3.00 %	12.65	12.90	12.50	12.80

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3 California Bearing Ratio (C.B.R.)

Con el fin de evaluar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con el Sistema Consolid se realizó el ensayo de C.B.R. Este se realiza como se indica en el punto 3.1.9, pero con el procedimiento de mezcla de suelo aditivo indicado en el punto 3.2.2. Para determinar la cantidad de aditivo a usar para cada dosificación y con el fin de hacer un reajuste a las cantidades de aditivo se reemplazará el valor de la Máxima Densidad Seca obtenido para cada dosificación (ver Tabla N°3.17) en la ecuación 3.9. En la Tabla N°3.19 se muestra la cantidad de aditivo para cada dosificación, para una muestra de suelo de 6 kg, obtenidos con las ecuaciones 3.9 y 3.10 para el Ensayo de C.B.R.

Tabla N°3.19 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de C.B.R.

Dosificación	C-444 (1:100) (ml)	Solidry (g)
D1	12.6	22.5
D2	25.2	22.5
D3	37.5	22.5
D4	74.7	22.5
D5	12.5	45.0
D6	24.9	45.0
D7	37.3	45.0
D8	74.7	45.0
D9	12.5	90.0
D10	24.9	90.0
D11	37.4	90.0
D12	74.9	90.0
D13	12.5	180.0
D14	25.1	180.0
D15	37.4	180.0
D16	75.0	180.0

Fuente: Elaboración Propia.

En las Tablas N°3.20, N°3.21, N°3.22 y N°3.23 se muestra los resultados de C.B.R. para penetraciones de 0.1" y 0.2" al 95 % y al 100 % de la MDS de cada dosificación, además en las Tablas N°3.24 y N°3.25 se presentan los valores de Expansión (%) y Absorción de Agua (%) respectivamente.

Tabla N°3.20 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y a 0.1" de Penetración.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	12.7 %	9.6 %	10.5 %	14.6 %
	0.75 %	39.8 %	33.2 %	30.5 %	32.8 %
	1.50 %	45.0 %	46.7 %	43.5 %	46.7 %
	3.00 %	82.0 %	72.5 %	71.5 %	88.9 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.21 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y a 0.2" de Penetración.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	22.6 %	16.3 %	17.4 %	23.2 %
	0.75 %	50.5 %	42.4 %	42.5 %	42.3 %
	1.50 %	62.0 %	60.5 %	63.1 %	61.8 %
	3.00 %	115.2 %	95.0 %	105.5 %	118.7 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.22 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y a 0.1" de Penetración.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	17.7 %	14.0 %	14.3 %	22.9 %
	0.75 %	52.3 %	57.5 %	53.7 %	61.5 %
	1.50 %	71.8 %	70.9 %	68.6 %	75.2 %
	3.00 %	105.8 %	108.1 %	104.3 %	129.2 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.23 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y a 0.2" de Penetración.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	30.3 %	23.7 %	24.3 %	34.6 %
	0.75 %	65.7 %	68.6 %	68.3 %	72.9 %
	1.50 %	97.8 %	92.3 %	91.5 %	92.6 %
	3.00 %	131.5 %	128.6 %	128.4 %	149.2 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.24 Resultados de Expansión en el Ensayo de C.B.R.

Dosificación	Expansión (%)		
	56	25	10
D1	0.9	1.0	1.1
D2	0.1	0.4	0.5
D3	0.6	0.8	1.0
D4	0.6	0.7	0.8
D5	0.2	0.3	0.7
D6	0.4	0.6	0.7
D7	0.4	0.4	0.5
D8	0.4	0.4	0.5
D9	0.9	1.0	1.3
D10	0.7	0.8	1.1
D11	0.7	1.2	1.5
D12	0.8	0.8	1.4
D13	1.5	1.6	1.9
D14	1.6	1.7	1.9
D15	1.7	2.5	2.9
D16	1.3	1.7	2.3

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.25 Resultados de Absorción en el Ensayo de C.B.R.

Dosificación	Absorción (%)		
	56	25	10
D1	0.7	1.3	2.7
D2	0.5	0.9	1.9
D3	0.7	1.2	2.2
D4	0.8	1.3	2.1
D5	0.8	1.5	2.0
D6	1.0	1.9	2.7
D7	0.8	1.5	2.1
D8	1.0	1.9	2.2
D9	1.5	2.2	3.2
D10	0.9	1.9	2.8
D11	1.7	2.0	3.5
D12	0.7	1.8	2.7
D13	1.2	2.1	3.4
D14	1.0	1.7	2.9
D15	1.2	2.2	3.7
D16	1.0	1.8	3.2

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.4 Resistencia a la Compresión no Confinada

Esta prueba se realiza para verificar el aumento de la resistencia a la compresión de los suelos estabilizados con el Sistema Consolid. Debido a que la capacidad del anillo usado para la prueba de resistencia a la compresión no confinada, norma ASTM D2166, no era suficiente para llegar a la máxima resistencia de los especímenes de las dosificaciones D15 y D16, estos especímenes se ensayaron de acuerdo a la norma ASTM D1633, para probetas suelo-cemento.

Para la preparación de las muestras con las distintas dosificaciones de aditivo se sigue el procedimiento indicado en punto 3.2.3. Los especímenes usados para el ensayo se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de cada dosificación obtenidas en el ensayo de Proctor modificado (ver Tablas N°3.17 y N°3.18). Las cantidades de aditivo a adicionar en cada muestra de suelo de 2 kg se muestran en la Tabla N°3.26.

Tabla N°3.26 Cantidades de aditivo del Sistema Consolid para el Ensayo de Resistencia a la Compresión.

Dosificación	C-444 (1:100) (ml)	Solidry (g)
D1	4.2	7.5
D2	8.4	7.5
D3	12.5	7.5
D4	24.9	7.5
D5	4.2	15.0
D6	8.3	15.0
D7	12.4	15.0
D8	24.9	15.0
D9	4.2	30.0
D10	8.3	30.0
D11	12.5	30.0
D12	25.0	30.0
D13	4.2	60.0
D14	8.4	60.0
D15	12.5	60.0
D16	25.0	60.0

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de la Resistencia a la compresión de las 16 dosificaciones para el suelo estabilizado con el Sistema Consolid se muestran en la Tabla N°3.27.

Tabla N°3.27 Resultados de Resistencia a la Compresión (kg/cm^2) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m^3	0.08 l/m^3	0.12 l/m^3	0.24 l/m^3
SOLIDRY	0.375 %	3.12 kg/cm^2	2.96 kg/cm^2	4.97 kg/cm^2	4.76 kg/cm^2
	0.75 %	5.31 kg/cm^2	5.95 kg/cm^2	5.45 kg/cm^2	5.84 kg/cm^2
	1.50 %	6.30 kg/cm^2	6.73 kg/cm^2	7.88 kg/cm^2	6.31 kg/cm^2
	3.00 %	9.92 kg/cm^2	10.84 kg/cm^2	10.40 kg/cm^2	20.00 kg/cm^2

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.5 Ascensión Capilar

Esta prueba se realizó con el fin de verificar si existe o no disminución del ascenso capilar en los suelos estabilizados con el Sistema Consolid. La prueba se realiza siguiendo el mismo procedimiento indicado en el punto 3.1.11. La preparación de las muestras con las distintas dosificaciones de aditivo se elabora siguiendo el procedimiento indicado en punto 3.2.3. Los especímenes usados para el ensayo se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de cada dosificación obtenidas en el ensayo de Proctor modificado (ver Tablas N°3.17 y N°3.18). Las cantidades de aditivo a adicionar en cada muestra de suelo de 2 kg son los mismos que los usados en el Ensayo de Resistencia a la compresión (ver Tabla N°3.26).

Los valores de Ascensión Capilar a 24h y 72h, Absorción y Expansión se muestran en las Tablas N°3.28, N°3.29, N°3.30 y N°3.31, respectivamente.

Tabla N°3.28 Resultados de Ascensión Capilar a 24 horas (%) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m^3	0.08 l/m^3	0.12 l/m^3	0.24 l/m^3
SOLIDRY	0.375 %	28.3 %	22.6 %	28.3 %	23.3 %
	0.75 %	24.5 %	21.4 %	23.9 %	21.4 %
	1.50 %	35.2 %	23.9 %	33.8 %	20.1 %
	3.00 %	21.3 %	23.0 %	21.1 %	26.1 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.29 Resultados de Ascensión Capilar a 72 horas (%) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	40.9 %	40.3 %	37.7 %	31.4 %
	0.75 %	40.3 %	31.4 %	41.5 %	32.7 %
	1.50 %	44.0 %	28.9 %	46.9 %	23.9 %
	3.00 %	23.8 %	33.5 %	34.1 %	34.2 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.30 Resultados de Absorción(%) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	3.7 %	3.9 %	2.9 %	1.3 %
	0.75 %	4.2 %	2.8 %	3.4 %	1.7 %
	1.50 %	5.4 %	0.3 %	5.0 %	0.4 %
	3.00 %	0.3 %	0.2 %	1.0 %	0.7 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.31 Resultados de Expansión(%) de las 16 dosificaciones.

Dosificación		C-444			
		0.04 l/m ³	0.08 l/m ³	0.12 l/m ³	0.24 l/m ³
SOLIDRY	0.375 %	8.8 %	6.0 %	7.4 %	3.1 %
	0.75 %	9.5 %	5.4 %	3.5 %	3.0 %
	1.50 %	4.1 %	0.8 %	3.5 %	0.1 %
	3.00 %	2.0 %	0.6 %	2.5 %	3.7 %

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

El Soil-Cement Laboratory Handbook de la Portland Cement Association (PCA) propone los ensayos de laboratorio necesarios para obtener la correcta dosificación del suelo-cemento. En este manual se dispone de un Método General de Dosificación y también uno simplificado. Los ensayos de suelo-cemento para encontrar la dosificación adecuada en esta tesis se harán en base al Método de Dosificación Simplificado.

3.3.1 Dosificación

La PCA, basada en la correlación estadística obtenida en los resultados de ensayos de durabilidad y resistencia a la compresión simple a los 7 días con 2438 suelos arenosos utilizando cemento Tipo I, presentó un método simplificado para la dosificación suelo-cemento. Este método simplificado implica la anulación de algunas pruebas reemplazadas por tablas y ábacos desarrolladas en pruebas anteriores en suelos similares. Las únicas pruebas requeridas son el análisis granulométrico, la relación densidad-humedad y las pruebas de resistencia a la compresión (Portland Cement Association [PCA], 1992).

Este método de prueba está restringido a suelos que contengan un máximo de 50% de partículas de tamaño menor a 0.05 mm (limos y arcillas), un máximo de 20% de partículas de tamaño menor a 0.005 mm (arcillas) y menos del 45% de material retenido en el tamiz N°4. Como se puede observar en la Tabla N°3.1, la muestra de suelo cumple con los requerimientos para usar el Método Simplificado.

Como indica PCA (1992), la secuencia de dosificación es la siguiente:

- a) Ensayos de caracterización del suelo;
- b) Determinación del Método de ensayo;
- c) Determinar la cantidad de cemento requerido según las tablas y ábacos;
- d) Realizar el ensayo de compactación (densidad-humedad);
- e) Determinación de la resistencia a la compresión simple a los 7 días;
- f) Comparar la resistencia media y la compresión simple obtenida en las probetas de ensayo y la resistencia a la compresión simple mínima admisible para el suelo en estudio.

Dependiendo de la granulometría del suelo, los métodos empleados son:

1. Método A, usando el material que pasa el tamiz N°4, este método se usa cuando la muestra original del suelo pasa por el tamiz N°4.
2. Método B, usando el material que pasa el tamiz 3/4", este método se usa cuando parte de la muestra original es retenida en el tamiz N°4.

El suelo a estabilizar en esta tesis, contiene material retenido en el tamiz N°4 por lo que se usará el Método B. Las características del suelo a estabilizar que son necesarias para la dosificación son las siguientes:

- Porcentaje de Material Retenido en el tamiz N°4: **31.8 %**
- Porcentaje de Material Retenido en el tamiz N°10: **47.2 %**
- Porcentaje de Material menor a 0.05 mm: **16.0 %**

A continuación, se describe el procedimiento de dosificación para el Método B indicado en Soil-Cement Laboratory Handbook.

Paso 1: Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo-cemento, procedimiento que se detalla en el punto 3.3.2. Para calcular la cantidad de cemento en peso se debe usar las Figuras N°3.27 y N°3.28 como se indica a continuación.

Estimar la máxima densidad seca de la mezcla por medio de la Figura N°3.27 en función de los porcentajes de material menor a 0.05 mm y el porcentaje de material retenido en el tamiz N°10. Para la muestra de suelo a analizar correspondería una densidad de 132 lb/ft³ que es aproximadamente 2115 kg/m³, sin embargo, como ya se cuenta con la máxima densidad seca del Proctor Estándar del suelo, se trabajará con este dato que es 1859 kg/m³ o 116 lb/ft³.

Paso 2: Estimar la cantidad de cemento por medio de la Figura N°3.28, en función del porcentaje de material retenido en el tamiz N°4, el porcentaje de material menor a 0.05 mm y la máxima densidad seca obtenida de la Figura N°3.27 o la hallada mediante el método de Proctor Estándar. Siguiendo este paso la cantidad de cemento en peso a utilizar es de 7%.

Paso 3: Mezclar la muestra de suelo y la cantidad de cemento obtenido en el Paso 2 para moldear los especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad hallados.

Paso 4: Determinar la resistencia a la compresión promedio de los especímenes después de 7 días de curado húmedo y sumergido en agua por 4 horas.

Paso 5: A partir de la Figura N°3.29 determine la resistencia a la compresión mínima permitida para la mezcla suelo-cemento. Si la resistencia a la compresión promedio obtenida en el Paso 4 es mayor igual a la resistencia mínima permisible, el porcentaje de cemento en peso indicado es el adecuado.

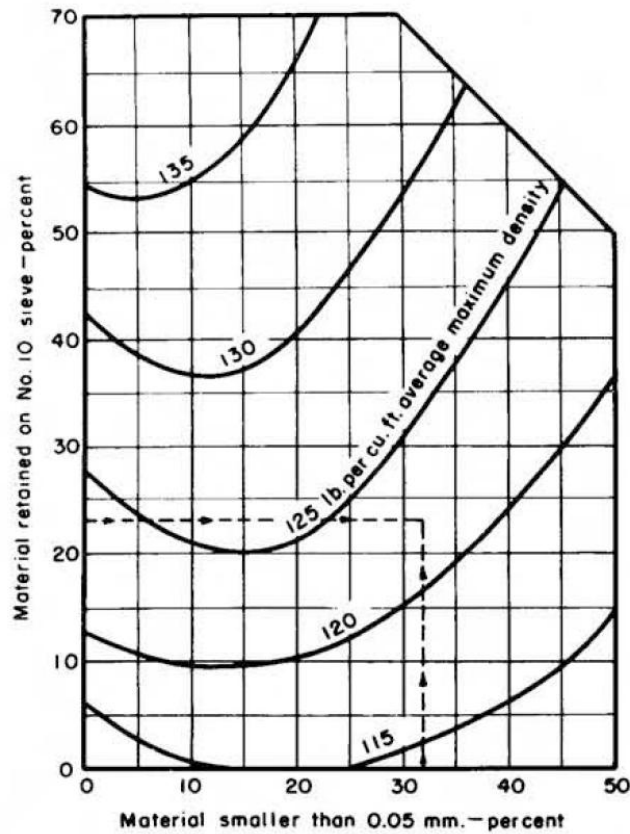


Figura N°3.27 Densidades máximas promedio de mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.
 Fuente: PCA,1992.

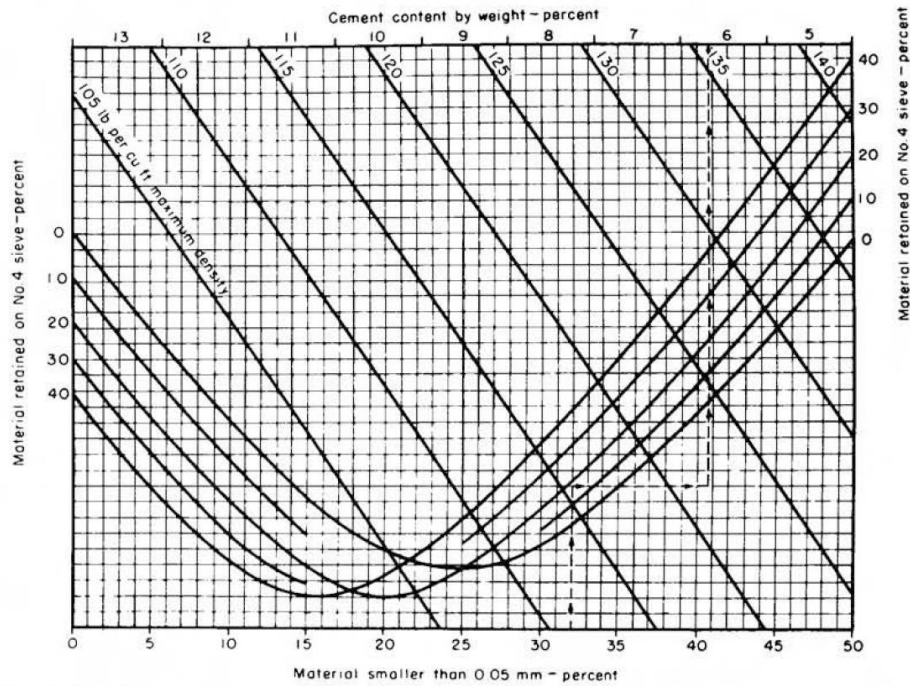


Figura N°3.28 Contenido de cemento recomendado para mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.
 Fuente: PCA,1992.

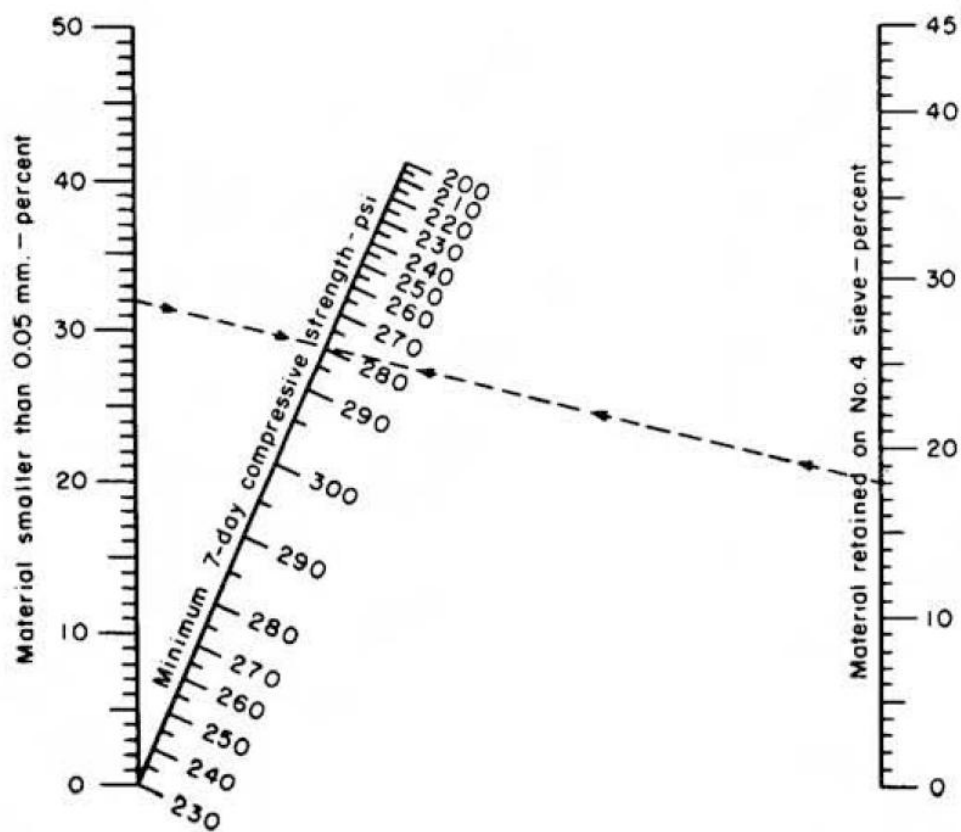


Figura N°3.29 Resistencias a la compresión mínimas requeridas a los 7 días para mezclas suelo-cemento con material retenido en el tamiz N°4.

Fuente: PCA,1992.

Otra forma de estimar el contenido de cemento para las mezclas suelo-cemento es recurriendo a la Tabla N°3.32.

Tabla N°3.32 Rangos de Cemento según tipo de suelo.

Clasificación de Suelo según AASHTO	Clasificación de Suelo según SUCS	Rango Usual de Cemento Requerido		Contenido típico de cemento para prueba de humedad-densidad, % en peso
		Porcentaje en Volumen (%)	Porcentaje en Peso (%)	
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	5-7	3-5	5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7-9	5-8	6
A-2	GM, GC, SM, SC	7-10	5-9	7
A-3	SP	8-12	7-11	9
A-4	CL, ML	8-12	7-12	10
A-5	ML, MH, CH	8-12	8-13	10
A-6	CL, CH	10-14	9-15	12
A-7	MH, CH	10-14	10-16	13

Fuente: Soil-Cement Laboratory Handbook, Portland Cement Association, 1992

3.3.2 Relación Densidad – Humedad

Obtenido el porcentaje de cemento de la Figura N°3.28 o la Tabla N°3.32, se procede a determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo-cemento. Para determinar estos parámetros se emplea un molde 1/30 pie³ y un martillo de 5.5 lbf que cae desde una altura de 12 pulgadas, los mismos que se usan para el ensayo de Proctor Estándar. Existen 2 métodos de acuerdo a la granulometría del material como se indicó en el punto 3.3.1.

Debido a que la muestra de suelo utilizado tiene material retenido en el tamiz N°4 se utilizará el método B. Para este método, la muestra de suelo para la prueba debe contener el mismo porcentaje de material retenido en el tamiz N°4 que contiene la muestra original. El material a usar será de un tamaño máximo de 3/4". Si hubiera material más grande que este, se reemplazará en la muestra con un peso equivalente de material pasante el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz N°4. El ensayo se realizó siguiendo de acuerdo a las normas:

ASTM D558 Standard Test Methods for Moisture-Density (Unit Weight) Relations of Soil-Cement Mixtures

MTC E 1102 Relaciones Humedad – Densidad (Suelo-Cemento)

Como se verá más adelante, la prueba de resistencia a la compresión del suelo-cemento con 7 % de cemento arrojó valores menores al mínimo requerido, por lo cual, según se indica en el Soil-Cement Handbook se aumentó 2 % de cemento, realizando nuevamente el ensayo de Relación Densidad-Humedad con 9 % de cemento. Los resultados de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad para el suelo-cemento con las 2 dosificaciones se presentan en la Tabla N°3.33.

Tabla N°3.33 Resultados del Ensayo Relación Densidad-Humedad para la mezcla Suelo-Cemento.

Resultados		
Dosificación	MDS (g/cm ³)	OCH (%)
7 % de Cemento	1.813	16.55
9 % de Cemento	1.800	16.70

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.3 Resistencia a la Compresión

La Resistencia a la compresión de especímenes de suelo-cemento es un parámetro importante para determinar la cantidad adecuada de cemento a usarse en esta. El moldeo de los especímenes se realiza de acuerdo a las normas:

ASTM D1632 Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory

MTC E 1101 Preparación en el Laboratorio de Probetas Suelo-Cemento

Y la resistencia a la compresión de los especímenes suelo-cemento se realizan de acuerdo a las normas:

ASTM D1633 Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders

MTC E 1103 Resistencia a la Compresión de Probetas de Suelo-Cemento

Se detalla a continuación el procedimiento seguido:

- a) Moldear 2 especímenes con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad obtenido en el punto 3.3.2. Para este ensayo se usará un molde de 7.95 cm de diámetro y 15.9 cm de altura.
- b) Colocar en curado húmedo durante un periodo de 7 días.
- c) Al finalizar el curado, los especímenes se sumergen por 4 horas en agua.
- d) Después se secan superficialmente las probetas y se nivelan las caras opuestas (capeo) para asegurar su uniformidad.
- e) Las probetas son sometidas a compresión a una velocidad de carga constante de entre 70 a 210 kPa/s. Para esta investigación se usó una velocidad de carga de 150 kPa/s.

Como se indicó en el punto 3.3.3 la resistencia a la compresión del suelo-cemento con 7 % de cemento no cumple el requerimiento mínimo por lo cual se realizó una prueba adicional con 9 % de cemento, los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes suelo-cemento se muestran en la Tabla N°3.34.

Tabla N°2.34 Resultados de Resistencia a la Compresión del Suelo-Cemento.

Resultados	
Dosificación	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
7 % de Cemento	12.4
9 % de Cemento	28.5

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.4 California Bearing Ratio (C.B.R)

Si bien el C.B.R. no es un ensayo que se use para el diseño del suelo-cemento porque arroja valores muy altos, este ensayo se realizó con fines comparativos, ya que este valor si es usado para el suelo natural y el suelo estabilizado con el Sistema Consolid.

El ensayo de C.B.R. se realizará como indica la norma ASTM D1883, con la diferencia que el material se mezclará con el porcentaje de cemento tal como se indica en la norma ASTM D558, además tendrá un curado previo de 7 días, sin carga antes de la inmersión al agua por 4 días. Para moldear los especímenes del C.B.R. se realizó un Proctor modificado por reemplazo como si indica en la norma ASTM D1883, el cual dio valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad que se muestran en la Tabla N°3.35. Estas pruebas se realizaron con un contenido de cemento de 9 % del peso

En la Tabla N°3.36 se muestra los resultados de C.B.R. para penetraciones de 0.1" y 0.2" al 95 % y al 100 % de la MDS, además se presentan los valores de Expansión (%) y Absorción de Agua (%) en la Tabla N°3.37.

Tabla N°3.35 Resultado de Proctor Modificado por Reemplazo del Suelo-Cemento.

Dosificación	MDS (g/cm ³)	OCH (%)
9 % de Cemento	1.890	15.50

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.36 Resultados del Ensayo C.B.R. al Suelo-Cemento.

C.B.R.	Penetración	
	0.1"	0.2"
Al 95 % de la MDS	125.5 %	212.0 %
Al 100 % de la MDS	153.9 %	250.5 %

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°3.37 Resultados de Expansión y Absorción para el Suelo-Cemento.

MOLDE N°	I	II	III
Número de golpes/capa	56	25	10
Expansión (%)	0.3	0.3	0.4
Absorción de Agua (%)	0.6	1.0	1.3

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.5 Ascensión Capilar

Este ensayo se realizó para determinar el comportamiento del ascenso capilar en un espécimen de suelo-cemento. La prueba se realiza siguiendo el mismo procedimiento indicado en el punto 3.1.11. La preparación de la muestra con 9% de cemento se realizó como indica la norma ASTM D1632. El espécimen usado para el ensayo se moldeó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Ensayo Relación Densidad-Humedad (ver Tabla N°3.34).

Los valores de Ascensión Capilar a 24h y 72h, Absorción y Expansión se muestran en la Tabla N°3.38.

Tabla N°3.38 Resultados del Ensayo de Ascensión Capilar en el Suelo-Cemento.

Parámetro	Resultado
Ascensión Capilar a 24h (%)	43.8
Ascensión Capilar a 72h (%)	53.1
Expansión (%)	1.8
Absorción (%)	1.0

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA

Este capítulo se enfoca en evaluar los resultados de la parte experimental, principalmente evaluar el comportamiento del C.B.R. y la impermeabilidad del suelo areno-arcilloso estabilizado. Además, se evaluarán otros parámetros que también son importantes al momento de tomar una decisión para elegir el estabilizador y su dosificación adecuada. No obstante, no solo la parte técnica es importante al momento de decidir entre uno y otro estabilizador, por ello, se va a evaluar económicamente las soluciones propuestas. Para tal fin se realizará un diseño de pavimento típico, para luego realizar el análisis de costos y hacer un comparativo entre los estabilizadores.

4.1 EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados al suelo areno-arcilloso estabilizado con las 16 dosificaciones del Sistema Consolid (ver Tabla N°4.1) y con el 9% de cemento en peso, van a ser evaluados para ver la variación que existe en las propiedades físico-mecánicas y volumétricas del suelo areno-arcilloso.

Tabla N°4.1 Dosificaciones del Sistema Consolid.

	DOSIFICACIÓN	C-444	SOLIDRY
GRUPO 1	D1	0.04 l/m ³	0.375%
	D2	0.08 l/m ³	0.375%
	D3	0.12 l/m ³	0.375%
	D4	0.24 l/m ³	0.375%
GRUPO 2	D5	0.04 l/m ³	0.75%
	D6	0.08 l/m ³	0.75%
	D7	0.12 l/m ³	0.75%
	D8	0.24 l/m ³	0.75%
GRUPO 3	D9	0.04 l/m ³	1.50%
	D10	0.08 l/m ³	1.50%
	D11	0.12 l/m ³	1.50%
	D12	0.24 l/m ³	1.50%
GRUPO 4	D13	0.04 l/m ³	3.00%
	D14	0.08 l/m ³	3.00%
	D15	0.12 l/m ³	3.00%
	D16	0.24 l/m ³	3.00%

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1 Densidad - Humedad

Como resultado de las pruebas de Proctor Modificado se han obtenido valores de máxima densidad seca (MDS) y óptimo contenido de humedad (OCH), los cuales han tenido variaciones respecto a los obtenidos del suelo natural. Como se observa en la Figura N°4.1, la MDS de las muestras con el aditivo Sistema Consolid aumentan en hasta en 0.034 g/cm^3 respecto de la MDS del Suelo Natural (SN). Se aprecia que la variación en la máxima densidad seca tiene mayor influencia al variar la dosis del Consolid 444, sin embargo, el Grupo 2 de dosificaciones es el que tiene mayor densidad seca promedio. Por otro lado, se puede apreciar que la densidad más baja es la que corresponde al suelo estabilizado con cemento.

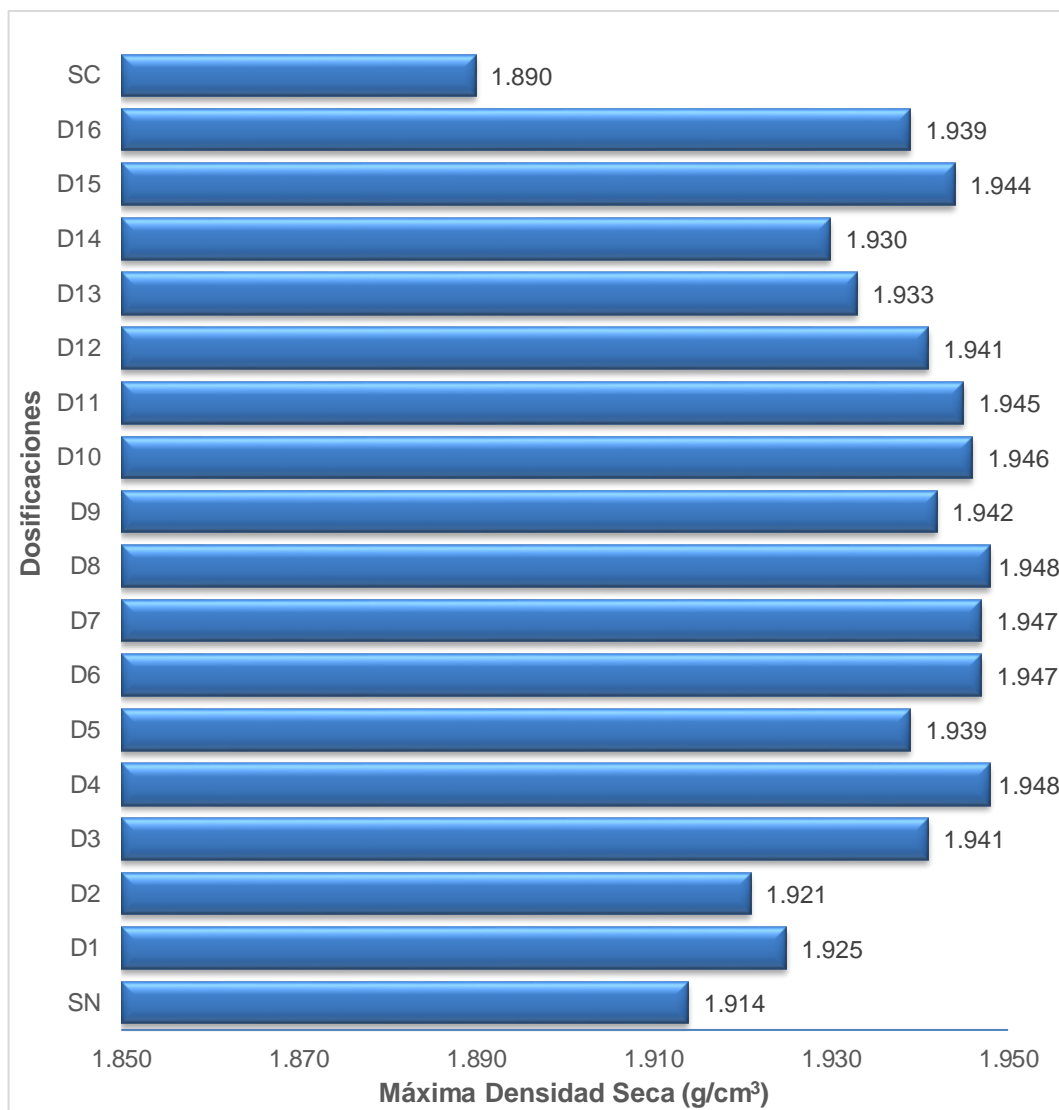


Figura N°4.1 Valores de Máxima Densidad Seca (g/cm^3).
Fuente: Elaboración Propia.

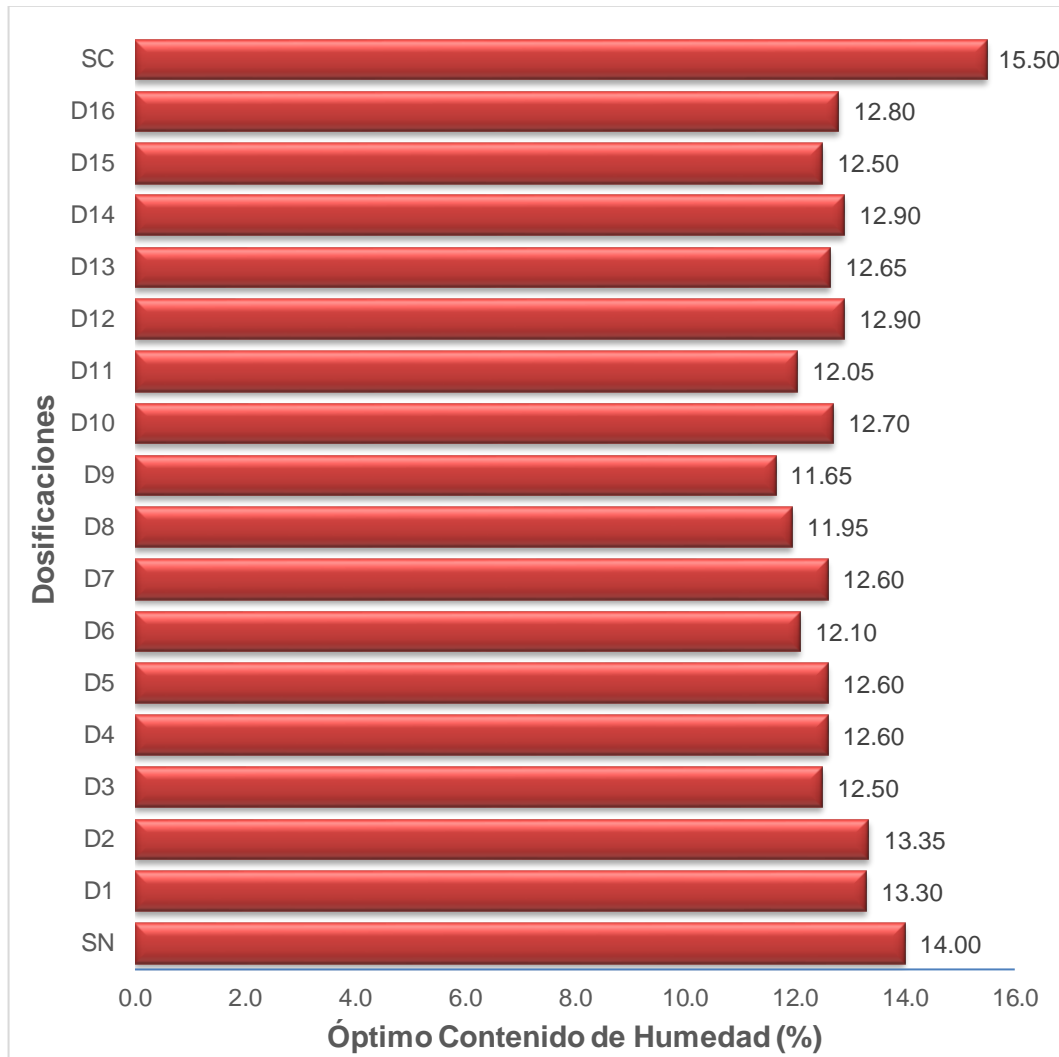


Figura N°4.2 Valores de Óptimo Contenido de Humedad (%).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.2 se observa que los resultados de OCH del suelo estabilizado con el Sistema Consolid son menores que los obtenidos en el suelo natural, llegando a disminuir hasta en 2.35 % con respecto al OCH del suelo natural. Nuevamente se puede apreciar que la variación de la dosis del Consolid 444 tiene mayor influencia en la variación del óptimo contenido de humedad. Como ocurrió con la máxima densidad seca el Grupo 2 es el que presenta menor valor del óptimo contenido de humedad promedio. Caso contrario ocurre en el caso del suelo estabilizado con cemento donde el óptimo contenido de humedad aumenta 1.5 %, resultado esperado en este tipo de estabilización. El promedio de las máximas densidades secas del Sistema Consolid es 1.940 g/cm^3 , la cual es mayor que la del suelo natural y el promedio de los óptimos contenidos de humedad del Sistema Consolid es 12.57 % menor que el OCH del Suelo Natural.

4.1.2 C.B.R.

El C.B.R. 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 (ver Figura N°4.3).

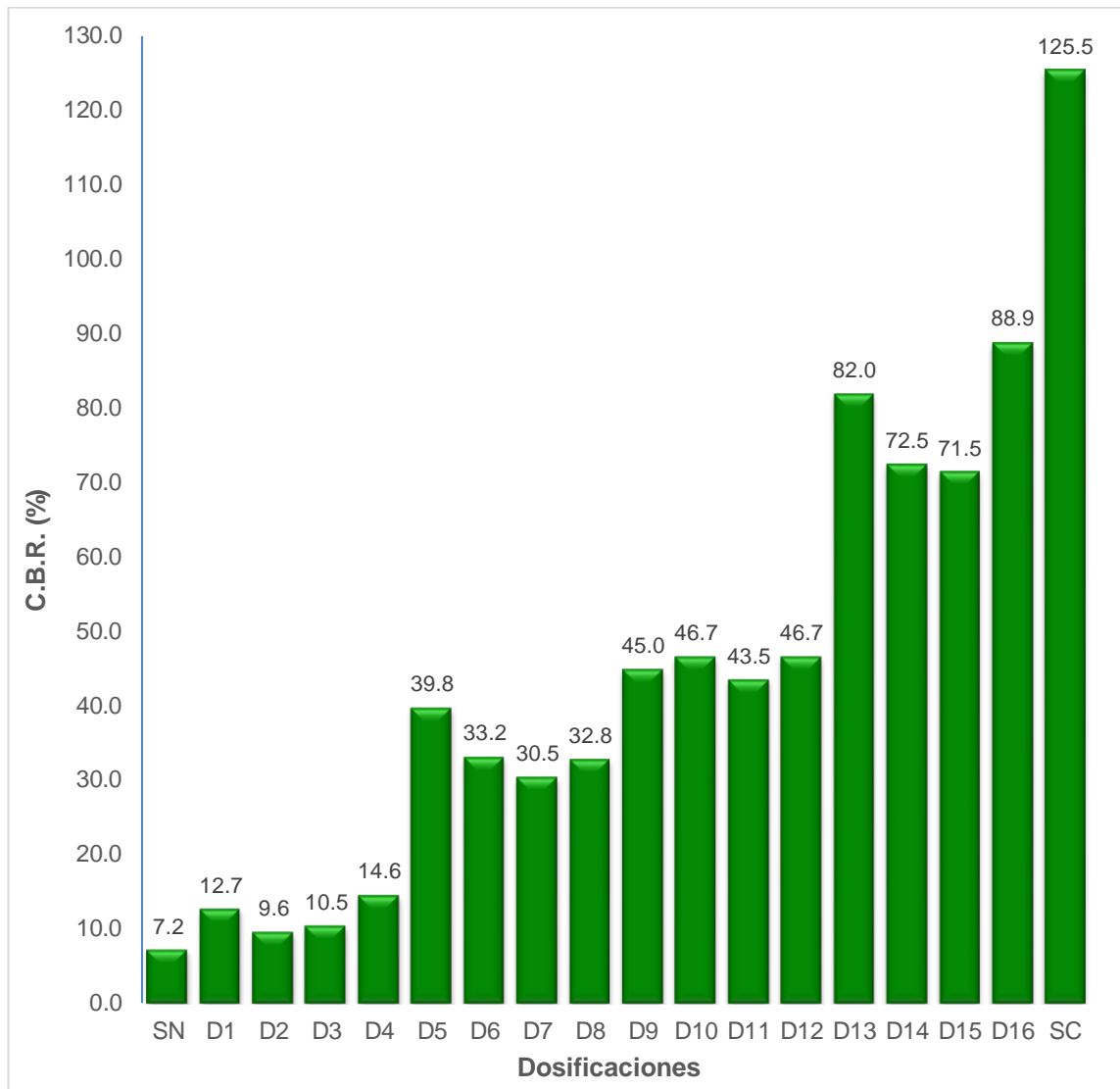


Figura N°4.3 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y 0.1" de Penetración.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la Figura N°4.3 el C.B.R. para 0.1" de penetración al 95 % de la MDS, valor que se usa como parámetro de diseño de pavimentos, del suelo natural es 7.2 % la que se clasificaría como una subrasante regular según MTC (2014c) (ver Tabla N°4.3). Al adicionarle el aditivo Sistema Consolid los valores de C.B.R. se incrementan hasta en 12.4 veces el valor del C.B.R. natural. El grupo

1 de dosificaciones tiene como promedio un valor de 11.9 % de C.B.R. el cual es considerado como una subrasante buena. El grupo 2 de dosificaciones tiene un valor promedio de C.B.R. de 34.1 % la cual se considera como una subrasante excelente; los grupos 3 y 4 superan ampliamente los valores requeridos para una subrasante. Como era de esperarse el valor del C.B.R. del suelo estabilizado con cemento es bastante alto, 17.4 veces el valor del C.B.R. natural.

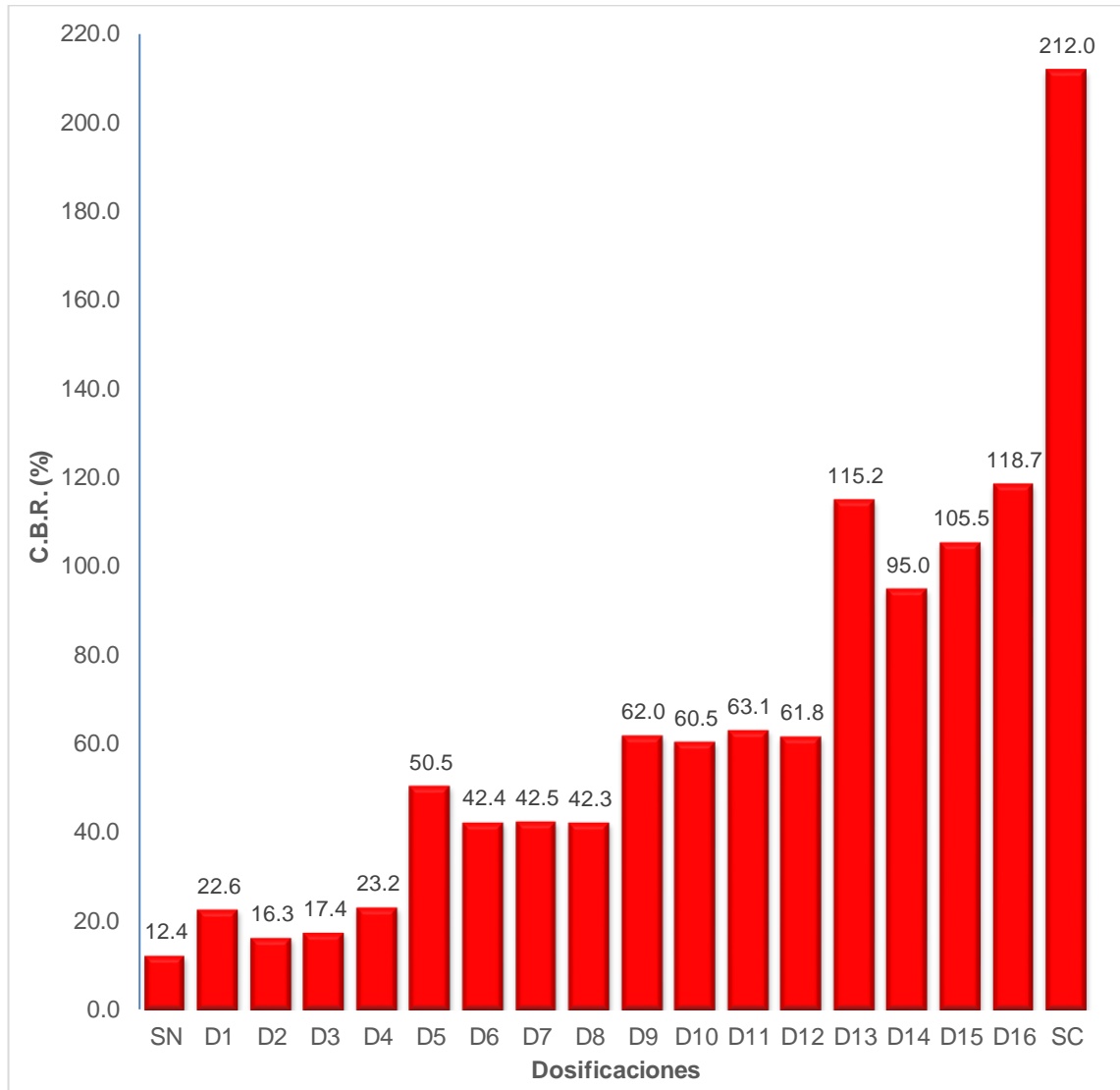


Figura N°4.4 Valores de C.B.R. al 95 % de la MDS y 0.2" de Penetración.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.4, la cual muestra valores de C.B.R. a 0.2" de penetración al 95 % de la MDS, se aprecia un similar comportamiento del C.B.R. que la figura anterior; al aumentar la dosis de Solidry, el valor de C.B.R. aumenta considerablemente, lo cual no ocurre cuando se varía la dosis de Consolid 444.

Esto nos permite inferir que la mayor influencia en el valor del C.B.R. la da el aditivo Solidry. Por otro lado, el valor del C.B.R. del cemento aumento casi al doble del obtenido al 0.1" de penetración.

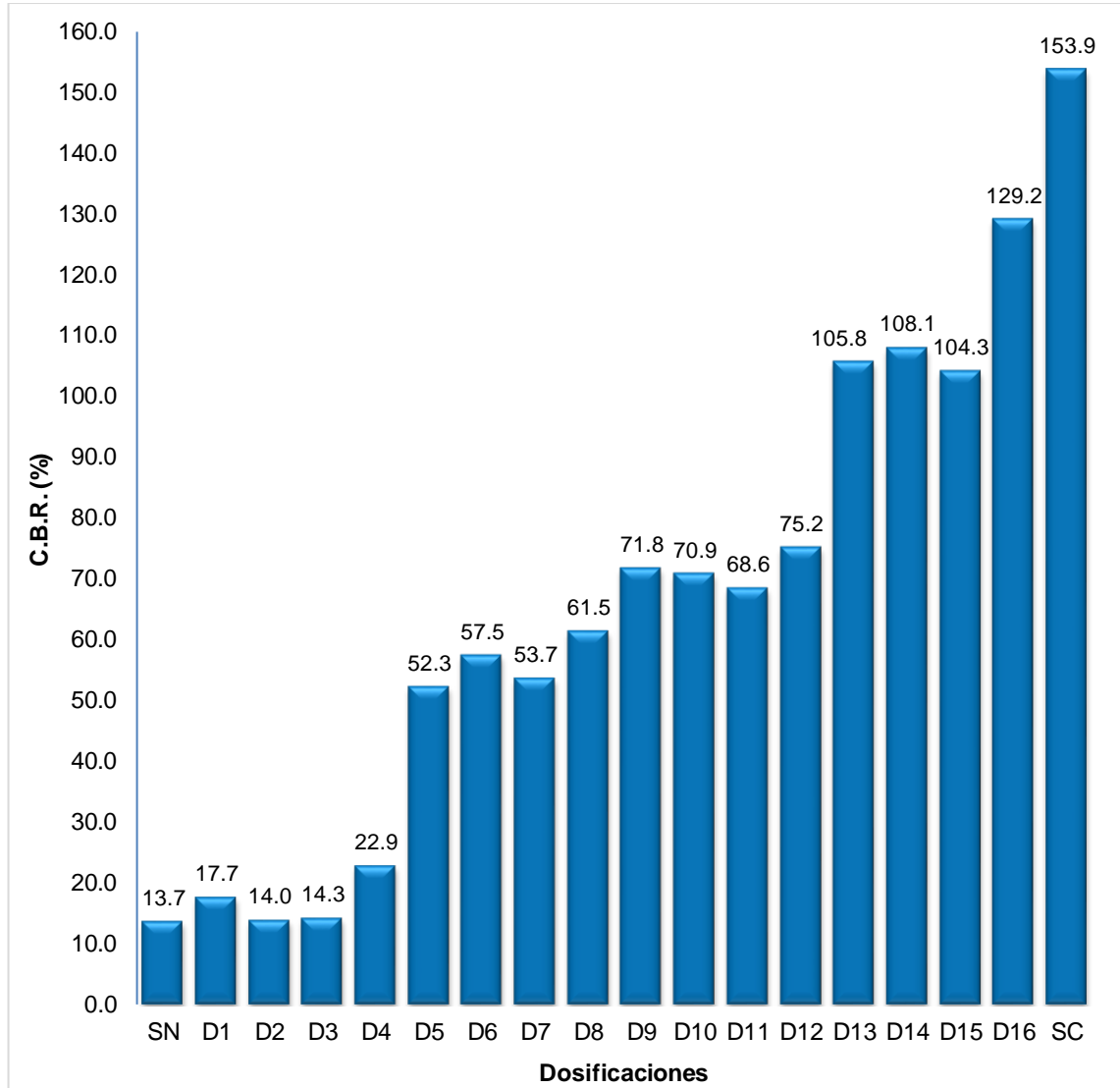


Figura N°4.5 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y 0.1" de Penetración.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura N°4.5 nos muestra valores de C.B.R. a 0.1" de penetración al 100 % de la MDS. Como se aprecia no hay una variación significativa entre el C.B.R. natural y el grupo 1 de dosificaciones. El grupo 2 y 3 si presentan un aumento de hasta 5.5 veces del C.B.R. natural, pudiendo usarse según el MTC (2014c) como una subbase, mientras que el grupo 4 presenta valores de C.B.R. superiores a 80 % los cuales pueden usarse como una capa de base (ver Tabla N°4.4). El valor de C.B.R. del suelo estabilizado con cemento también es mayor a 80 %.

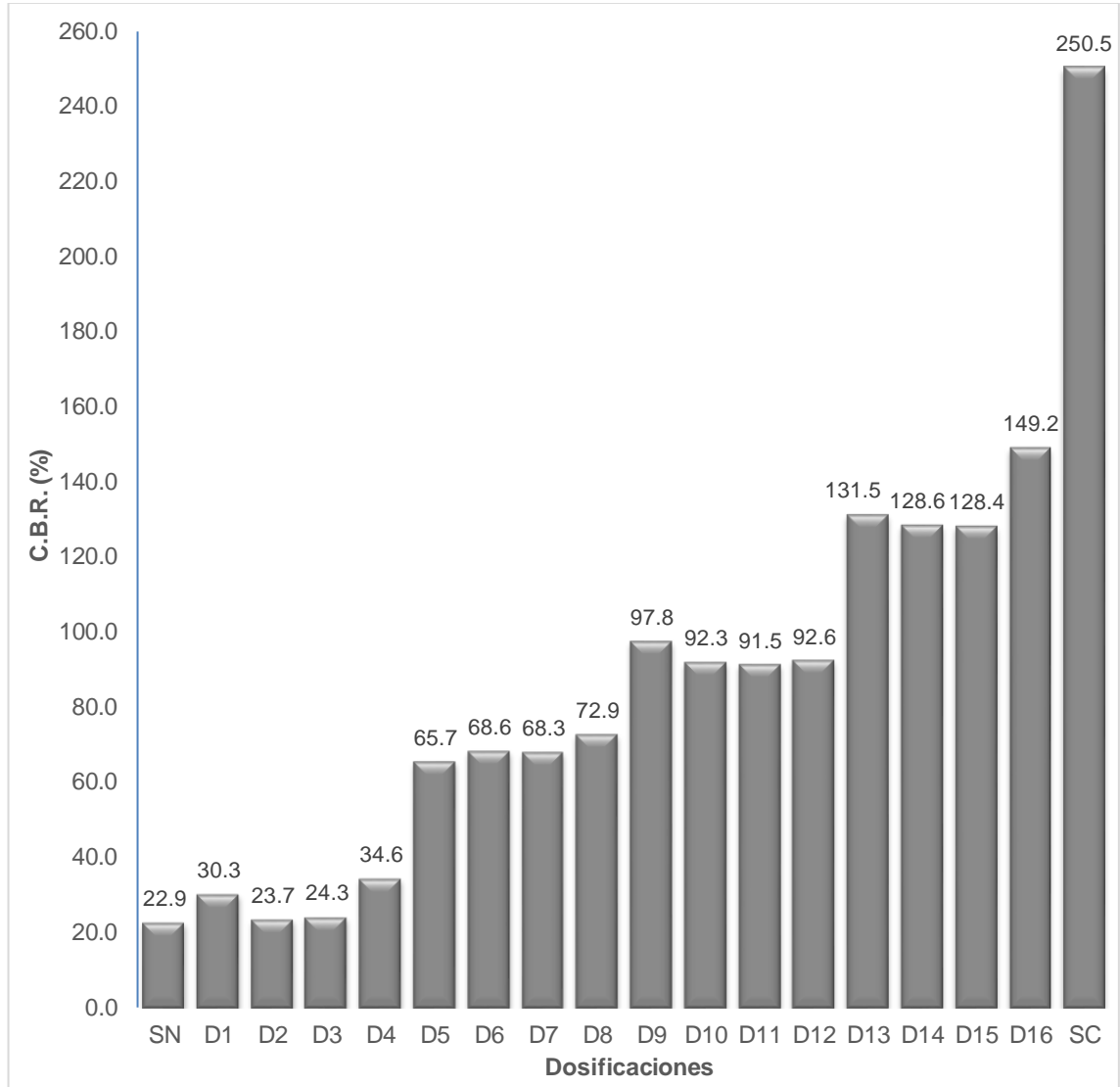


Figura N°4.6 Valores de C.B.R. al 100 % de la MDS y 0.2" de Penetración.
Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en la Figura N°4.6 se muestran los valores del C.B.R. a una penetración de 0.2" y al 100 % de la MDS. Se aprecia que el valor del C.B.R. promedio del grupo 1 de dosificaciones es de 28.2% el cual solo difiere en 5.3 % del valor del C.B.R. natural. Además, se verifica nuevamente que el C.B.R. aumenta en relación al incremento del aditivo Solidry y se mantiene con la variación del aditivo Consolid 444. Por otro lado, el C.B.R del suelo-cemento es 10.9 veces el valor del C.B.R. natural y 1.6 el C.B.R. de la dosificación 16.

4.1.3 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es el principal parámetro con el cual se acepta o desaprueba una dosificación de suelo-cemento. Además, sirve para calcular el módulo de elasticidad a través de una relación, la cual fue mostrada en el capítulo anterior (Ecuación 3.3).

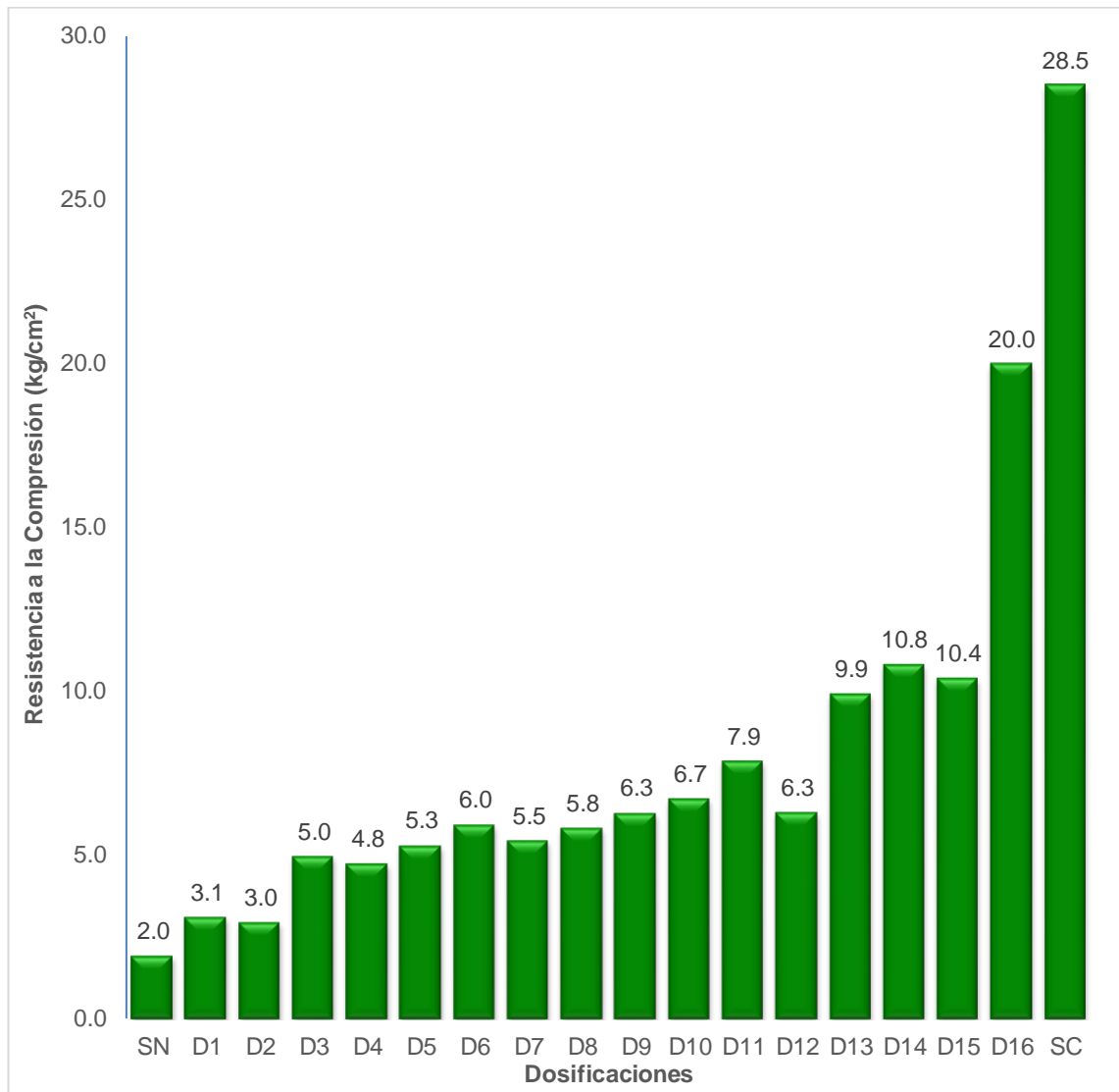


Figura N°4.7 Valores de Resistencia a la Compresión (kg/cm²).
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en Figura N°4.7, el suelo natural presenta una resistencia a la compresión de 2.0 kg/cm² la cual según Das (2015) tiene una consistencia muy firme. Tal como sucede con el C.B.R., al aumentar la cantidad de Solidry, aumenta la resistencia a la compresión, además al adicionar el Consolid 444 la resistencia a la compresión aumenta ligeramente, pero en la dosificación 16 ocurre un

aumento inusual de la resistencia a la compresión. El valor de resistencia a la compresión del suelo-cemento cumple el mínimo requerido por la PCA y por las Especificaciones Generales de Suelo-Cemento del MTC.

4.1.4 Ascensión Capilar

Como se explicó en el capítulo anterior, el ensayo de ascensión capilar sirve para conocer como asciende el agua a través del material y es uno de los parámetros que se usa para ver si el suelo estabilizado mejora su impermeabilidad. Se evaluó la ascensión capilar a las 24 horas y a las 72 horas. La evaluación a las 24 horas se realizó porque Austroads (2002) recomienda un nivel de aceptación para la altura de ascenso capilar de 25 % del total de la altura del espécimen en este tiempo; y se realizó la evaluación a las 72 horas porque este tiempo está indicado en la norma.

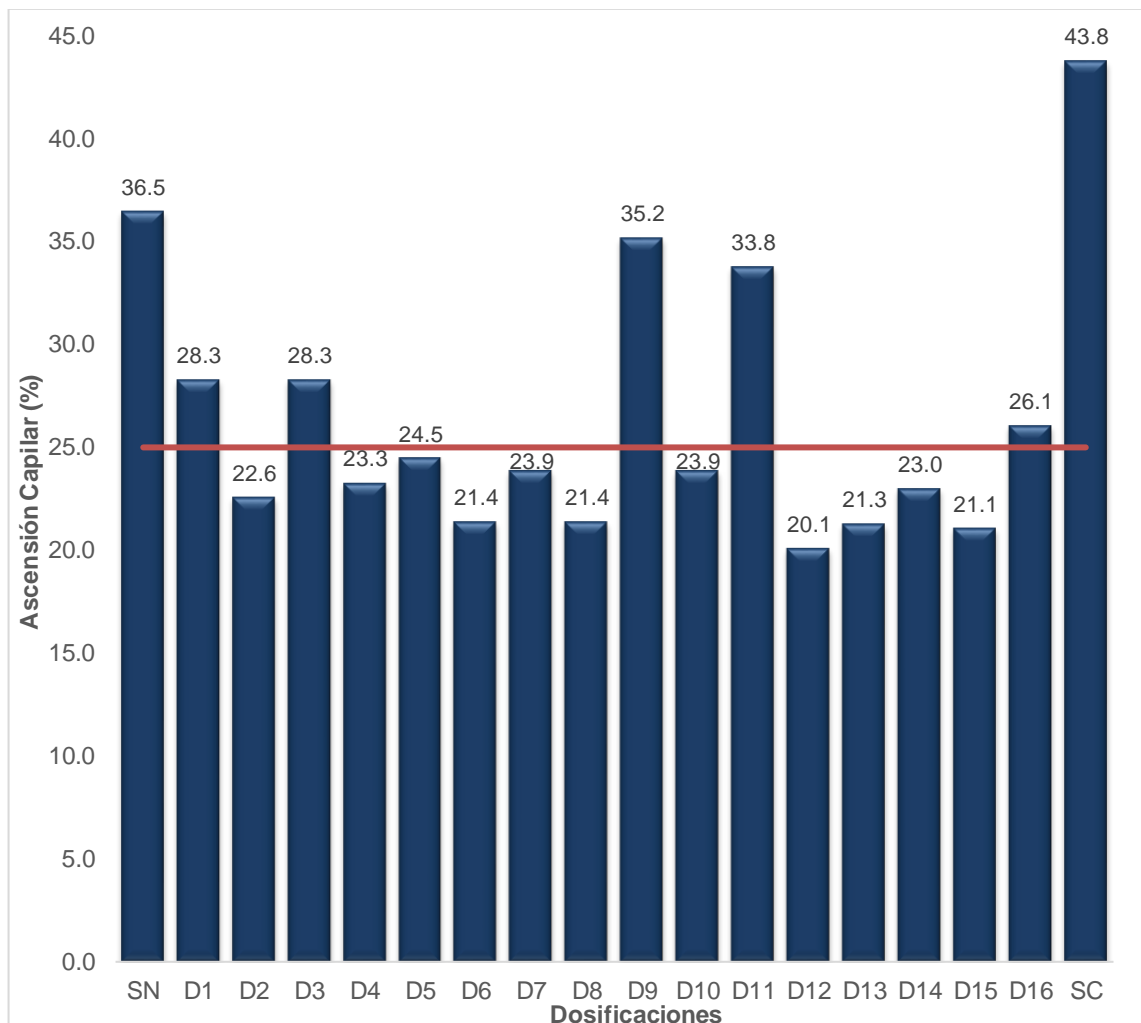


Figura N°4.8 Ascensión Capilar (%) a las 24 horas.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.8 podemos observar que especímenes no cumplen con el máximo de 25 % de ascensión capilar. Para las dosificaciones 6, 7, 8 y 9 se hicieron 2 pruebas ya que en las primeras pruebas presentaron desmoronamiento a las 24 y 48 horas (ver Figuras N°4.9 y N°4.10). En la segunda prueba, las dosificaciones 6, 7 y 8 se conservaron, pero la dosificación 9 se partió después de realizar el pesado final. La dosificación 11 también presentó un ascenso capilar cercano al del suelo natural, sin embargo, no sufrió desmoronamiento. De las 16 dosificaciones, 5 dosificaciones no cumplen con la condición del 25 % de ascenso capilar. Por otro lado, la ascensión capilar en el suelo estabilizado con cemento fue más alta que la del suelo natural, pero sin presentar desmoronamiento o pérdida de material.

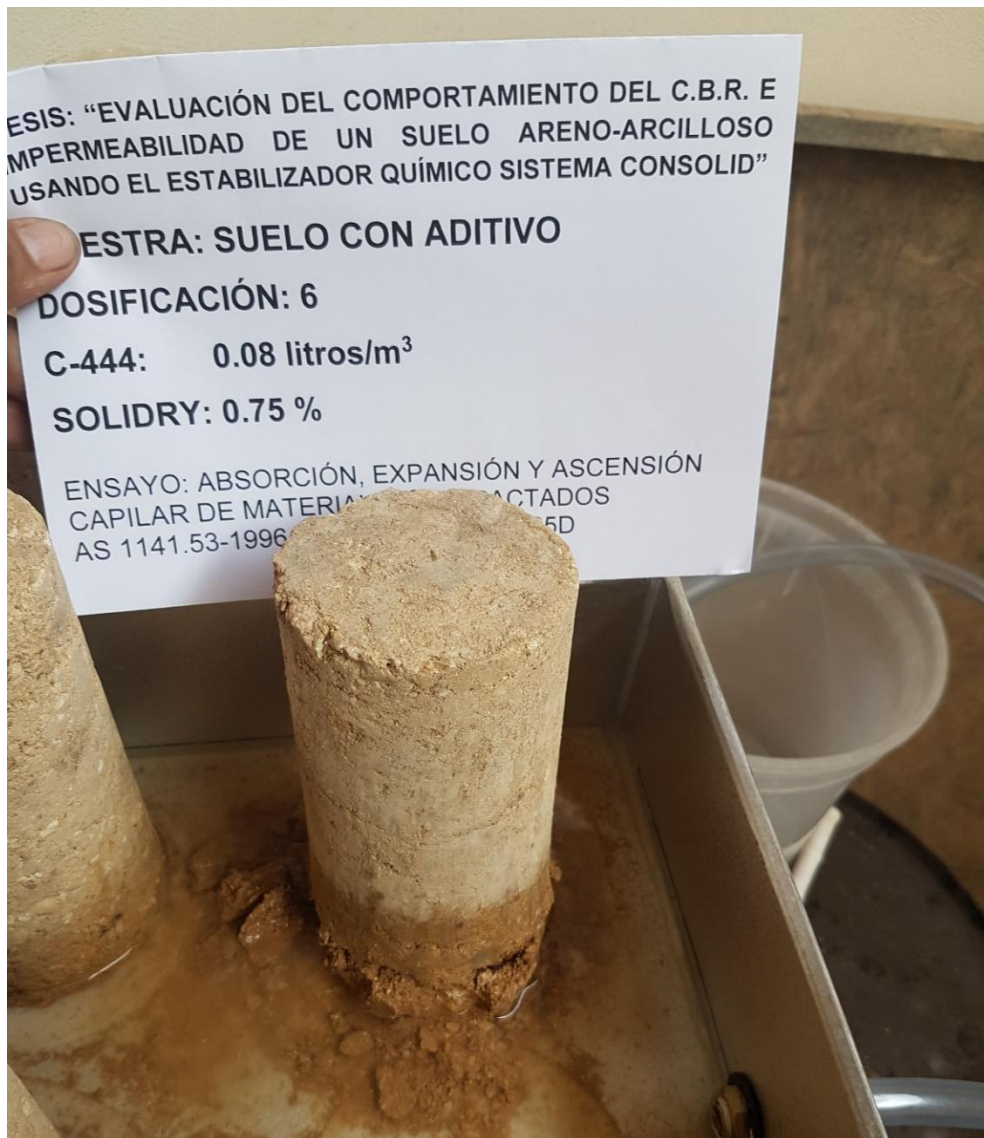


Figura N°4.9 Espécimen 1 de la dosificación 6 que presenta desmoronamiento.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°4.10 Espécimen 1 de la dosificación 9 que presenta desmoronamiento.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.11, que corresponde a la ascensión capilar a las 72 horas, que es el tiempo de duración del ensayo, las 16 dosificaciones del Sistema Consolid son menores que la ascensión capilar del suelo natural. De los resultados se aprecia que en donde se ha logrado una mayor mejora en promedio de la impermeabilización del suelo son en los grupos 3 y 4, es decir el Solidry aporta en la mejora de la impermeabilización del suelo. En el caso del suelo estabilizado con cemento la ascensión capilar se mantuvo por encima del valor de la ascensión del suelo natural, pero sin presentar pérdida de material o desmoronamiento, lo cual se debe principalmente a que la probeta del suelo-cemento presentaba una rigidez mayor a las demás probetas ensayadas.

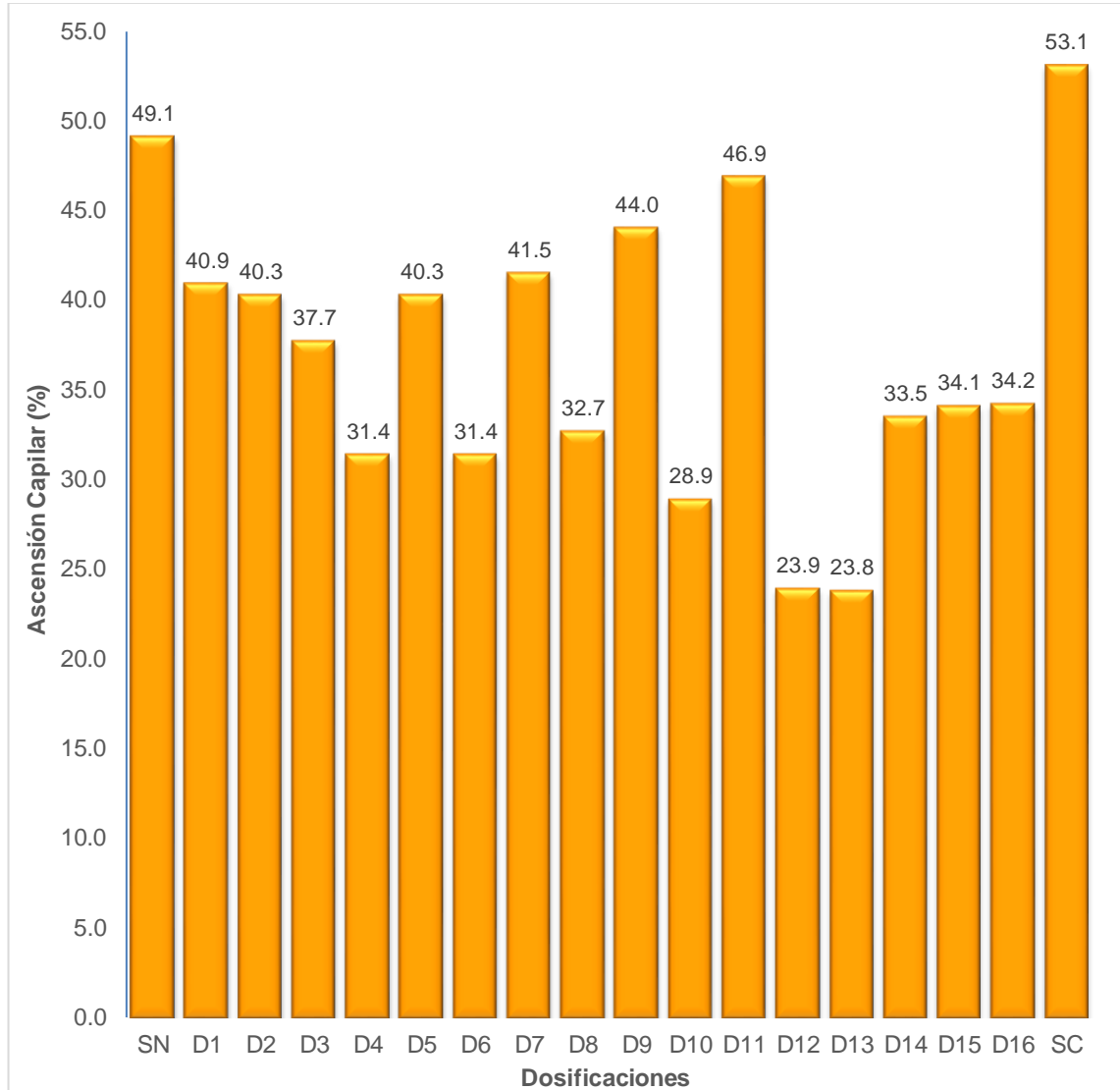


Figura N°4.11 Ascension Capilar (%) a las 72 horas.
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.5 Absorción

Los valores de absorción se obtuvieron de 2 ensayos; del ensayo de C.B.R. para el molde de 56 golpes/capa y del ensayo de ascension capilar.

En la Figura N°4.12, la que corresponde a las absorciones del ensayo de C.B.R. las cuales fueron calculadas como la diferencia entre la humedad del espécimen después de sumergir el molde por 96 horas y la humedad del espécimen antes de ser sumergido, se observa que existe una disminución de la absorción en las 16 dosificaciones del Sistema Consolid. Además, se aprecia que la absorción en las dosificaciones 9 y 11 son las más altas del Sistema Consolid, este resultado en concordancia con los resultados de ascension capilar. Se puede notar que el grupo

1 de dosificaciones presenta menor absorción que los otros grupos y mientras se va aumentando la cantidad de Solidry la absorción aumenta. En el caso del suelo-cemento se observa que, si bien presentó valores de ascenso capilar mayores al suelo natural, no ocurre lo mismo con la absorción, la cual es mucho menor que la del suelo natural.

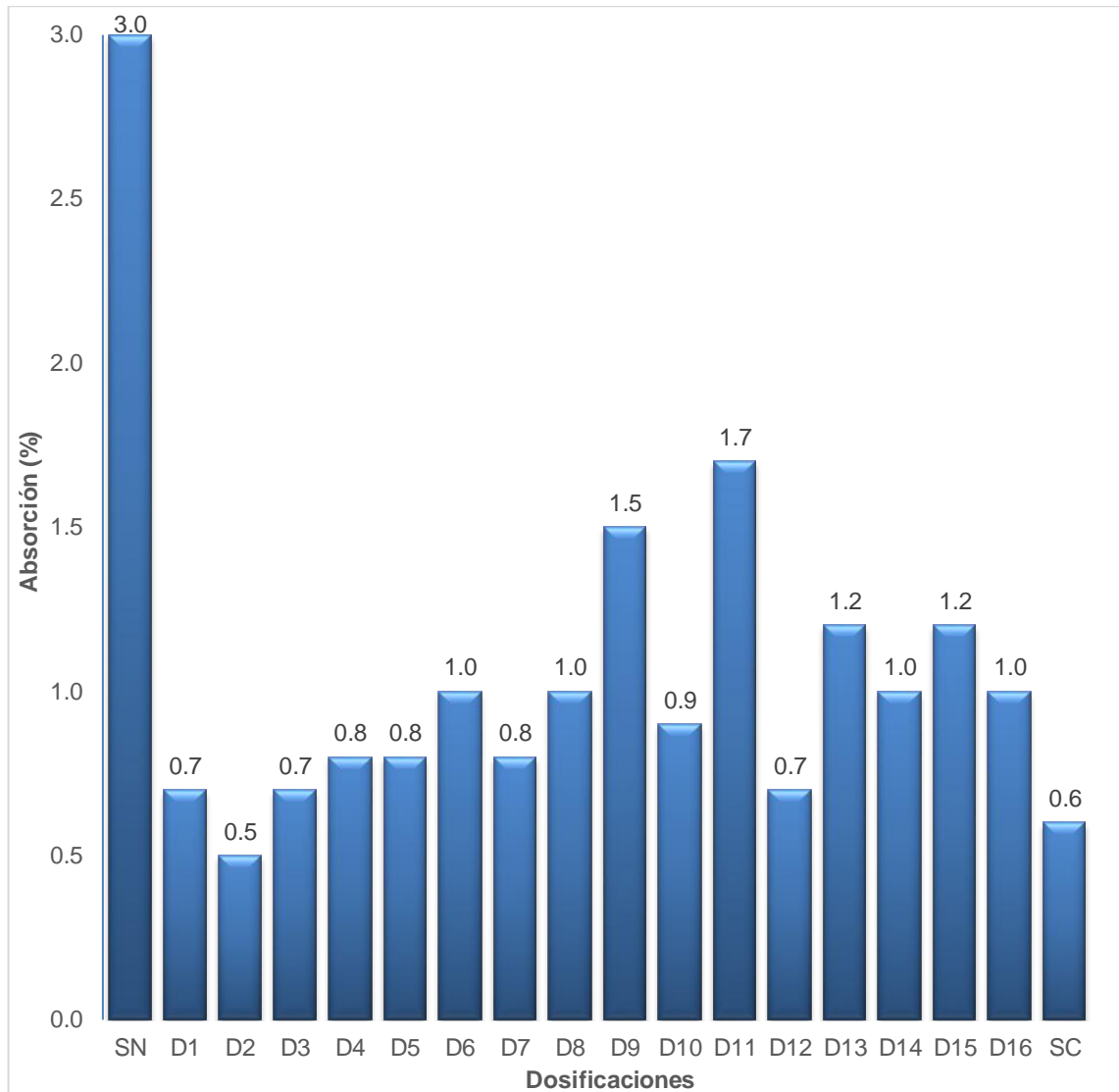


Figura N°4.12 Absorción (%) en el C.B.R. para 56 golpes/capa.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.13, los valores de absorción son calculados con la ecuación 3.7 del capítulo anterior. Estos valores se obtuvieron después de colocar las probetas con 10 mm de agua en su base, es decir es la absorción capilar. Los valores de absorción del suelo estabilizado con el Sistema Consolid son menores que los obtenidos del suelo natural y tienen relación con los valores de ascensión capilar.

En el caso del suelo estabilizado con cemento el valor de absorción capilar no es proporcional al valor de ascensión capilar, lo que puede deberse a la reacción del cemento con el agua absorbida, además de que el ensayo de ascensión capilar es un ensayo visual.

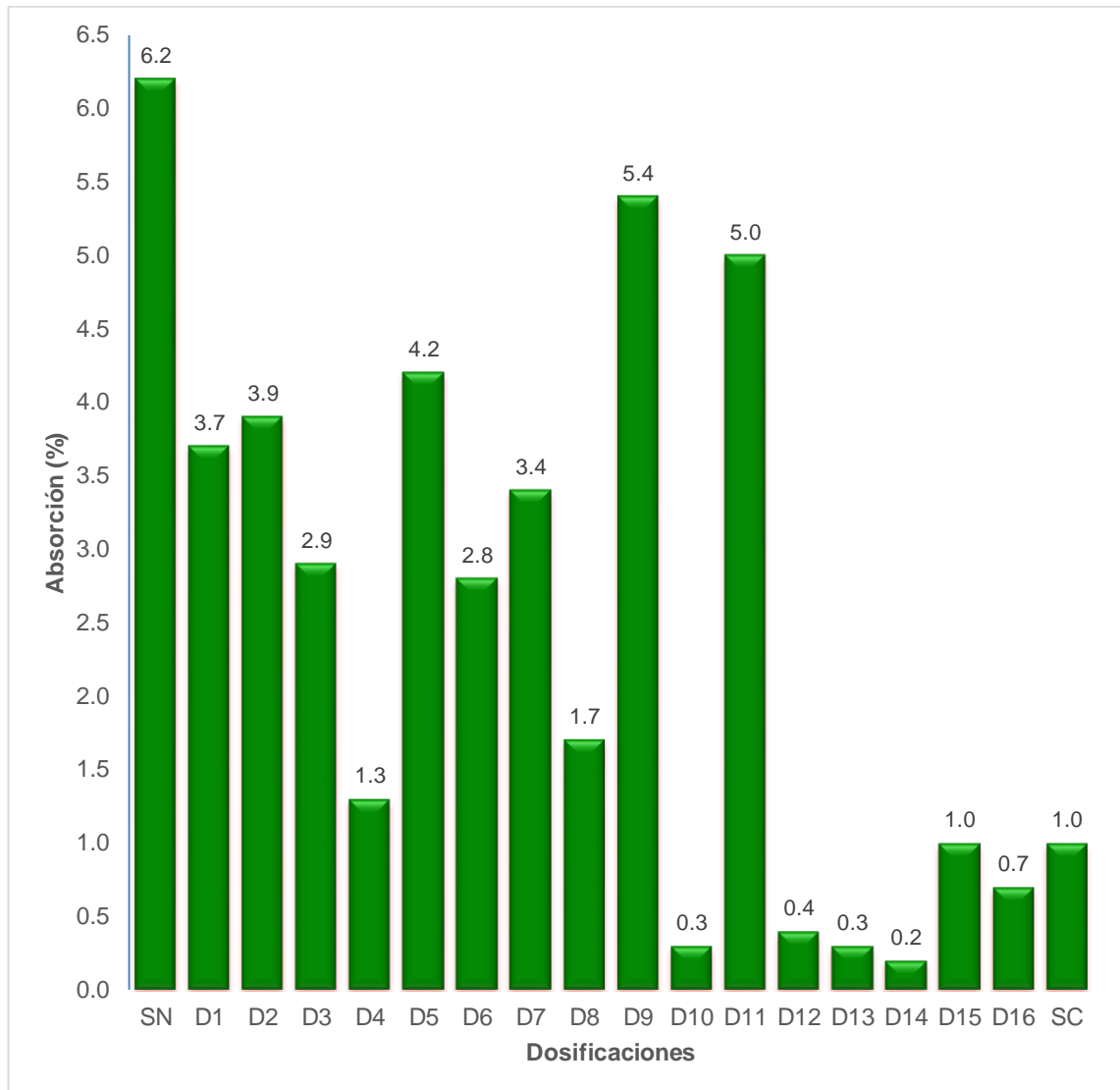


Figura N°4.13 Absorción (%) en la Ascensión Capilar.
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.6 Expansión

Al igual que la absorción, el porcentaje de expansión se obtuvo de los ensayos de C.B.R. y de ascensión capilar. En la Figura N°4.14, se muestran valores que corresponden a porcentajes de expansión vertical calculados en el ensayo de C.B.R., observamos un comportamiento inusual en el grupo 4 de dosificaciones, ya que la expansión aumenta, y es mayor a la expansión del suelo natural.

También podemos notar que el porcentaje expansión promedio del grupo 1 es la menor de todos los grupos y mientras se aumenta la dosis de Solidry este porcentaje de expansión aumenta. En el caso del suelo-cemento, la expansión es menor a la del suelo natural y que de la mayoría del suelo estabilizado con el Sistema Consolid, las expansiones se mantienen entre bajas a moderadas (ver Tabla N°4.5).

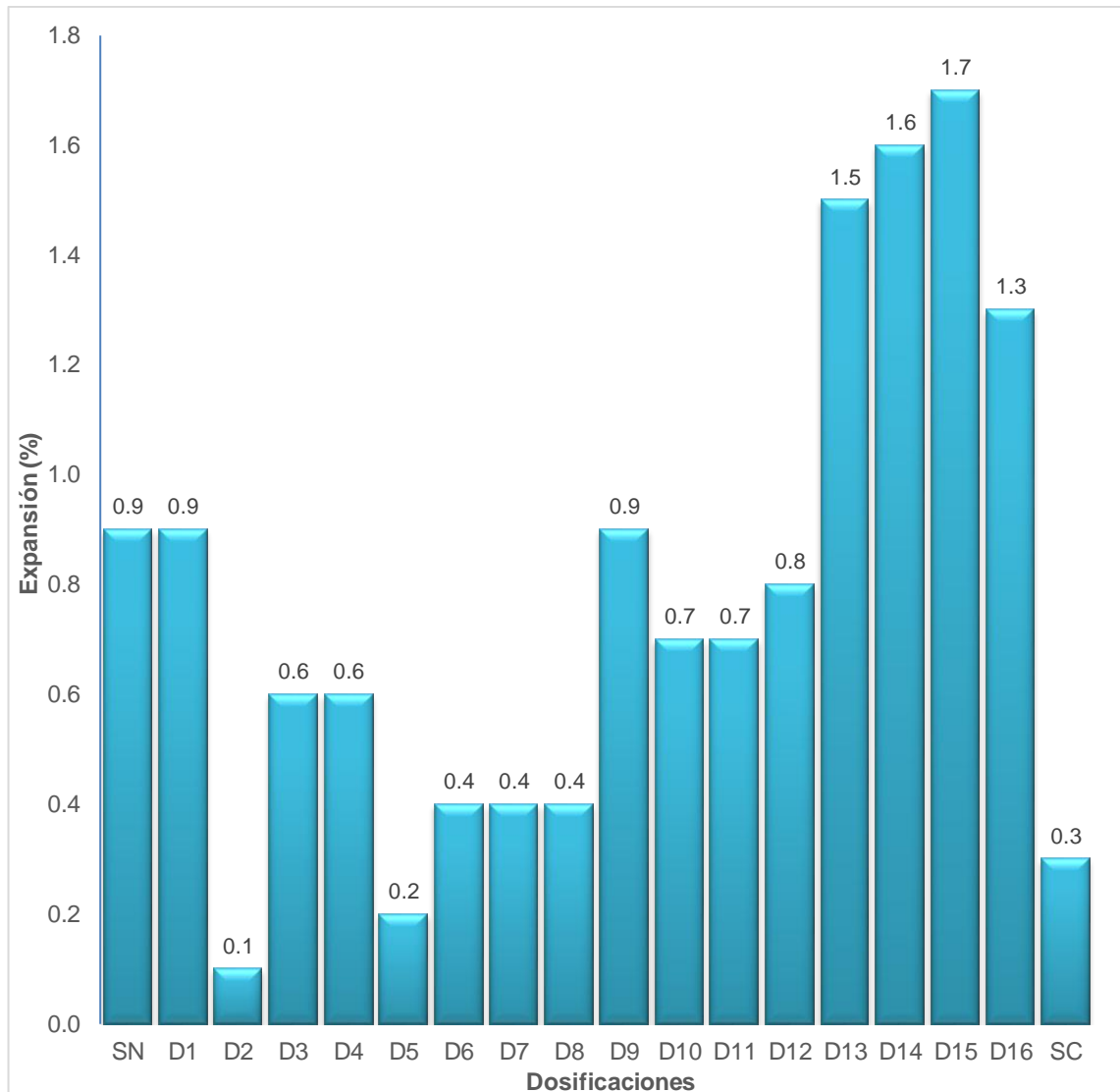


Figura N°4.14 Expansión (%) del C.B.R de 56 golpes/capa.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura N°4.15, se muestran los valores de expansión medidos en el ensayo de Ascensión Capilar, y calculados con la ecuación 3.8, está expansión es diferente a la expansión calculada en el C.B.R. ya que en el ensayo de ascensión capilar la expansión se mide con respecto a la variación del diámetro sumergido.

En las 16 dosificaciones del Sistema Consolid se puede notar que las expansiones son menores que las del suelo natural y las menores expansiones se presentan en el grupo 4 de dosificaciones mientras que las dosificaciones 1 y 5 presentan las expansiones más cercanas a la expansión del suelo natural. El suelo-cemento presenta una expansión menor a la del suelo natural. Cabe señalar que los especímenes de suelo natural y los grupos 1, 2 y 3 de dosificación del Sistema Consolid presentaron fisuras por la expansión producida por la absorción de agua (ver Figura 4.16). En los especímenes del grupo 4 y del suelo-cemento no se observaron estas fisuras por expansión y tampoco se mostró pérdida significativa de material o desmoronamiento de este.

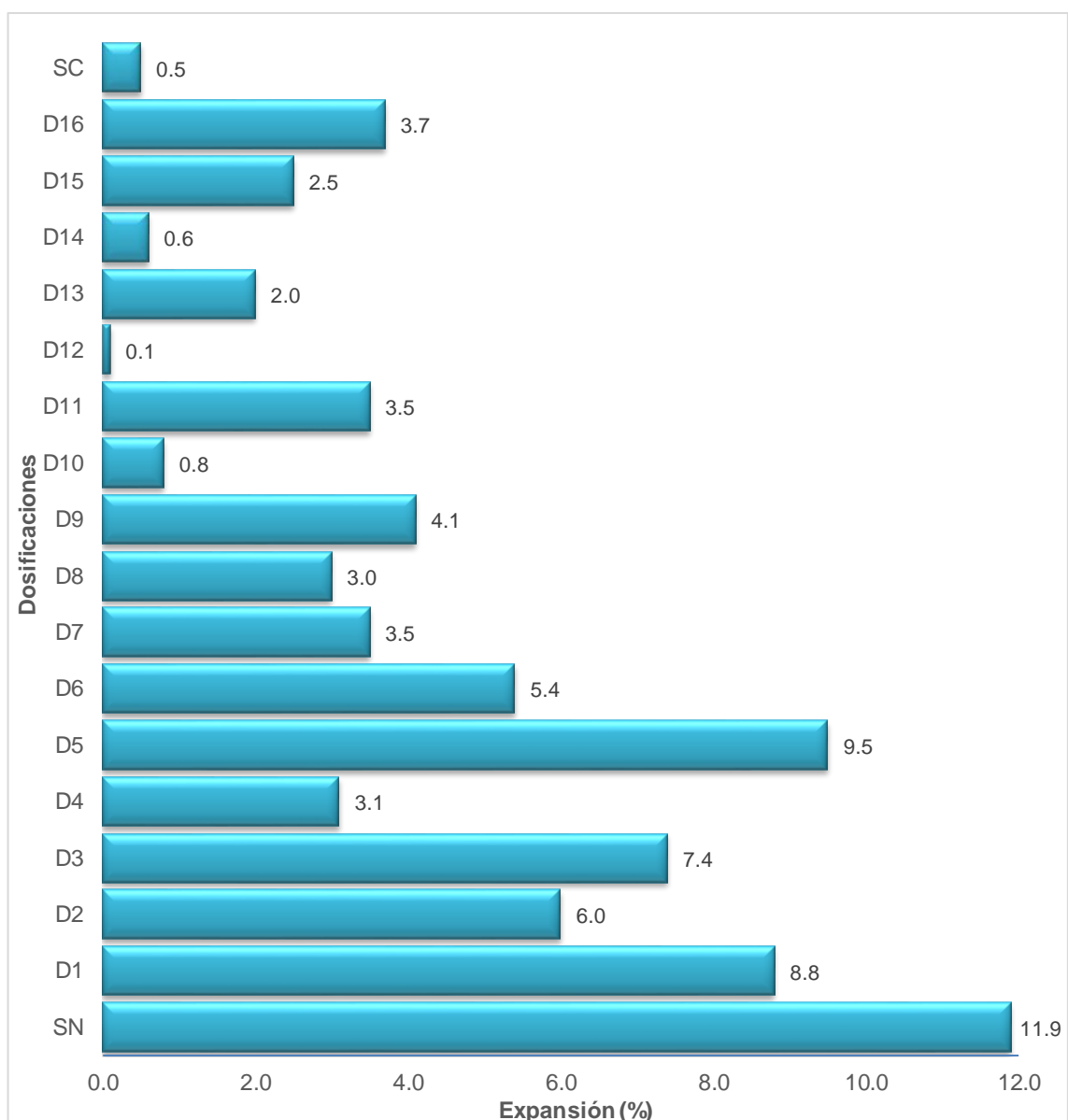


Figura N°4.15 Expansión (%) en Ascensión Capilar.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°4.16 Espécimen con presencia de fisuras debido a la expansión diametral.
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.7 Límites de Consistencia

El Sistema Consolid indica como una de sus ventajas que los suelos estabilizados con este sistema disminuyen su índice de plasticidad. Para verificar esta propiedad se realizaron 4 pruebas de Límite Líquido y Límite Plástico con las dosificaciones 1, 6, 11 y 16, también se realizaron estas pruebas al suelo estabilizado con cemento. Estas pruebas se realizaron tamizando por el tamiz N°40 el sobrante de las muestras mezcladas para los ensayos de ascensión y resistencia a la compresión. Para el caso del suelo-cemento se realizaron 2 pruebas, la primera usando el sobrante de las muestras mezcladas en los ensayos de compresión y ascensión, y otra saturando el suelo natural pasante del tamiz N°40 y adicionándole cemento después de la saturación y previo a los ensayos.

En la Figura N°4.17, se puede observar que el Límite Líquido no disminuye con la adición del aditivo Sistema Consolid, en algunos se mantiene cercana y en otros aumenta. Para el caso del Suelo-Cemento en la primera prueba este no presenta Límite Líquido y en la segunda prueba se mantiene el valor del Límite líquido (ver Figura N°4.20).

En el caso del Límite Plástico como se observa en la Figura N°4.18, para las dosificaciones 1 y 6, podríamos decir que se mantiene y para las dosificaciones 11 y 16 aumenta el valor del Límite Plástico. Para el suelo-cemento en la primera prueba no se presenta Límite Plástico, y en la segunda prueba el Límite Plástico aumenta.

Finalmente, el Índice de Plasticidad aumenta en las dosificaciones 1 y 6 y disminuye en las dosificaciones 11 y 16, pudiéndose inferir que parcialmente el Sistema Consolid disminuye el IP del suelo estabilizado, mientras que el suelo-cemento la primera prueba no presenta plasticidad y en la segunda el índice de plasticidad disminuye, pudiendo concluirse que el cemento ayuda a disminuir el índice de plasticidad del suelo tratado.

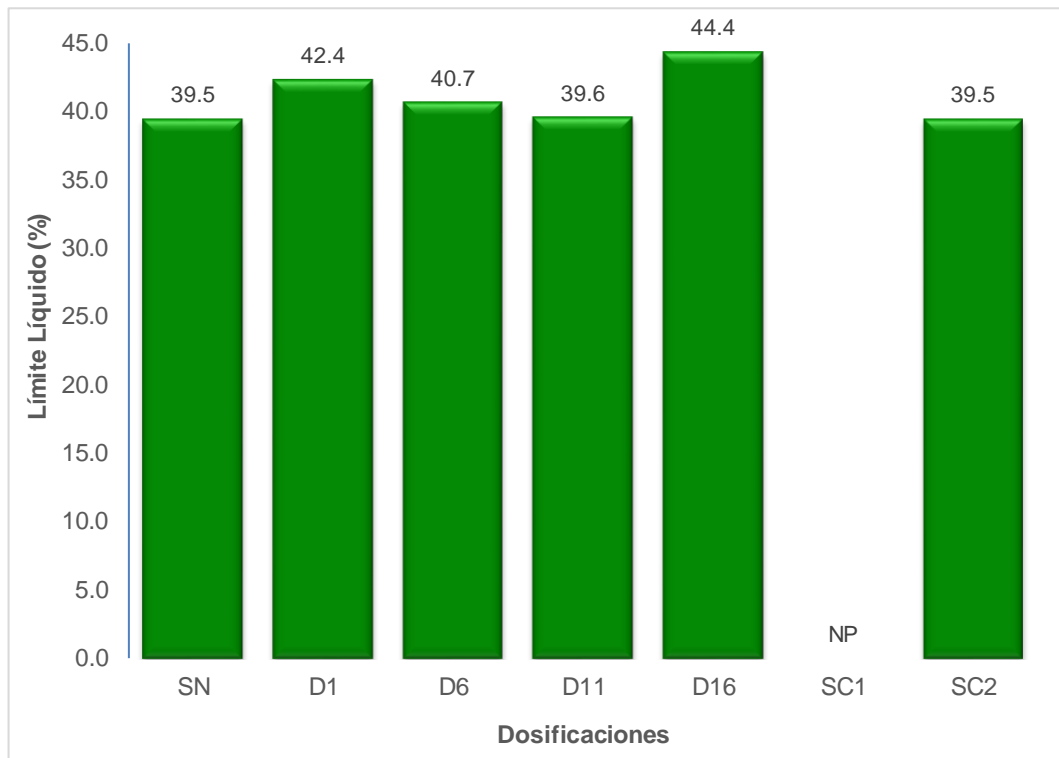


Figura N°4.17 Valores de Límite Líquido.
 Fuente: Elaboración Propia.

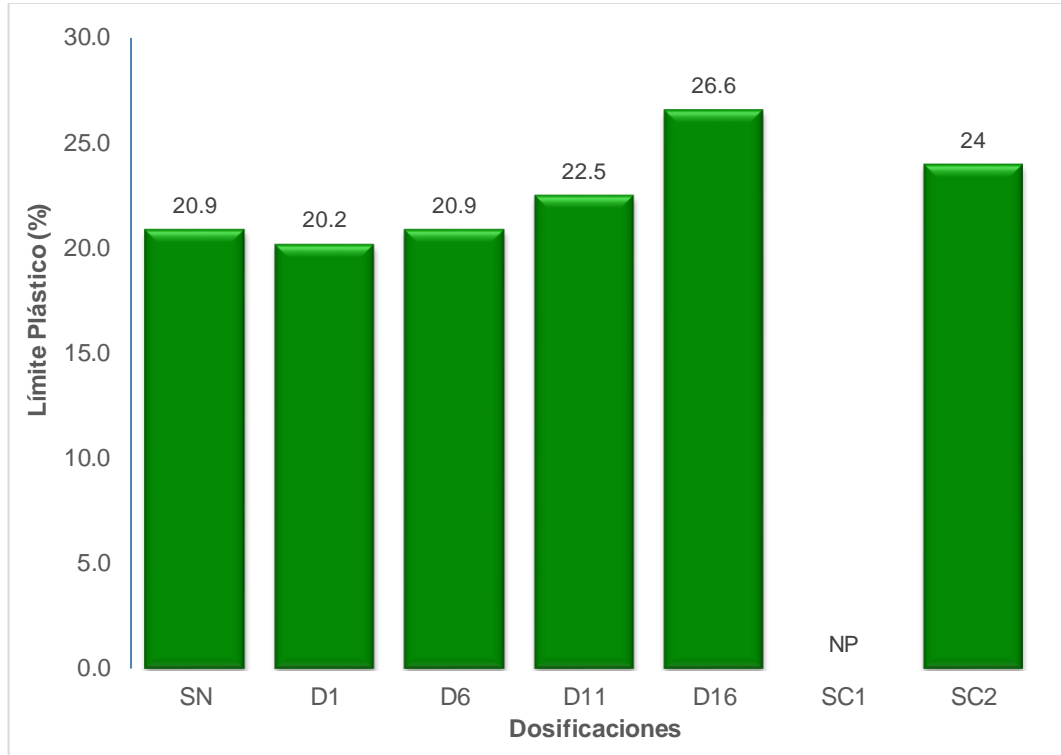


Figura N°4.18 Valores de Límite Plástico.
Fuente: Elaboración Propia.

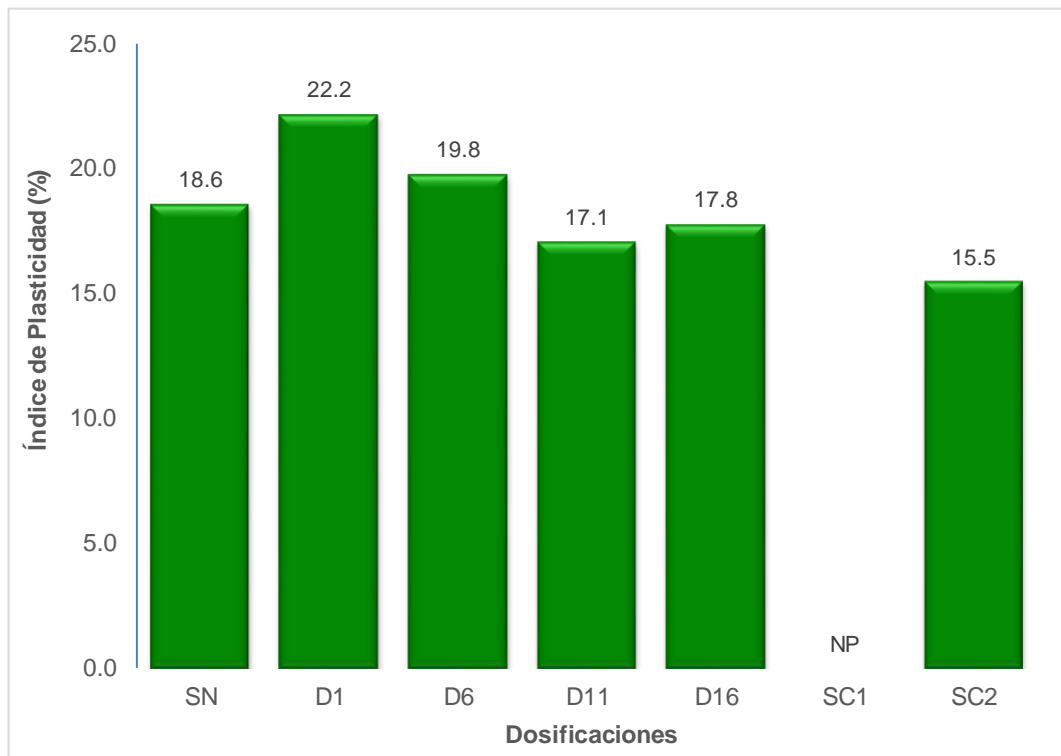


Figura N°4.19 Valores de Índice de Plasticidad.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura N°4.20 Muestra de Suelo-Cemento que no presenta plasticidad.
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.8 Selección de Dosificación del Sistema Consolid

Previo al diseño de la estructura típica de pavimento y después de haber realizado la evaluación de la parte experimental; es necesario saber qué dosificación del Sistema Consolid es la adecuada para poder realizar la evaluación económica y hacer el comparativo con la estabilización del suelo-cemento. Para seleccionar las dosificaciones adecuadas nos guiaremos de los parámetros indicados por normas peruanas e internacionales.

El C.B.R. según su valor puede tener un uso recomendado, como se muestra en la Tabla N°4.2. Para el diseño de pavimentos, mientras mayor sea el valor del C.B.R. de la subrasante menores serán los espesores de las capas superiores, sin embargo, usar una dosificación muy alta va a conllevar mayores costos, por lo que se puede optar por seleccionar un valor de C.B.R. que haga que esta subrasante mejorada esté en la categoría de Buena a Muy buena (ver Tabla N°4.3). Para seleccionar la dosificación que haga que el suelo estabilizado aplique para una capa de base o subbase es necesario cumplir los parámetros indicados en la Tabla N°4.4.

Tabla N°4.2 Clasificación del suelo de acuerdo con el C.B.R.

C.B.R. (%)	Clasificación General	Usos
0 - 3	Muy Pobre	Subrasante
3 - 7	Pobre a Regular	Subrasante
7 - 20	Regular	Afirmados y Subbase
20 - 50	Bueno	Subbase y Base
> 50	Excelente	Base

Fuente: Rondón y Reyes (2015), Pavimentos: materiales, construcción y diseño, p.384.

Tabla N°4.3 Categorías de Subrasante.

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	C.B.R.
So: Subrasante Inadecuada	C.B.R. < 3 %
S1: Subrasante Insuficiente	De CBR ≥ 3 % a C.B.R. < 6 %
S2: Subrasante Regular	De CBR ≥ 6 % a C.B.R. < 10 %
S3: Subrasante Buena	De CBR ≥ 10 % a C.B.R. < 20 %
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20 % a C.B.R. < 30 %
S5: Subrasante Excelente	C.B.R. ≥ 30 %

Fuente: MTC (2014c), Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, p.130.

Tabla N°4.4 Requerimientos de C.B.R. para capas de Pavimento.

Capa de Pavimento	C.B.R. (%)*
Afirmado	≥ 40
Subbase	≥ 40
Base**	≥ 80

Fuente: MTC (2014c), Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, p.113-114

* Referido al 100 % de la MDS y una Penetración de 0.1”.

** Para un tráfico en ejes equivalentes (≤ 10 000 000).

Otros parámetros que son útiles para seleccionar la dosificación adecuada son los mostrados en la Tabla N°4.6. Por ejemplo, se tiene que el potencial de expansión debe ser menor a 0.5% ya que valores mayores a este aumentan la naturaleza expansiva del suelo (ver Tabla N°4.5)

Tabla N°4.5 Guía para la clasificación de suelos expansivos.

Naturaleza Expansiva	Potencial de Expansión (%)
Muy Alta	> 5.0
Alta	2.5 - 5.0
Moderada	0.5 - 2.5
Baja	< 0.5

Fuente: Austroads (2004), Pavement Design, p.46.

Tabla N°4.6 Parámetros de Aceptación en suelos estabilizados.

Parámetro	Condición
Ascensión Capilar a 24 h*	25%
Expansión**	0.5%
Absorción***	2.0%

Fuente: *Austroads (2002), ** Austroads (2006), *** Fedrigo (2015).

En conclusión, después de haber analizados todos los parámetros mostrados se han seleccionado las siguientes dosificaciones que se muestran en las Tablas N°4.7, N°4.8 y N°4.9.

Tabla N°4.7 Dosificaciones para Subrasante Mejorada con Sistema Consolid.

Dosificación	Parámetros						
	C.B.R (%)	Exp. C.B.R (%)	Exp. A.C. (%)	Abs. C.B.R. (%)	Abs. A.C. (%)	A.C. 24h (%)	A.C. 72h (%)
D2	9.6	0.1	6.0	0.5	3.9	22.6	40.3
D4	14.6	0.6	3.1	0.8	1.3	23.3	31.4

Fuente: Elaboración propia.

Para la Subrasante se seleccionaron las dosificaciones D2 y D4 (ver Tabla N°4.7), pero de estas 2 se selecciona la dosificación D4 para usarse en el diseño de pavimento y hacer la evaluación económica.

Tabla N°4.8 Dosificaciones para Subbase Mejorada con Sistema Consolid.

Dosificación	Parámetros						
	C.B.R (%)	Exp. C.B.R (%)	Exp. A.C. (%)	Abs. C.B.R. (%)	Abs. A.C. (%)	A.C. 24h (%)	A.C. 72h (%)
D5	52.3	0.2	9.5	0.8	4.2	24.5	40.3
D8	61.5	0.4	3.0	1.0	1.7	21.4	32.7

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°4.8 se puede observar las dosificaciones seleccionadas para ser usadas como capa de subbase, de éstas 2 dosificaciones se usará la dosificación D8 para el diseño de pavimento.

Tabla N°4.9 Dosificaciones para Base Mejorada con Sistema Consolid.

Dosificación	Parámetros						
	C.B.R (%)	Exp. C.B.R (%)	Exp. A.C. (%)	Abs. C.B.R. (%)	Abs. A.C. (%)	A.C. 24h (%)	A.C. 72h (%)
D13	105.8	1.5	0.6	1.2	0.3	21.3	23.8
D14	108.1	1.6	2.0	1.0	0.2	23.0	33.5

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se hizo la selección de las dosificaciones para la capa de base. Como se observa en la Tabla N°4.9, se seleccionaron las dosificaciones 13 y 14, si bien ninguna de estas cumple el parámetro de expansión, este valor está considerado como moderado (ver Tabla N°4.5). Para el diseño de Pavimento se seleccionó la dosificación D13.

4.2 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Con el fin de hacer un comparativo de precios de las soluciones propuestas se va a realizar el diseño de pavimentos contemplando que la vía es de bajo volumen de tránsito y que se le colocará un tratamiento superficial, el cual no cumple función estructural. Las soluciones propuestas se muestran en la Tabla N°4.10.

Tabla N°4.10 Soluciones propuestas para el Diseño de Pavimento.

Soluciones	Propuesta
Solución 1	Subrasante natural + Material de préstamo + Tratamiento Superficial.
Solución 2	Subrasante mejorada con Sistema Consolid + Material de préstamo + Tratamiento Superficial.
Solución 3	Subrasante mejorada con Sistema Consolid + Base Estabilizada con Sistema Consolid + Tratamiento Superficial.
Solución 4	Subrasante estabilizada con cemento + Material de Préstamo + Tratamiento Superficial.
Solución 5	Subrasante natural + Base estabilizada con cemento.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño de pavimento se hará bajo la metodología NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities), hoy llamada Austroads, recomendada en el Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos del MTC. Esta metodología se usa para el dimensionamiento de espesores de afirmado, la cual relaciona el C.B.R. del suelo y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE a través de la ecuación 4.1. También se puede usar un ábaco para determinar el espesor de la capa de afirmado (ver Figura N°4.21).

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2] \times \log_{10} \left(\frac{N_{rep}}{120} \right) \quad \dots \quad (4.1)$$

Donde:

e = espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor de C.B.R. de la subrasante.

N_{rep} = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

Para determinar el espesor de suelo natural a mejorar se puede usar las ecuaciones 4.2 y 4.3.

$$\Delta SN = SNe - SNm \quad \dots \quad (4.2)$$

$$e = \frac{\Delta SN}{a_i \times m_i} \quad \dots \quad (4.3)$$

Donde: SNe : Número estructural de la subrasante existente.

SNm : Número estructural de subrasante mejorado.

e : Espesor de reemplazo en cm.

a_i : Coeficiente estructural del material mejorado, /cm.

m_i : Coeficiente de drenaje del material mejorado.

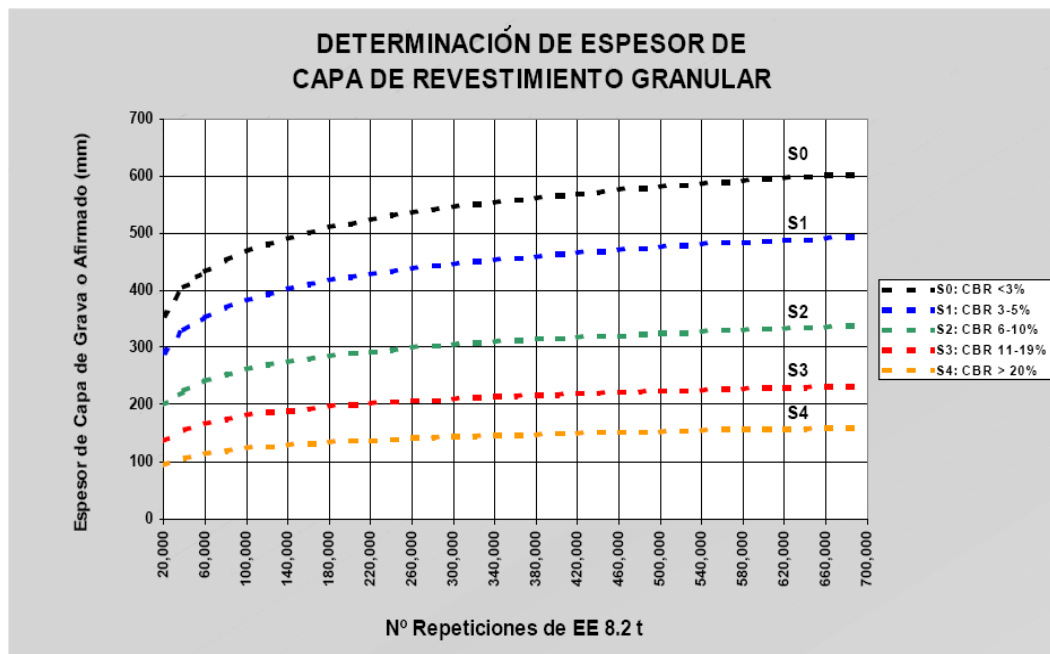


Figura N°4.21 Ábaco para determinar el espesor de la capa de revestimiento granular.

Fuente: NAASRA

Con la ecuación y el ábaco se evaluarán las soluciones. A continuación, se detallan los parámetros de diseño adoptados para cada una de estas.

Parámetros de Diseño:

Período de Diseño = 10 años

Número de EE = 4.09×10^4

Para Solución 1 y 5: C.B.R. de diseño: 7.2%

Para Solución 2 y 3: C.B.R. de diseño: 14.6 %

Para Solución 4: C.B.R. de diseño: 125.5 %

Los resultados de los espesores calculados con la ecuación 4.1, se presentan en la Tabla N°4.11.

Tabla N°4.11 Resultado de espesores hallados con metodología NAASRA.

Soluciones	Espesor resultante (cm)	Espesor adoptado (cm)
Solución 1	20.4	21
Solución 2	13.2	14
Solución 3	13.2	14
Solución 4	8.0	10
Solución 5	20.4	21

Fuente: Elaboración propia.

Con las ecuaciones 4.2 y 4.3 se van a calcular los espesores de la subrasante que será mejorada con el Sistema Consolid y con el cemento (ver Tabla N°4.12).

Tabla N°4.12 Cálculo de Espesores de mejoramiento en subrasante.

Estabilizador	Parámetros					
	SNe	SNm	ΔSN	ai	mi	E (cm)
Sistema Consolid	1.61	1.325	0.285	0.024	1.00	11.9
Cemento	1.61	0.65	0.96	0.061	1.00	15.7

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de la Tabla N°4.12 se puede concluir que el espesor de subrasante a mejorar con el Sistema Consolid será de 12 cm y la de la subrasante mejorada con cemento será de 16 cm.

Finalmente se muestra en la Tabla N°4.13 los espesores propuestos para las 5 soluciones.

Tabla N°4.13 Espesores propuestos para el Diseño de Pavimento.

Soluciones	Espesor de subrasante (cm)	Espesor de Base (cm)	Espesor de Tratamiento Superficial (cm)
Solución 1	*	21	1.2
Solución 2	12	14	1.2
Solución 3	12	14	1.2
Solución 4	16	10	1.2
Solución 5	*	21	1.2

Fuente: Elaboración propia / *no hay mejoramiento de subrasante.

4.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Otro de los factores importantes, al momento de tomar una decisión para adoptar una estructura de pavimento, es el factor económico. Para realizar la evaluación económica se hará un comparativo a nivel de costos directos, y se va a considerar para los metrados, 1 km de una vía de 6 m de ancho y considerando que el material de subrasante tiene las mismas características del material estudiado.

4.3.1 Análisis de Costos Unitarios

El análisis de costos se hace en función a todos los recursos que intervienen en cada partida. Las partidas a desarrollar serán:

- Perfilado y Compactado de Subrasante (ver Tabla N°4.14)
- Mejoramiento de Subrasante con Sistema Consolid (ver Tabla N°4.15).
- Base Estabilizada con Sistema Consolid (ver Tabla N°4.16).
- Mejoramiento de Subrasante con Cemento (ver Tabla N°4.17).
- Base Estabilizada con Cemento (ver Tabla N°4.18)

Otras consideraciones que se tomaron para realizar el análisis de costos unitarios son:

- Se ha considerado el mismo rendimiento del mejoramiento de la subrasante con Sistema Consolid y con el cemento.
- Se ha considerado el mismo rendimiento para la base estabilizada con Sistema Consolid y con cemento.
- Los rendimientos y costos son referenciales ya que han sido colocados en base a experiencia y consultando expedientes técnicos de proyectos en Perú.

A continuación, en las Tablas N°4.14, N°4.15, N°4.16, N°4.17 y N°4.18 se muestran los análisis de costos unitarios para las partidas descritas, los cuales ayudan a calcular el costo directo de cada solución propuesta.

Tabla N°4.14 Análisis de Costo Unitario de Perfilado y Compactado de Subrasante.

Partida	Perfilado y Compactado de Subrasante					Costo unitario directo por : m ²	S/. 3.69
Rendimiento	m ² /DIA	MO. 2,500	EQ. 2,500				
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
CAPATAZ		hh	1.00	0.0032	32.61	0.10	
PEON		hh	2.00	0.0064	15.30	0.10	
							0.20
Equipos							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	3.10	0.09	
MOTONIVELADORA 140 HP		HM	1.00	0.0032	174.84	0.56	
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON		HM	1.00	0.0032	104.97	0.34	
CISTERNA DE 5000 GAL		HM	1.00	0.0032	79.61	0.25	
							1.24
Materiales							
AGUA		m3		0.0896	25.00	2.24	
							2.24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.15 Análisis de Costo Unitario de mejoramiento de subrasante con Sistema Consolid.

Partida	Mejoramiento de Subrasante con Sistema Consolid					Costo unitario directo por : m ³	S/. 105.14
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 450	EQ. 450				
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
CAPATAZ		hh	1.00	0.0178	32.61	0.58	
OFICIAL		hh	1.00	0.0178	17.00	0.30	
PEON		hh	6.00	0.1067	15.30	1.63	
							2.51
Equipos							
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	3.10	0.09	
MOTONIVELADORA 140 HP		HM	2.00	0.0356	174.84	6.22	
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON		HM	2.00	0.0356	104.97	3.73	
CISTERNA DE 5000 GAL		HM	1.00	0.0178	79.61	1.42	
							11.46
Materiales							
CONSOLID 444		l		0.2400	205.63	49.35	
SOLIDRY		kg		7.1775	5.60	40.19	
AGUA		m3		0.0650	25.00	1.63	
							91.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.16 Análisis de Costo Unitario de Base estabilizada con Sistema Consolid.

Partida	Base Estabilizada con Sistema Consolid				Costo unitario directo por :	S/. 340.79
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 675	EQ. 675		m ³	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	1.00	0.0119	32.61	0.39	
OFICIAL	hh	1.00	0.0119	17.00	0.20	
PEON	hh	6.00	0.0711	15.30	1.09	
						1.68
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.10	0.09	
MOTONIVELADORA 140 HP	HM	2.00	0.0237	174.84	4.14	
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON	HM	2.00	0.0237	104.97	2.49	
CISTERNA DE 5000 GAL	HM	1.00	0.0119	79.61	0.94	
						7.67
Materiales						
CONSOLID 444	l		0.0400	205.63	8.23	
SOLIDRY	kg		57.4200	5.60	321.55	
AGUA	m3		0.0668	25.00	1.67	
						331.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.17 Análisis de Costo Unitario de mejoramiento de subrasante con Cemento.

Partida	Mejoramiento de Subrasante con Cemento				Costo unitario directo por :	S/. 106.42
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 450	EQ. 450		m ³	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	1.00	0.0178	32.61	0.58	
OFICIAL	hh	1.00	0.0178	17.00	0.30	
PEON	hh	6.00	0.1067	15.30	1.63	
						2.51
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.10	0.09	
MOTONIVELADORA 140 HP	HM	2.00	0.0356	174.84	6.22	
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON	HM	2.00	0.0356	104.97	3.73	
CISTERNA DE 5000 GAL	HM	1.00	0.0178	79.61	1.42	
						11.46
Materiales						
CEMENTO PORTLAND 9 %	bls		4.0500	22.11	89.55	
AGUA	m3		0.1160	25.00	2.90	
						92.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.18 Análisis de Costo Unitario de Base estabilizada con Cemento.

Partida	Base Estabilizada con Cemento				Costo unitario directo por :	S/. 100.57
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 675	EQ. 675		m ³	
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0030	32.61	0.10
OFICIAL		hh	1.00	0.0119	17.00	0.20
PEON		hh	6.00	0.0100	15.30	0.15
						0.45
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	3.10	0.09
MOTONIVELADORA 140 HP		HM	2.00	0.0237	174.84	4.14
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON		HM	2.00	0.0237	104.97	2.49
CISTERNA DE 5000 GAL		HM	1.00	0.0119	79.61	0.94
						7.67
Materiales						
CEMENTO PORTLAND 9 %		bls		4.0500	22.11	89.55
AGUA		m3		0.1160	25.00	2.90
						92.45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4.19 Análisis de Costo Unitario de Base Granular.

Partida	Base Granular				Costo unitario directo por :	S/. 69.46
Rendimiento	m ³ /DIA	MO. 446	EQ. 446		m ³	
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.00	0.0179	32.61	0.59
OFICIAL		hh	1.00	0.0119	17.00	0.20
PEON		hh	6.00	0.1076	15.30	1.65
						2.43
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	3.10	0.09
MOTONIVELADORA 140 HP		HM	2.00	0.0237	174.84	4.14
RODILLO VIBRATORIO DE 10-12 TON		HM	2.00	0.0237	104.97	2.49
CISTERNA DE 5000 GAL		HM	1.00	0.0119	79.61	0.94
						7.67
Materiales						
MATERIAL DE PRÉSTAMO		m3		1.2500	45.00	56.25
AGUA		m3		0.1244	25.00	3.11
						59.36

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Presupuesto

Se ha realizado el presupuesto de las 5 soluciones propuestas, en base a los análisis de costos unitarios realizados en el punto anterior. Los precios de imprimación asfáltica y tratamiento superficial son precios referenciales.

En las Tablas N°4.20, N°4.21, N°4.22, N°4.23 y N°4.24 se muestra el presupuesto de cada una de las soluciones propuestas en base al diseño estructural de pavimento con la metodología NAASRA considerando una longitud de vía de 1 km y 6 m de ancho.

Tabla N°4.20 Presupuesto de Solución 1.

SOLUCIÓN 1					
Estructura	Precio Unitario (S/.)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)*	Total
Subrasante Natural	3.69	1000	6.00		22,118.04
Base con Material de Préstamo	69.46	1000	6.00	0.26	109,403.35
Imprimación Asfáltica	3.62	1000	6.00		21,720.00
Tratamiento Superficial (Slurry Seal)	8.55	1000	6.00		51,300.00
TOTAL (S/.)					204,541.39

Fuente: Elaboración propia. /*factor de compactación: 1.25.

Tabla N°4.21 Presupuesto de Solución 2.

SOLUCIÓN 2					
Estructura	Precio Unitario (S/.)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m) *	Total
Subrasante Mejorada con Sistema Consolid	105.14	1000	6.00	0.15	94,626.80
Base con Material de Préstamo	69.46	1000	6.00	0.18	72,935.56
Imprimación Asfáltica	3.62	1000	6.00		21,720.00
Tratamiento Superficial (Slurry Seal)	8.55	1000	6.00		51,300.00
TOTAL (S/.)					240,582.36

Fuente: Elaboración propia. /*factor de compactación: 1.25.

Tabla N°4.22 Presupuesto de Solución 3.

SOLUCIÓN 3					
Estructura	Precio Unitario (S/.)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)*	Total
Subrasante Mejorada con Sistema Consolid	105.14	1000	6.00	0.15	94,626.80
Base Estabilizada con Sistema Consolid	340.79	1000	6.00	0.18	357,831.37
Imprimación Asfáltica	3.62	1000	6.00		21,720.00
Tratamiento Superficial (Slurry Seal)	8.55	1000	6.00		51,300.00
TOTAL (S/.)					525,478.17

Fuente: Elaboración propia. /*factor de compactación: 1.25.

Tabla N°4.23 Presupuesto de Solución 4.

SOLUCIÓN 4					
Estructura	Precio Unitario (S/.)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Total
Subrasante Mejorada con Cemento	106.42	1000	6.00	0.20	127,699.95
Base con Material de Préstamo	69.46	1000	6.00	0.13	52,096.83
Imprimación Asfáltica	3.62	1000	6.00		21,720.00
Tratamiento Superficial (Slurry Seal)	8.55	1000	6.00		51,300.00
TOTAL (S/.)					252,816.78

Fuente: Elaboración propia. /*factor de compactación: 1.25.

Tabla N°4.24 Presupuesto de Solución 5.

SOLUCIÓN 5					
Estructura	Precio Unitario (S/.)	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)*	Total
Subrasante Natural	3.69	1000	6.00		22,118.04
Base Estabilizada con Cemento	100.57	1000	6.00	0.26	158,392.84
Imprimación Asfáltica	3.62	1000	6.00		21,720.00
Tratamiento Superficial (Slurry Seal)	8.55	1000	6.00		51,300.00
TOTAL (S/.)					253,530.88

Fuente: Elaboración propia. /*factor de compactación: 1.25.

En la Figura N°4.22 se muestra el comparativo de las 5 soluciones propuestas, aquí se aprecia que la solución 1 es la de menor costo, y las soluciones 2, 4 y 5 tiene valores cercanos, por otro lado, el costo de la solución 3 es más del doble del costo de cualquiera de las otras 4 soluciones.



Figura N°4.22 Costos de Soluciones propuestas.
Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Después de haber evaluado el comportamiento del suelo estabilizado con el Sistema Consolid y con el cemento, y también haber evaluado económicamente las soluciones propuestas con el aditivo Sistema Consolid y con el suelo estabilizado con cemento, se presentan a continuación las conclusiones de la investigación.

- El suelo seleccionado, al tener un C.B.R. mayor que 6 %, puede ser usado sin ningún mejoramiento. Sin embargo, el tener un valor bajo de C.B.R. con lleva a que las capas superiores de pavimento tengan un mayor espesor.
- El suelo seleccionado no cumple los requerimientos de índice de plasticidad y durabilidad al sulfato de magnesio para la estabilización con cemento, sin embargo, se realizaron las pruebas con fines comparativos.
- Se verifica que el aditivo Sistema Consolid aumenta la máxima densidad seca (MDS) del suelo natural. En esta investigación el incremento de la máxima densidad fue de hasta 0.034 g/cm^3 respecto de la MDS del suelo natural.
- La variación de la máxima densidad seca tiene mayor influencia al variar la dosis del aditivo Consolid 444, ya que no existe un aumento progresivo de la MDS al adicionarle más cantidad de aditivo Solidry.
- La máxima densidad seca del suelo-cemento es menor que la MDS del suelo natural, lo cual era esperado ya que es una característica de este tipo de mejoramiento, sin embargo, esto no afecta a otras propiedades del suelo-cemento.
- Se verifica que el óptimo contenido de humedad (OCH) del suelo natural disminuye al adicionarle las diferentes dosificaciones del Sistema Consolid. En esta investigación se logró disminuir el OCH hasta en 2.35 %.
- De igual manera que en la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad sufre mayor variación al variar la dosis del aditivo Consolid 444. La variación del aditivo Solidry no genera un patrón de disminución del OCH.
- El óptimo contenido de humedad del suelo-cemento es mayor que el del suelo natural, lo cual se debe a la reacción del cemento con el agua, y es un comportamiento normal en mezclas de este tipo.
- El comportamiento del C.B.R. al adicionarle diferentes dosificaciones del aditivo Sistema Consolid tiene una tendencia a elevarse. A pequeñas cantidades del aditivo, el C.B.R. aumenta hasta el doble del valor del C.B.R. natural. En

cantidades mayores el C.B.R. puede llegar a aumentar hasta en 12.4 veces su valor. Se puede inferir entonces que el suelo estabilizado con Sistema Consolid eleva su capacidad de soporte.

- Se puede observar que el componente del Sistema Consolid que influye de mayormente en el aumento del C.B.R. es el Solidry, ya que, al aumentar la dosis de este, el C.B.R. aumenta. Por otro lado, la variación del aditivo Consolid 444 no tiene una mayor influencia en el incremento del C.B.R., ya que, al aumentar la dosis el valor del C.B.R. se mantiene en dentro de un rango de variación de +/- 10 %.
- Los valores de C.B.R. obtenidos en la estabilización del suelo con el Sistema Consolid, cumplen con los valores exigidos en las Especificaciones Técnicas Generales del MTC, para ser aplicados como, subrasante mejorada, subbase y base.
- El valor de C.B.R. del suelo-cemento alcanzado es superior a los valores obtenidos en el suelo estabilizado con Sistema Consolid, con valores por encima de 100 %. Esto suele deberse a la rigidez que presentan las mezclas suelo-cemento, la cual aumenta su resistencia a la penetración.
- En el ensayo de resistencia a la compresión se observó que los valores del suelo estabilizado con el Sistema Consolid fueron mayores que el obtenido en el suelo natural. Como en el caso del C.B.R. la mayor influencia en la resistencia la dio el aditivo Solidry. Esta influencia en la resistencia es posible que se dé, debido a que el Solidry contiene en su composición cemento y cal. Por otro lado, al variar la dosis de Consolid 444 también se aprecia una variación ligera en la resistencia a la compresión.
- Con la dosificación 16 se llegó a un valor de resistencia a la compresión de 20 kg/cm², la cual fue mayor que la resistencia obtenida en el suelo estabilizado con 7 % de cemento, y además cumple el mínimo requerido para el suelo-cemento.
- La resistencia a la compresión del suelo estabilizado con 7 % de cemento no cumple el mínimo exigido para este tipo de estabilización (18 kg/cm²), este porcentaje se obtuvo con los ábacos de la PCA. Sin embargo, al trabajar con 9 % de cemento la dosificación se elevó al doble del valor obtenido con el 7 % de cemento, lo cual permite inferir que es posible que se pueda disminuir la dosificación de cemento a usar en la estabilización.

- Para la ascensión capilar se trabajó con una condición de un máximo de 25 % de ascenso capilar para determinar si la dosificación era la ideal, ya que el manual del Sistema Consolid solo indica que se deben seleccionar las que tengan menor ascenso capilar. De las 16 dosificaciones del Sistema Consolid, 5 no cumplieron esta condición por lo cual, se debería descartar su uso.
- De los resultados de ascensión capilar se puede concluir que el suelo estabilizado con el Sistema Consolid en general presenta una disminución del ascenso capilar con respecto al suelo natural, sin embargo, no existe una reducción drástica.
- La ascensión capilar en el suelo-cemento es alta, sin embargo, no guarda relación con la absorción y la expansión del suelo. Es decir, la ascensión capilar es superficial en los especímenes suelo-cemento.
- El valor de absorción del suelo natural obtenido a través del ensayo de C.B.R., fue disminuido al adicionarle las diferentes dosificaciones del Sistema Consolid, dando valores menores a 1 %, y en algunos casos el valor fue menor que el obtenido en el suelo-cemento. Se podría inferir entonces que el Sistema Consolid disminuye la absorción del suelo en condiciones de saturación.
- Los valores de absorción por capilaridad y los de absorción por saturación no guardan relación para el suelo estabilizado con Sistema Consolid, ya que, en la absorción por capilaridad, el valor disminuye al aumentarle el aditivo Solidry y en la absorción por saturación, el valor aumenta al adicionarle el mismo aditivo.
- Los valores de expansión hallados en el ensayo de C.B.R. muestran un aumento en las dosificaciones 13, 14, 15 y 16, los cuales son mayores a la expansión del suelo natural. Esto puede ocurrir debido a la densificación del suelo que hace que el potencial de hinchamiento sea mayor.
- La influencia del agua en el suelo-cemento no es un factor que afecte sus propiedades de expansión, ya que presenta valores de expansión menores a los del suelo natural.
- El límite líquido aumenta al adicionarle el aditivo Sistema Consolid, pero no en altos porcentajes, máximo en 4.9 %. Se podría inferir entonces que la adición de aditivo Sistema Consolid no influye considerablemente en límite líquido.
- En el caso del Límite plástico, solo en un caso este aumento en 5.7 %, en los otros casos se mantuvo en +/- 1.6 %. El índice de plasticidad aumentó en la dosificación 1 en 3.6 % y en las dosificaciones 11 y 16 el valor disminuyó hasta

- en 1.5 %. por lo tanto, se puede concluir que el aditivo Sistema Consolid no presenta una mayor influencia en los Límites de Consistencia del suelo.
- Como se pudo observar la mayor influencia en la mejora de propiedades del suelo estabilizado con el Sistema Consolid la tiene el aditivo Solidry. Esto se debe a que la cantidad de aditivo Consolid 444 sugerida por el proveedor de Perú es la décima parte de la sugerida por la casa matriz.
 - Las soluciones propuestas que consideran la colocación de una base con material de préstamo podrían no darse en la realidad, ya que en muchas zonas del país el material granular es escaso, es por ello que es necesario muchas veces el uso de aditivos químicos.
 - De la evaluación económica se puede concluir que la solución 3 tiene un costo que está muy por encima del valor medio de las otras soluciones, esto debido a la dosificación del Sistema Consolid elegida. Sin embargo, esta dosificación podría reajustarse pues el valor del C.B.R. tomado en esta dosificación fue de 105.8% el cual es mucho mayor que el requerido, que es de 80%. Además, este valor requerido podría ser menor dependiendo del requerimiento de la vía.
 - La solución a adoptar dependerá también de otros factores como son: condiciones climáticas, abastecimiento y stock de material.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar pruebas con las cantidades de aditivo Consolid 444 propuestas por la casa matriz de Consolid, ya que esto podría influenciar en las mejoras de las propiedades del suelo.
- Se debe evaluar el comportamiento de los suelos estabilizados en cada proyecto, tal como indica el Documento Técnico de Soluciones Básicas del MTC, pero también se debe considerar el aspecto económico.
- Es necesario evaluar el comportamiento de los diversos aditivos que existen en el mercado y verificar las propiedades que dicen mejorar, esto puede hacerse en convenio con las empresas proveedoras de los aditivos químicos.
- Es necesario profundizar e implementar el ensayo de ascensión capilar, ya que es un parámetro que no es evaluado en nuestro país pero que si es influyente en el deterioro de las capas de pavimento.
- Se debe estudiar la relación entre la ascensión capilar y la permeabilidad del suelo, ya que en la mayoría de casos el agua infiltra en el suelo por gravedad.
- Es importante investigar más a profundidad sobre la influencia que tiene el agua en las propiedades de los materiales usados en las capas del pavimento. Como punto de partida se pueden revisar normas y especificaciones internacionales. Las entidades australianas han desarrollado algunos métodos para evaluar la influencia del agua en suelos compactados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), “Plan Nacional de Infraestructura 2012 – 2021”, Lima, 2012.
2. Austroads, “Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements”, Sydney, 2006.
3. Austroads, “Guide to Pavement Technology, Part 4D: Stabilised Materials”, Sydney, 2006.
4. Austroads, “Mix Design for Stabilised Pavement Materials”, Sydney, 2002.
5. Bañón B. Luis y Beviá G. José, “Manual de Carreteras. Volumen II: Construcción y mantenimiento”, Universidad de Alicante, Alicante, 2000.
6. Bowles Joseph, “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil”, 2da Edición, Editorial McGraw-Hill, México, 1981.
7. Céspedes Abanto José, “Los pavimentos en las vías terrestres: Calles, carreteras y aeropistas”, 1ra edición, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2002
8. Das Braja M., “Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”, 4ta Edición, Editorial Cengage Learning, 2013.
9. Fedrigo William, “Reciclagem de Pavimentos com adicao de cimento portland: definicao das bases para um método de dosagem”, Universidad Federal de Rio Grande do Soul, Porto Alegre, 2015.
10. Huang Yang H, “Pavement Analysis and Design”, 2da Edición, Editorial Pearson, USA, 2004.
11. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), “Guía Técnica de Estabilización de suelos con cemento”, Madrid, 2013.
12. Kodikara J., Wightwick M. y Ranjith PG, “Assessment of Capillary ingress of water in Stabilised pavement materials”, Monash University, Australia, 2006.
13. Kodikara J., Lee Kok y Srijib Chakrabarti, “Laboratory assessment of capillary rise in stabilised pavement materials”, Monash University, Australia, 2003.
14. Lee Kok, Kodikara Jayantha y Bouazza Abdelmalek, “Modeling and Laboratory Assessment of Capillary Rise in Stabilized Pavement Materials”, Monash University, Australia, 2004.
15. Menendez Acurio José, “Ingeniería de Pavimentos”, Volumen 1 y 2, 4ta Edición, Editorial ICG, Lima, 2013.

16. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Evaluación de Aplicabilidad de Estabilizadores de suelos”, Directiva N° 007-2005-MTC/14, Perú, 2005.
17. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2013a), “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial”, Perú, 2013.
18. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2013b), “Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013”, Perú, 2013.
19. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014a), “Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG-2014”, Perú, 2014.
20. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014b), “Manual de Carreteras, Mantenimiento o Conservación Vial”, Perú, 2014.
21. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC (2014c), “Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos”, Perú, 2014.
22. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas”, Perú, 2015.
23. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, “Manual de Ensayo de Materiales”, Perú, 2016.
24. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, “Norma CE.010 Pavimentos Urbanos”, Lima, 2010.
25. Montejó Fonseca Alfonso, “Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño”, 3ra Edición, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2006.
26. Portland Cement Association (PCA), “Soil-Cement Laboratory Handbook”, Illinois, 1992.
27. Quoc Trung Le, “Estabilización del Suelo aplicando el Sistema Consolid”, Trabajo de Diploma FIC-ISPJAE. La Habana, Cuba, 2006.
28. Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo, “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas”, Volumen 1, 1ra Edición, Editorial Limusa, México, 1999.
29. Rico Rodríguez Alfonso y Del Castillo Hermilo, “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas”, Volumen 2, 1ra Edición, Editorial Limusa, México, 2000.
30. Rondón Q. Hugo y Reyes L. Fredy, “Pavimentos: Materiales, construcción y diseño”, 1ra Edición, Editorial Macro, Bogotá.

31. Terzagui Karl y Peck Ralph, "Mecanica de Suelos en Ingeniería Practica", 2da Edición, Editorial El Ateneo, España, 1978.
32. Vivar Romero German, "Diseño y Construcción de Pavimentos", 1ra Edición, Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, 1995.

ANEXO 1

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO AL SUELO NATURAL

INFORME N° SN29 - 01

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
 Progresiva : Km 25+000
 Referencia : Lado Izquierdo

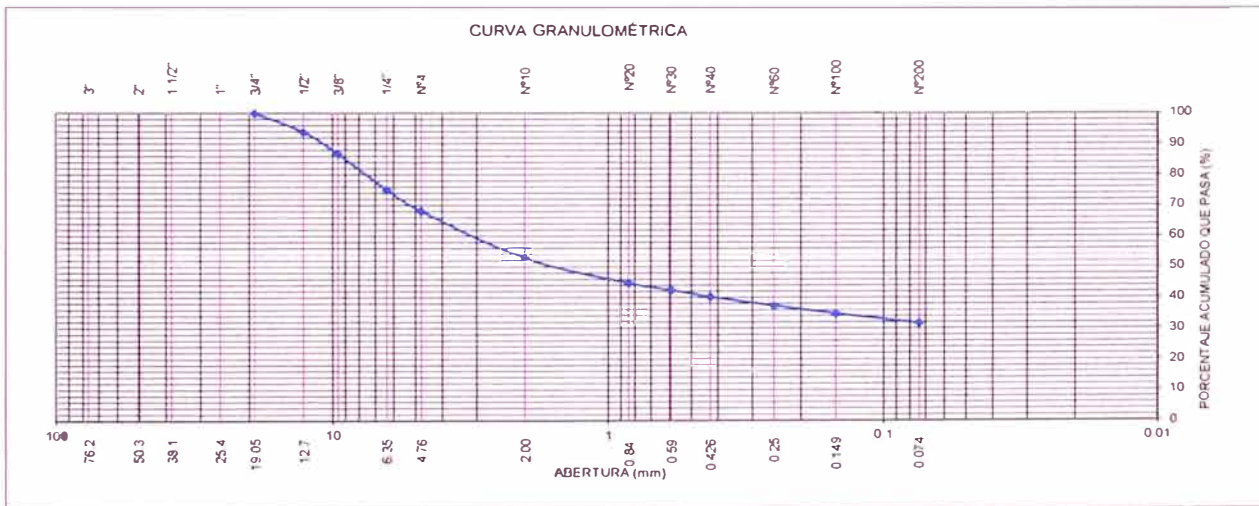
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - ASTM D422 / MTC E 107

Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado)	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	6.1	6.1	93.9
3/8"	9.525	7.2	13.3	86.7
1/4"	6.350	11.6	24.9	75.1
N°4	4.760	6.9	31.8	68.2
N°10	2.000	15.4	47.2	52.8
N°20	0.840	8.1	55.2	44.8
N°30	0.590	2.3	57.5	42.5
N°40	0.426	2.2	59.7	40.3
N°60	0.250	2.9	62.6	37.4
N°100	0.149	2.6	65.2	34.8
N°200	0.074	3.1	68.3	31.7
FONDO		31.7		

% Grava	:	31.8
% Arena	:	36.5
% Finos	:	31.7

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111	
Límite Líquido (%)	: 39.5
Límite Plástico (%)	: 20.9
Índice Plástico (%)	: 18.6

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SC
 Clasificación AASHTO M 145 (ASTM D3282) : A-2-6(1)
 Contenido de Humedad ASTM D2216 (%) : 8.9



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 02

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN - ASTM D422 / MTC E 109

Diámetro Corregido (mm)	(%) Que Pasa
0.04345	11.74
0.03090	11.30
0.01960	10.86
0.01415	9.51
0.01156	8.76
0.00829	7.44
0.00591	6.79
0.00299	5.66
0.00124	4.74

RESULTADOS :

Gravas (%)	:	31.77
Arenas (%)	:	36.51
Limos (%)	:	25.27
Arcillas y Coloides (%)	:	6.44

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 02

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD
DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO
SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO - ASTM D422 / MTC E 107

Tamiz	(%) Acumulado Que Pasa
2"	-
1 1/2"	-
1"	-
3/4"	100.0
1/2"	93.9
3/8"	86.7
1/4"	75.1
N° 4	68.2
N°10	52.8
N°20	44.8
N°30	42.5
N°40	40.3
N°60	37.4
N°100	34.8
N°200	31.7

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422 / MTC E 109

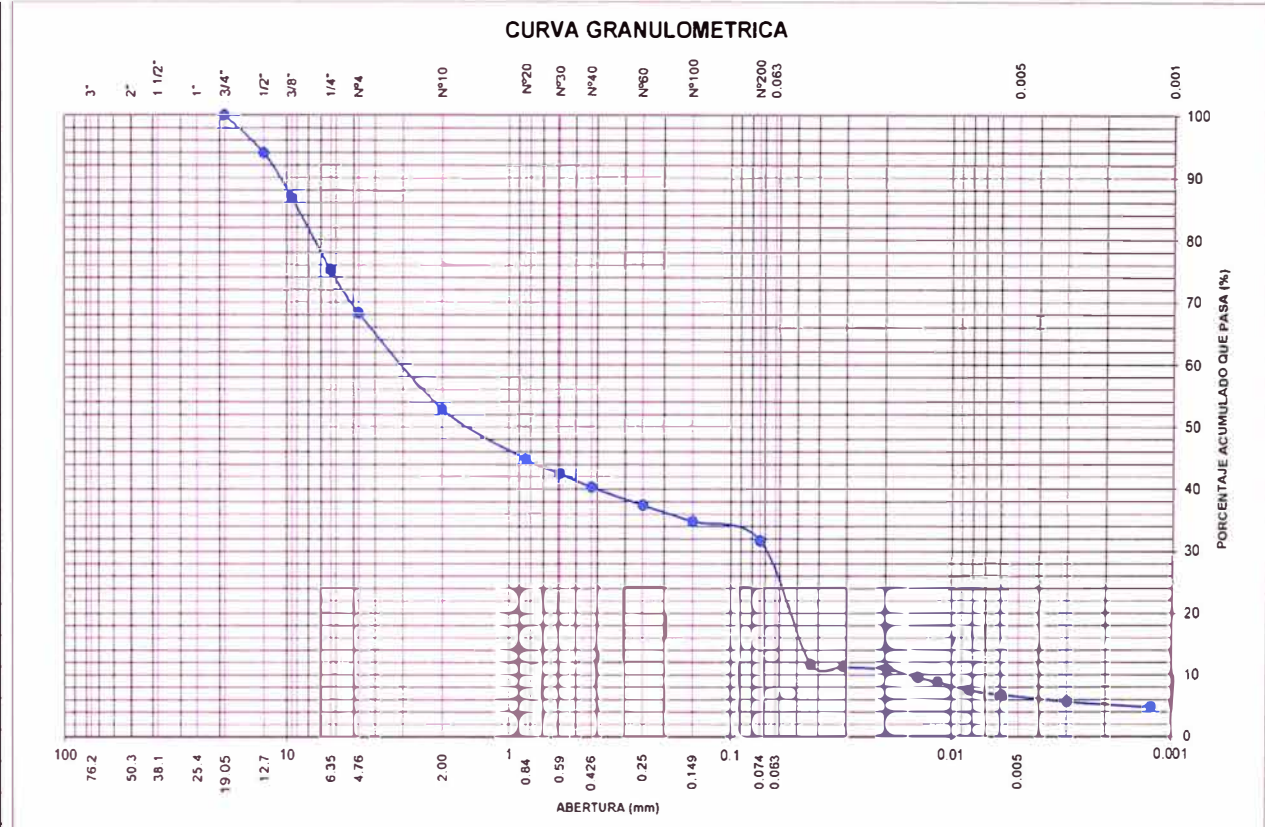
INFORME N° SN29 - 02

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
 Progresiva : Km 25+000
 Referencia : Lado Izquierdo

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.

UBICACIÓN : LIMA
 FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

Tamiz	Abertura (mm)	% Que Pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	100.0
1/2"	12.700	93.9
3/8"	9.525	86.7
1/4"	6.350	75.1
N°4	4.760	68.2
N°10	2.000	52.8
N°20	0.840	44.8
N°30	0.590	42.5
N°40	0.426	40.3
N°60	0.250	37.4
N°100	0.149	34.8
N°200	0.074	31.7
	0.043	11.74
	0.031	11.30
	0.020	10.86
	0.014	9.51
	0.012	8.76
	0.008	7.44
	0.006	6.79
	0.003	5.66
	0.001	4.74



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN
ASTM D422 / MTC E 109**

INFORME N° SN29 - 02

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

Tiempo (min)	°C	C _t	R _d	R _c	P(%)	R	L (cm)	L/tiempo (cm/min)	Constante K	Diámetro (mm)	Material Sedimento
1.00	27.00	2.000	23.70	18.7000	11.74	24.70	12.260	12.2600	0.012409	0.0434	19.981
2.00	27.00	2.000	23.00	18.0000	11.30	24.00	12.400	6.2000	0.012409	0.0309	0.439
5.00	27.00	2.000	22.30	17.3000	10.86	23.30	12.470	2.4940	0.012409	0.0196	0.439
10.00	26.00	1.650	20.50	15.1500	9.51	21.50	12.800	1.2800	0.012509	0.0142	1.349
15.00	26.90	1.965	19.00	13.9650	8.76	20.00	13.000	0.8667	0.012419	0.0116	0.744
30.00	26.60	1.860	17.00	11.8600	7.44	18.00	13.300	0.4433	0.012449	0.0083	1.321
60.00	26.50	1.825	16.00	10.8250	6.79	17.00	13.500	0.2250	0.012459	0.0059	0.650
240.00	26.50	1.825	14.20	9.0250	5.66	15.20	13.780	0.0574	0.012459	0.0030	1.130
1440.00	25.70	1.545	13.00	7.5450	4.74	14.00	14.000	0.0097	0.012569	0.0012	0.929

Hora de Inicio : 10:30 Peso específico relativo de sólidos (S_s) : 2.698
Peso Suelo Seco (gr) : 50 % Que pasa la malla N° 200 : 31.7
% Que pasa la malla N° 10 : 52.8 Lectura Hidrómetro en agua (C_m) : 1.0
Coeficiente "a" : 0.9894 Lectura Hidrómetro en agua + defloculante (C_d) : 7.0

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

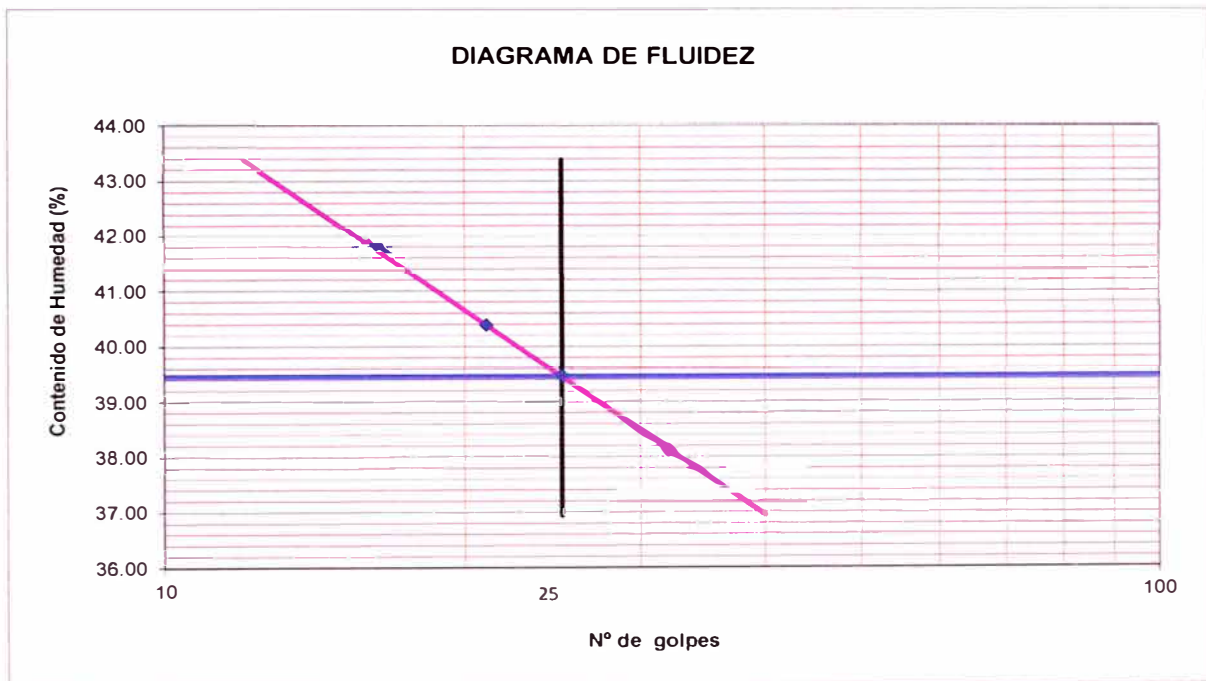
INFORME N° SN29 - 03

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%) : 39.5
LÍMITE PLÁSTICO (%) : 20.9
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 18.6

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SN29 - 04

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
 Progresiva : Km 25+000
 Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO - ASTM C88 / MTC E 209

I. AGREGADO GRUESO

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL AGREGADO GRUESO

Pérdidas (%) : 74

N°	Tamaño	%	Peso Requerido (g)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
						Peso (g)	(%)		
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 500	-	-	-	-	-	-
	2 1/2" a 2"	60	3000 ± 300	-	-	-	-	-	-
	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200	-	-	-	-	-	-
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50	-	-	-	-	-	-
	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	-	-	-	-	-	-
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	-	-	-	-	-	-
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 10	-	-	-	-	-	-
	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	672.0	235.0	437.0	65.03	19.2	12.486
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	334.2	82.9	251.3	75.19	22.5	16.919
4	3/8" a N°4		300 ± 5	305.0	73.7	231.3	75.84	58.3	44.212
TOTALES								100.0	73.617

ANÁLISIS CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño	Alteración de Partículas Después del Ensayo								N° inicial de Partículas
	Rajadas		Agrietadas		Laminadas (escamosas)		Desintegradas		
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2" a 2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2" a 1 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2" a 1"	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1" a 3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	-

II. AGREGADO FINO

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL AGREGADO FINO

Pérdidas (%) : 30

Tamaño	Peso Requerido (g)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)	
				Peso (g)	(%)			
3/8" a N°4	-	-	-	-	-	-	-	
N°4 a N°8	100	100.3	20.9	79.4	79.16	22.5	17.812	
N°8 a N°16	100	100.4	24.1	76.3	76.00	11.8	8.968	
N°16 a N°30	100	100.3	51.5	48.8	48.65	3.4	1.654	
N°30 a N°50	100	100.1	75.2	24.9	24.88	7.5	1.866	
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	3.8	-	
Pasa N°100	-	-	-	-	-	51.0	-	
TOTALES							100.0	30.299

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 05

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD
DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO
SISTEMA CONSOLID
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO - ASTM C127 / MTC E 206

P.E. BULK (BASE SECA)	:	2.141
P.E. BULK (BASE SATURADA)	:	2.348
P.E. APARENTE (BASE SECA)	:	2.698
% DE ABSORCIÓN	:	9.64

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 06

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO - ASTM C128 / MTC E 205

P.E. BULK (BASE SECA)	:	2.438
P.E. BULK (BASE SATURADA)	:	2.547
P.E. APARENTE (BASE SECA)	:	2.735
% DE ABSORCIÓN	:	4.457

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 07

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD
DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO
SISTEMA CONSOLID
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES AL DESGASTE DE AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 1 1/2" - ASTM C131 / C131M - MTC E 207

Gradación : D
Revoluciones : 500
Desgaste : 33.5%

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 08-1

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

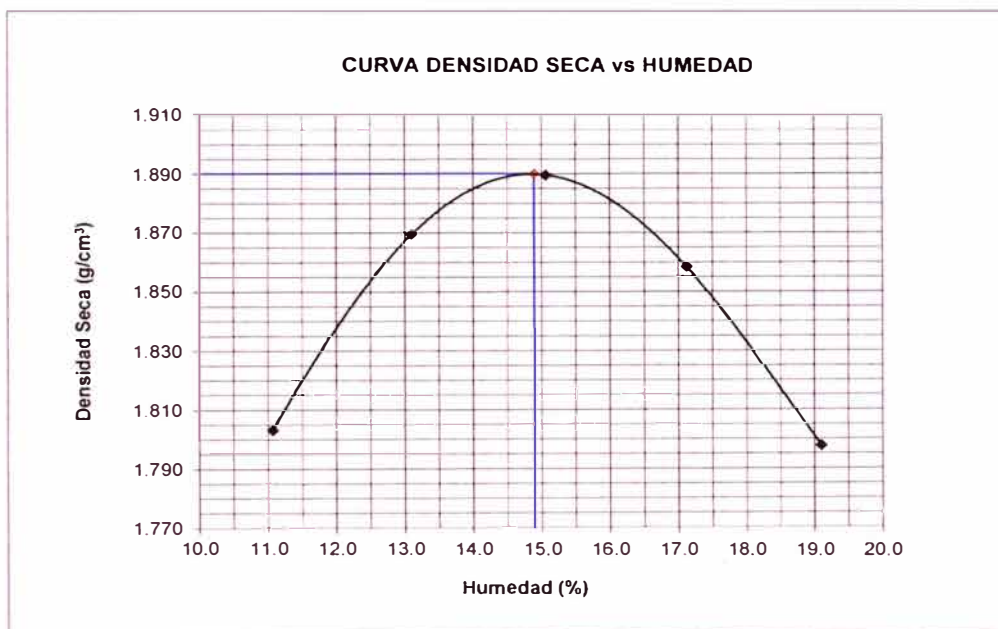
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 / MTC E 115

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACION DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.890
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.90



II. RESULTADOS CORREGIDOS POR FRACCIÓN GRUESA > 3/8" - ASTM D4718

Fracción gruesa > 3/8" (%) : 13.3
Peso específico fracción gruesa > 3/8" (g/cm³) : 2.14

Resultados corregidos por fracción gruesa para el material total

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.920
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.50

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SN29 - 08-2

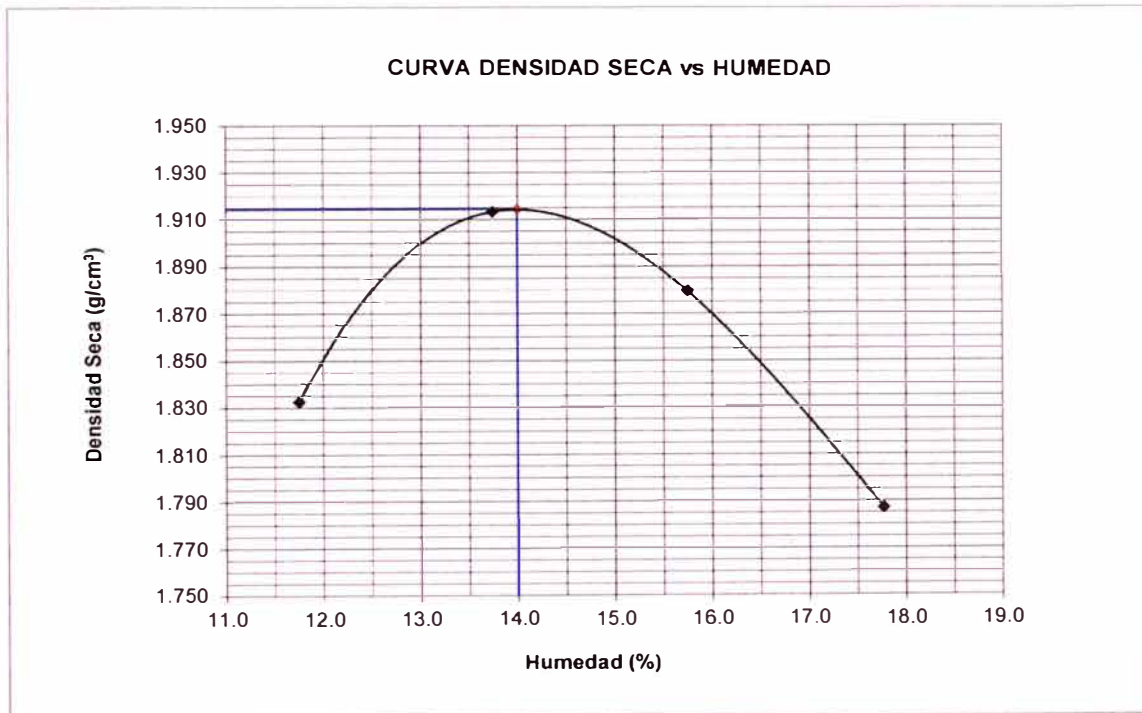
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.914
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.00



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SN29 - 08-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

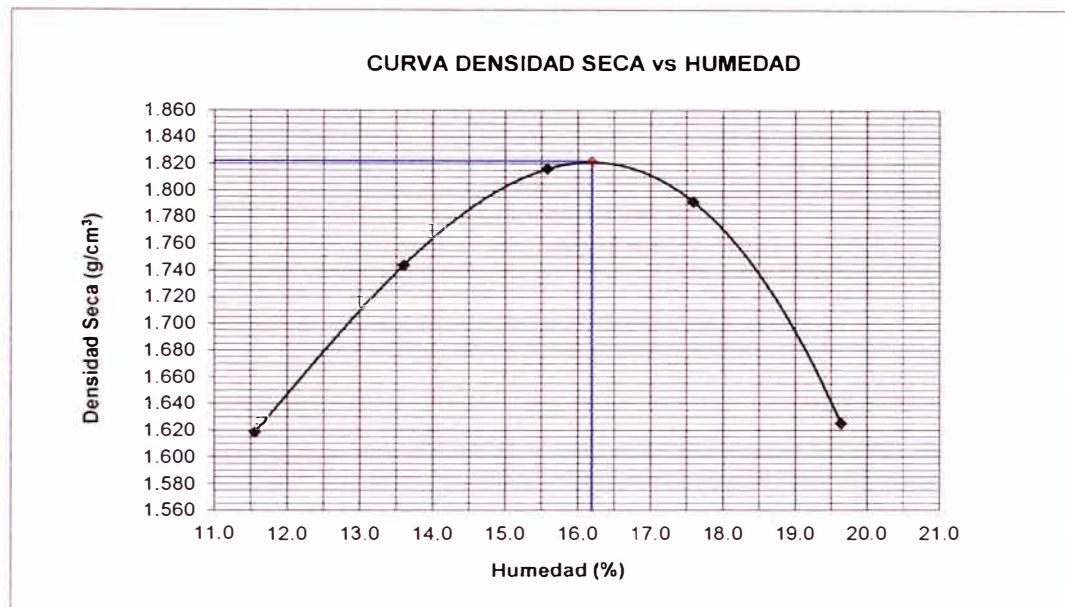
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO PROCTOR ESTANDAR ASTM D698 / MTC E 115

I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPACTACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA < 3/8"

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.822
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 16.20



II. RESULTADOS CORREGIDOS POR FRACCIÓN GRUESA > 3/8" - ASTM D4718

Fracción gruesa > 3/8" (%) : 13.3
Peso específico fracción gruesa > 3/8" (g/cm³) : 2.14
Resultados corregidos por fracción gruesa para el material total
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.859
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.63

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 09

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.914
Optimo Contenido de Humedad (%) : 14.00

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm^3)	1.914	1.848	1.781
Contenido de Humedad	14.0	14.0	14.0

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada ($Lb/pulg^2$)	Presión Patrón ($Lb/pulg^2$)	C.B.R. (%)
I	0.1	137	1000	13.7
II	0.1	97	1000	9.7
III	0.1	37	1000	3.7
I	0.2	229	1500	22.9
II	0.2	170	1500	17.0
III	0.2	58	1500	5.8

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1" 13.7% 0.2" 22.9%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 7.2% 12.4%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.9	1.2	2.8
Absorción de Agua (%)	3.0	4.1	6.0

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

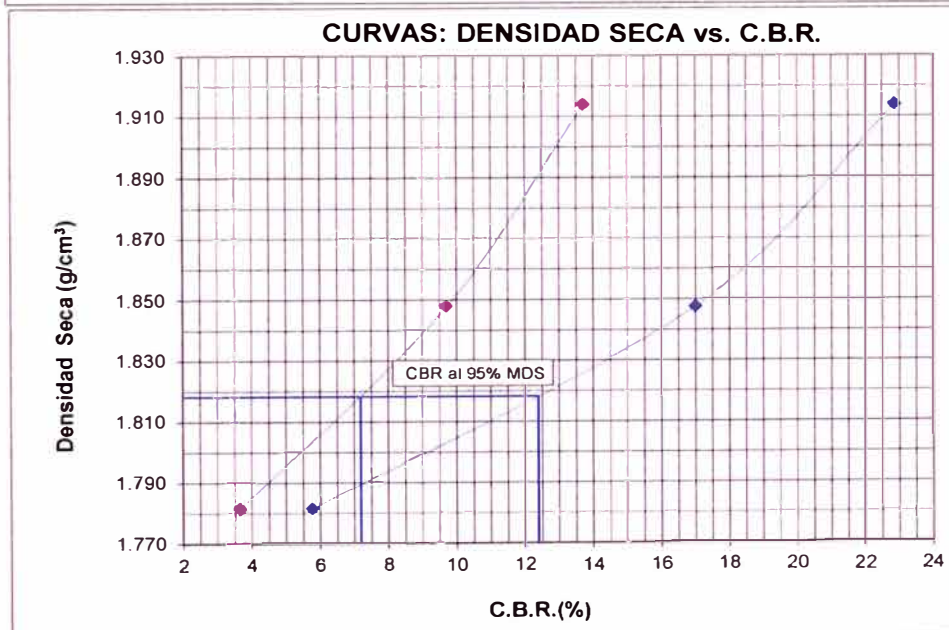
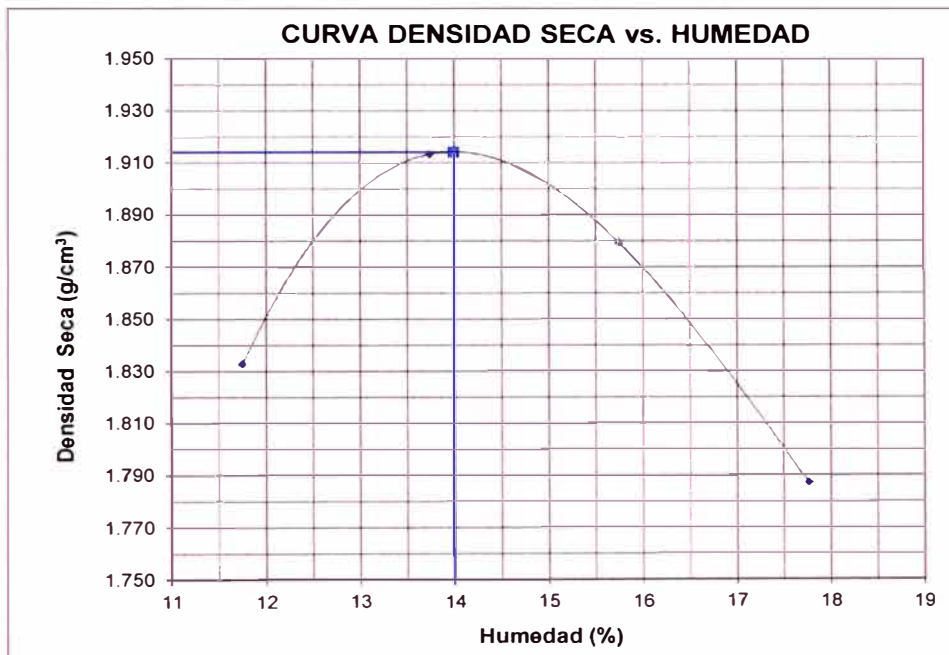
INFORME N° SN29 - 09

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.914
Optimo Contenido de Humedad (%) : 14.00

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 09

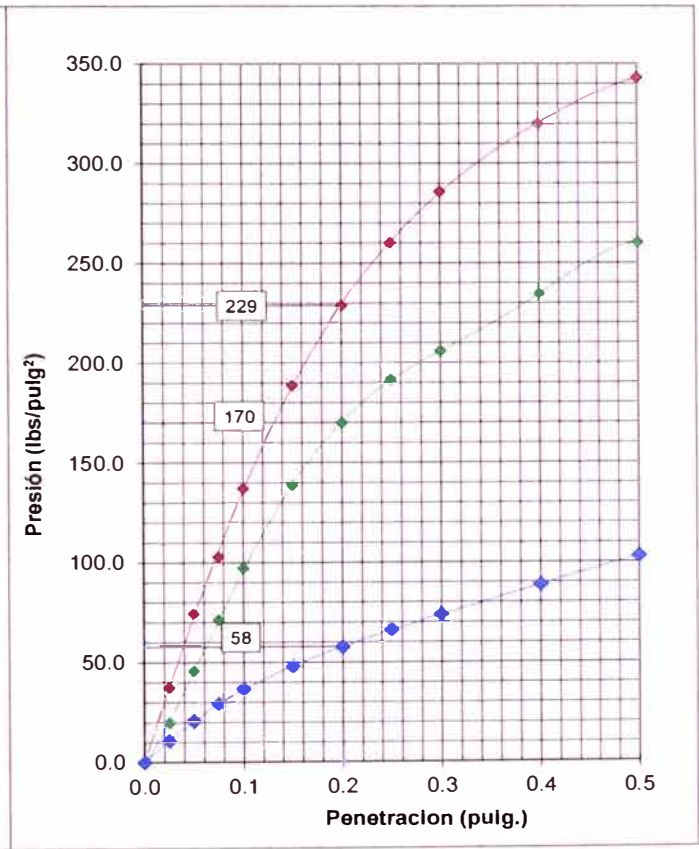
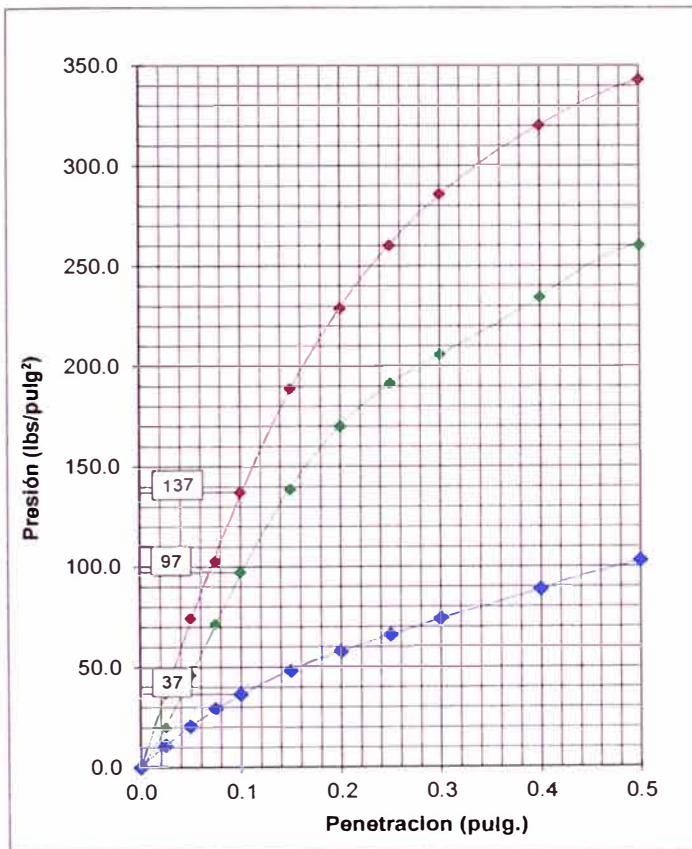
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 10

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.53
Altura	mm	:	159.13
Área	mm ²	:	4967.66
Volumen	mm ³	:	790503.70
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.182
Densidad seca	g/cm ³	:	1.914
Contenido de Humedad	%	:	14.00
L/D		:	2.00
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	560711.64
Grado de Saturación	%	:	92.17

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.09
Altura	mm	:	153.08
Área	mm ²	:	5163.89
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.182

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	190.93
Cohesión (kPa)	:	95.47
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	1.95

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

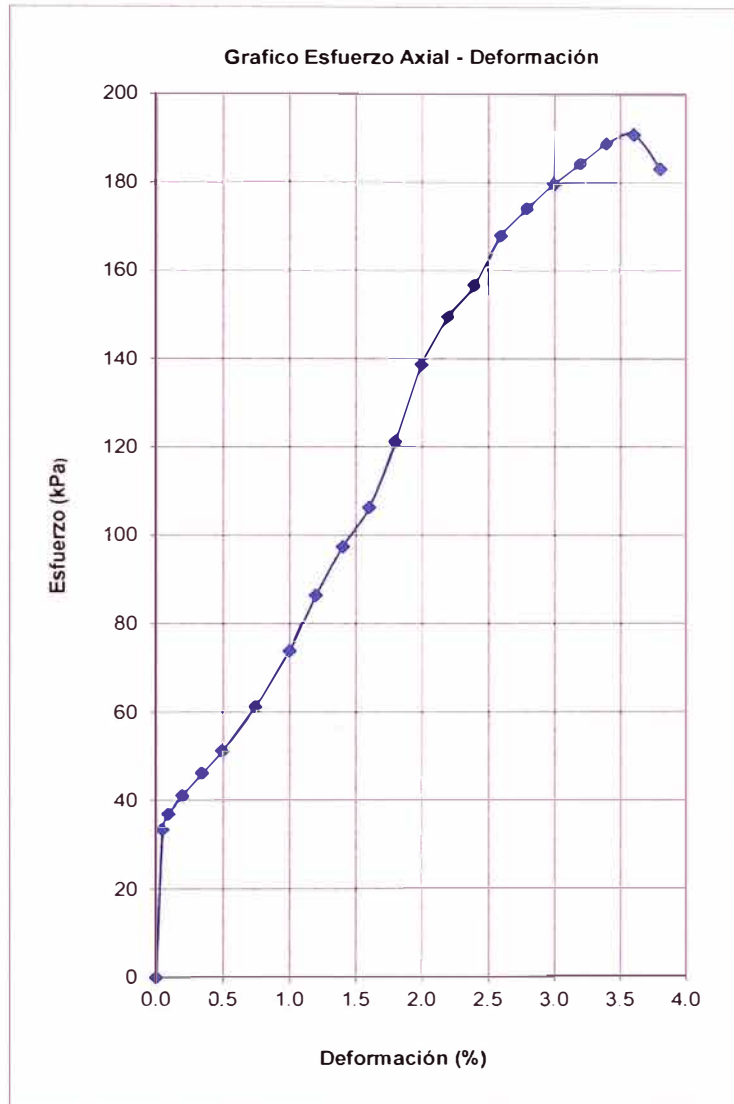
INFORME N° SN29 - 10

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Tramo : Coracora - Piedra Blancas
Progresiva : Km 25+000
Referencia : Lado Izquierdo

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.53	
Área Inicial (mm ²)	:	4967.66	
Altura Inicial (mm)	:	159.13	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	4970.1	166.1	33.4
0.10	4972.6	184.0	37.0
0.20	4977.6	204.4	41.1
0.35	4985.1	230.0	46.1
0.50	4992.6	255.6	51.2
0.75	5005.2	306.7	61.3
1.00	5017.8	370.6	73.8
1.20	5028.0	434.5	86.4
1.40	5038.2	490.7	97.4
1.60	5048.4	536.7	106.3
1.80	5058.7	613.3	121.2
2.00	5069.0	702.8	138.6
2.20	5079.4	759.0	149.4
2.40	5089.8	797.3	156.7
2.60	5100.3	856.1	167.9
2.80	5110.8	889.3	174.0
3.00	5121.3	920.0	179.6
3.20	5131.9	945.6	184.3
3.40	5142.5	971.1	188.8
3.60	5153.2	983.9	190.9
3.80	5163.9	945.6	183.1



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SN29 - 11

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Tramo : Coracora - Piedra Blancas
 Progresiva : Km 25+000
 Referencia : Lado Izquierdo

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
 Diámetro Inicial (mm) : 79.3
 Peso después de Secado a 50°C (g) : 1583
 Densidad Seca (g/cm³) : 1.914
 Humedad de Compactación (%) : 14

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

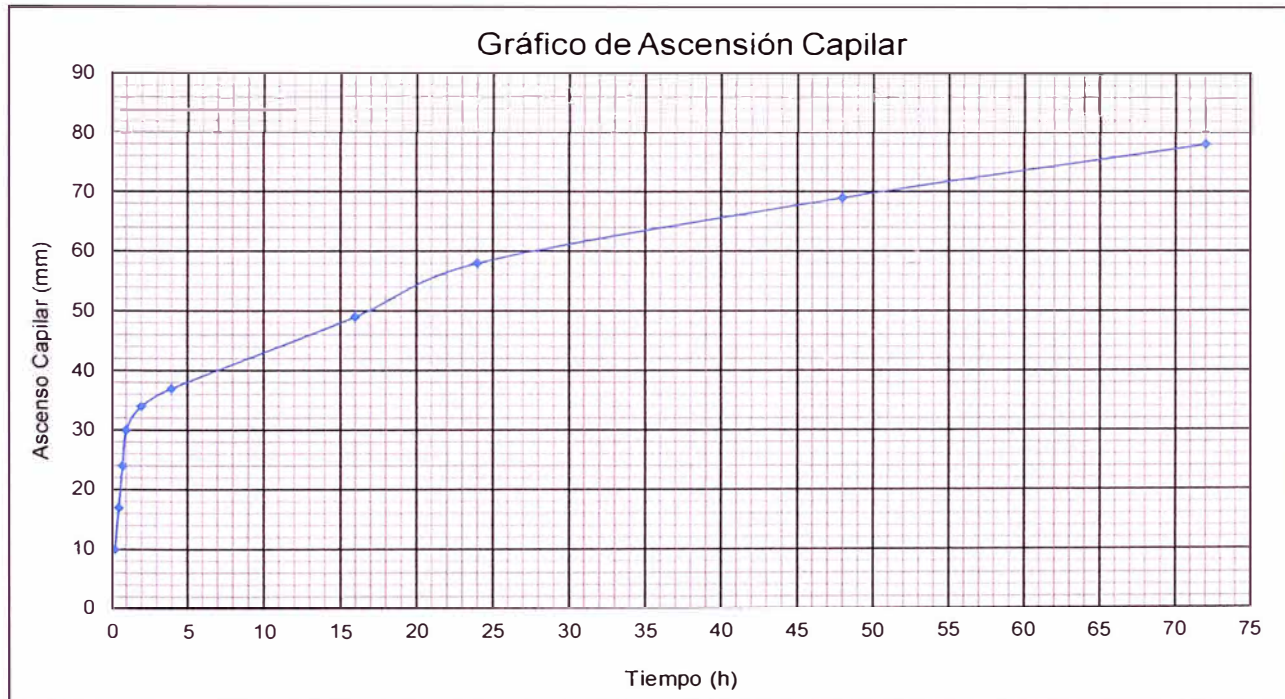
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 78
 Diámetro Final (mm) : 83.9
 Peso después de colocado en agua (g) : 1676.1
 Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1503.06

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 6.2
 Expansión (%) : 11.9
 Ascensión Capilar a 24 h (%) : 36.5
 Ascensión Capilar Final (%) : 49.1

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	17	24	30	34	37	49	58	69	78



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Química y Textil Laboratorio N° 21 - Investigación y Química Aplicada

INFORME TECNICO LAB.21-18-027-3

SOLICITANTE : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
REGISTRO : S18-027

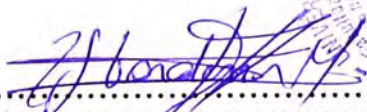
MUESTRA : ARENA ARCILLOSA
OBRA : Muestra identificada y proporcionada por el solicitante
EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUIMICO SISTEMA
CONSOLID

TRAMO : CORACORA-PIEDRA BLANCAS
PROGRESIVA : KM 25+000
REFERENCIA : LADO IZQUIERDO
UBICACIÓN : LIMA
ENSAYO : ANALISIS FISICOQUIMICO
FECHA : 26-02-18

REPORTE DE RESULTADOS

PARAMETRO	REPORTE	METODO
SALES SOLUBLES TOTALES, ppm	415,0	MTCE219

Atentamente,


ING. TEODARDO JAVIER CARDENAS MENDOZA
Jefe del Laboratorio N° 21



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Química y Textil Laboratorio N° 21 - Investigación y Química Aplicada

INFORME TECNICO LAB.21-18-027

SOLICITANTE : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
REGISTRO : S18-027

MUESTRA : ARENA ARCILLOSA
Muestra identificada y proporcionada por el solicitante

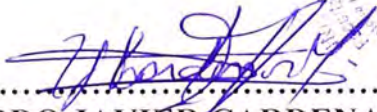
OBRA : EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUIMICO SISTEMA
CONSOLID

TRAMO : CORACORA-PIEDRA BLANCAS
PROGRESIVA : KM 25+000
REFERENCIA : LADO IZQUIERDO
UBICACIÓN : LIMA
ENSAYO : ANALISIS FISICOQUIMICO
FECHA : 26-02-18

REPORTE DE RESULTADOS

PARAMETRO	REPORTE	METODO
MATERIA ORGANICA, %	0,37	MTCE118

Atentamente,


ING. TEODARDO JAVIER CARDENAS MENDOZA
Jefe del Laboratorio N° 21



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Química y Textil Laboratorio N° 21 - Investigación y Química Aplicada

INFORME TECNICO LAB.21-18-027

SOLICITANTE : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
 REGISTRO : S18-027

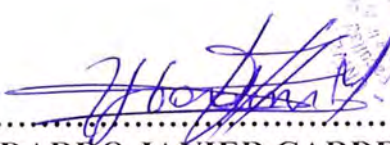

MUESTRA : ARENA ARCILLOSA
 OBRA : Muestra identificada y proporcionada por el solicitante
 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
 IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
 USANDO EL ESTABILIZADOR QUIMICO SISTEMA
 CONSOLID

TRAMO : CORACORA-PIEDRA BLANCAS
 PROGRESIVA : KM 25+000
 REFERENCIA : LADO IZQUIERDO
 UBICACIÓN : LIMA
 ENSAYO : ANALISIS FISICOQUIMICO
 FECHA : 26-02-18

REPORTE DE RESULTADOS

PARAMETRO	REPORTE	METODO
SULFATOS como Ion SO_4^{2-} , ppm	211,1	AASHTOT290

Atentamente,

.....
 ING. TEODARDO JAVIER CARDENAS MENDOZA
 Jefe del Laboratorio N° 21

ANEXO 2

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

INFORME N° SSC29 - 01-1

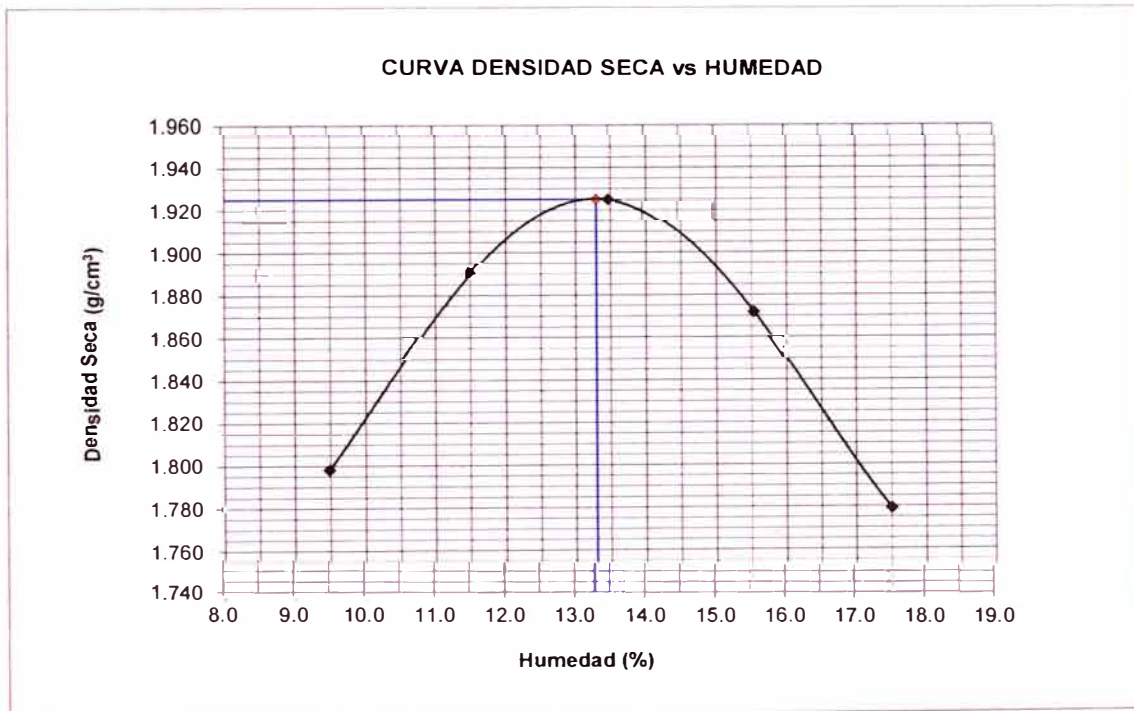
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.925
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.3



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 01-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.925
Optimo Contenido de Humedad (%) : 13.30

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.925	1.843	1.713
Contenido de Humedad	13.3	13.3	13.3

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	177	1000	17.7
II	0.1	137	1000	13.7
III	0.1	39	1000	3.9
I	0.2	303	1500	30.3
II	0.2	243	1500	24.3
III	0.2	63	1500	6.3

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 17.7% 0.1" 0.2" 30.3%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 12.7% 22.6%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.9	1.0	1.1
Absorción de Agua (%)	0.7	1.3	2.7

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

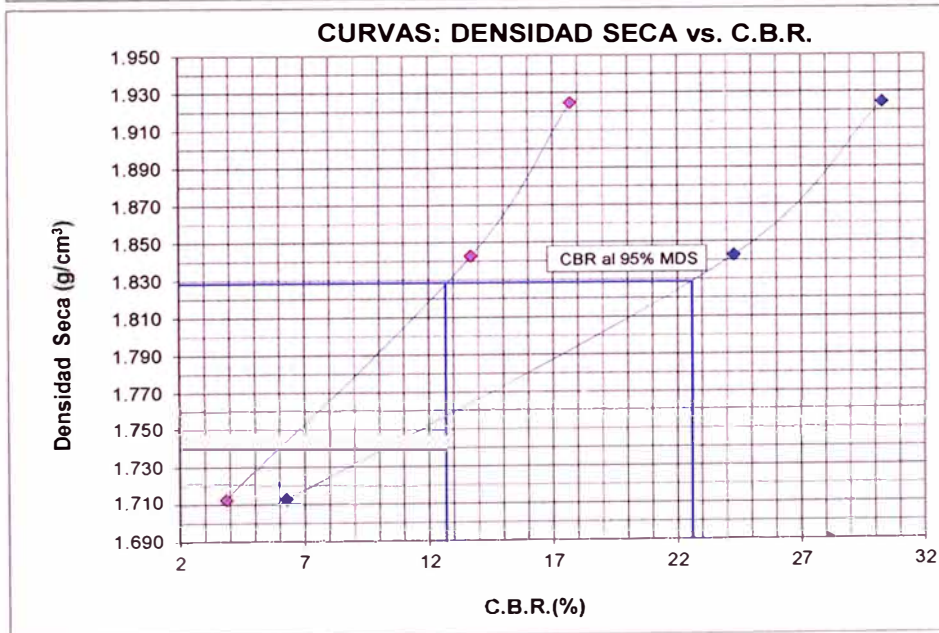
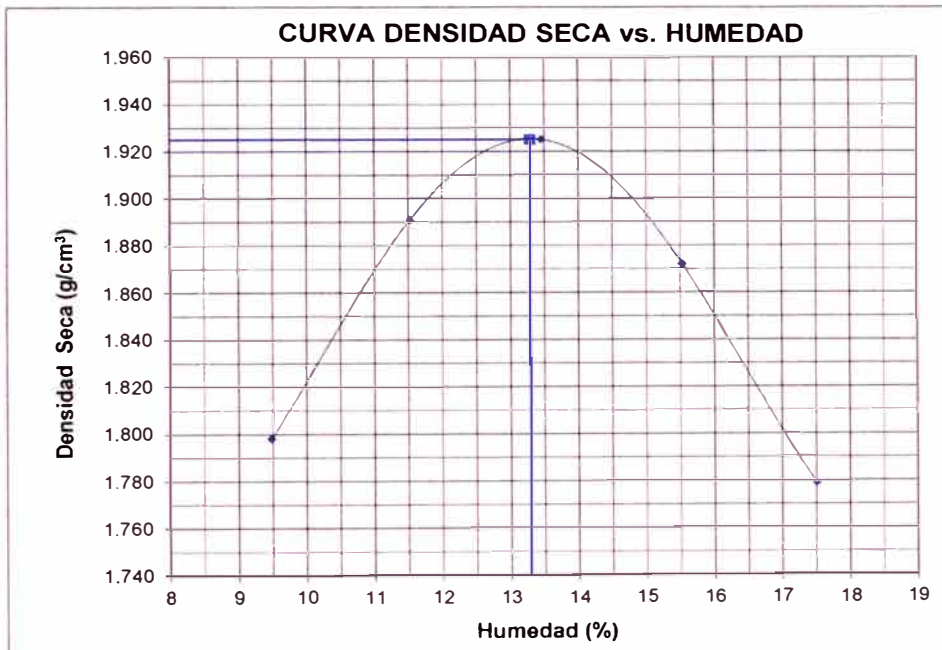
INFORME N° SSC29 - 01-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.925
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.30

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 01-2

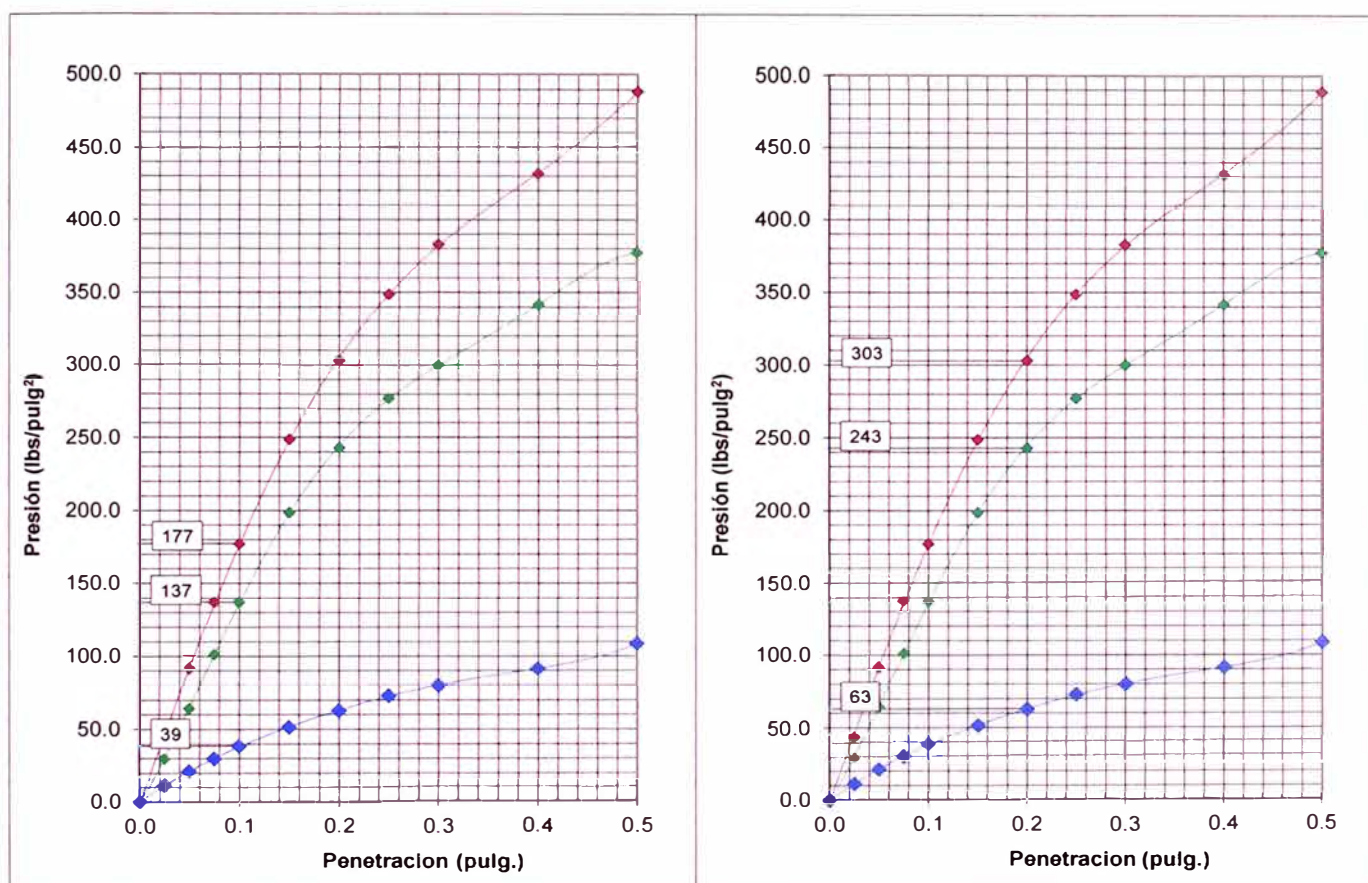
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 01-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 0.375 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.23
Altura	mm	:	159.38
Área	mm ²	:	4930.25
Volumen	mm ³	:	785783.70
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.181
Densidad seca	g/cm ³	:	1.925
Contenido de Humedad	%	:	13.30
L/D		:	2.01
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	560563.38
Grado de Saturación	%	:	89.29

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.98
Altura	mm	:	148.86
Área	mm ²	:	5278.64
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.181

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	306.31
Cohesión (kPa)	:	153.16
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	3.12

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

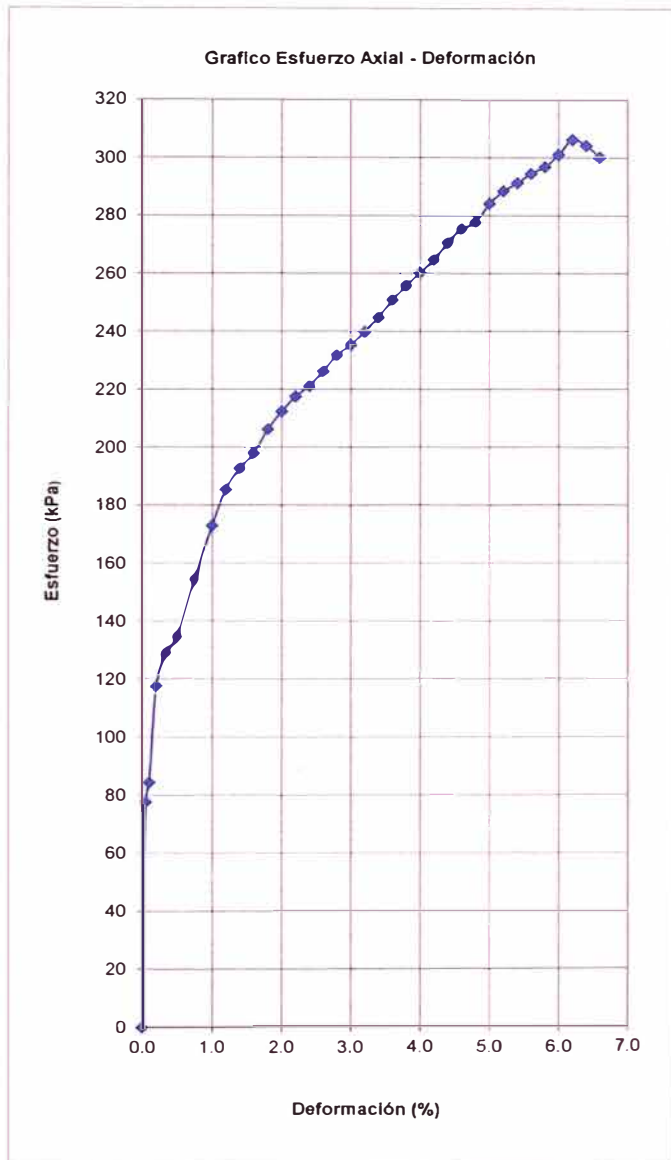
INFORME N° SSC29 - 01-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 0.375 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)		79.23	
Área Inicial (mm ²)		4930.25	
Altura Inicial (mm)		159.38	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	4932.7	383.3	77.7
0.10	4935.2	416.6	84.4
0.20	4940.1	580.1	117.4
0.35	4947.6	638.9	129.1
0.50	4955.0	667.0	134.6
0.75	4967.5	766.7	154.3
1.00	4980.1	861.2	172.9
1.20	4990.1	925.1	185.4
1.40	5000.3	963.5	192.7
1.60	5010.4	991.6	197.9
1.80	5020.6	1035.0	206.2
2.00	5030.9	1068.2	212.3
2.20	5041.2	1096.4	217.5
2.40	5051.5	1116.8	221.1
2.60	5061.9	1144.9	226.2
2.80	5072.3	1175.6	231.8
3.00	5082.7	1196.0	235.3
3.20	5093.2	1221.6	239.8
3.40	5103.8	1249.7	244.9
3.60	5114.4	1282.9	250.8
3.80	5125.0	1311.0	255.8
4.00	5135.7	1336.6	260.3
4.20	5146.4	1362.1	264.7
4.40	5157.2	1395.4	270.6
4.60	5168.0	1423.5	275.4
4.80	5178.8	1438.8	277.8
5.00	5189.7	1474.6	284.1
5.20	5200.7	1500.1	288.4
5.40	5211.7	1518.0	291.3
5.60	5222.7	1538.5	294.6
5.80	5233.8	1553.8	296.9
6.00	5244.9	1579.4	301.1
6.20	5256.1	1610.0	306.3
6.40	5267.4	1602.4	304.2
6.60	5278.6	1584.5	300.2



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 01-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.28
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1595.9
Densidad Seca (g/cm³) : 1.925
Humedad de Compactación (%) : 13.3

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

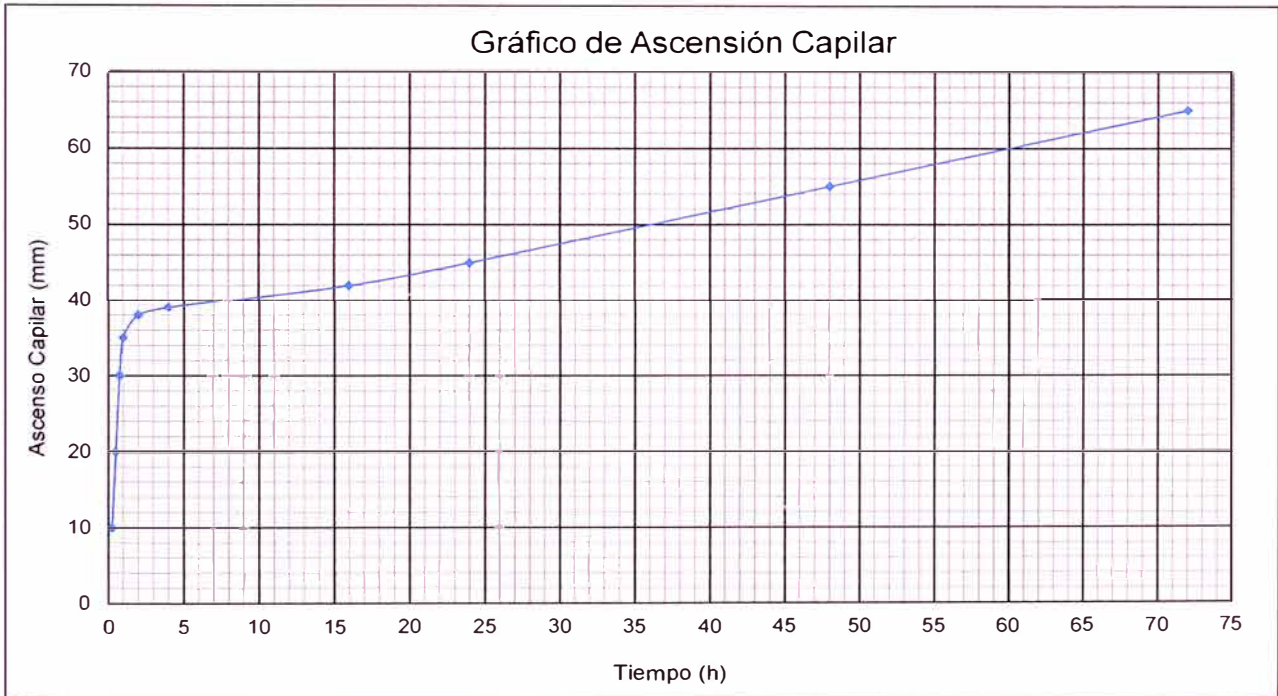
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 65
Diámetro Final (mm) : 82.7
Peso después de colocado en agua (g) : 1651.9
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1510.93

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 3.7
Expansión (%) : 8.8
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 28.3
Ascensión Capilar Final (%) : 40.9

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	20	30	35	38	39	42	45	55	65



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

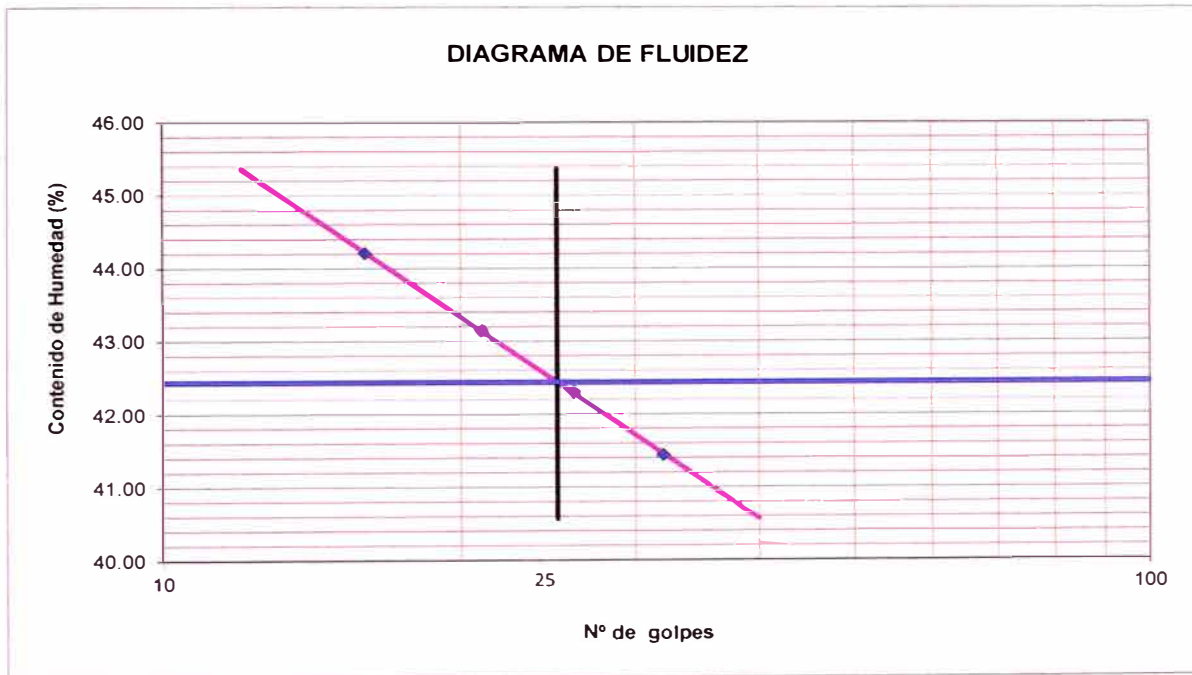
INFORME N° SSC29 - 01-5

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D1
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%) : 42.4
LÍMITE PLÁSTICO (%) : 20.2
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 22.2

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 02-1

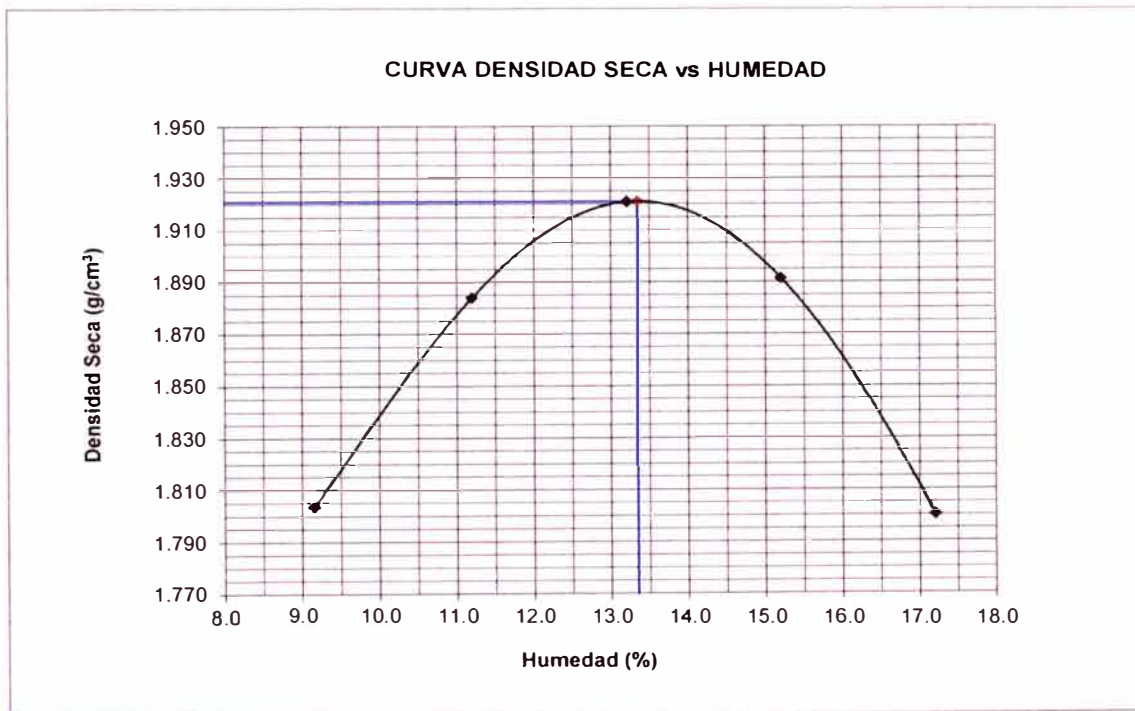
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.921
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.35



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 02-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.921
Optimo Contenido de Humedad (%) : 13.35

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.921	1.863	1.745
Contenido de Humedad	13.35	13.35	13.35

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	140	1000	14.0
II	0.1	109	1000	10.9
III	0.1	73	1000	7.3
I	0.2	237	1500	23.7
II	0.2	189	1500	18.9
III	0.2	111	1500	11.1

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1" 14.0% 0.2" 23.7%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 9.6% 16.3%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.1	0.4	0.5
Absorción de Agua (%)	0.5	0.9	1.9

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

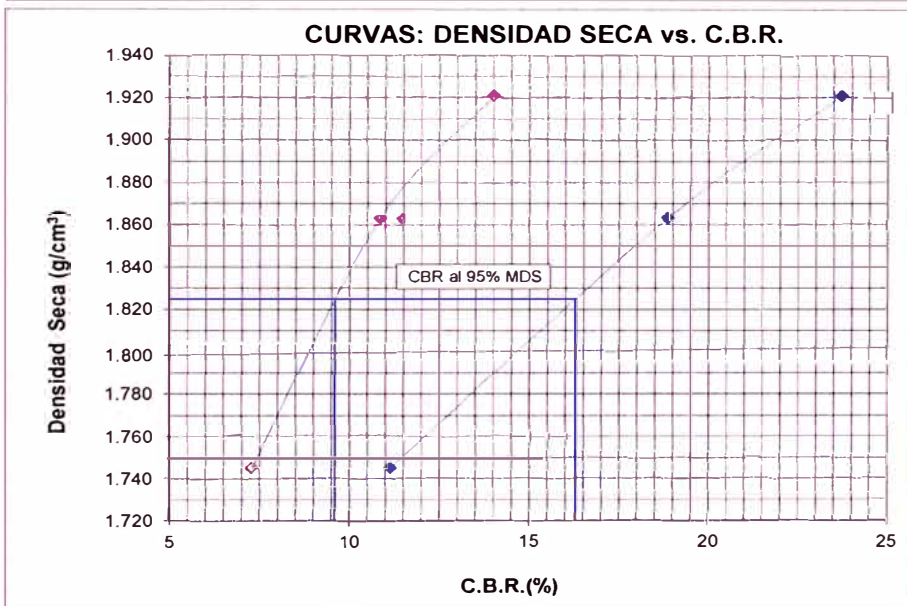
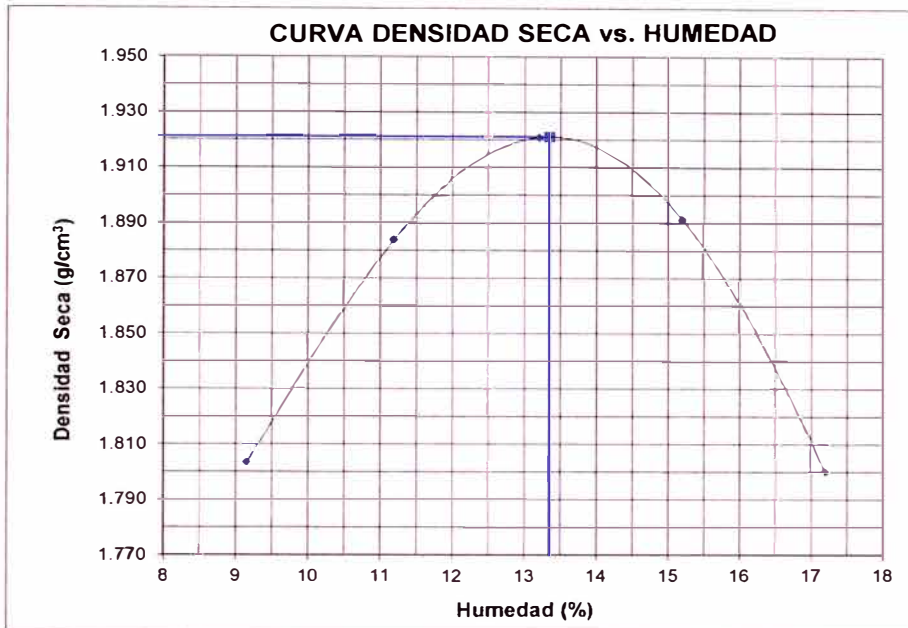
INFORME N° SSC29 - 02-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.921
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.35

Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME Nº SSC29 - 02-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

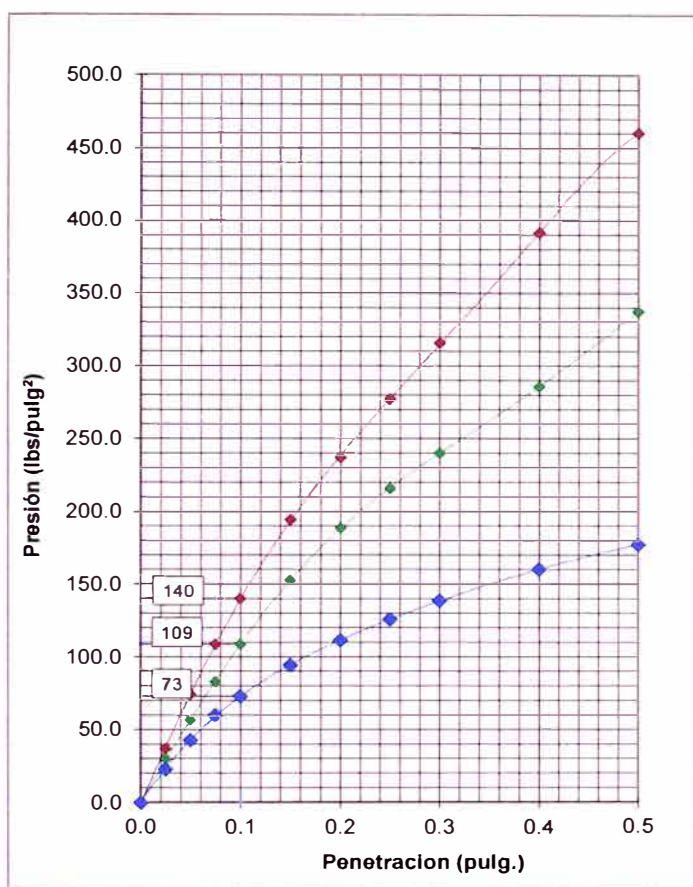
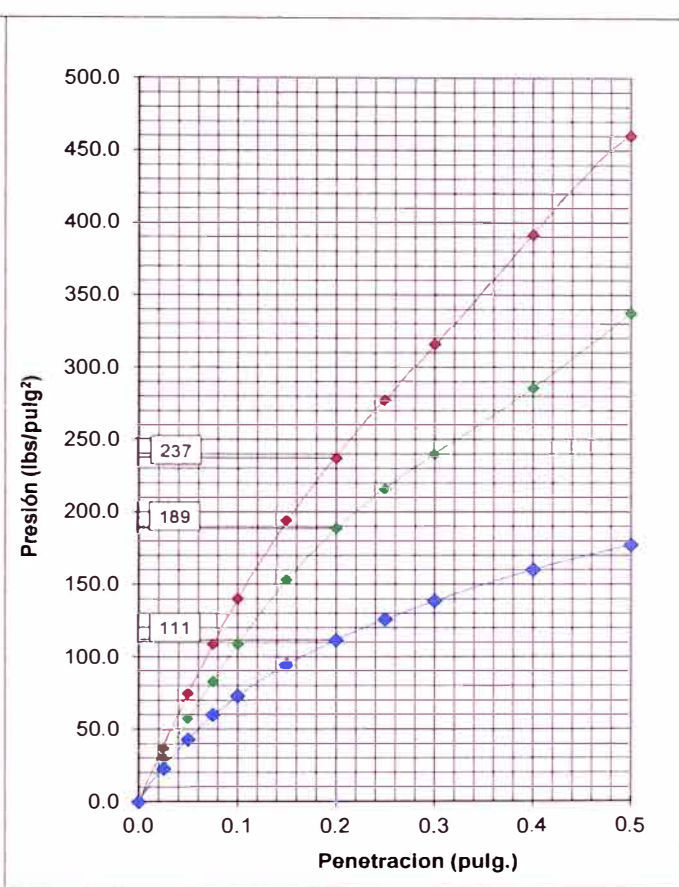


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 02-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m3
Solidry : 0.375 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.33
Altura	mm	:	159.25
Área	mm ²	:	4942.71
Volumen	mm ³	:	787125.95
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.177
Densidad seca	g/cm ³	:	1.921
Contenido de Humedad	%	:	13.35
L/D		:	2.01
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	560378.06
Grado de Saturación	%	:	89.00

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.82
Altura	mm	:	149.70
Área	mm ²	:	5258.20
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.177

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	290.41
Cohesión (kPa)	:	145.21
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	2.96

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

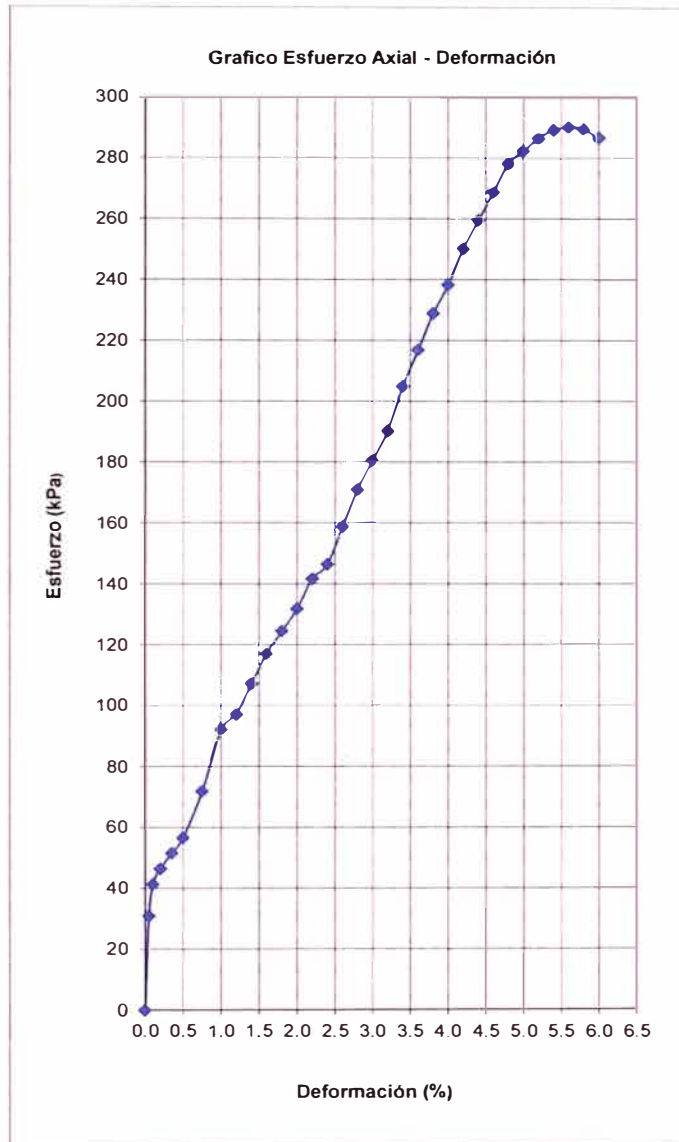
INFORME N° SSC29 - 02-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.33	
Área Inicial (mm ²)	:	4942.71	
Altura Inicial (mm)	:	159.25	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	4945.2	153.3	31.0
0.10	4947.7	204.4	41.3
0.20	4952.6	230.0	46.4
0.35	4960.1	255.6	51.5
0.50	4967.5	281.1	56.6
0.75	4980.1	357.8	71.8
1.00	4992.6	460.0	92.1
1.20	5002.7	485.6	97.1
1.40	5012.9	536.7	107.1
1.60	5023.1	587.8	117.0
1.80	5033.3	626.1	124.4
2.00	5043.6	664.5	131.7
2.20	5053.9	715.6	141.6
2.40	5064.2	741.1	146.3
2.60	5074.6	805.0	158.6
2.80	5085.1	868.9	170.9
3.00	5095.6	920.0	180.6
3.20	5106.1	971.1	190.2
3.40	5116.7	1047.8	204.8
3.60	5127.3	1111.7	216.8
3.80	5137.9	1175.6	228.8
4.00	5148.7	1226.7	238.3
4.20	5159.4	1290.6	250.1
4.40	5170.2	1341.7	259.5
4.60	5181.0	1392.8	268.8
4.80	5191.9	1443.9	278.1
5.00	5202.8	1469.5	282.4
5.20	5213.8	1495.0	286.7
5.40	5224.8	1512.9	289.6
5.60	5235.9	1520.6	290.4
5.80	5247.0	1520.6	289.8
6.00	5258.2	1507.8	286.8



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 02-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D2
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.375 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.05
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1539.6
Densidad Seca (g/cm³) : 1.921
Humedad de Compactación (%) : 13.35

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

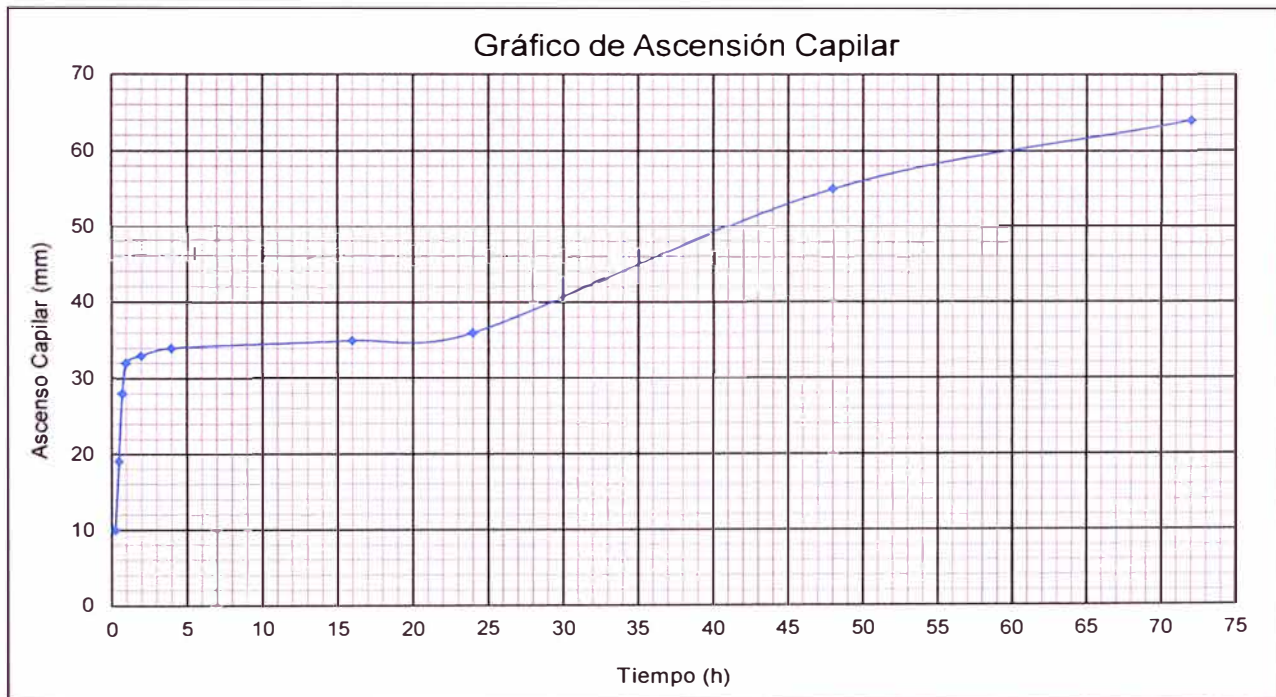
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 64
Diámetro Final (mm) : 81.4
Peso después de colocado en agua (g) : 1598.8
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1499.06

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 3.9
Expansión (%) : 6.0
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 22.6
Ascensión Capilar Final (%) : 40.3

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	19	28	32	33	34	35	36	55	64



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 03-1

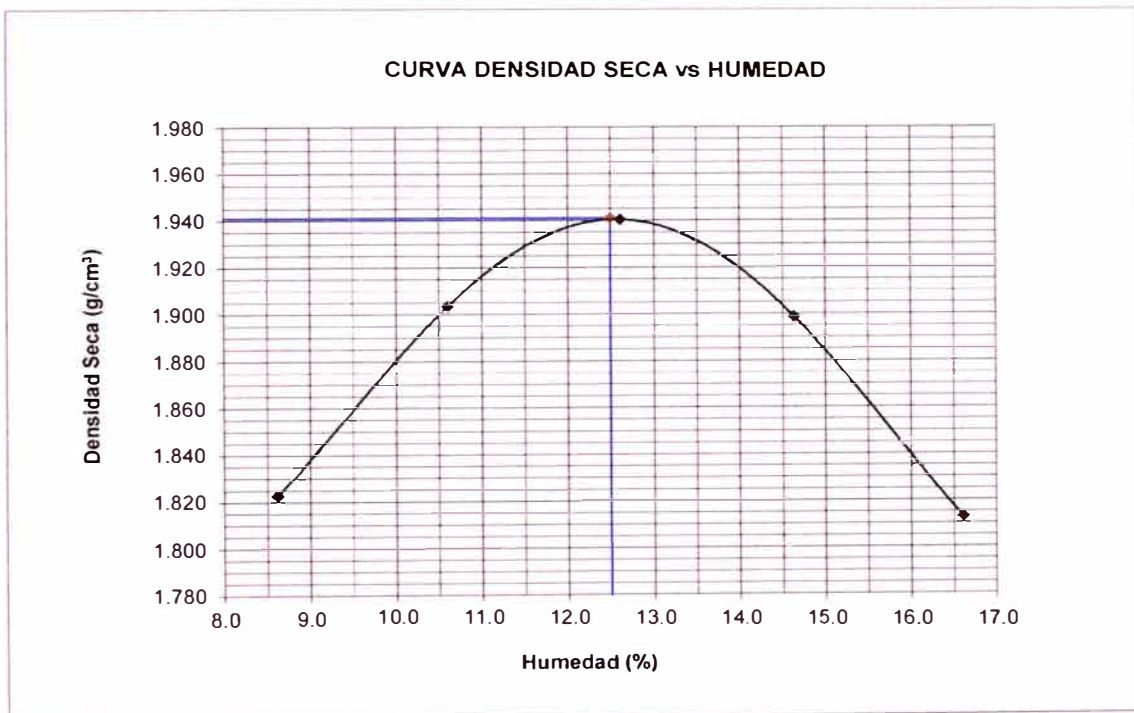
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.5



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 03-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.50

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.941	1.858	1.747
Contenido de Humedad	12.5	12.5	12.5

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	143	1000	14.3
II	0.1	109	1000	10.9
III	0.1	80	1000	8.0
I	0.2	243	1500	24.3
II	0.2	183	1500	18.3
III	0.2	117	1500	11.7

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1" 14.3% 0.2" 24.3%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 10.5% 17.4%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.6	0.8	1.0
Absorción de Agua (%)	0.7	1.2	2.2

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

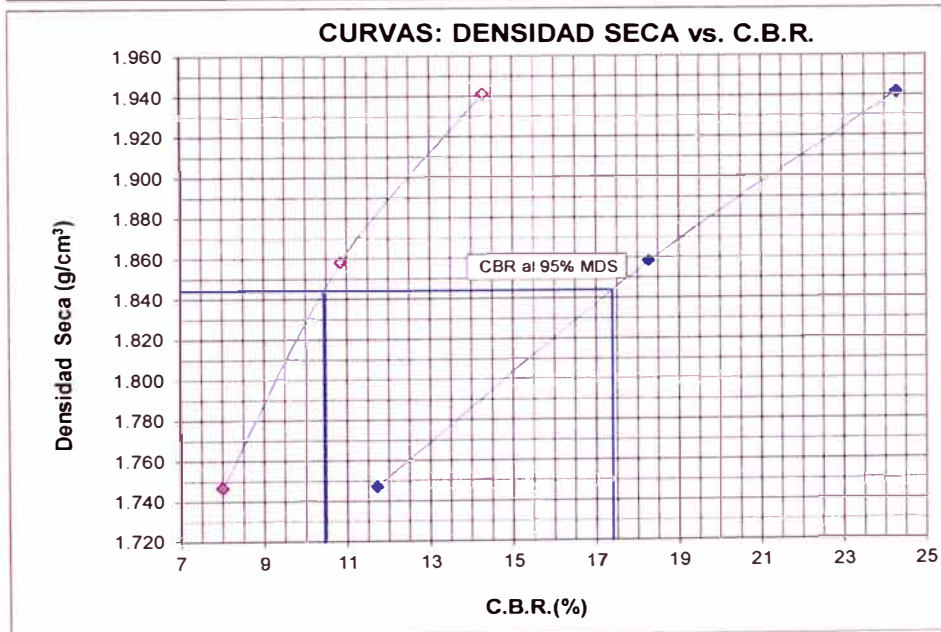
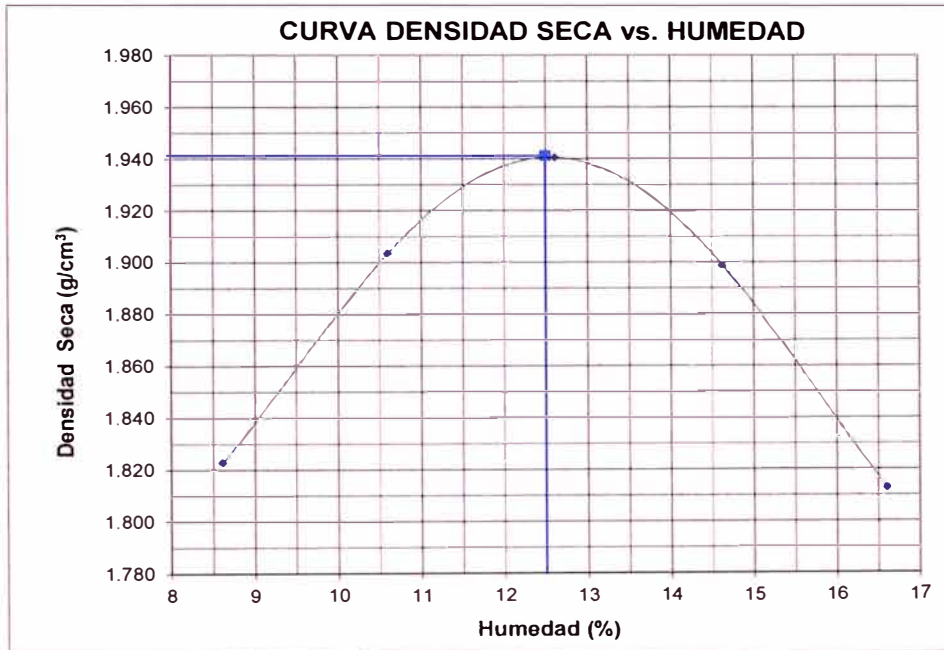
INFORME N° SSC29 - 03-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.941
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.50

Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.375 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 03-2

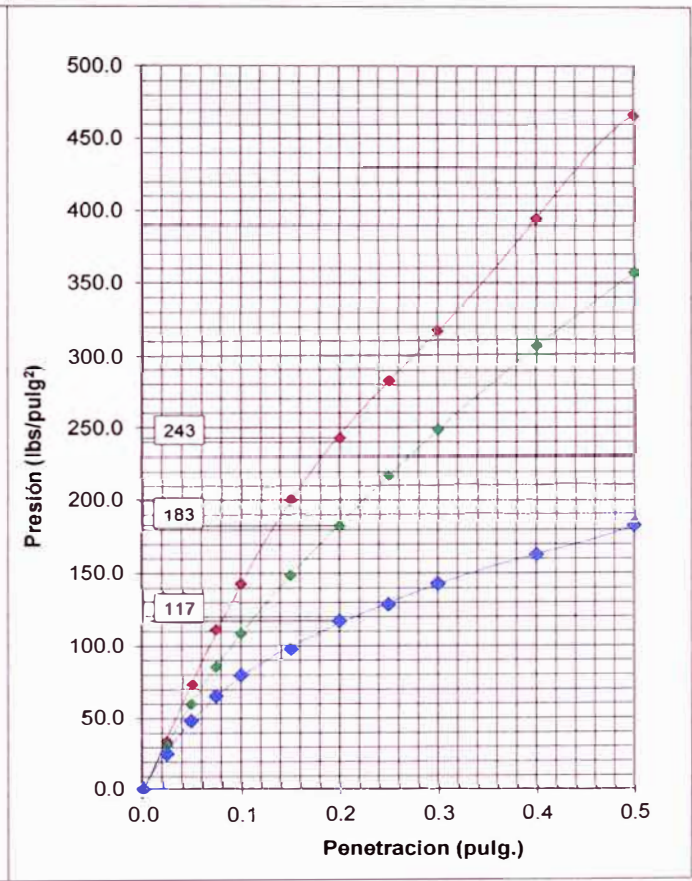
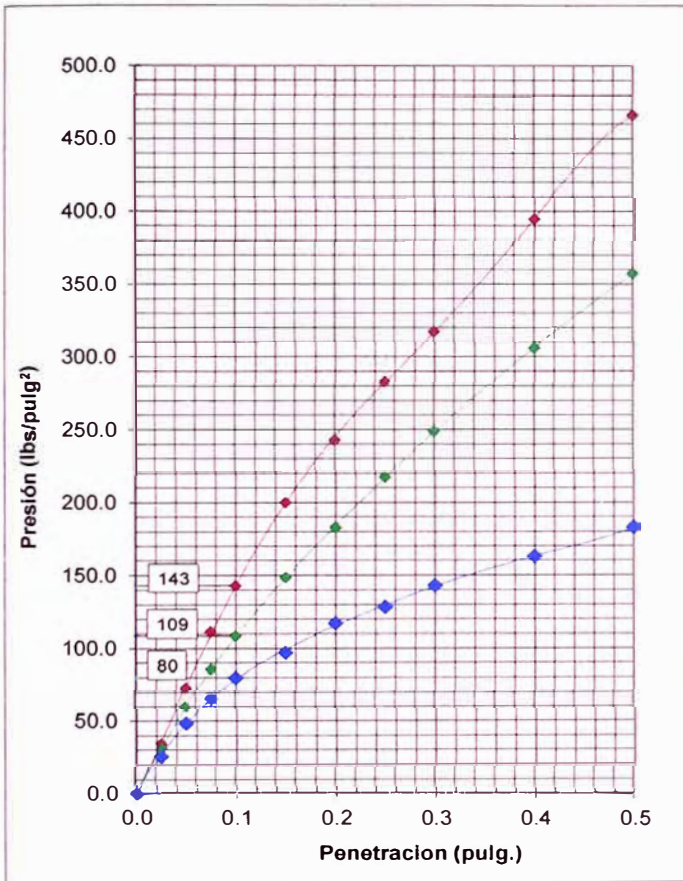
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D3
 Consolid 444 : 0.12 l/m³
 Solidry : 0.375 %

**GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"**

**GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"**



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 03-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m3
Solidry : 0.375 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.50
Altura	mm	:	159.88
Área	mm ²	:	4963.91
Volumen	mm ³	:	793630.37
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.184
Densidad seca	g/cm ³	:	1.941
Contenido de Humedad	%	:	12.50
L/D		:	2.01
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	570941.44
Grado de Saturación	%	:	86.44

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.31
Altura	mm	:	152.85
Área	mm ²	:	5192.38
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.184

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	487.84
Cohesión (kPa)	:	243.92
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	4.97

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

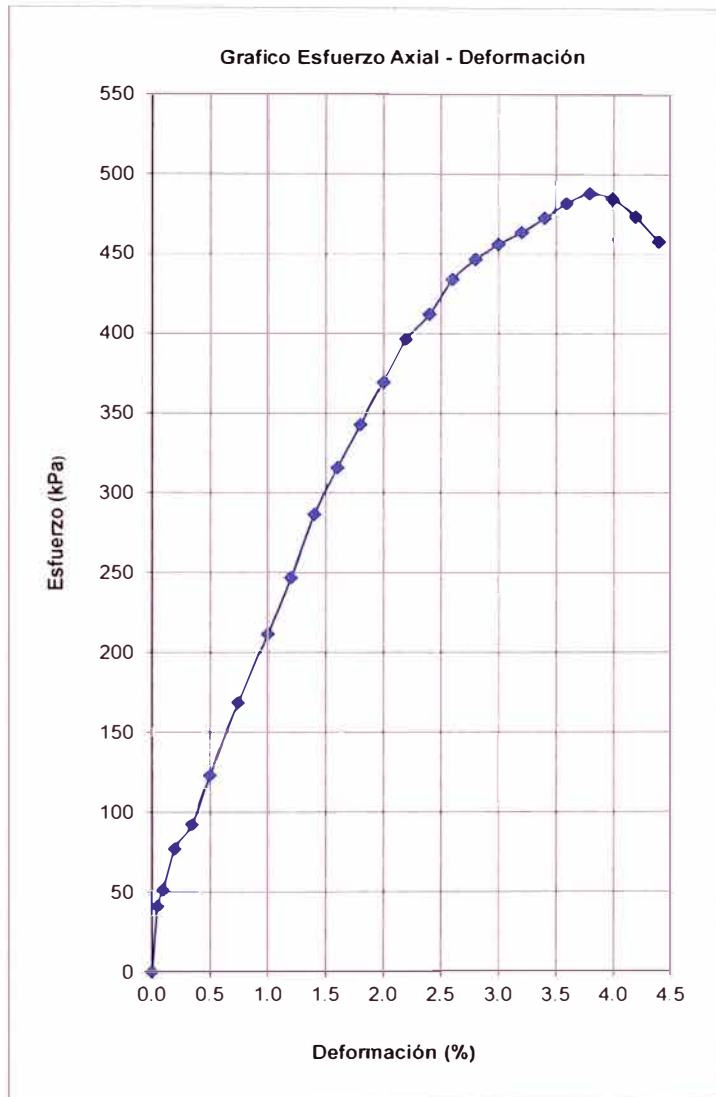
INFORME N° SSC29 - 03-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m3
Solidry : 0.375 %

Espécimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.50	
Área Inicial (mm ²)	:	4963.91	
Altura Inicial (mm)	:	159.88	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	4966.4	204.4	41.2
0.10	4968.9	255.6	51.4
0.20	4973.9	383.3	77.1
0.35	4981.3	460.0	92.3
0.50	4988.9	613.3	122.9
0.75	5001.4	843.3	168.6
1.00	5014.1	1060.6	211.5
1.20	5024.2	1239.5	246.7
1.40	5034.4	1441.4	286.3
1.60	5044.6	1592.1	315.6
1.80	5054.9	1732.7	342.8
2.00	5065.2	1870.7	369.3
2.20	5075.6	2011.3	396.3
2.40	5086.0	2095.6	412.0
2.60	5096.4	2210.6	433.8
2.80	5106.9	2279.6	446.4
3.00	5117.4	2333.3	455.9
3.20	5128.0	2376.7	463.5
3.40	5138.6	2427.8	472.5
3.60	5149.3	2478.9	481.4
3.80	5160.0	2517.3	487.8
4.00	5170.7	2504.5	484.4
4.20	5181.5	2453.4	473.5
4.40	5192.4	2376.7	457.7



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 03-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D3
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.375 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 78.7
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1574
Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Humedad de Compactación (%) : 12.5

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

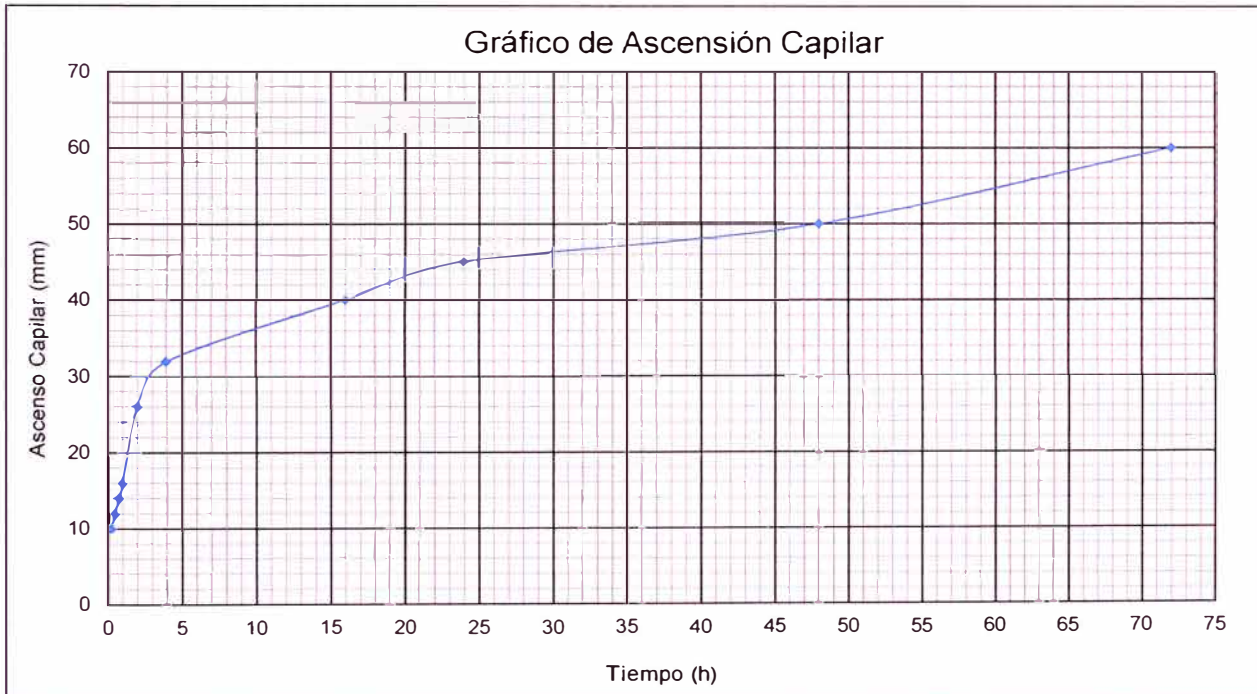
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 60
Diámetro Final (mm) : 81.55
Peso después de colocado en agua (g) : 1617.7
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1501.28

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 2.9
Expansión (%) : 7.4
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 28.3
Ascensión Capilar Final (%) : 37.7

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	12	14	16	26	32	40	45	50	60



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 04-1

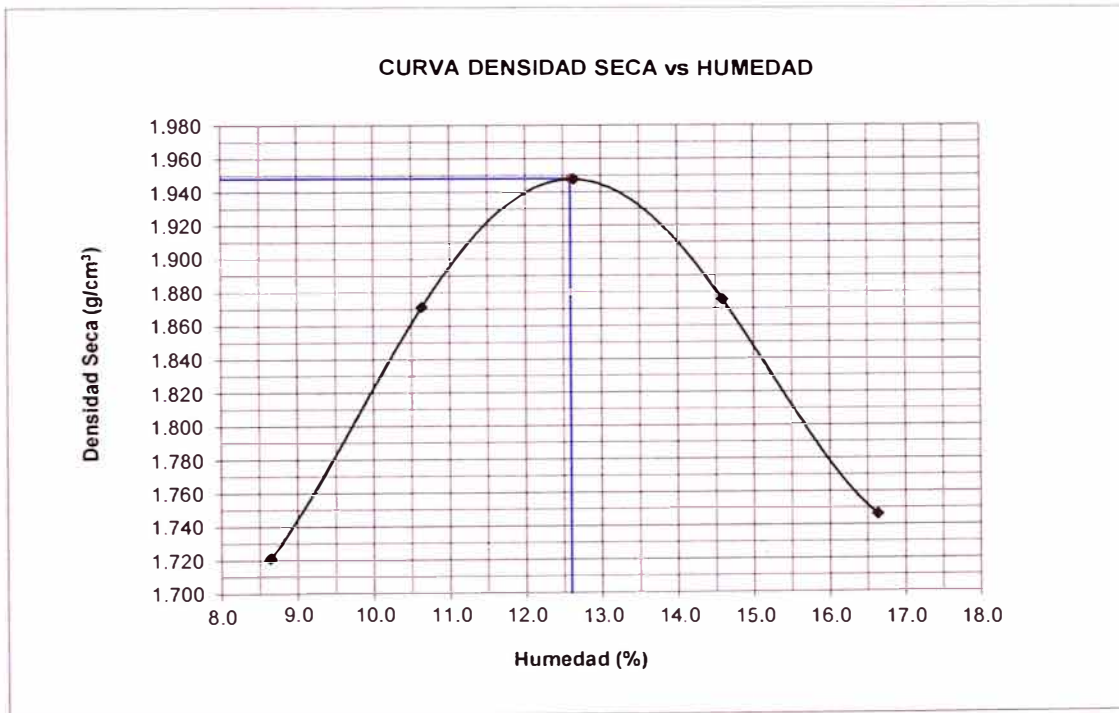
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.60



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SSC29 - 04-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.60

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.948	1.857	1.736
Contenido de Humedad	12.6	12.6	12.6

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	229	1000	22.9
II	0.1	152	1000	15.2
III	0.1	39	1000	3.9
I	0.2	346	1500	34.6
II	0.2	240	1500	24.0
III	0.2	66	1500	6.6

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 22.9% 0.1" 0.2" 34.6%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 14.6% 23.2%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.6	0.7	0.8
Absorción de Agua (%)	0.8	1.3	2.1

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

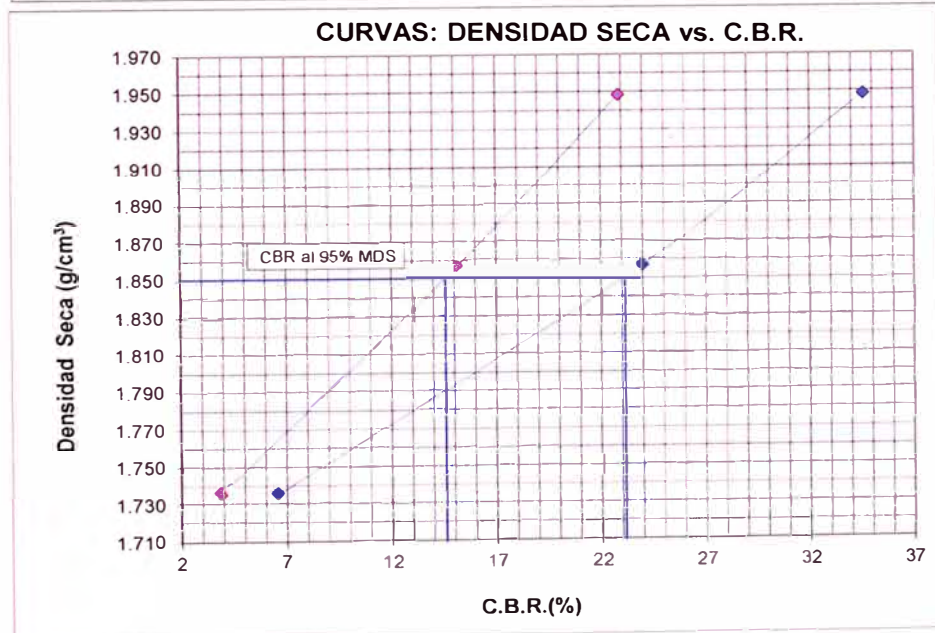
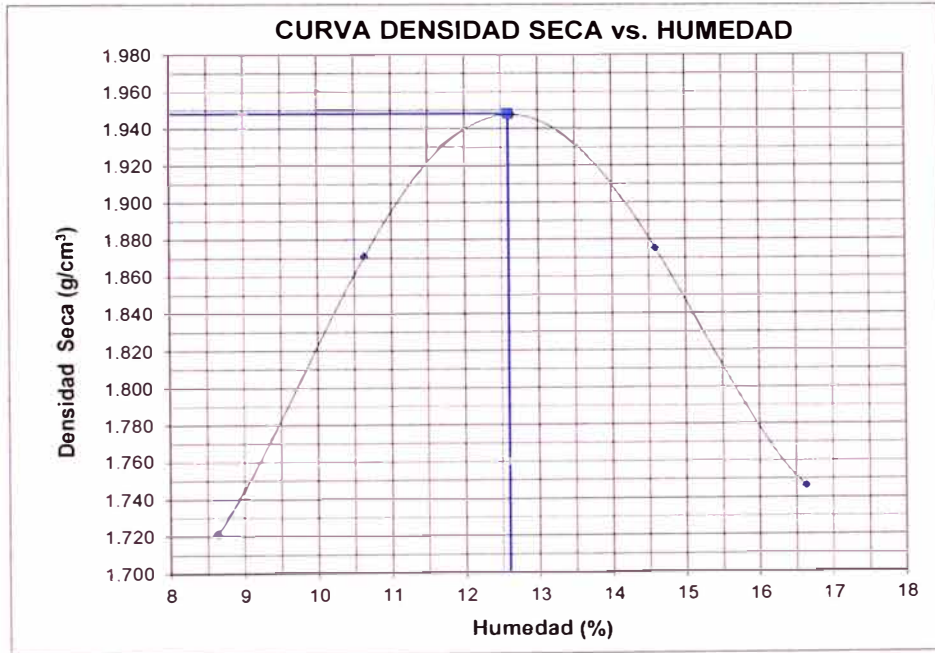
INFORME N° SSC29 - 04-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.948
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.60

Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 04-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

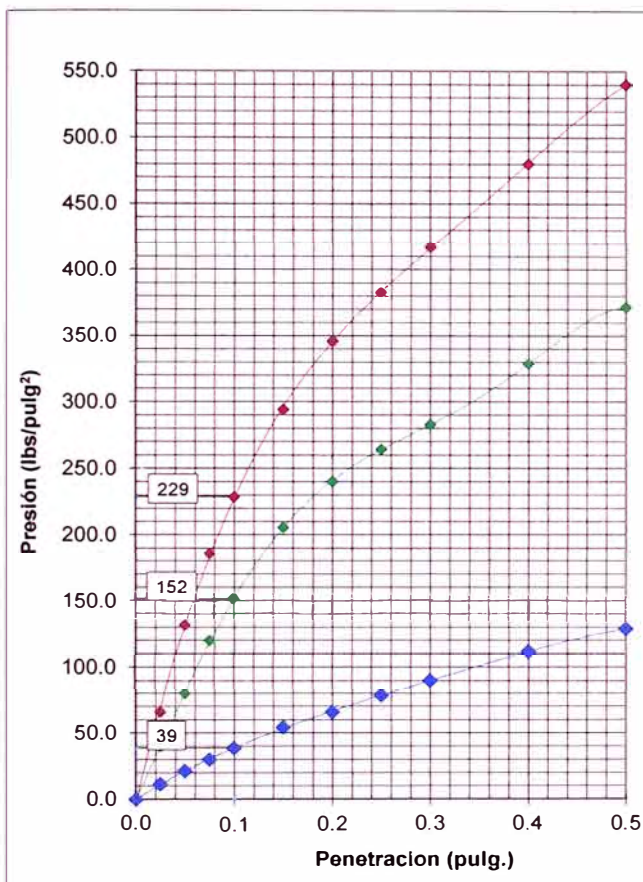
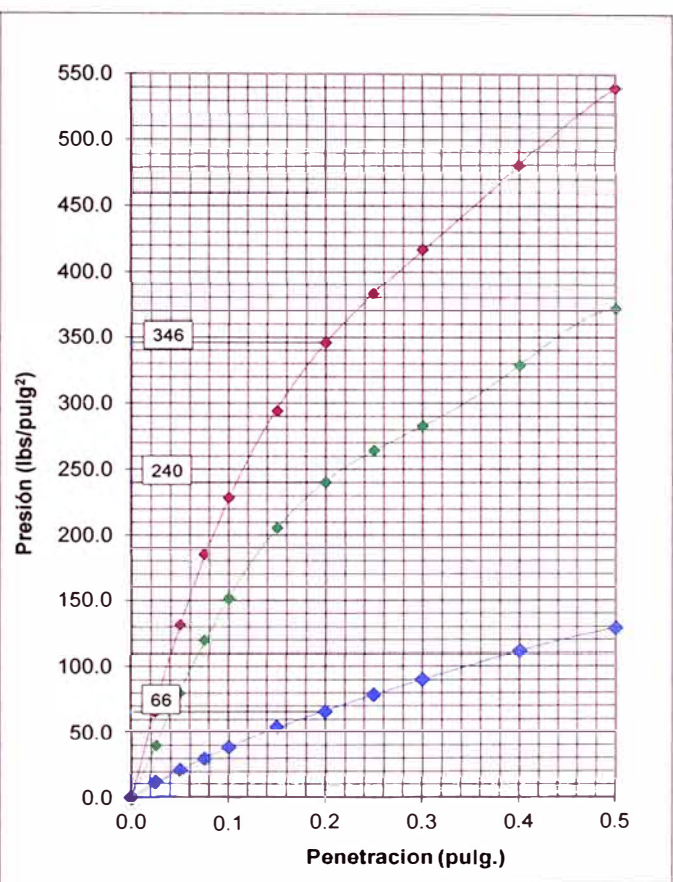


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 04-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.90
Altura	mm	:	159.63
Área	mm ²	:	5013.99
Volumen	mm ³	:	800383.18
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.193
Densidad seca	g/cm ³	:	1.948
Contenido de Humedad	%	:	12.60
L/D		:	2.00
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	577872.50
Grado de Saturación	%	:	88.27

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.72
Altura	mm	:	152.61
Área	mm ²	:	5244.76
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.193

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	467.25
Cohesión (kPa)	:	233.63
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	4.76

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

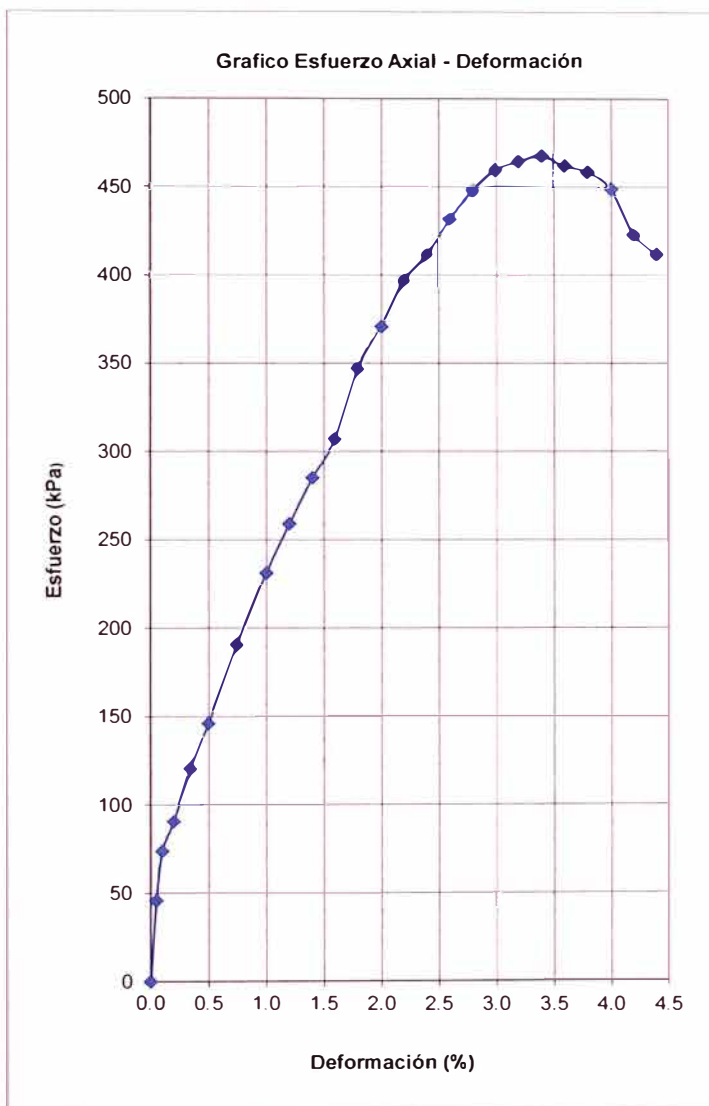
INFORME N° SSC29 - 04-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.90	
Área Inicial (mm ²)	:	5013.99	
Altura Inicial (mm)	:	159.63	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5016.5	230.0	45.8
0.10	5019.0	370.6	73.8
0.20	5024.0	454.9	90.5
0.35	5031.6	605.7	120.4
0.50	5039.2	736.0	146.1
0.75	5051.9	963.5	190.7
1.00	5064.6	1170.5	231.1
1.20	5074.9	1313.6	258.8
1.40	5085.2	1449.0	285.0
1.60	5095.5	1564.0	306.9
1.80	5105.9	1771.0	346.9
2.00	5116.3	1896.3	370.6
2.20	5126.8	2034.3	396.8
2.40	5137.3	2113.5	411.4
2.60	5147.8	2223.4	431.9
2.80	5158.4	2310.3	447.9
3.00	5169.1	2374.2	459.3
3.20	5179.7	2404.8	464.3
3.40	5190.5	2425.3	467.3
3.60	5201.2	2402.3	461.9
3.80	5212.0	2389.5	458.5
4.00	5222.9	2343.5	448.7
4.20	5233.8	2213.1	422.9
4.40	5244.8	2159.5	411.7



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 04-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D4
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.375 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1543
Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
Humedad de Compactación (%) : 12.6

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

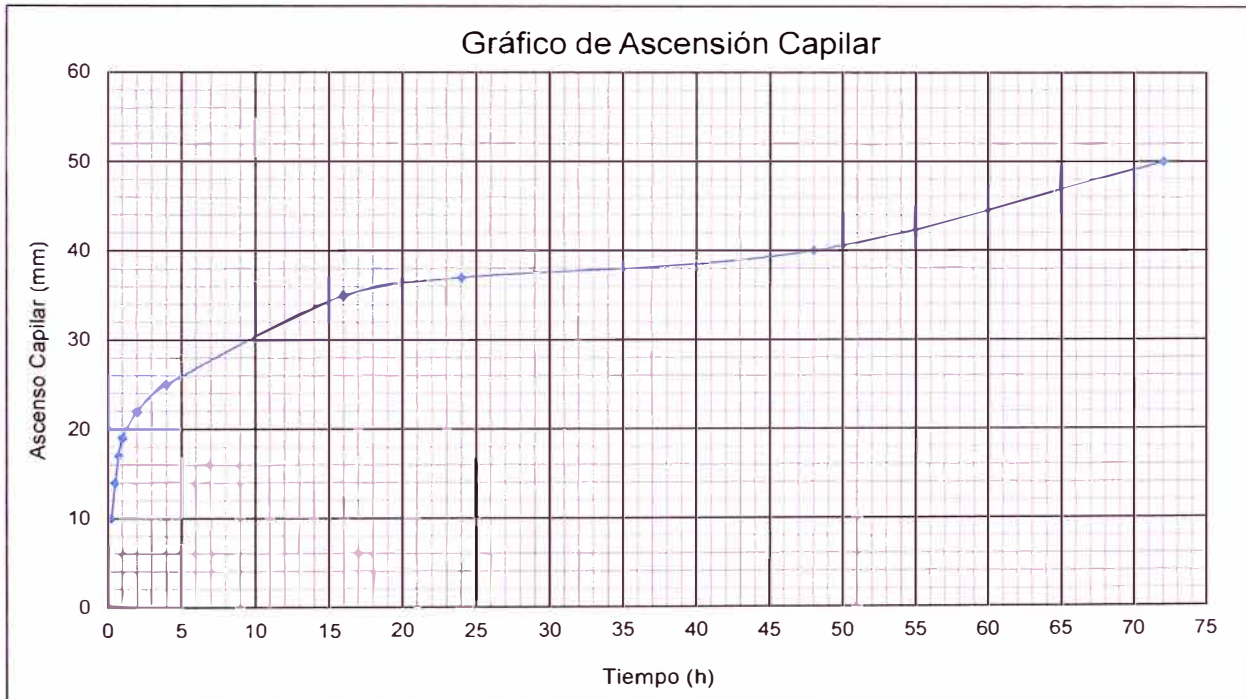
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 50
Diámetro Final (mm) : 80.2
Peso después de colocado en agua (g) : 1563.1
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1518.2

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 1.3
Expansión (%) : 3.1
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 23.3
Ascensión Capilar Final (%) : 31.4

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	14	17	19	22	25	35	37	40	50



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 05-1

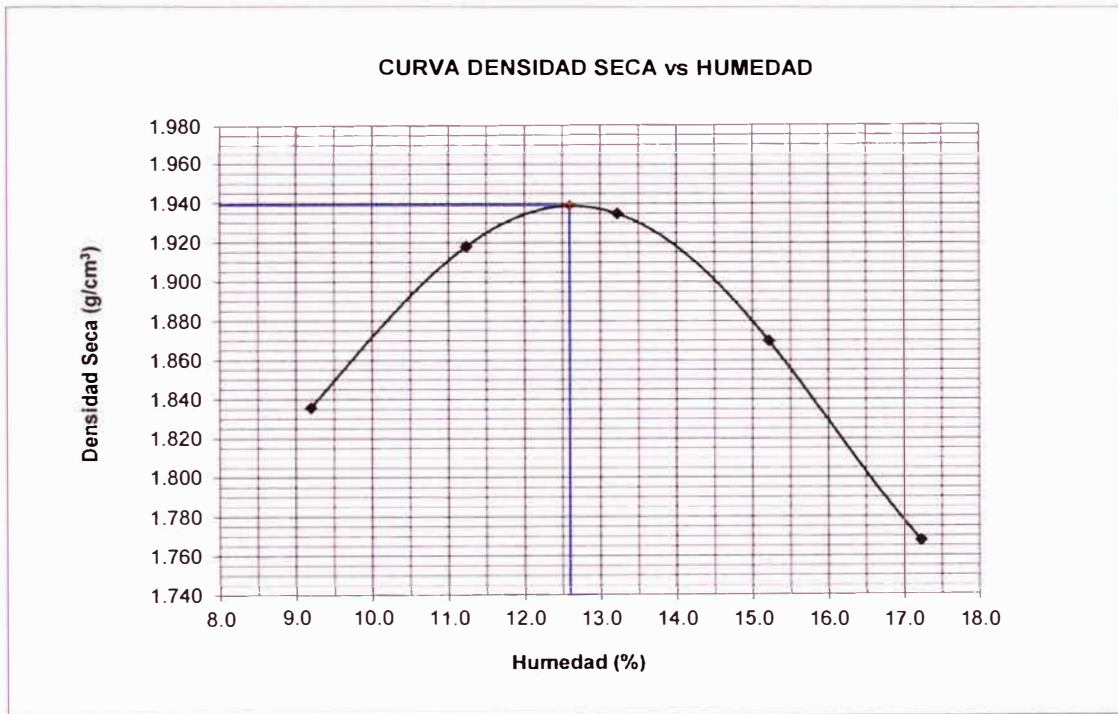
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.60



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 05-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.60

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.939	1.821	1.716
Contenido de Humedad	12.6	12.6	12.6

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	523	1000	52.3
II	0.1	363	1000	36.3
III	0.1	129	1000	12.9
I	0.2	657	1500	65.7
II	0.2	463	1500	46.3
III	0.2	177	1500	17.7

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 52.3% 0.1" 65.7%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 39.8% 0.2" 50.5%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.2	0.3	0.7
Absorción de Agua (%)	0.8	1.5	2.0

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

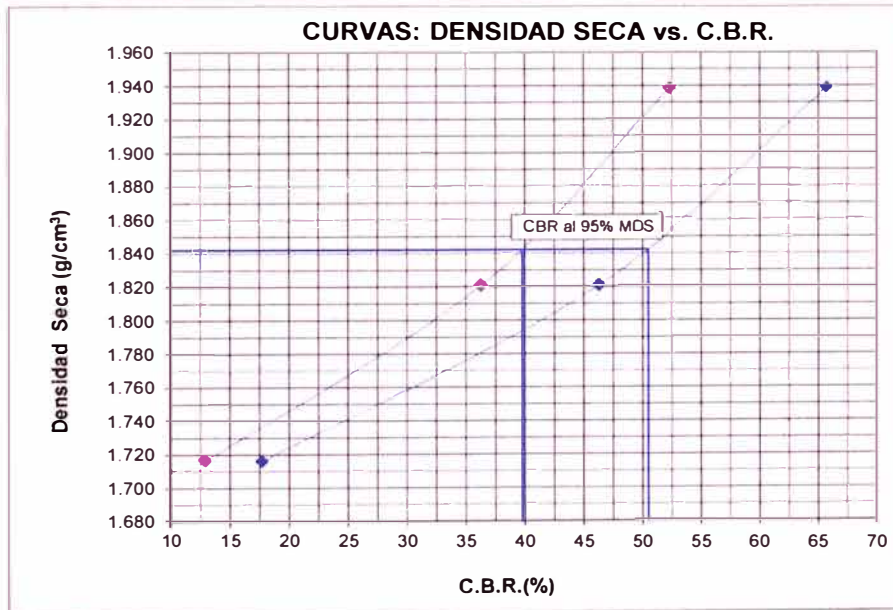
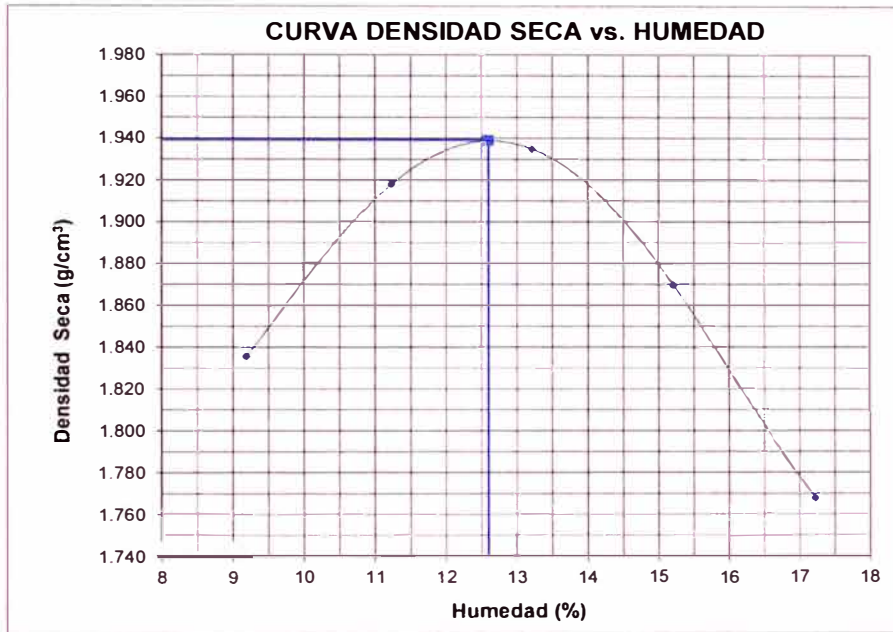
INFORME N° SSC29 - 05-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.939
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.6

Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 05-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

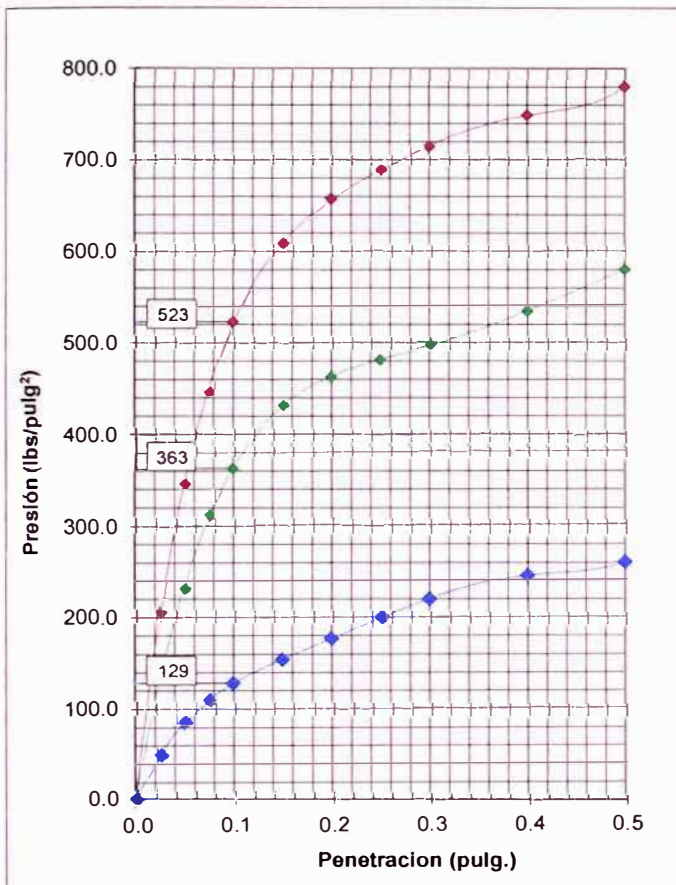
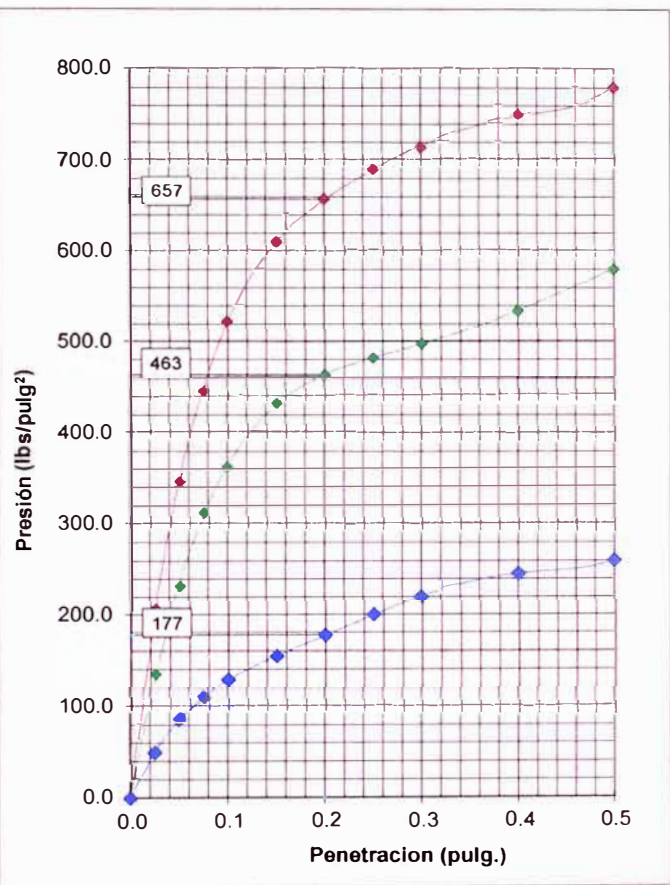


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 05-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 0.75 %

Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.23
Altura	mm	:	159.63
Área	mm ²	:	5055.49
Volumen	mm ³	:	807008.26
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.183
Densidad seca	g/cm ³	:	1.939
Contenido de Humedad	%	:	12.60
L/D		:	1.99
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	579873.98
Grado de Saturación	%	:	86.82

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.55
Altura	mm	:	154.52
Área	mm ²	:	5222.62
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.183

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	520.84
Cohesión (kPa)	:	260.42
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	5.31

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

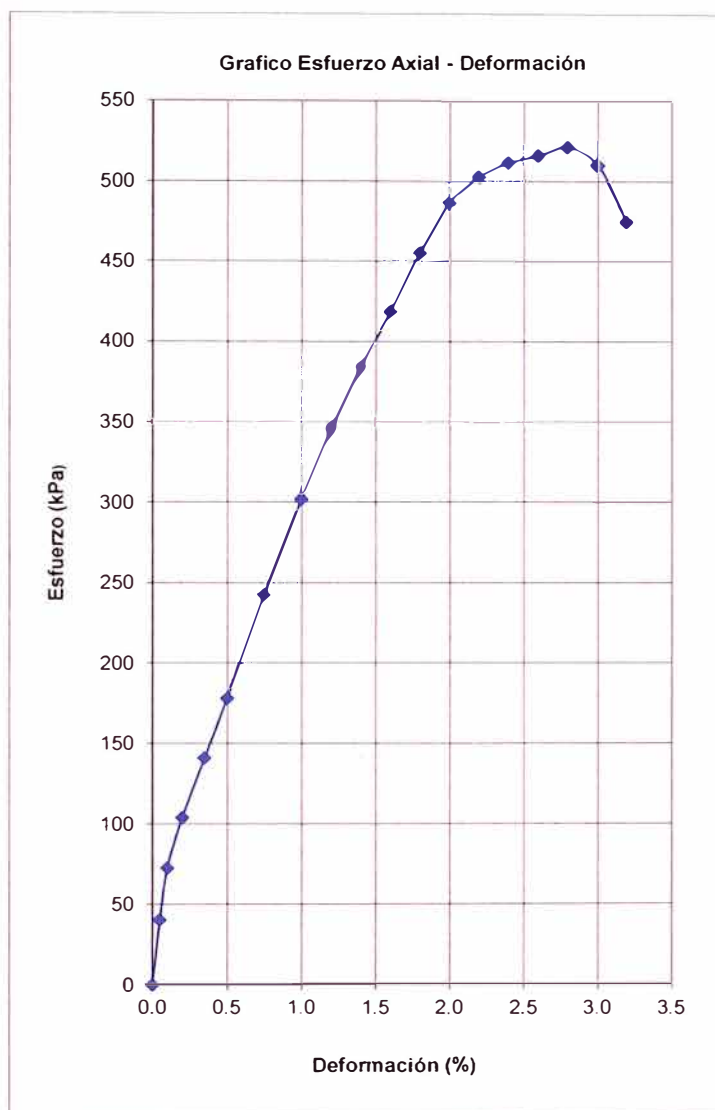
INFORME N° SSC29 - 05-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.23	
Área Inicial (mm ²)	:	5055.49	
Altura Inicial (mm)	:	159.63	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5058.0	204.4	40.4
0.10	5060.6	368.0	72.7
0.20	5065.6	526.5	103.9
0.35	5073.2	715.6	141.0
0.50	5080.9	904.7	178.1
0.75	5093.7	1234.4	242.3
1.00	5106.6	1541.0	301.8
1.20	5116.9	1768.5	345.6
1.40	5127.3	1970.4	384.3
1.60	5137.7	2149.3	418.3
1.80	5148.2	2343.5	455.2
2.00	5158.7	2509.6	486.5
2.20	5169.2	2596.5	502.3
2.40	5179.8	2647.6	511.1
2.60	5190.4	2675.7	515.5
2.80	5201.1	2708.9	520.8
3.00	5211.8	2657.8	510.0
3.20	5222.6	2478.9	474.7



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 05-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D5
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 0.75 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 78.3
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1557.2
Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Humedad de Compactación (%) : 12.6

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

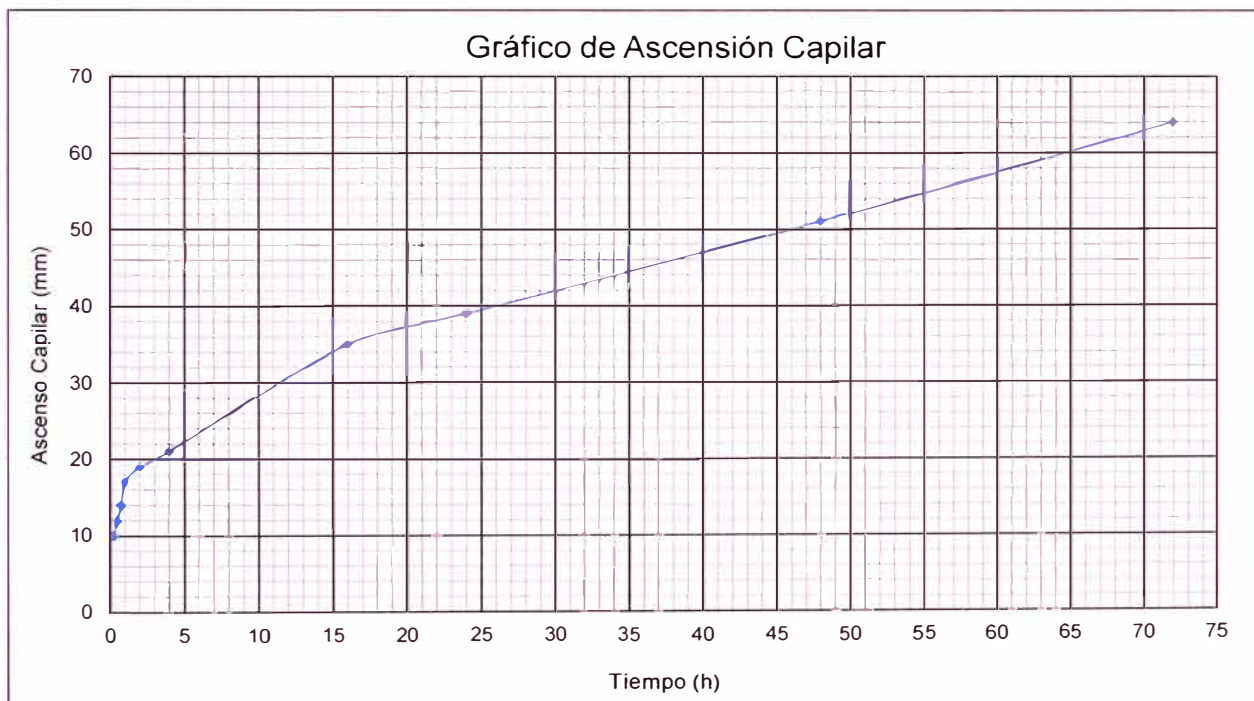
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 64
Diámetro Final (mm) : 81.95
Peso después de colocado en agua (g) : 1618.9
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1484.53

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 4.2
Expansión (%) : 9.5
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 24.5
Ascensión Capilar Final (%) : 40.3

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	12	14	17	19	21	35	39	51	64



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SSC29 - 06-1

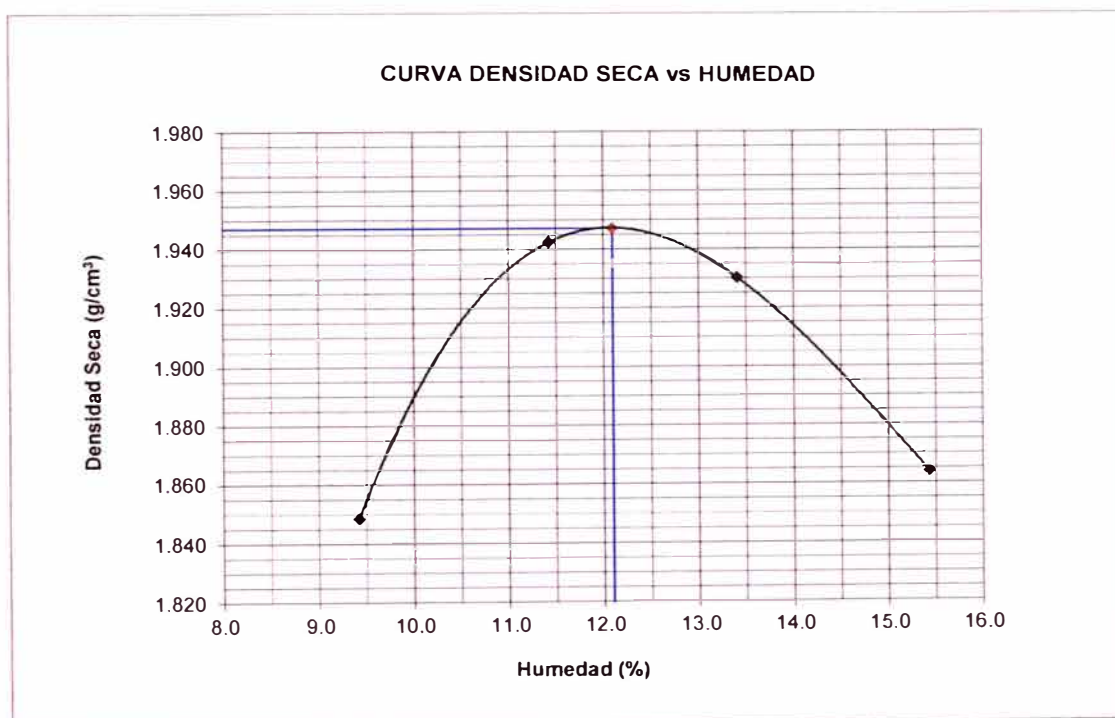
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.1



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 06-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D6
 Consolid 444 : 0.08 l/m³
 Solidry : 0.75 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.10

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.947	1.819	1.678
Contenido de Humedad	12.1	12.1	12.1

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	575	1000	57.5
II	0.1	269	1000	26.9
III	0.1	74	1000	7.4
I	0.2	686	1500	68.6
II	0.2	352	1500	35.2
III	0.2	111	1500	11.1

	0.1"	0.2"
C.B.R. al 100% de la M.D.S.	57.5%	68.6%
C.B.R. al 95% de la M.D.S.	33.2%	42.4%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.4	0.6	0.7
Absorción de Agua (%)	1.0	1.9	2.7

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

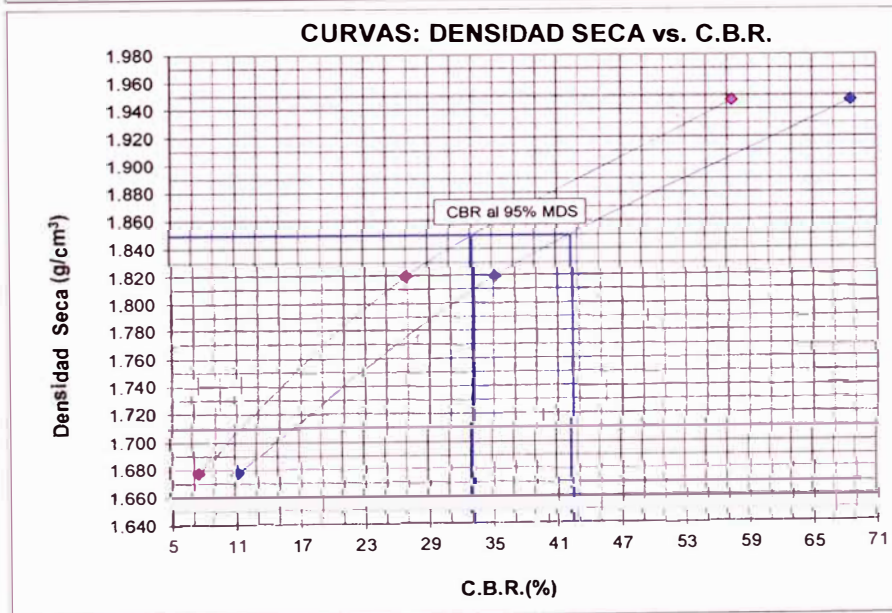
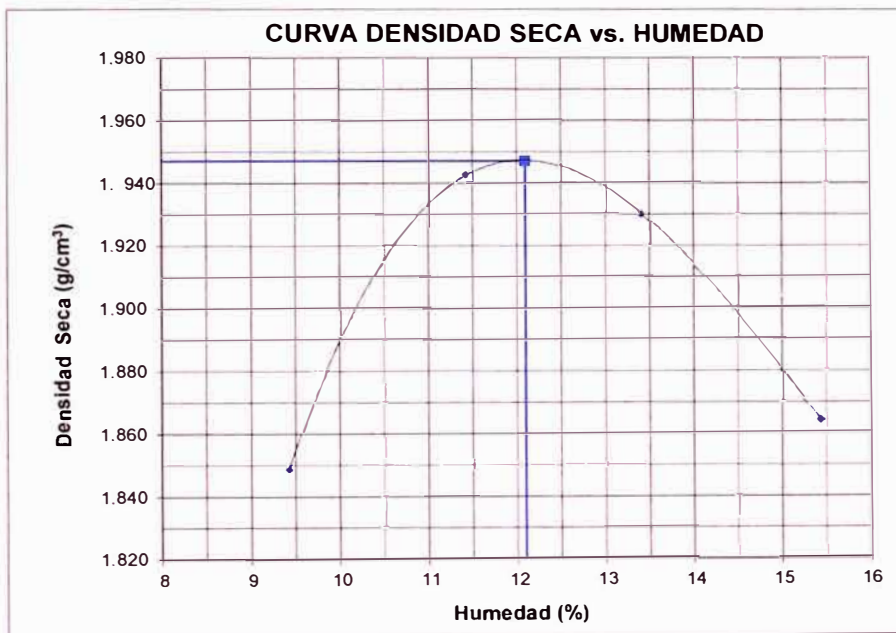
INFORME N° SSC29 - 06-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.947
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.10

Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.75 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 06-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.75 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

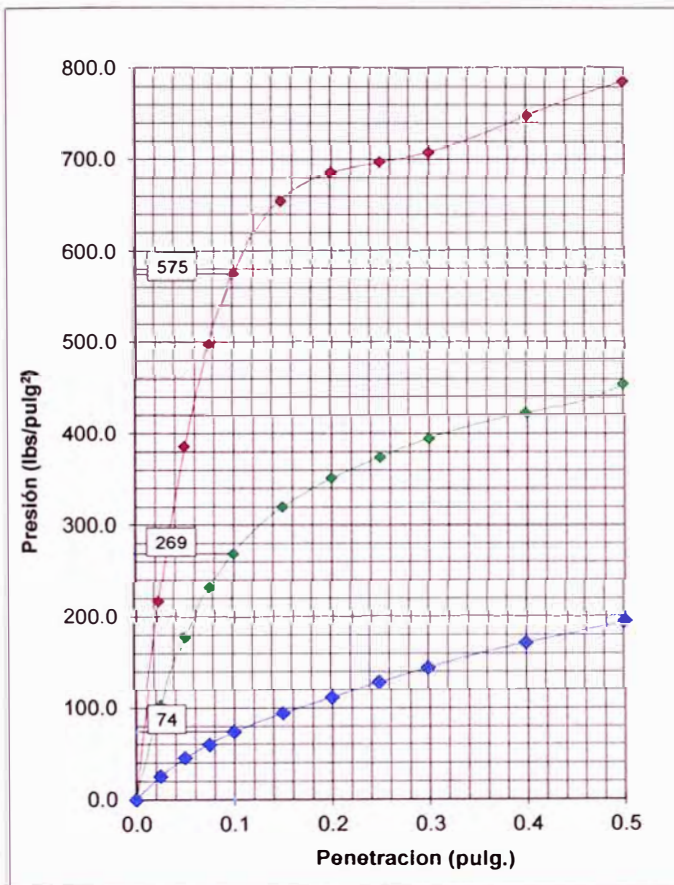
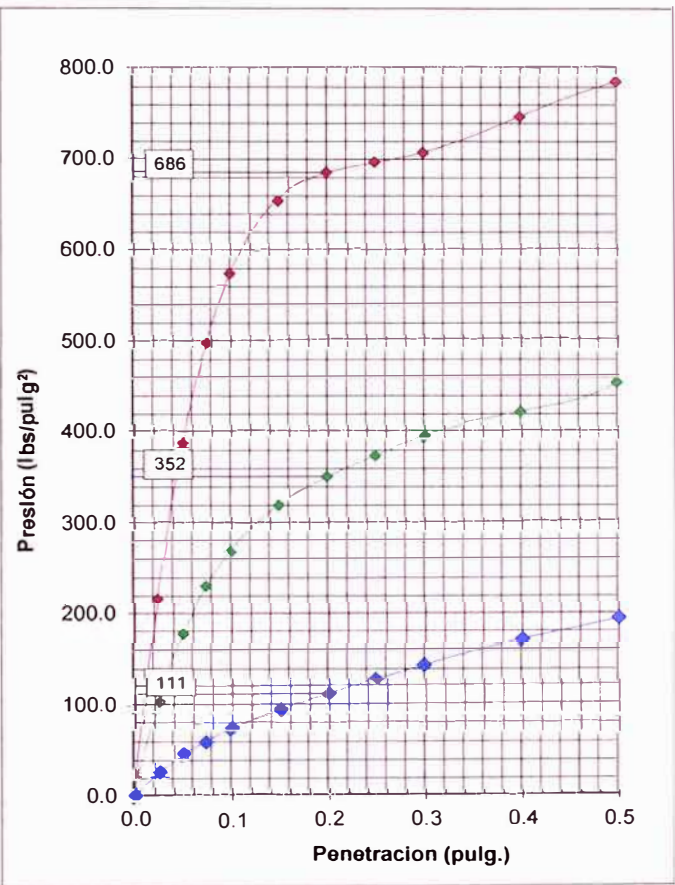


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 06-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m3
Solidry : 0.75 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro mm : 79.98
Altura mm : 159.63
Área mm² : 5024.04
Volumen mm³ : 801986.75
Densidad Húmeda g/cm³ : 2.182
Densidad seca g/cm³ : 1.947
Contenido de Humedad % : 12.10
L/D : 2.00
Peso Relativo de Sólidos : 2.70
Volumen de Sólidos mm³ : 578650.85
Grado de Saturación % : 84.58

Condiciones Finales

Diámetro mm : 81.21
Altura mm : 154.84
Área mm² : 5179.42
Densidad Húmeda g/cm³ : 2.182

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa) : 583.55
Cohesión (kPa) : 291.77
Resistencia a la Compresión (kg/cm²) : **5.95**

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

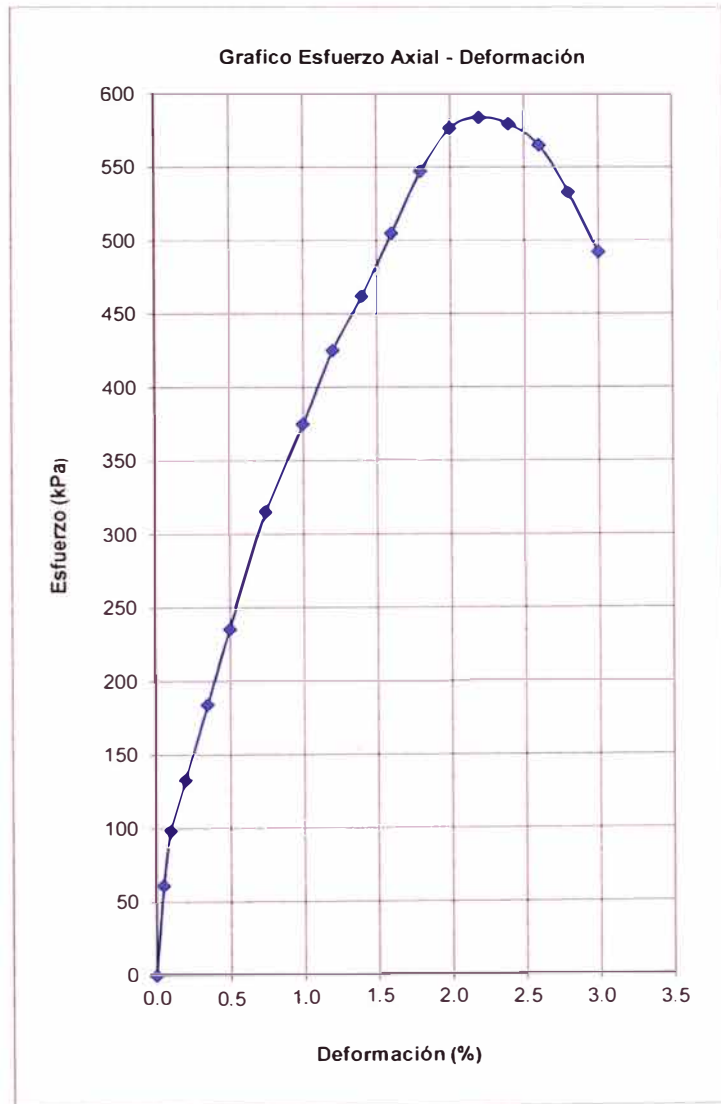
INFORME N° SSC29 - 06-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m3
Solidry : 0.75 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.98	
Área Inicial (mm ²)	:	5024.04	
Altura Inicial (mm)	:	159.63	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5026.5	306.7	61.0
0.10	5029.1	493.2	98.1
0.20	5034.1	667.0	132.5
0.35	5041.7	927.7	184.0
0.50	5049.3	1188.4	235.4
0.75	5062.0	1594.7	315.0
1.00	5074.8	1901.4	374.7
1.20	5085.1	2159.5	424.7
1.40	5095.4	2353.7	461.9
1.60	5105.7	2576.0	504.5
1.80	5116.1	2798.4	547.0
2.00	5126.6	2954.3	576.3
2.20	5137.1	2997.7	583.5
2.40	5147.6	2982.4	579.4
2.60	5158.1	2913.4	564.8
2.80	5168.8	2754.9	533.0
3.00	5179.4	2547.9	491.9



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 06-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.75 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 78.95
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1566.4
Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
Humedad de Compactación (%) : 12.1

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

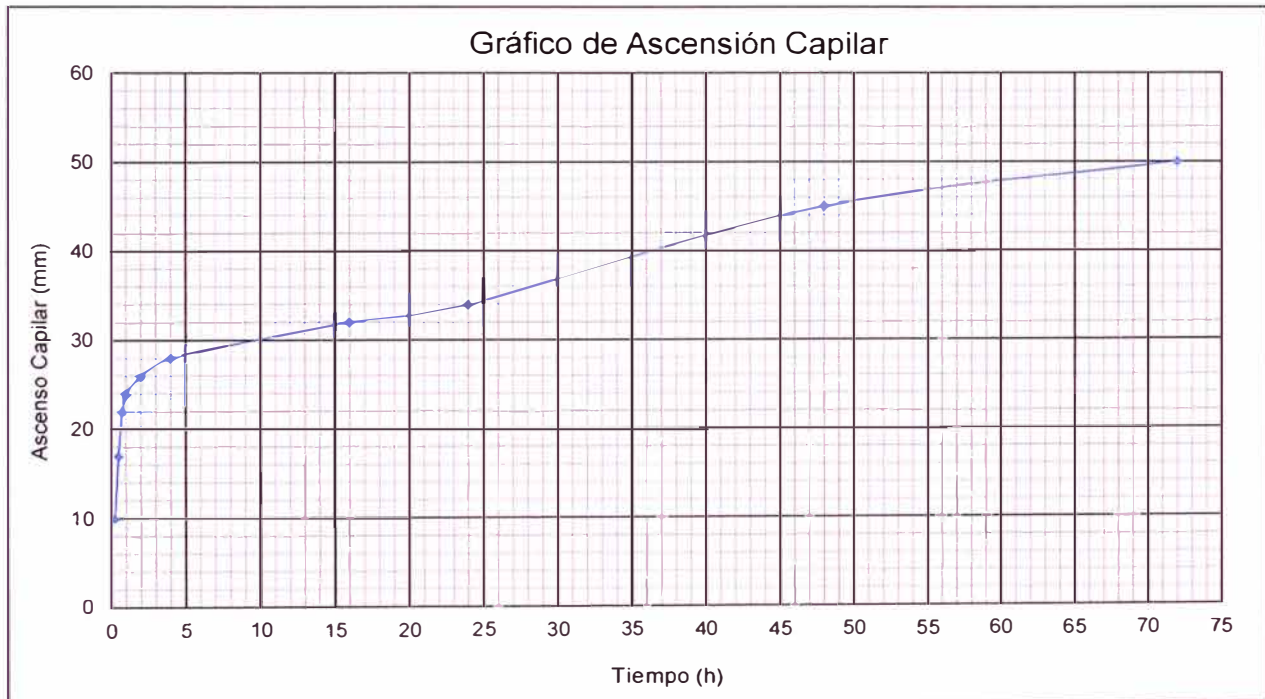
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 50
Diámetro Final (mm) : 81.05
Peso después de colocado en agua (g) : 1608.1
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1515.5

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 2.8
Expansión (%) : 5.4
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 21.4
Ascensión Capilar Final (%) : 31.4

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	17	22	24	26	28	32	34	45	50



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

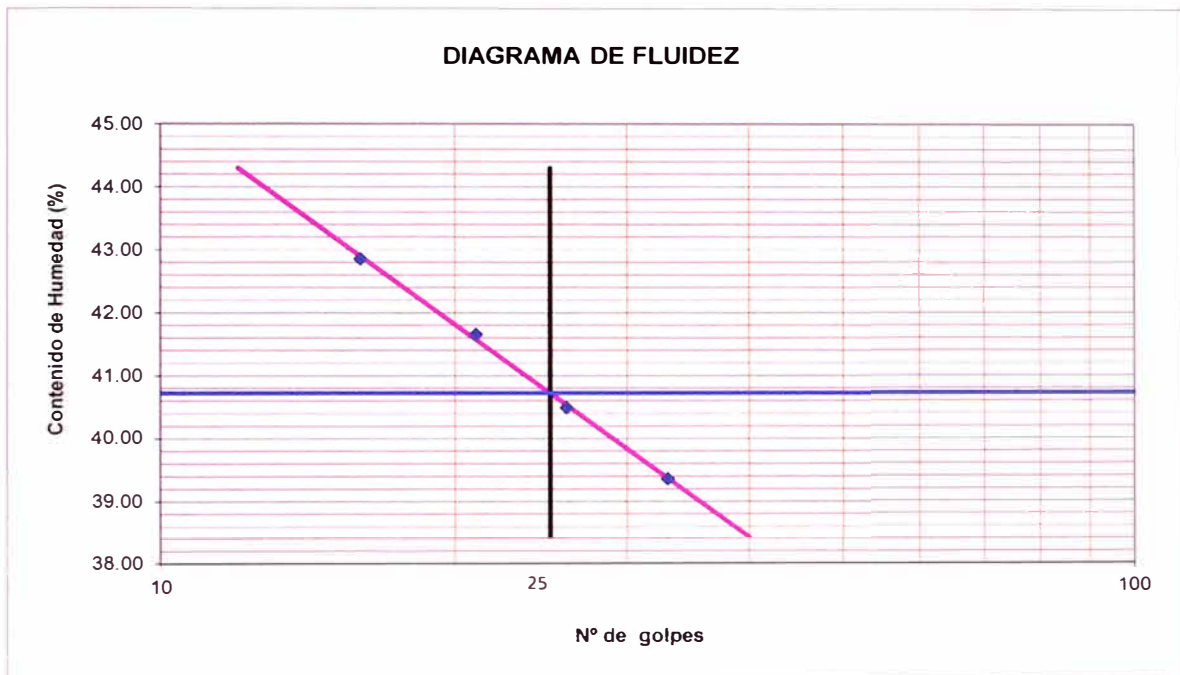
INFORME N° SSC29 - 06-5

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D6
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%)	:	40.7
LÍMITE PLÁSTICO (%)	:	20.9
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	:	19.8

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 07-1

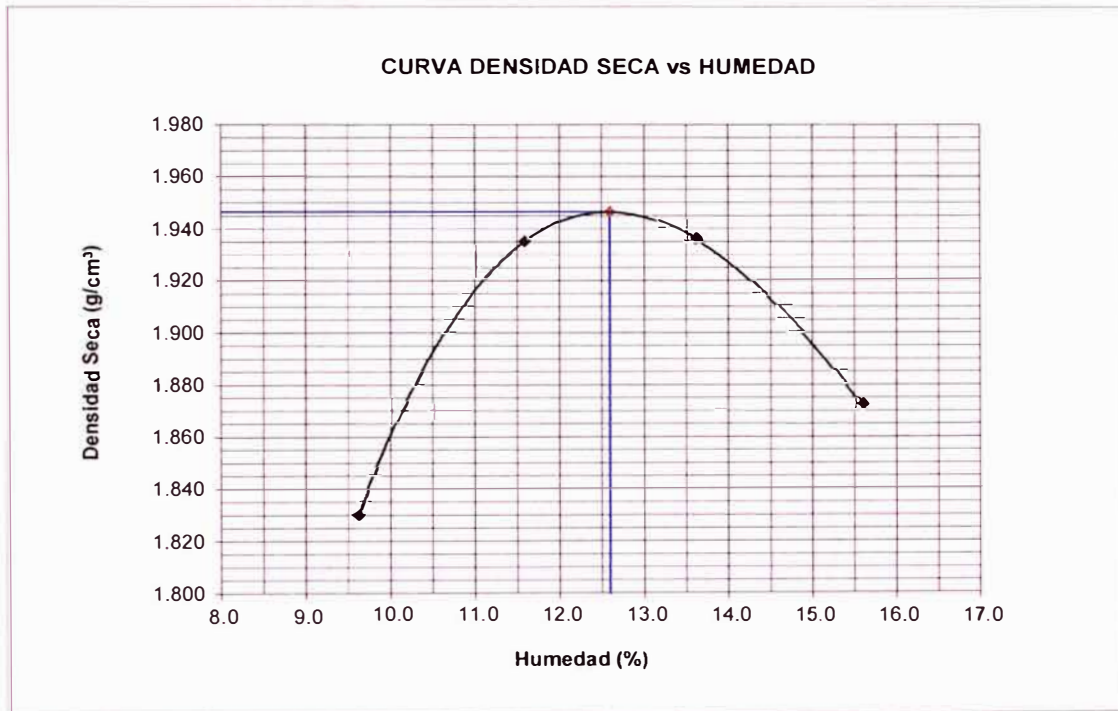
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.6



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 07-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.60

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.947	1.805	1.724
Contenido de Humedad	12.6	12.6	12.6

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	537	1000	53.7
II	0.1	214	1000	21.4
III	0.1	157	1000	15.7
I	0.2	683	1500	68.3
II	0.2	320	1500	32.0
III	0.2	206	1500	20.6

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 53.7% 68.3%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 30.5% 42.5%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.4	0.4	0.5
Absorción de Agua (%)	0.8	1.5	2.1

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

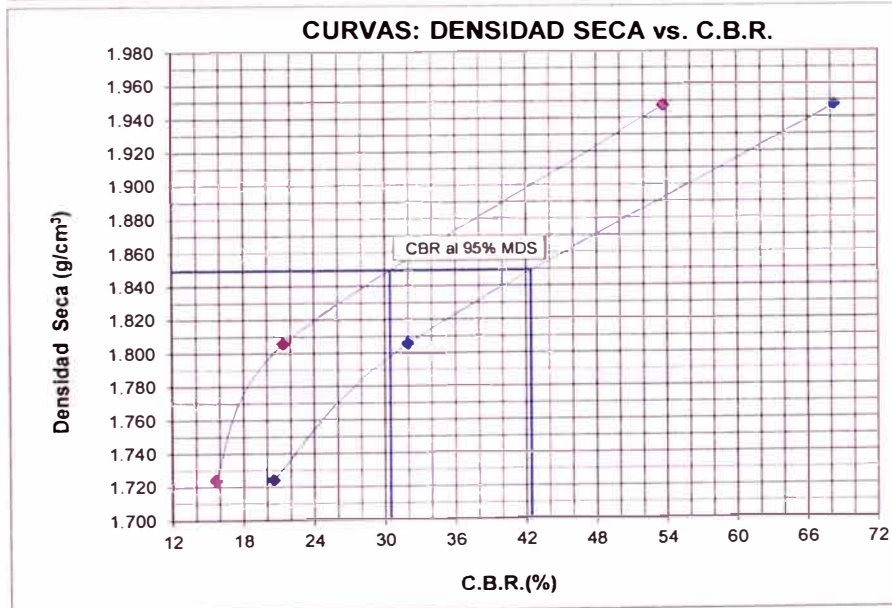
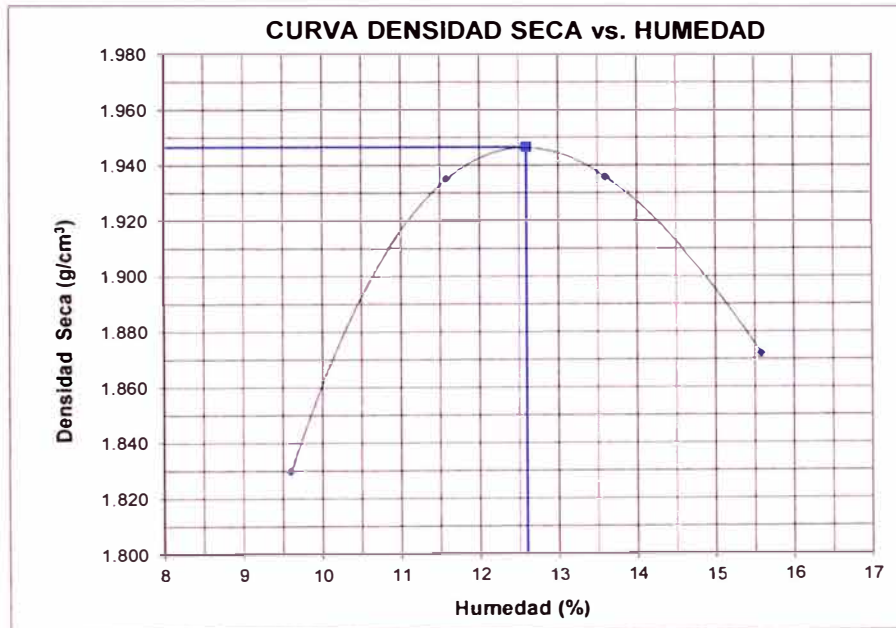
INFORME N° SSC29 - 07-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.947
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.60

Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 07-2

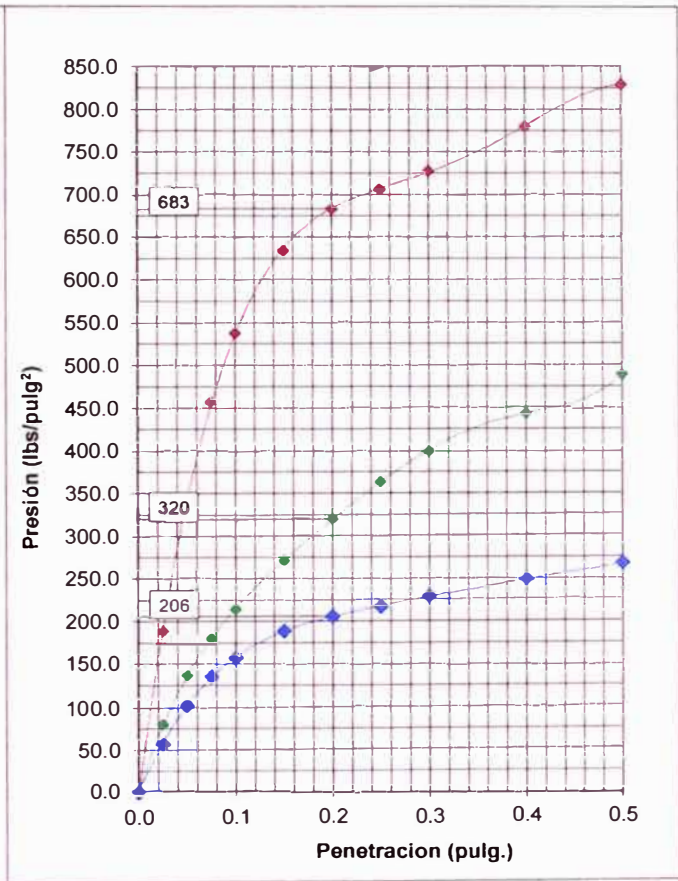
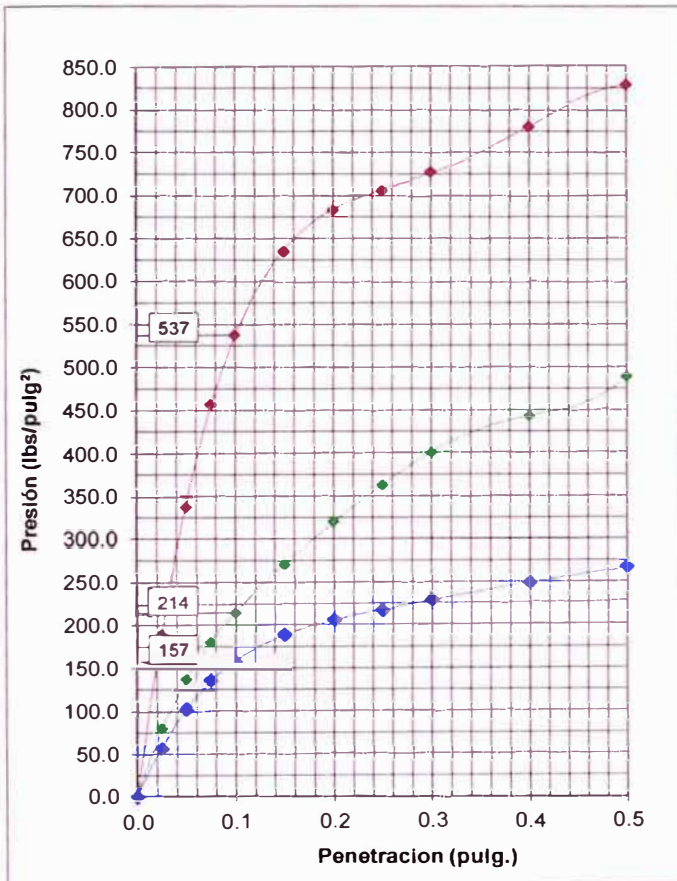
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 07-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.98
Altura	mm	:	159.75
Área	mm ²	:	5024.04
Volumen	mm ³	:	802589.64
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.192
Densidad seca	g/cm ³	:	1.947
Contenido de Humedad	%	:	12.60
L/D		:	2.00
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	579095.63
Grado de Saturación	%	:	88.10

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.12
Altura	mm	:	155.28
Área	mm ²	:	5168.76
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.192

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	534.48
Cohesión (kPa)	:	267.24
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	5.45

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

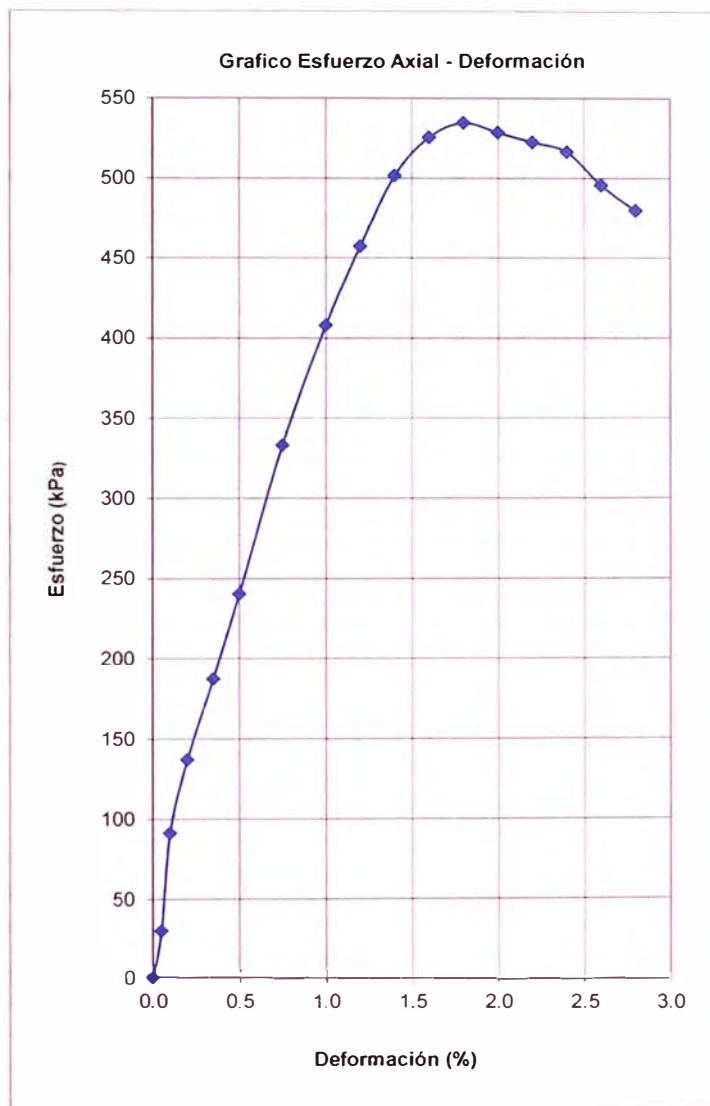
INFORME N° SSC29 - 07-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.98	
Área Inicial (mm ²)	:	5024.04	
Altura Inicial (mm)	:	159.75	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5026.5	153.3	30.5
0.10	5029.1	460.0	91.5
0.20	5034.1	690.0	137.1
0.35	5041.7	945.6	187.6
0.50	5049.3	1213.9	240.4
0.75	5062.0	1686.7	333.2
1.00	5074.8	2070.0	407.9
1.20	5085.1	2325.6	457.3
1.40	5095.4	2555.6	501.6
1.60	5105.7	2683.4	525.6
1.80	5116.1	2734.5	534.5
2.00	5126.6	2708.9	528.4
2.20	5137.1	2683.4	522.4
2.40	5147.6	2657.8	516.3
2.60	5158.1	2555.6	495.4
2.80	5168.8	2478.9	479.6



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 07-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D7
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 0.75 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.7
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1584.9
Densidad Seca (g/cm³) : 1.947
Humedad de Compactación (%) : 12.6

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

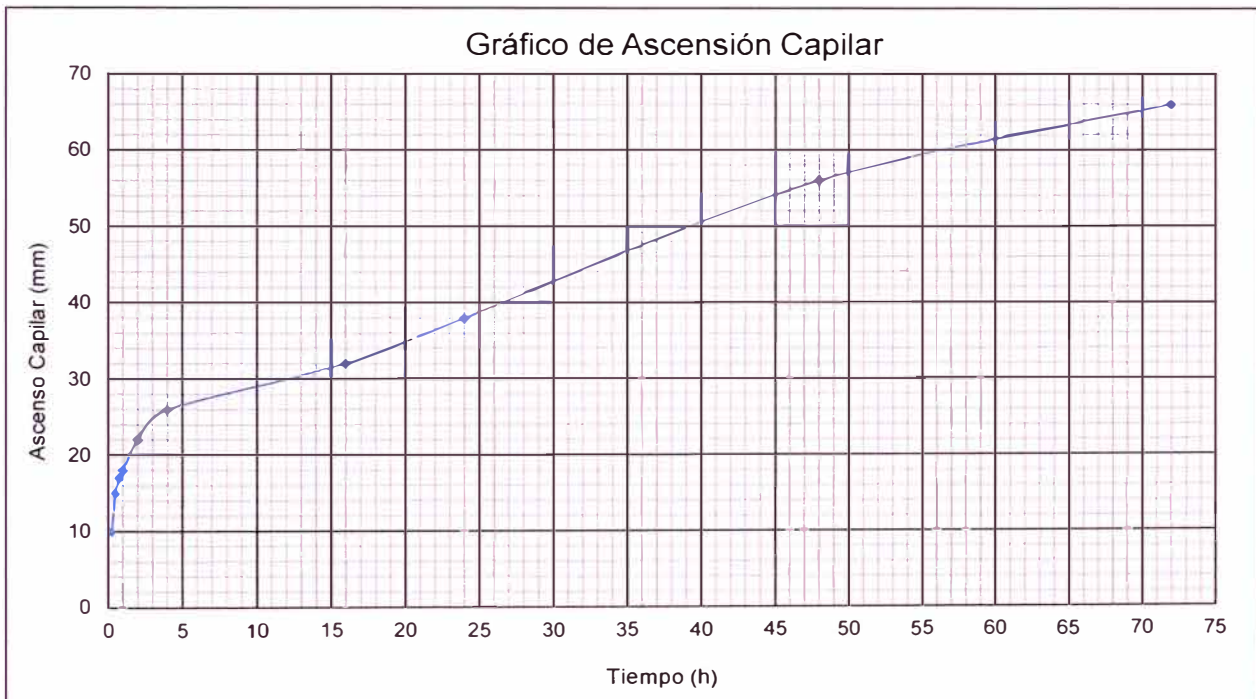
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 66
Diámetro Final (mm) : 81.1
Peso después de colocado en agua (g) : 1636.7
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1544.43

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 3.4
Expansión (%) : 3.5
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 23.9
Ascensión Capilar Final (%) : 41.5

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	15	17	18	22	26	32	38	56	66



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 08-1

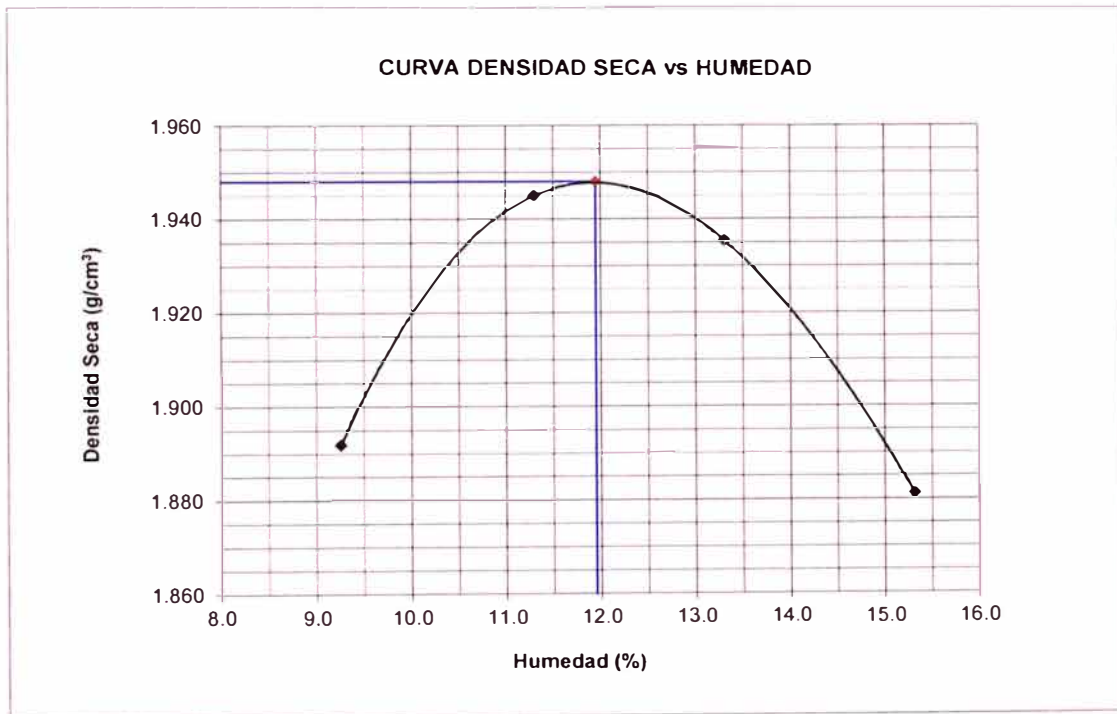
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.95



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 08-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.95

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.948	1.822	1.714
Contenido de Humedad	12.0	12.0	12.0

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	615	1000	61.5
II	0.1	257	1000	25.7
III	0.1	107	1000	10.7
I	0.2	729	1500	72.9
II	0.2	344	1500	34.4
III	0.2	146	1500	14.6

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 61.5% 0.1" 72.9%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 32.8% 0.2" 42.3%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.4	0.4	0.5
Absorción de Agua (%)	1.0	1.9	2.2

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

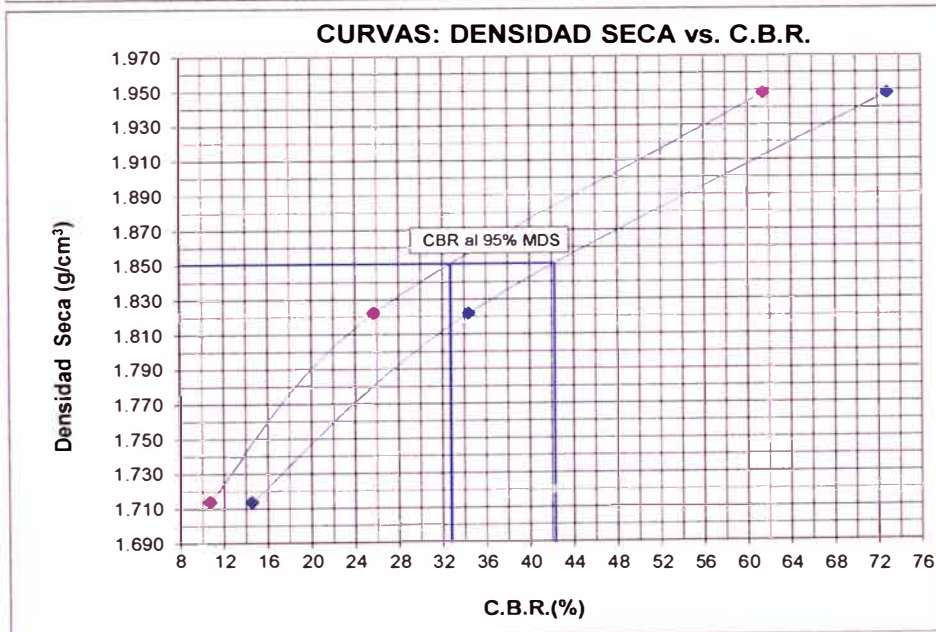
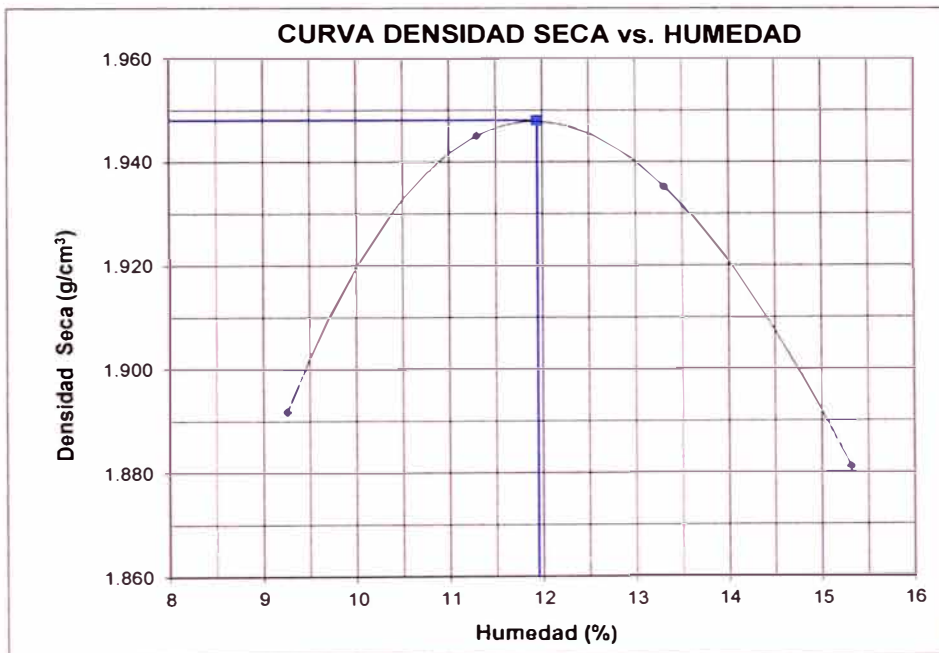
INFORME N° SSC29 - 08-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.948
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.95

Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME Nº SSC29 - 08-2

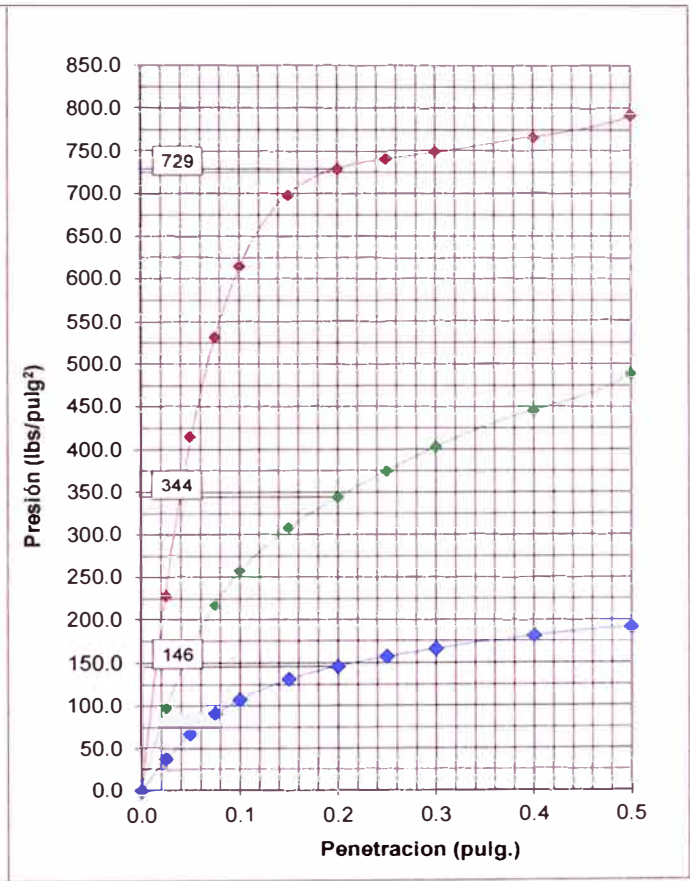
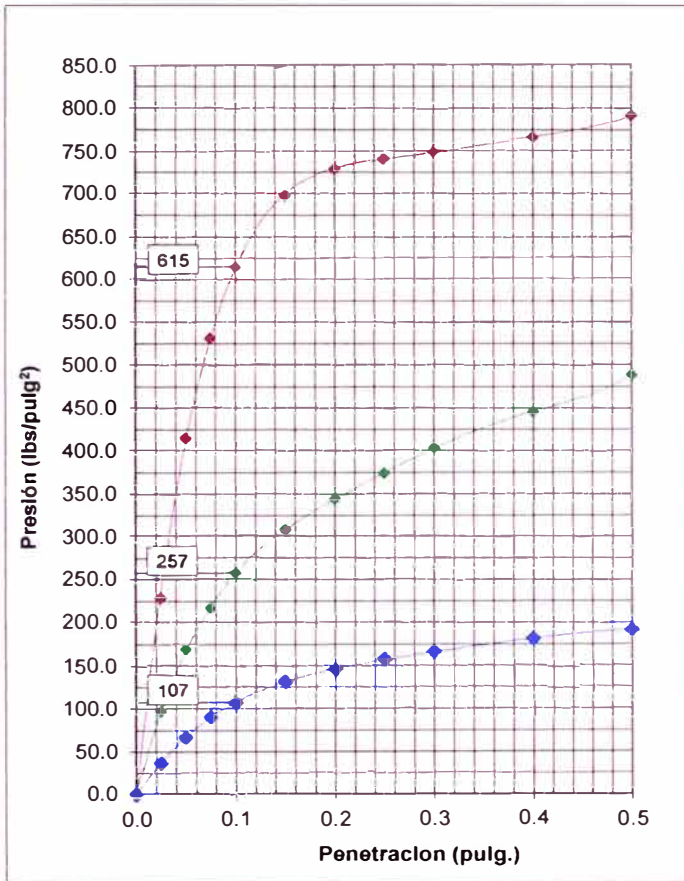
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 08-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.38
Altura	mm	:	159.50
Área	mm ²	:	5074.41
Volumen	mm ³	:	809369.01
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.181
Densidad seca	g/cm ³	:	1.948
Contenido de Humedad	%	:	11.95
L/D		:	1.98
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	584321.72
Grado de Saturación	%	:	83.69

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.87
Altura	mm	:	153.76
Área	mm ²	:	5263.91
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.181

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	572.54
Cohesión (kPa)	:	286.27
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	5.84

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

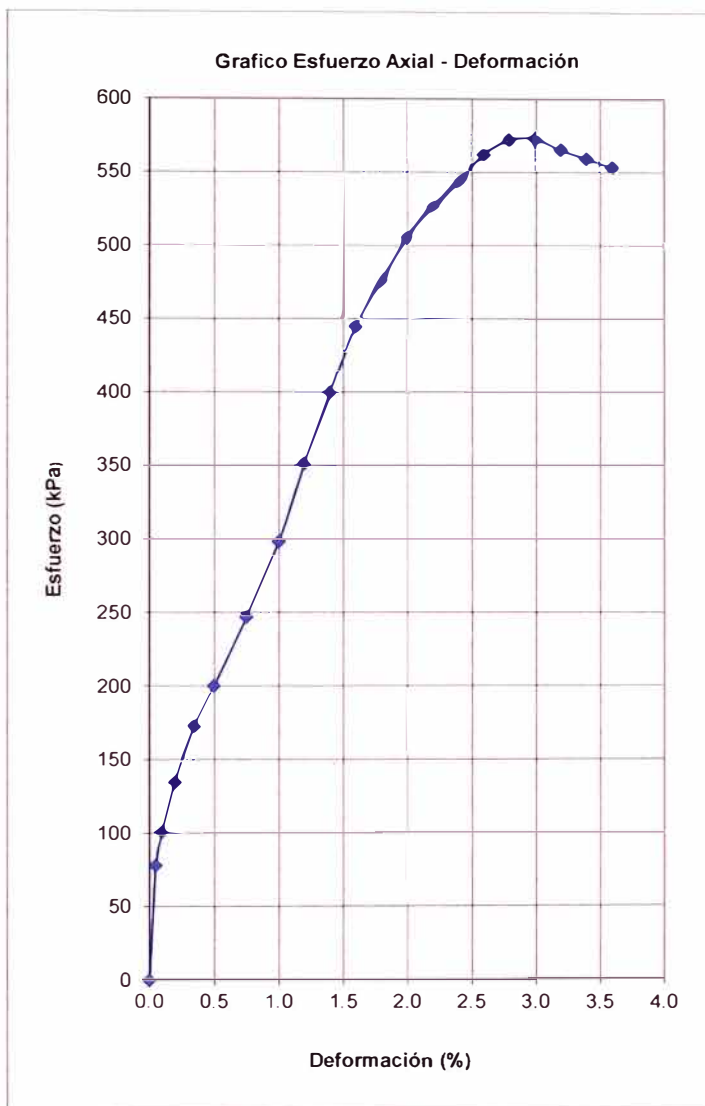
INFORME N° SSC29 - 08-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D8
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 0.75 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.38	
Área Inicial (mm ²)	:	5074.41	
Altura Inicial (mm)	:	159.50	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5077.0	396.1	78.0
0.10	5079.5	511.1	100.6
0.20	5084.6	684.9	134.7
0.35	5092.2	879.1	172.6
0.50	5099.9	1019.7	199.9
0.75	5112.8	1262.5	246.9
1.00	5125.7	1528.2	298.2
1.20	5136.0	1804.3	351.3
1.40	5146.5	2057.3	399.7
1.60	5156.9	2292.4	444.5
1.80	5167.4	2461.0	476.3
2.00	5178.0	2619.5	505.9
2.20	5188.6	2731.9	526.5
2.40	5199.2	2823.9	543.1
2.60	5209.9	2926.2	561.7
2.80	5220.6	2984.9	571.8
3.00	5231.4	2995.2	572.5
3.20	5242.2	2964.5	565.5
3.40	5253.0	2938.9	559.5
3.60	5263.9	2913.4	553.5



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 08-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D8
 Consolid 444 : 0.24 l/m³
 Solidry : 0.75 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
 Diámetro Inicial (mm) : 79.3
 Peso después de Secado a 50°C (g) : 1559
 Densidad Seca (g/cm³) : 1.948
 Humedad de Compactación (%) : 11.95

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

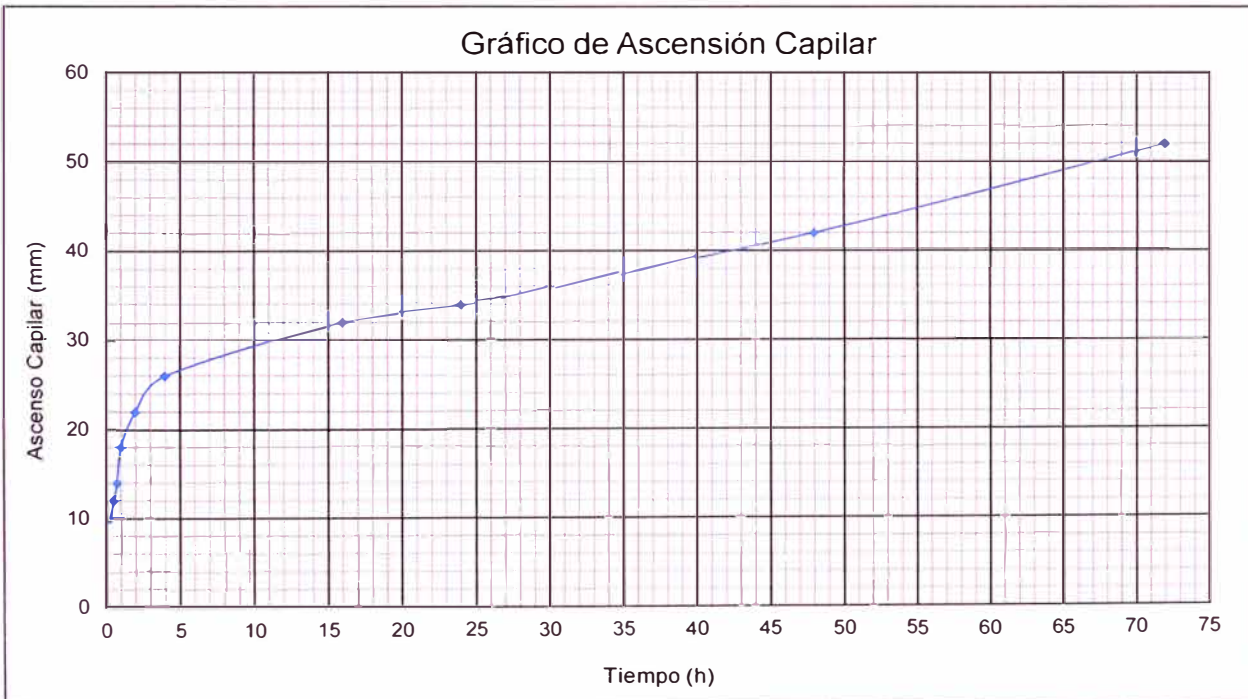
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 52
 Diámetro Final (mm) : 80.5
 Peso después de colocado en agua (g) : 1584.5
 Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1529.76

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 1.7
 Expansión (%) : 3.0
 Ascensión Capilar a 24 h (%) : 21.4
 Ascensión Capilar Final (%) : 32.7

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	12	14	18	22	26	32	34	42	52



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 09-1

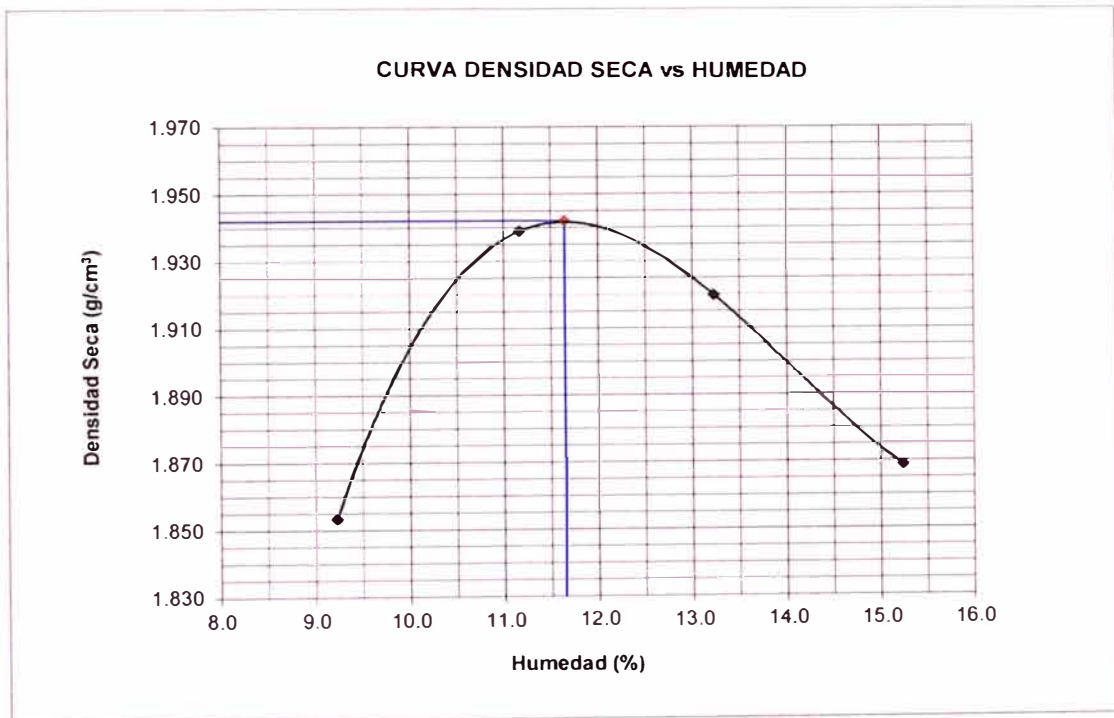
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.942
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.65



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 09-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.942
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.65

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.942	1.824	1.705
Contenido de Humedad	11.7	11.7	11.7

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	718	1000	71.8
II	0.1	397	1000	39.7
III	0.1	183	1000	18.3
I	0.2	978	1500	97.8
II	0.2	550	1500	55.0
III	0.2	263	1500	26.3

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 71.8% 0.1" 0.2" 97.8%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 45.0% 62.0%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.9	1.0	1.3
Absorción de Agua (%)	1.5	2.2	3.2

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

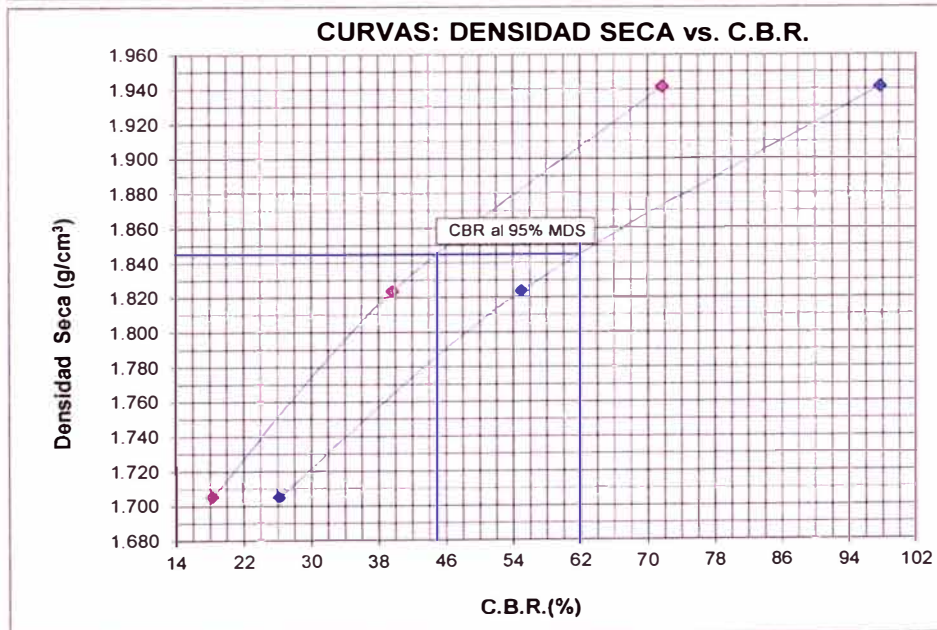
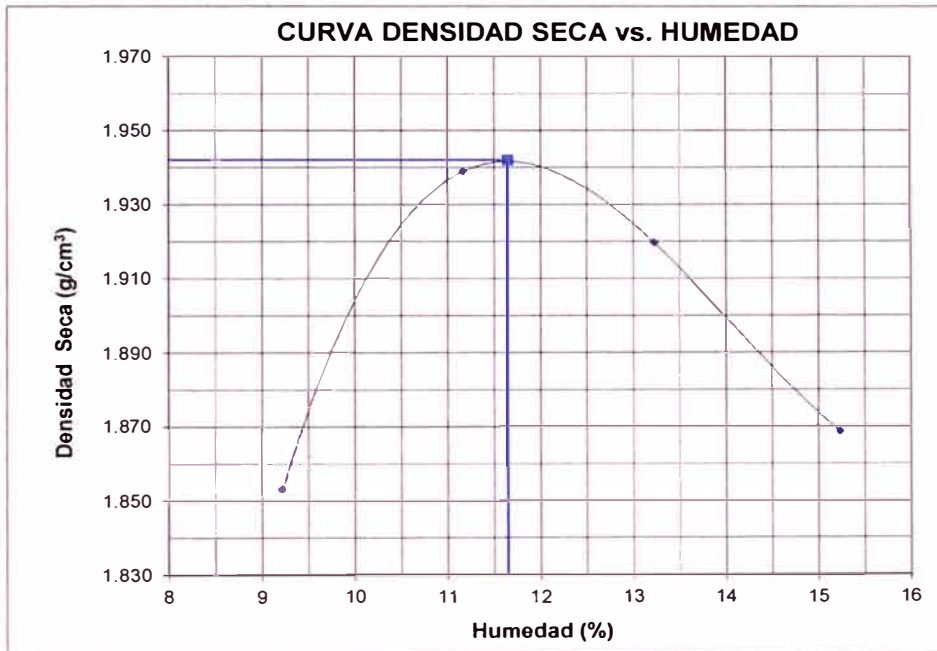
INFORME N° SSC29 - 09-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.942
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.65

Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 1.5 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 09-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 1.5 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

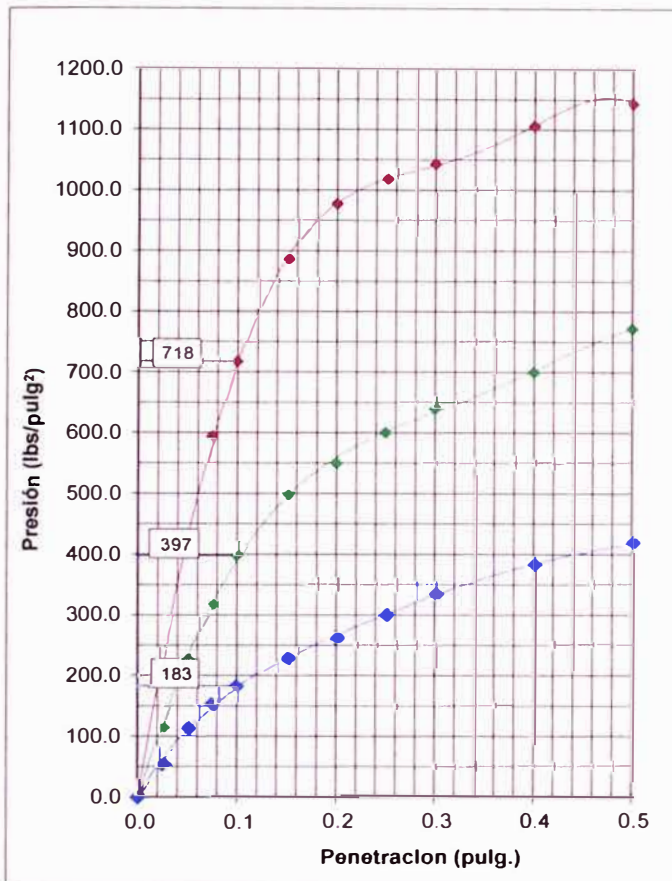
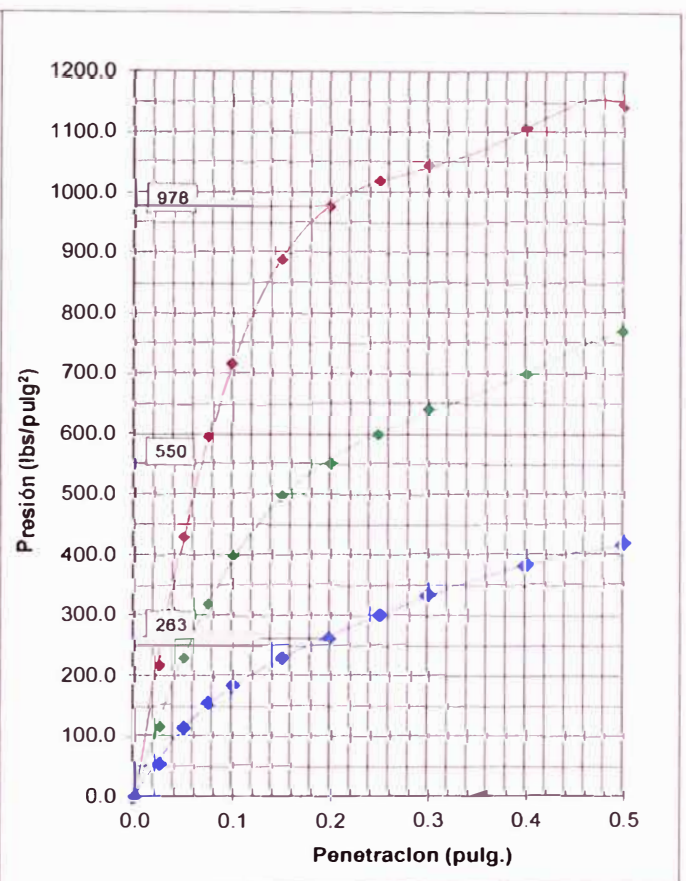


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 09-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 1.5 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.13
Altura	mm	:	159.63
Área	mm ²	:	5042.90
Volumen	mm ³	:	804997.78
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.168
Densidad seca	g/cm ³	:	1.942
Contenido de Humedad	%	:	11.65
L/D		:	1.99
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	579355.08
Grado de Saturación	%	:	80.70

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.53
Altura	mm	:	154.20
Área	mm ²	:	5220.39
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.168

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	617.70
Cohesión (kPa)	:	308.85
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	6.30

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

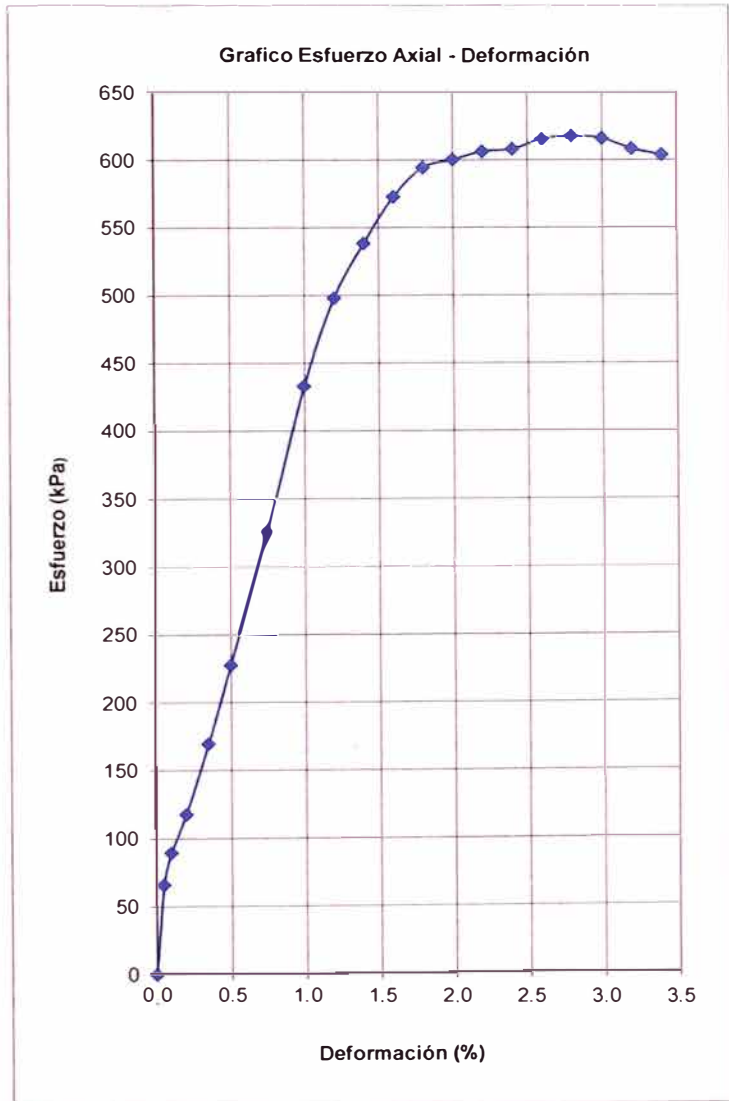
INFORME N° SSC29 - 09-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 1.5 %

Espécimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.13	
Área Inicial (mm ²)	:	5042.90	
Altura Inicial (mm)	:	159.63	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5045.4	332.2	65.8
0.10	5047.9	452.3	89.6
0.20	5053.0	595.5	117.8
0.35	5060.6	858.7	169.7
0.50	5068.2	1152.6	227.4
0.75	5081.0	1656.0	325.9
1.00	5093.8	2205.5	433.0
1.20	5104.1	2540.3	497.7
1.40	5114.5	2752.4	538.2
1.60	5124.9	2933.8	572.5
1.80	5135.3	3051.4	594.2
2.00	5145.8	3087.2	599.9
2.20	5156.3	3125.5	606.1
2.40	5166.9	3140.8	607.9
2.60	5177.5	3186.8	615.5
2.80	5188.2	3204.7	617.7
3.00	5198.9	3202.2	615.9
3.20	5209.6	3168.9	608.3
3.40	5220.4	3151.1	603.6



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 09-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D9
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 1.5 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.3
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1545.3
Densidad Seca (g/cm³) : 1.942
Humedad de Compactación (%) : 11.65

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

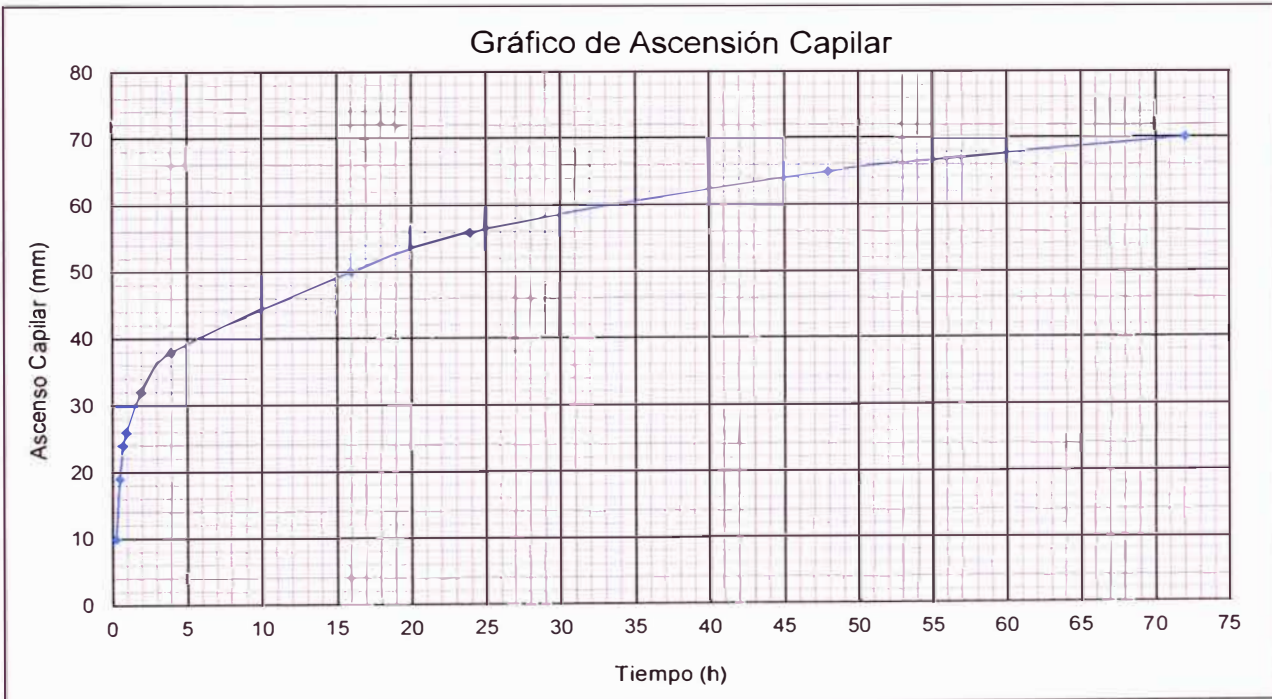
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 70
Diámetro Final (mm) : 80.925
Peso después de colocado en agua (g) : 1627.3
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1525.04

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 5.4
Expansión (%) : 4.1
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 35.2
Ascensión Capilar Final (%) : 44.0

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	19	24	26	32	38	50	56	65	70



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 10-1

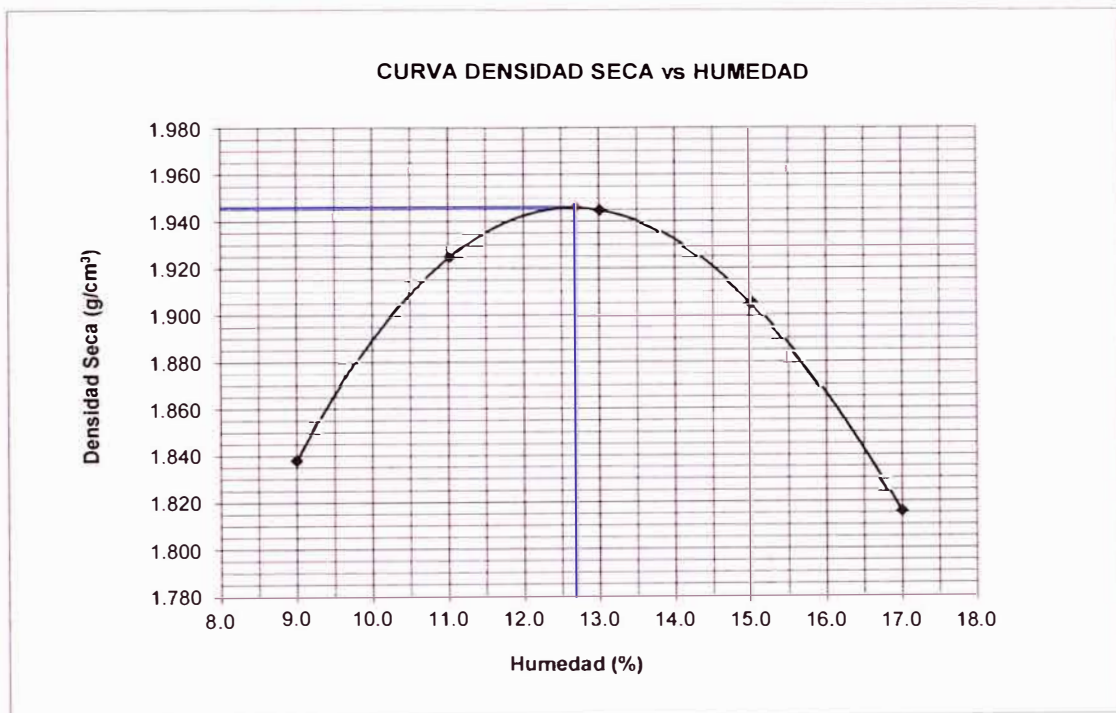
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.946
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.70



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 10-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.946
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.70

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.946	1.853	1.693
Contenido de Humedad	12.7	12.7	12.7

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	709	1000	70.9
II	0.1	476	1000	47.6
III	0.1	179	1000	17.9
I	0.2	923	1500	92.3
II	0.2	616	1500	61.6
III	0.2	243	1500	24.3

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 70.9% 0.1" 0.2" 92.3%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 46.7% 60.5%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.7	0.8	1.1
Absorción de Agua (%)	0.9	1.9	2.8

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

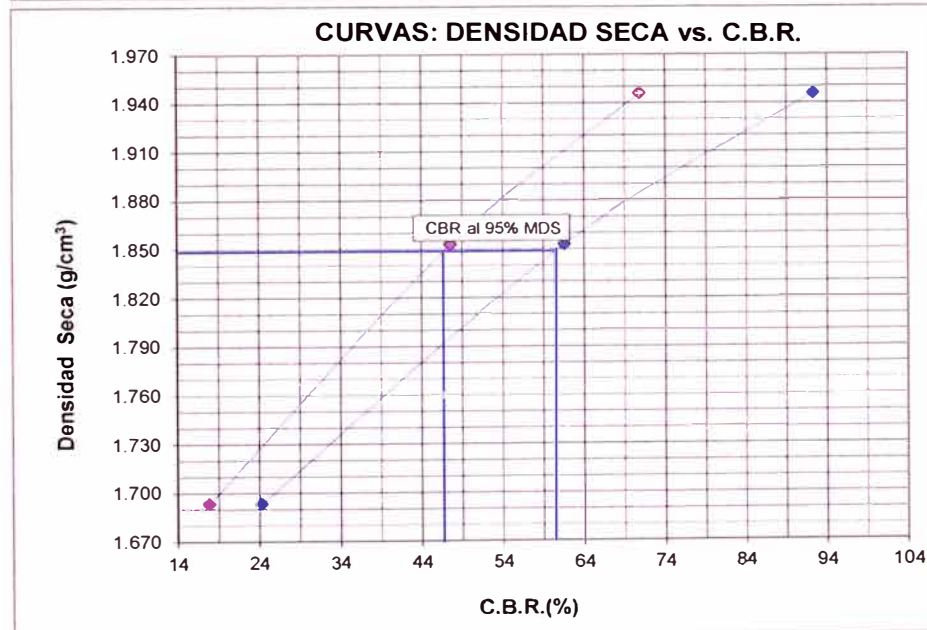
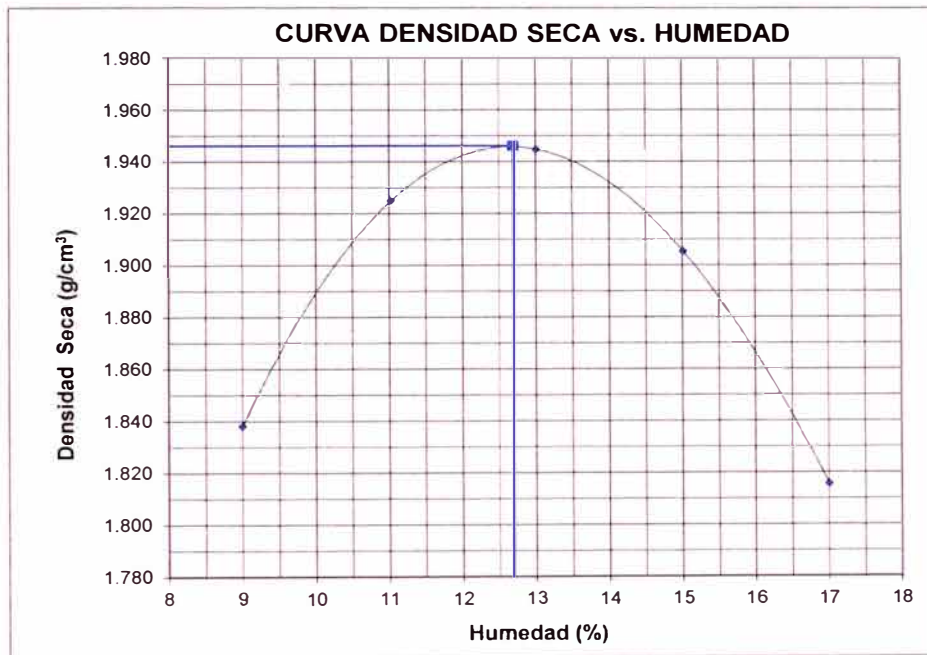
INFORME N° SSC29 - 10-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.946
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.70

Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 10-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

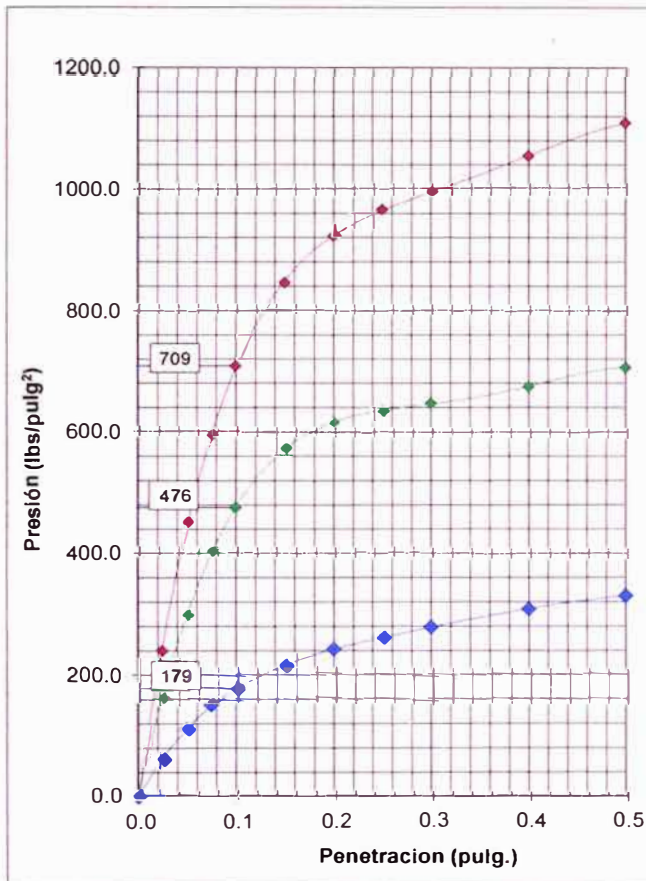
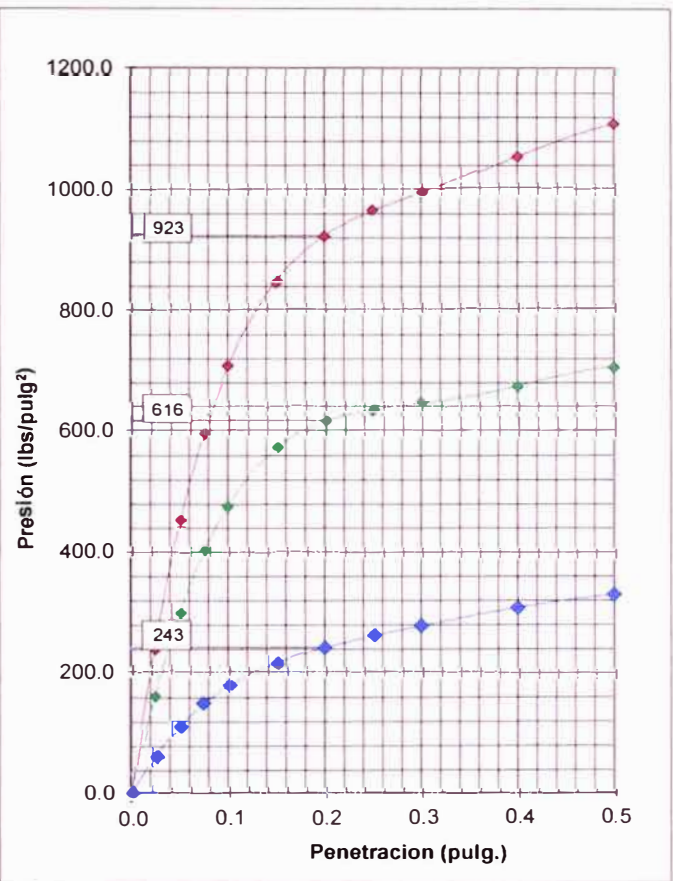


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 10-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.10
Altura	mm	:	159.50
Área	mm ²	:	5039.12
Volumen	mm ³	:	803740.03
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.193
Densidad seca	g/cm ³	:	1.946
Contenido de Humedad	%	:	12.70
L/D		:	1.99
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	579725.72
Grado de Saturación	%	:	88.66

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.58
Altura	mm	:	153.76
Área	mm ²	:	5227.31
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.193

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	660.56
Cohesión (kPa)	:	330.28
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	6.73

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

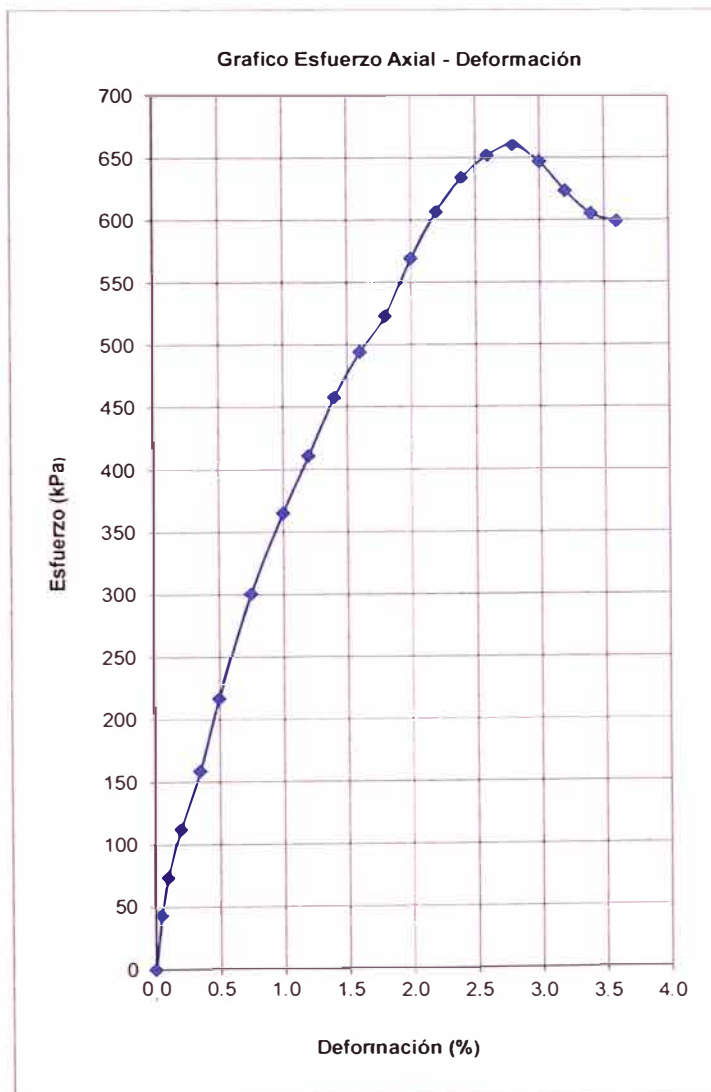
INFORME N° SSC29 - 10-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.10	
Área Inicial (mm ²)	:	5039.12	
Altura Inicial (mm)	:	159.50	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5041.6	217.2	43.1
0.10	5044.2	370.6	73.5
0.20	5049.2	564.8	111.9
0.35	5056.8	802.5	158.7
0.50	5064.4	1098.9	217.0
0.75	5077.2	1525.7	300.5
1.00	5090.0	1857.9	365.0
1.20	5100.3	2095.6	410.9
1.40	5110.7	2338.4	457.5
1.60	5121.1	2530.0	494.0
1.80	5131.5	2683.4	522.9
2.00	5142.0	2926.2	569.1
2.20	5152.5	3125.5	606.6
2.40	5163.0	3273.7	634.1
2.60	5173.6	3373.4	652.0
2.80	5184.3	3424.5	660.6
3.00	5195.0	3360.6	646.9
3.20	5205.7	3245.6	623.5
3.40	5216.5	3156.2	605.0
3.60	5227.3	3130.6	598.9



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 10-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D10
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 1.5 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.85
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1613.5
Densidad Seca (g/cm³) : 1.946
Humedad de Compactación (%) : 12.7

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

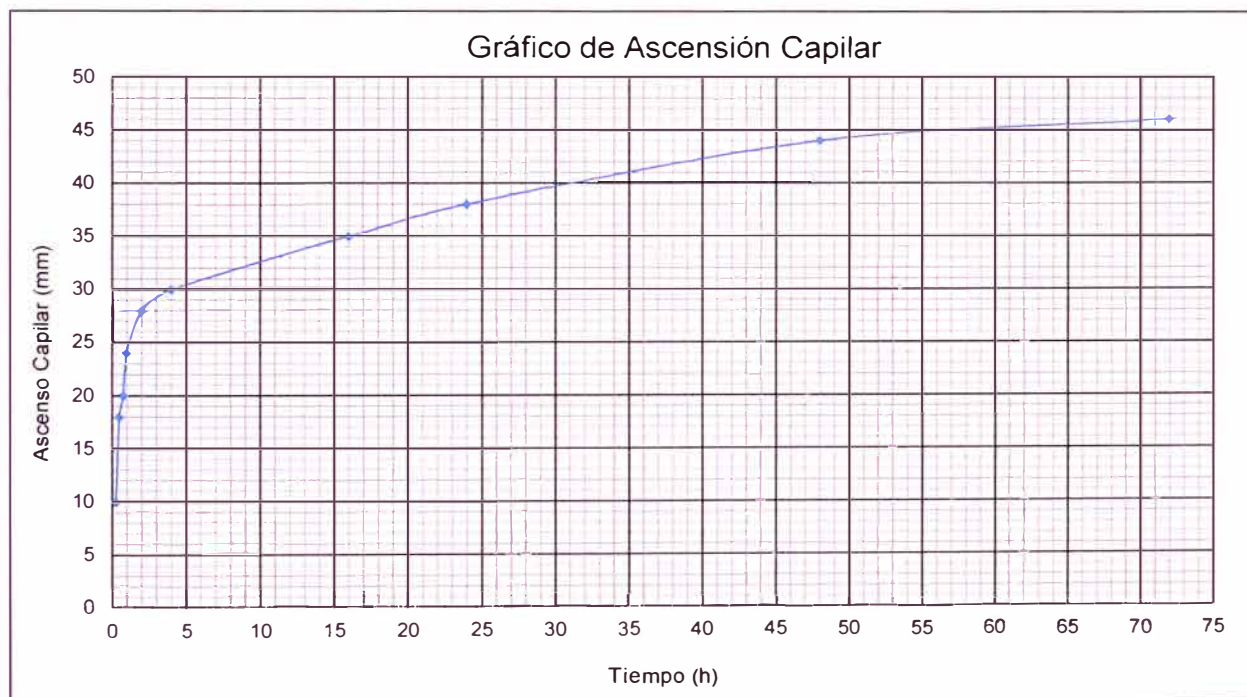
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 46
Diámetro Final (mm) : 80.15
Peso después de colocado en agua (g) : 1618.8
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1549.46

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 0.3
Expansión (%) : 0.8
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 23.9
Ascensión Capilar Final (%) : 28.9

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	18	20	24	28	30	35	38	44	46



Observaciones: El espécimen se remoldeó con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 11-1

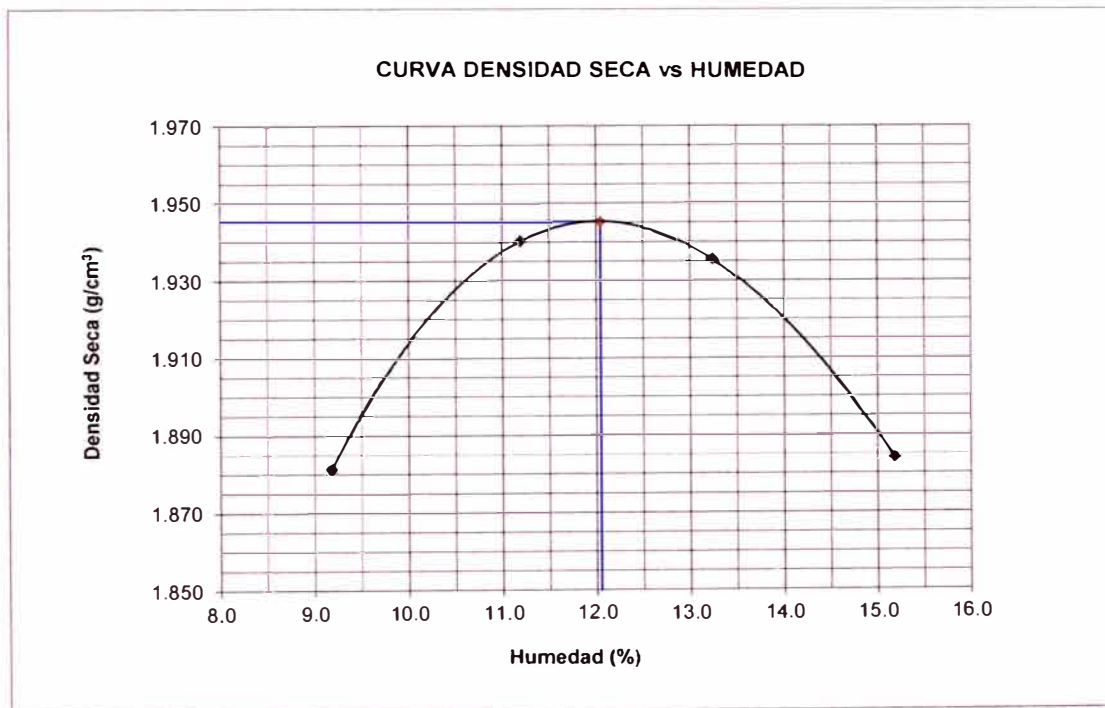
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.945
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.05



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 11-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.945
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.05

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.945	1.825	1.734
Contenido de Humedad	12.1	12.1	12.1

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	686	1000	68.6
II	0.1	377	1000	37.7
III	0.1	193	1000	19.3
I	0.2	915	1500	91.5
II	0.2	559	1500	55.9
III	0.2	233	1500	23.3

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 68.6% 91.5%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 43.5% 63.1%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.7	1.2	1.5
Absorción de Agua (%)	1.7	2.0	3.5

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

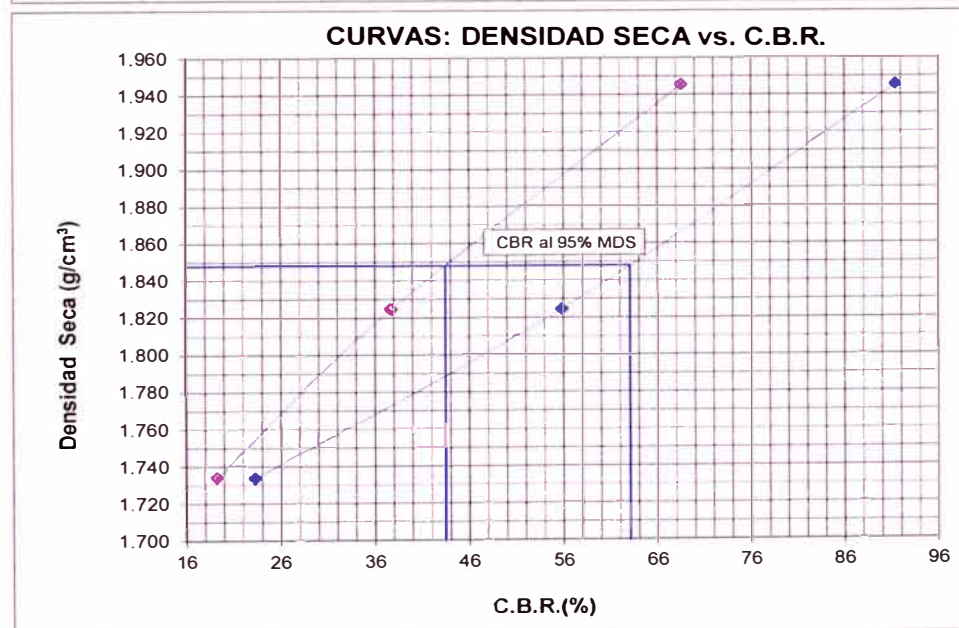
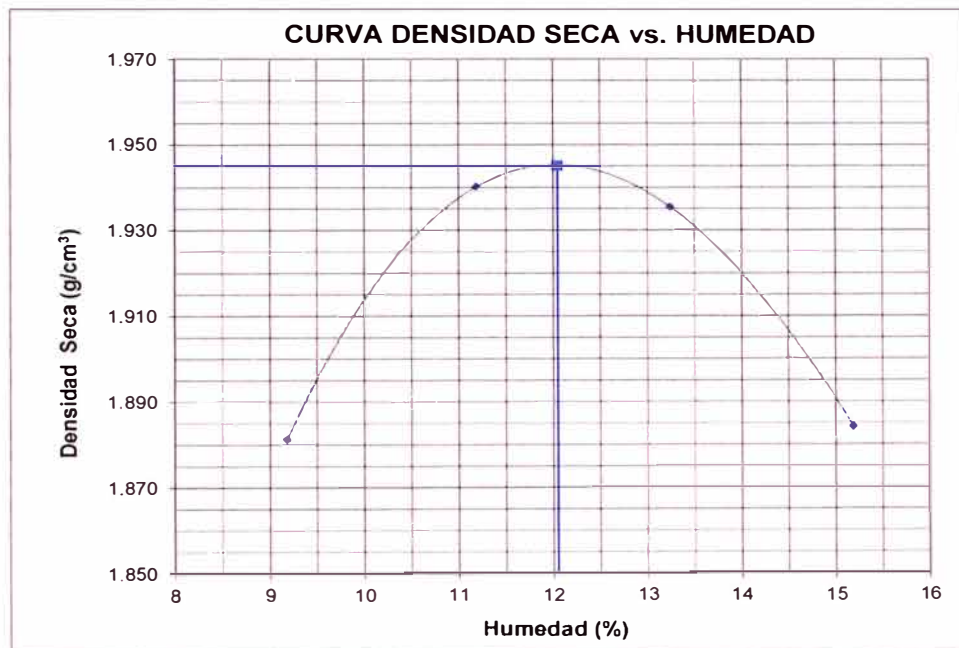
INFORME N° SSC29 - 11-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.945
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.05

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 11-2

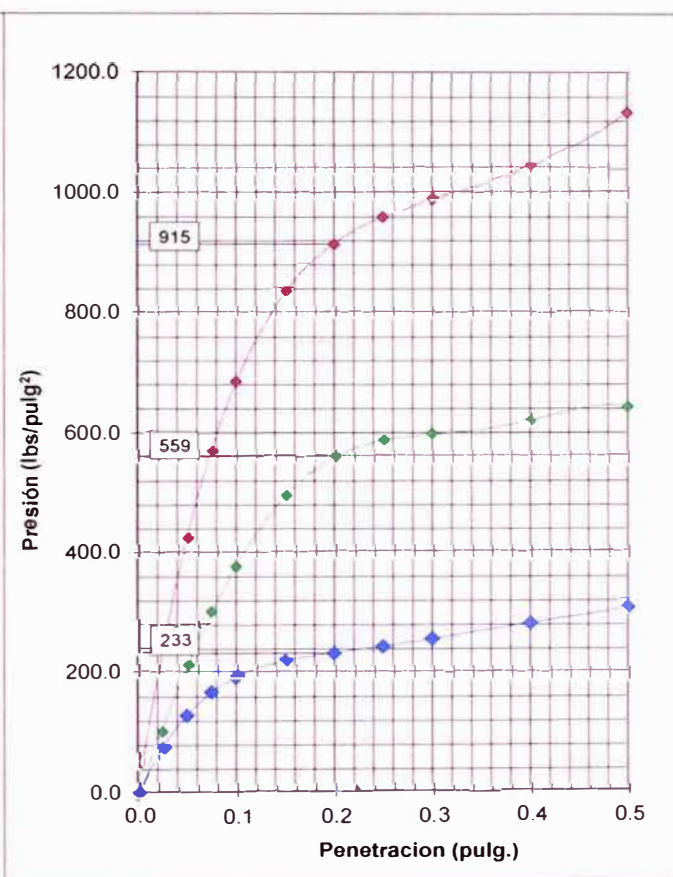
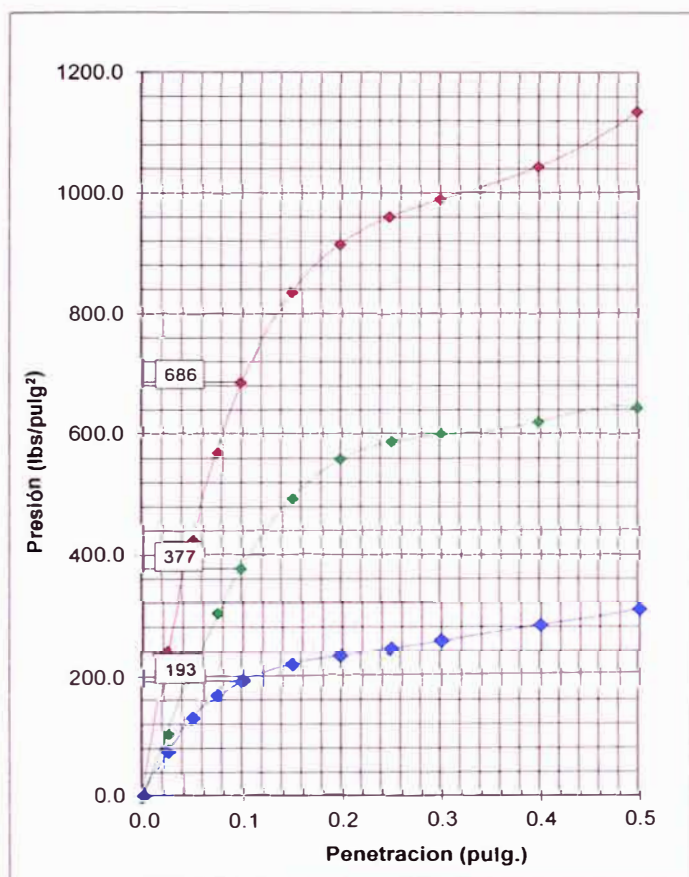
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m3
Solidry : 1.5 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 11-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.15
Altura	mm	:	159.75
Área	mm ²	:	5045.42
Volumen	mm ³	:	806005.12
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.179
Densidad seca	g/cm ³	:	1.945
Contenido de Humedad	%	:	12.05
L/D		:	1.99
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	581060.04
Grado de Saturación	%	:	83.98

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.30
Altura	mm	:	155.28
Área	mm ²	:	5190.76
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.179

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	772.79
Cohesión (kPa)	:	386.39
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	7.88

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

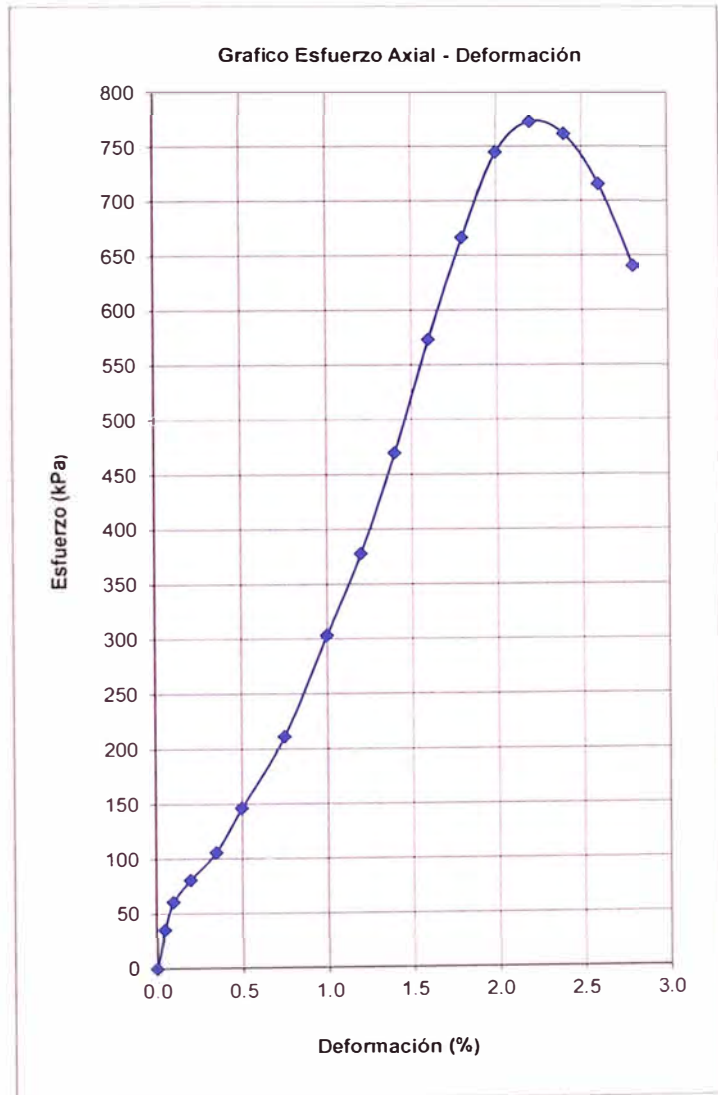
INFORME N° SSC29 - 11-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.15	
Área Inicial (mm ²)	:	5045.42	
Altura Inicial (mm)	:	159.75	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5047.9	178.9	35.4
0.10	5050.5	306.7	60.7
0.20	5055.5	408.9	80.9
0.35	5063.1	536.7	106.0
0.50	5070.8	741.1	146.2
0.75	5083.5	1073.4	211.1
1.00	5096.4	1546.1	303.4
1.20	5106.7	1929.5	377.8
1.40	5117.1	2402.3	469.5
1.60	5127.5	2938.9	573.2
1.80	5137.9	3424.5	666.5
2.00	5148.4	3833.4	744.6
2.20	5158.9	3986.7	772.8
2.40	5169.5	3935.6	761.3
2.60	5180.1	3705.6	715.4
2.80	5190.8	3322.3	640.0



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 11-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 160
Diámetro Inicial (mm) : 78.9
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1623.6
Densidad Seca (g/cm³) : 1.945
Humedad de Compactación (%) : 12.05

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

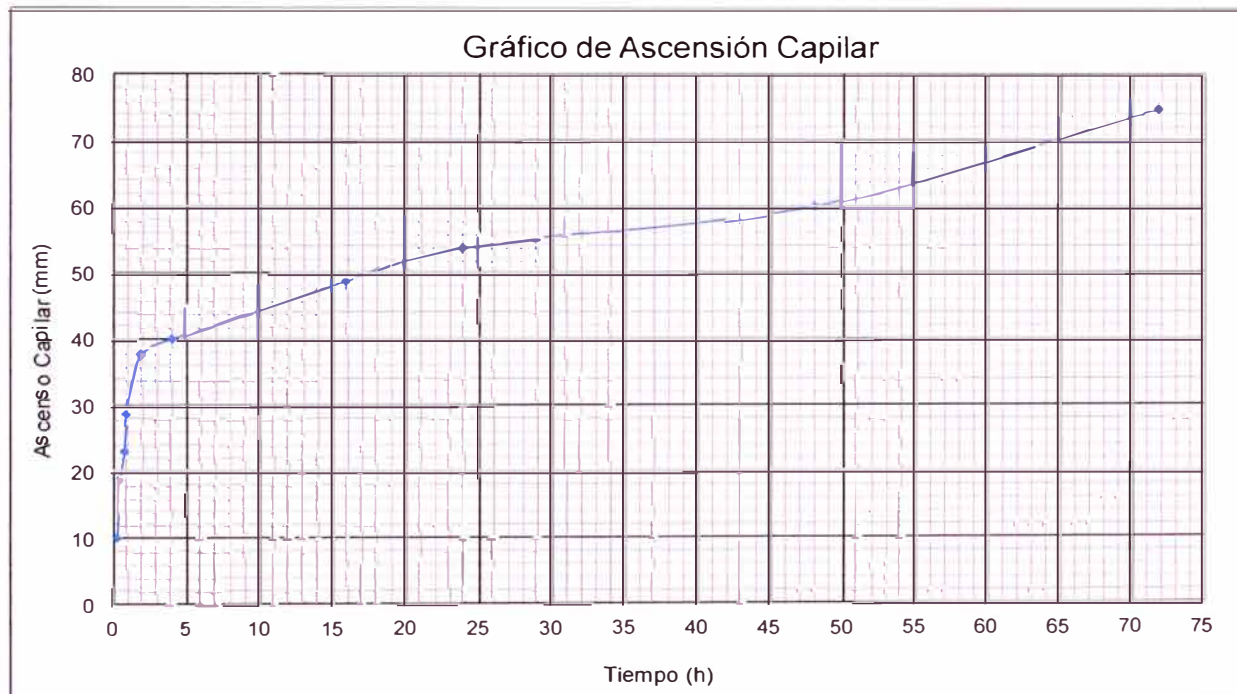
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 75
Diámetro Final (mm) : 80.25
Peso después de colocado en agua (g) : 1699.9
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1521.54

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 5.0
Expansión (%) : 3.5
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 33.8
Ascensión Capilar Final (%) : 46.9

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (m ^m)	10	19	23	29	38	40	49	54	60	75



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

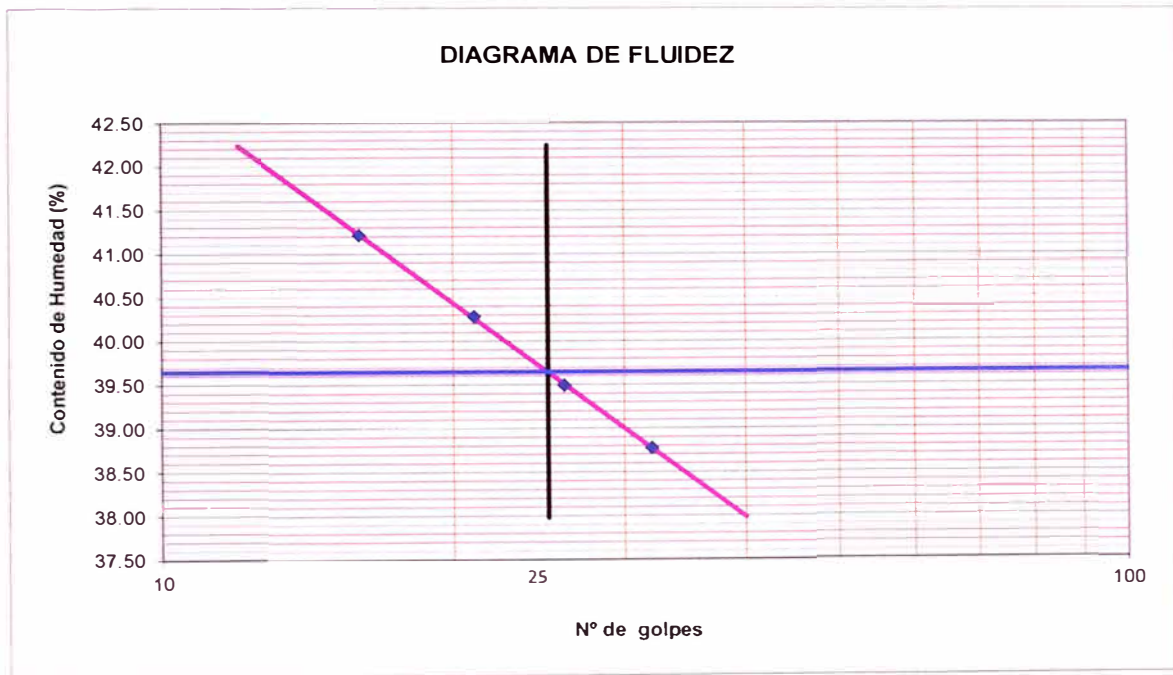
INFORME N° SSC29 - 11-5

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D11
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%) : 39.6
LÍMITE PLÁSTICO (%) : 22.5
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 17.1

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SSC29 - 12-1

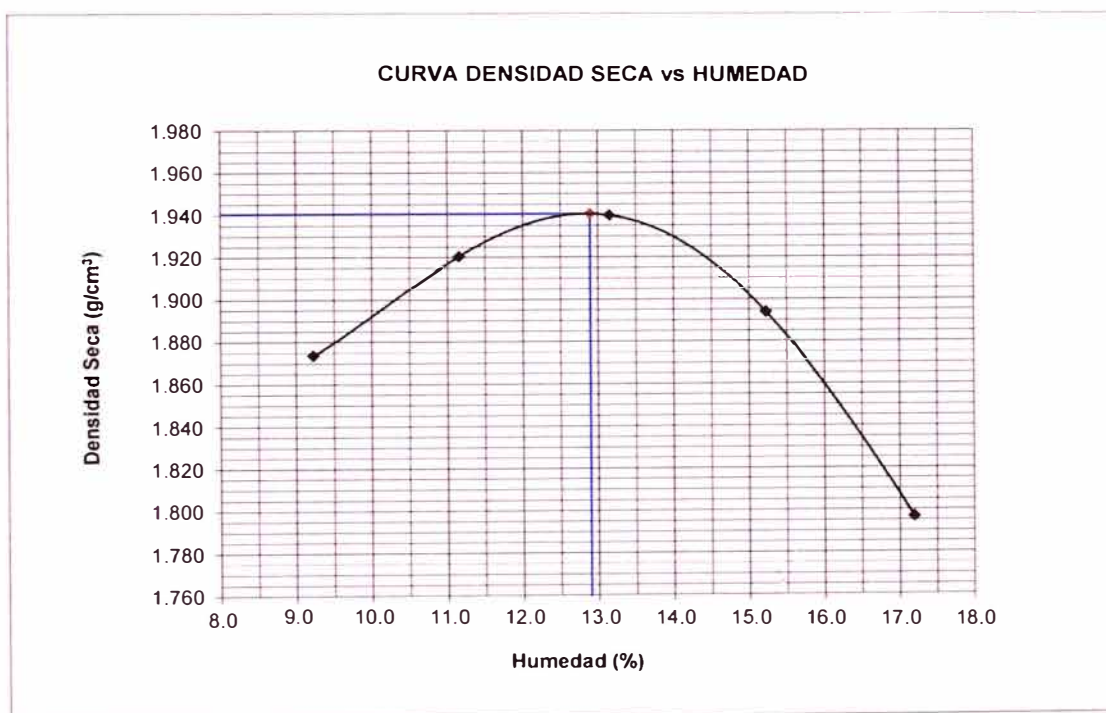
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.90



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 12-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 1.5 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.90

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.941	1.834	1.678
Contenido de Humedad	12.9	12.9	12.9

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	752	1000	75.2
II	0.1	443	1000	44.3
III	0.1	186	1000	18.6
I	0.2	926	1500	92.6
II	0.2	592	1500	59.2
III	0.2	272	1500	27.2

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 75.2% 0.1" 0.2" 92.6%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 46.7% 46.7% 61.8%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.8	0.8	1.4
Absorción de Agua (%)	0.7	1.8	2.7

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

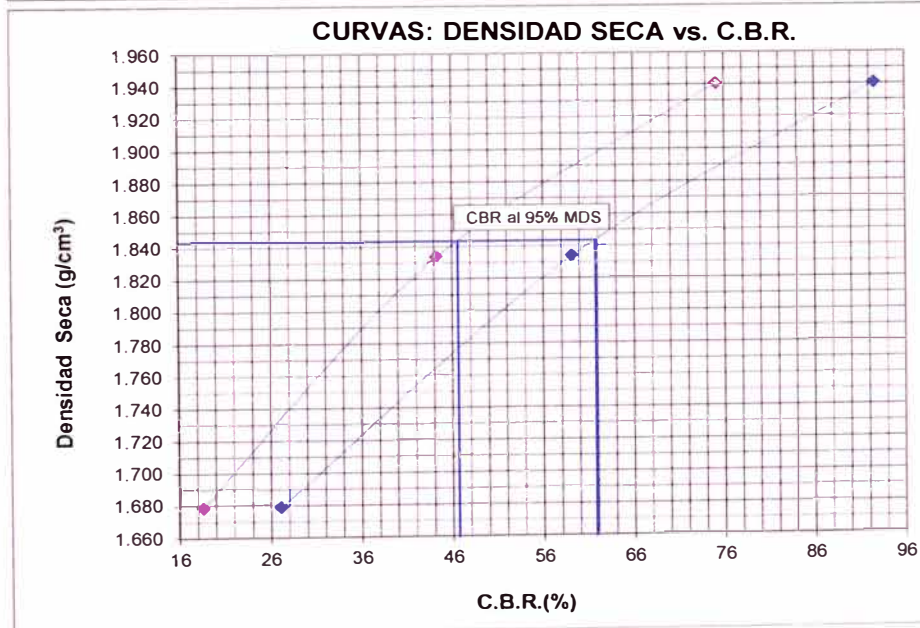
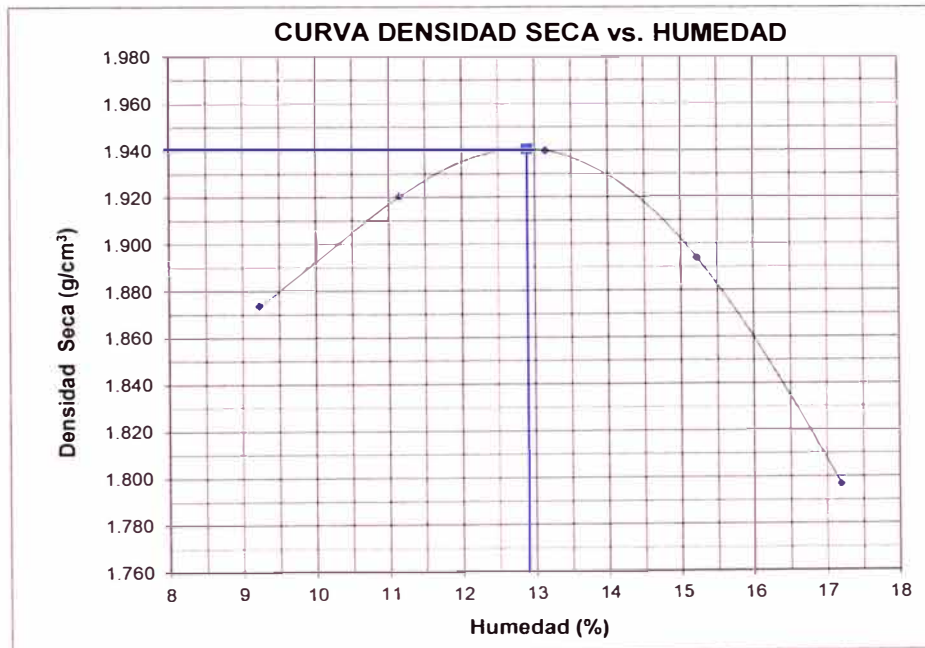
INFORME N° SSC29 - 12-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.941
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.90

Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 1.5 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 12-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 1.5 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

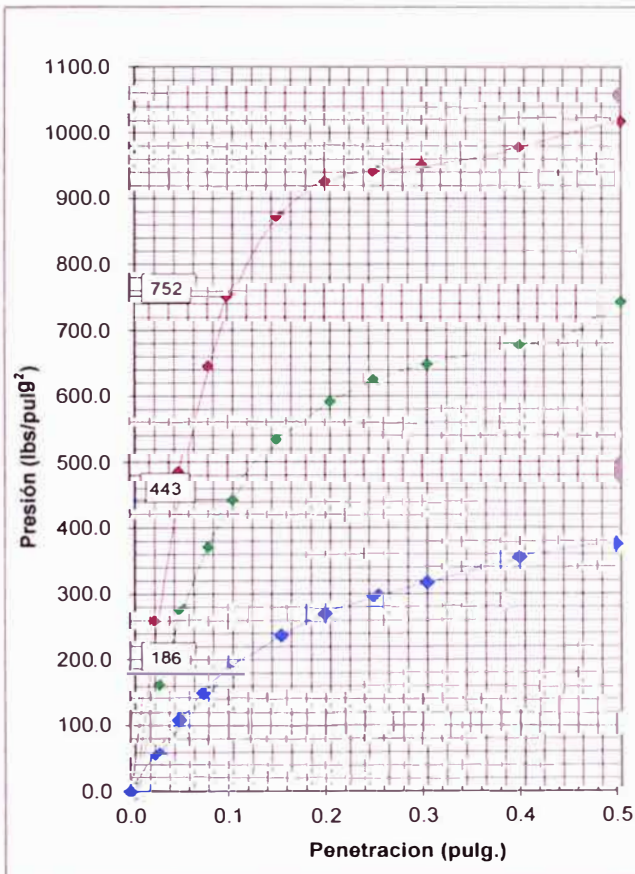
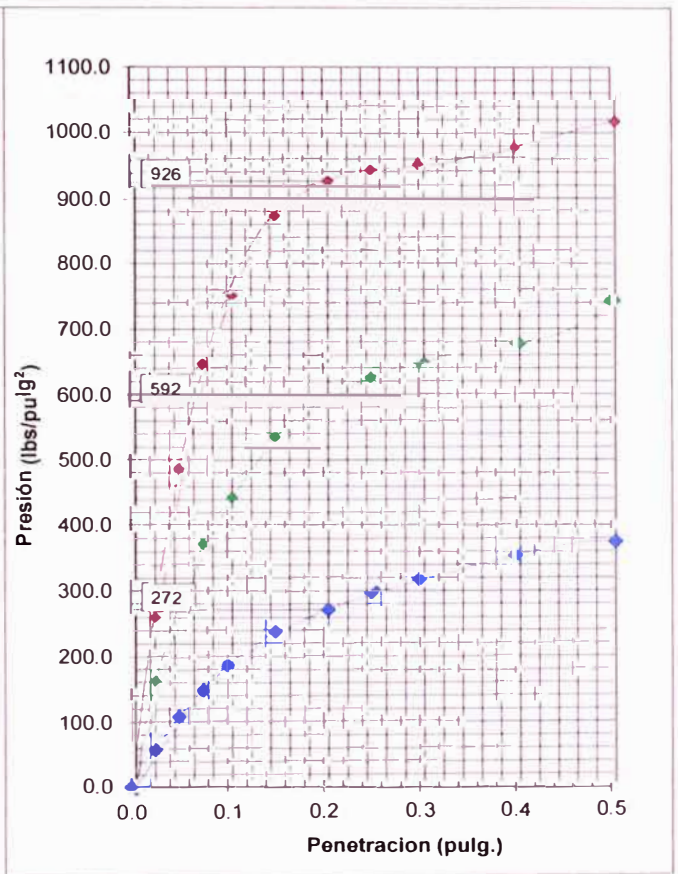


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 12-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m3
Solidry : 1.5 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.33
Altura	mm	:	160.00
Área	mm ²	:	5068.10
Volumen	mm ³	:	810896.45
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.191
Densidad seca	g/cm ³	:	1.941
Contenido de Humedad	%	:	12.90
L/D		:	1.99
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	583320.98
Grado de Saturación	%	:	89.20

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.56
Altura	mm	:	155.20
Área	mm ²	:	5224.85
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.191

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	618.84
Cohesión (kPa)	:	309.42
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	6.31

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

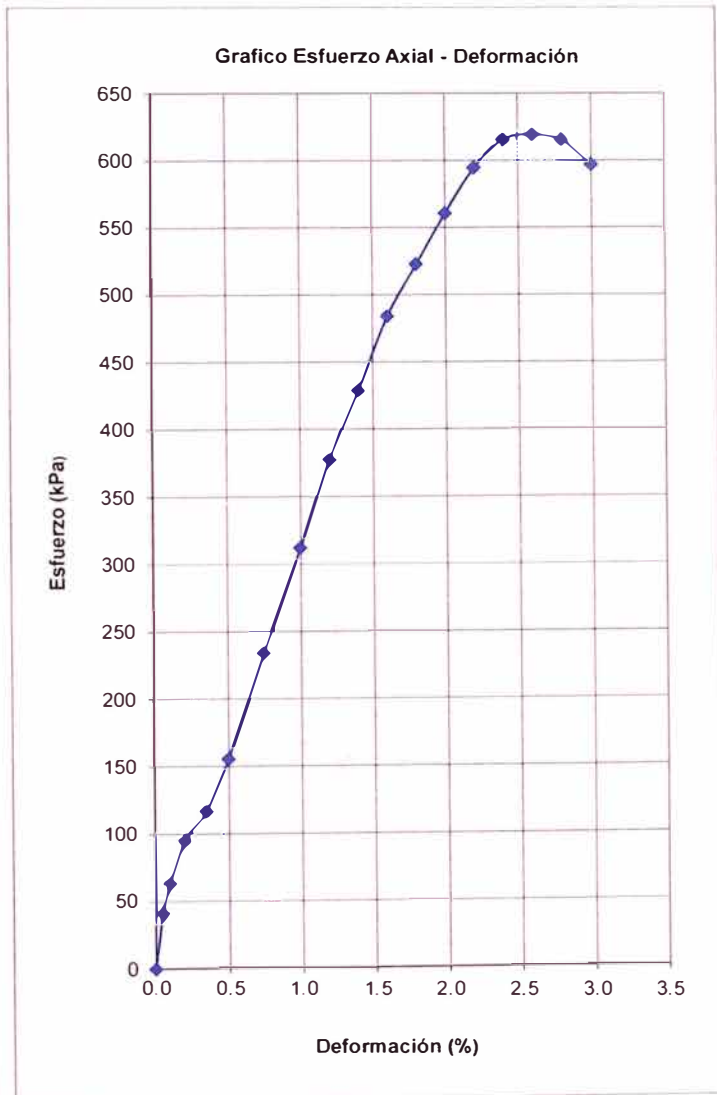
INFORME N° SSC29 - 12-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
 Dosificación : D12
 Consolid 444 : 0.24 l/m3
 Solidry : 1.5 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.33	
Área Inicial (mm ²)	:	5068.10	
Altura Inicial (mm)	:	160.00	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5070.6	209.6	41.3
0.10	5073.2	319.5	63.0
0.20	5078.3	480.5	94.6
0.35	5085.9	592.9	116.6
0.50	5093.6	792.2	155.5
0.75	5106.4	1193.5	233.7
1.00	5119.3	1597.3	312.0
1.20	5129.7	1934.6	377.1
1.40	5140.1	2202.9	428.6
1.60	5150.5	2491.7	483.8
1.80	5161.0	2696.2	522.4
2.00	5171.5	2898.1	560.4
2.20	5182.1	3079.5	594.3
2.40	5192.7	3194.5	615.2
2.60	5203.4	3220.1	618.8
2.80	5214.1	3207.3	615.1
3.00	5224.8	3117.8	596.7



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 12-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D12
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 1.5 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 159
Diámetro Inicial (mm) : 79.25
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1615.3
Densidad Seca (g/cm³) : 1.941
Humedad de Compactación (%) : 12.9

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

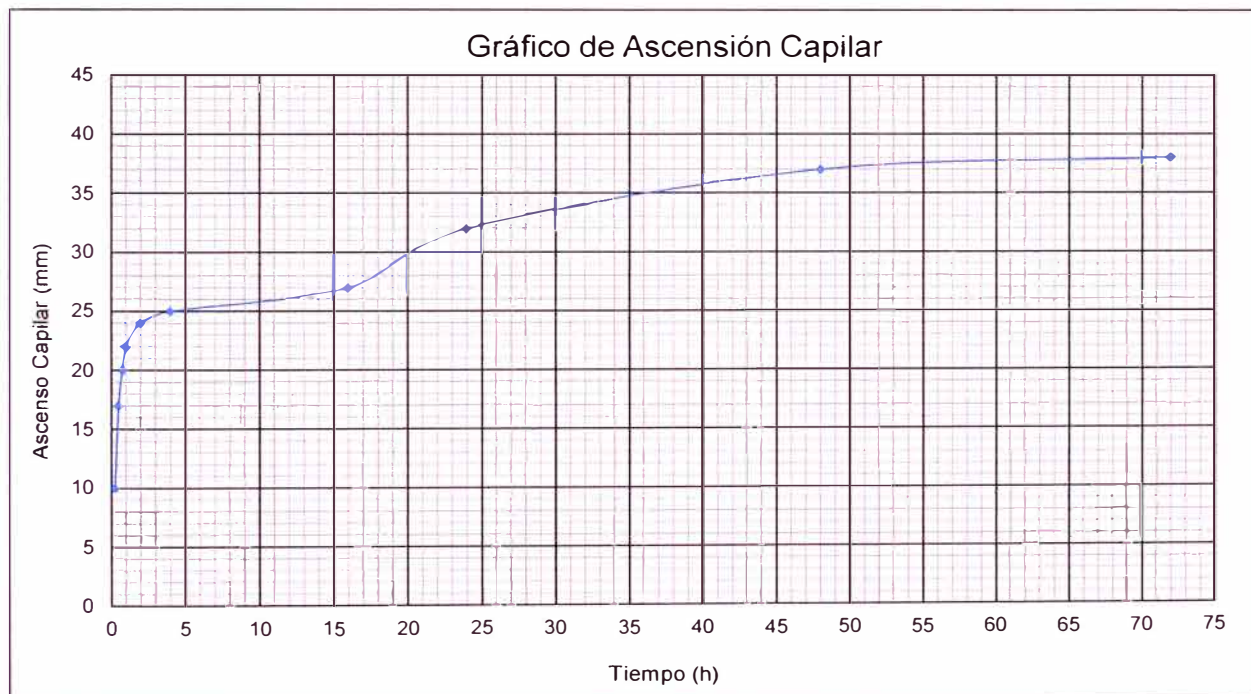
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 38
Diámetro Final (mm) : 79.3
Peso después de colocado en agua (g) : 1621.5
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1522.34

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 0.4
Expansión (%) : 0.1
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 20.1
Ascensión Capilar Final (%) : 23.9

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	17	20	22	24	25	27	32	37	38



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 13-1

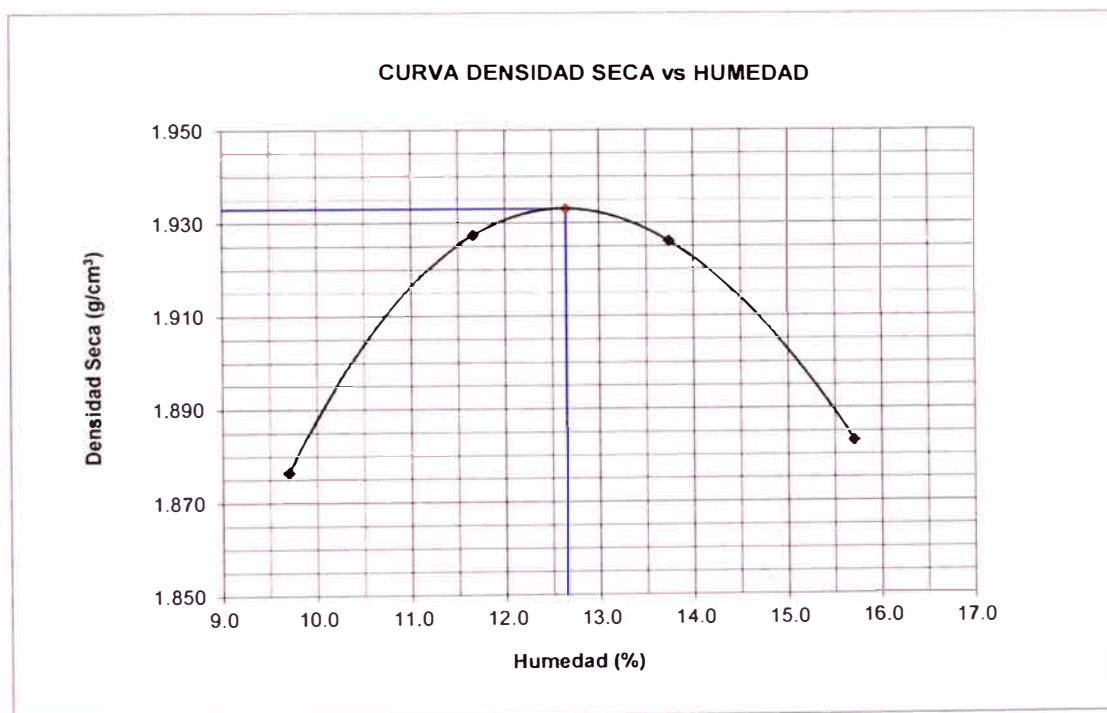
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.933
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.65



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 13-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.933
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.65

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.933	1.797	1.660
Contenido de Humedad	12.7	12.7	12.7

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	1058	1000	105.8
II	0.1	715	1000	71.5
III	0.1	303	1000	30.3
I	0.2	1315	1500	131.5
II	0.2	1049	1500	104.9
III	0.2	415	1500	41.5

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 105.8% 0.1" 0.2" 131.5%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 82.0% 115.2%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	1.5	1.6	1.9
Absorción de Agua (%)	1.2	2.1	3.4

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

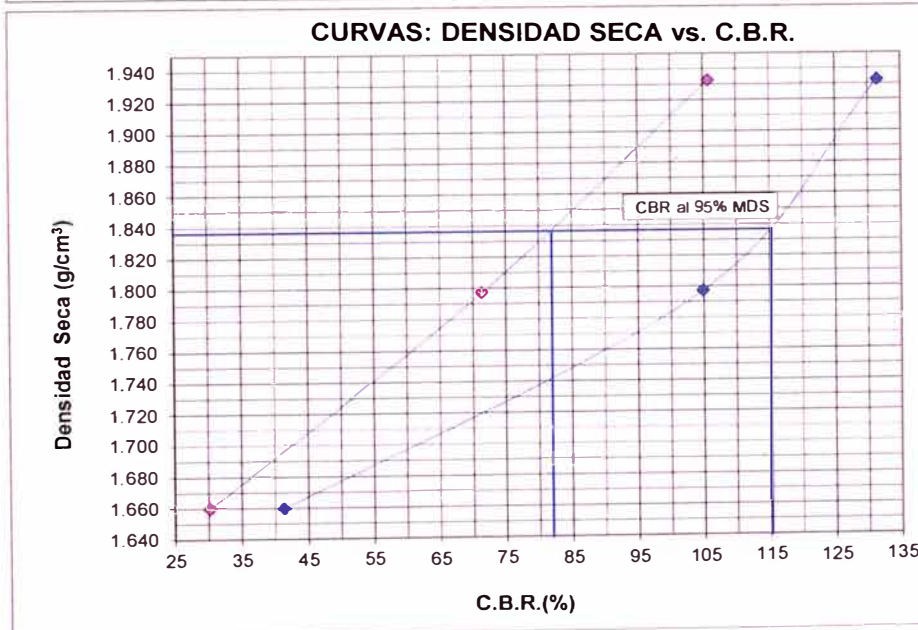
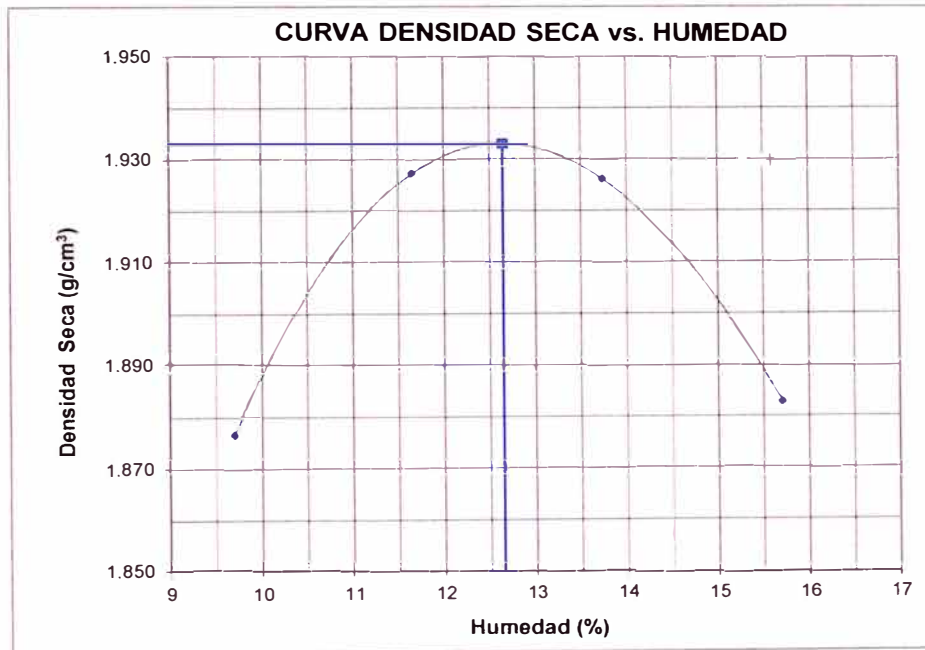
INFORME N° SSC29 - 13-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.933
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.65

Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 3 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 13-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 3 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

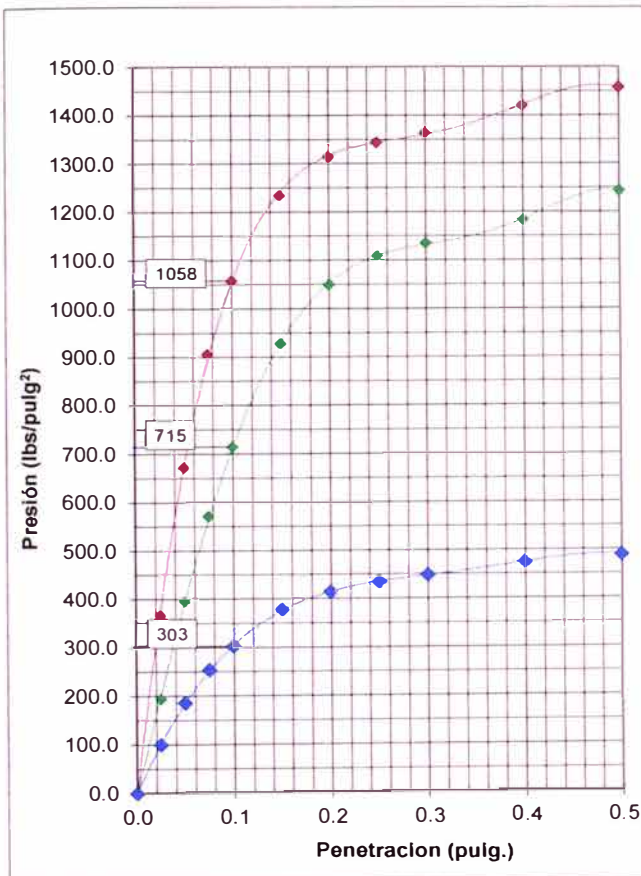
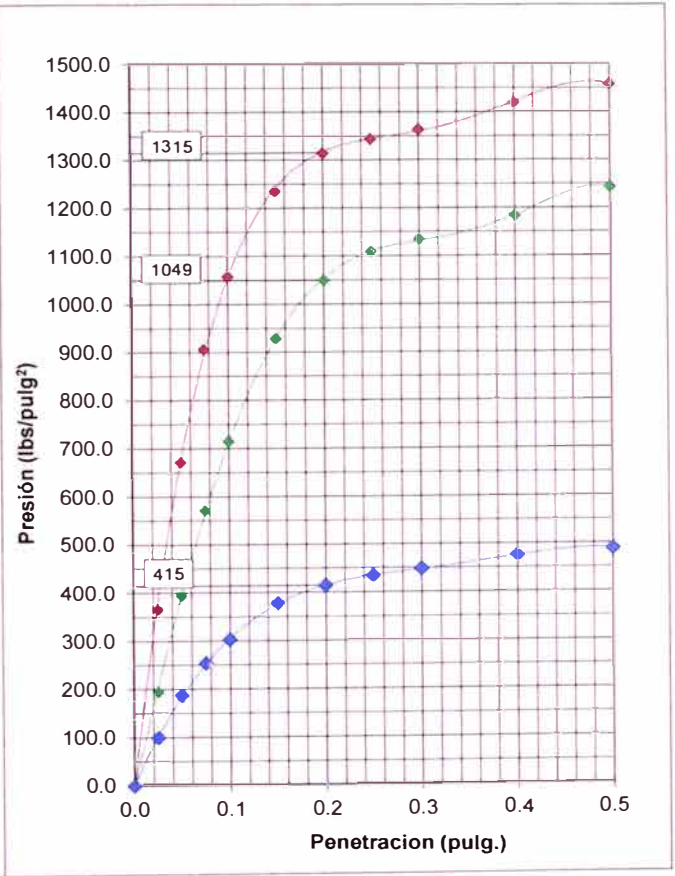


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 13-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m3
Solidry : 3 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	79.80
Altura	mm	:	160.00
Área	mm ²	:	5001.45
Volumen	mm ³	:	800231.51
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.177
Densidad seca	g/cm ³	:	1.933
Contenido de Humedad	%	:	12.65
L/D		:	2.01
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	573313.57
Grado de Saturación	%	:	86.24

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	80.69
Altura	mm	:	156.48
Área	mm ²	:	5113.95
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.177

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	973.44
Cohesión (kPa)	:	486.72
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	9.92

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

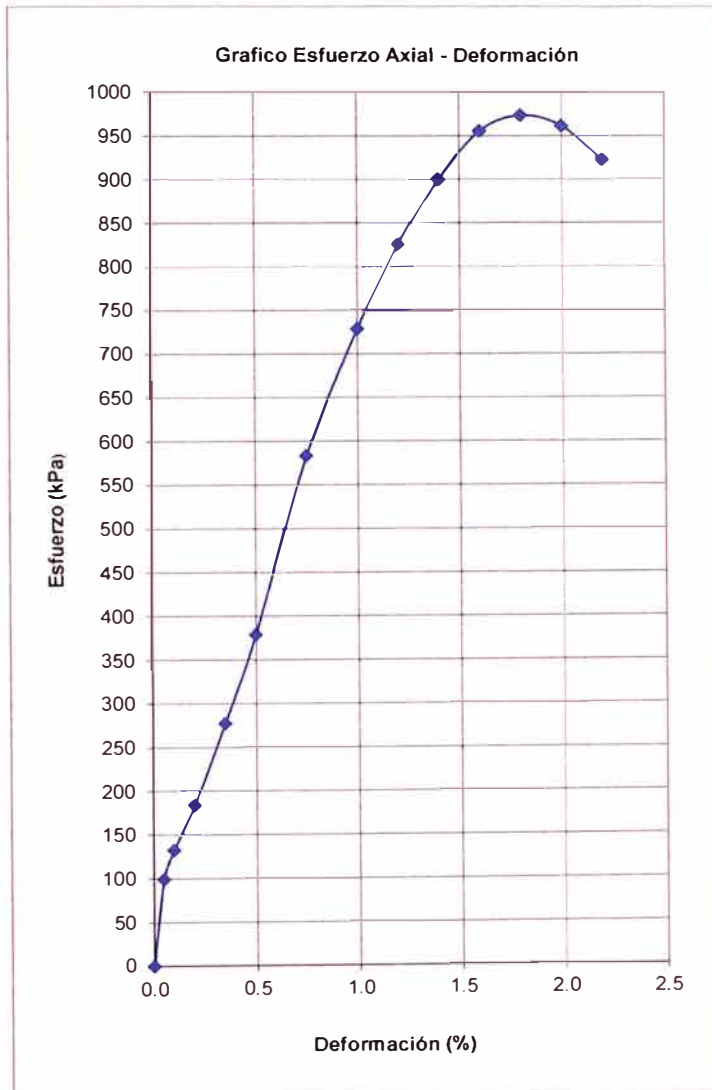
INFORME N° SSC29 - 13-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 3 %

Especimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	79.80	
Área Inicial (mm ²)	:	5001.45	
Altura Inicial (mm)	:	160.00	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5003.9	498.3	99.6
0.10	5006.5	664.5	132.7
0.20	5011.5	920.0	183.6
0.35	5019.0	1392.8	277.5
0.50	5026.6	1903.9	378.8
0.75	5039.2	2938.9	583.2
1.00	5052.0	3680.1	728.4
1.20	5062.2	4178.4	825.4
1.40	5072.5	4561.7	899.3
1.60	5082.8	4855.6	955.3
1.80	5093.1	4957.9	973.4
2.00	5103.5	4906.8	961.4
2.20	5114.0	4715.1	922.0



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 13-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D13
Consolid 444 : 0.04 l/m³
Solidry : 3 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 160
Diámetro Inicial (mm) : 79.35
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1592.3
Densidad Seca (g/cm³) : 1.933
Humedad de Compactación (%) : 12.65

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

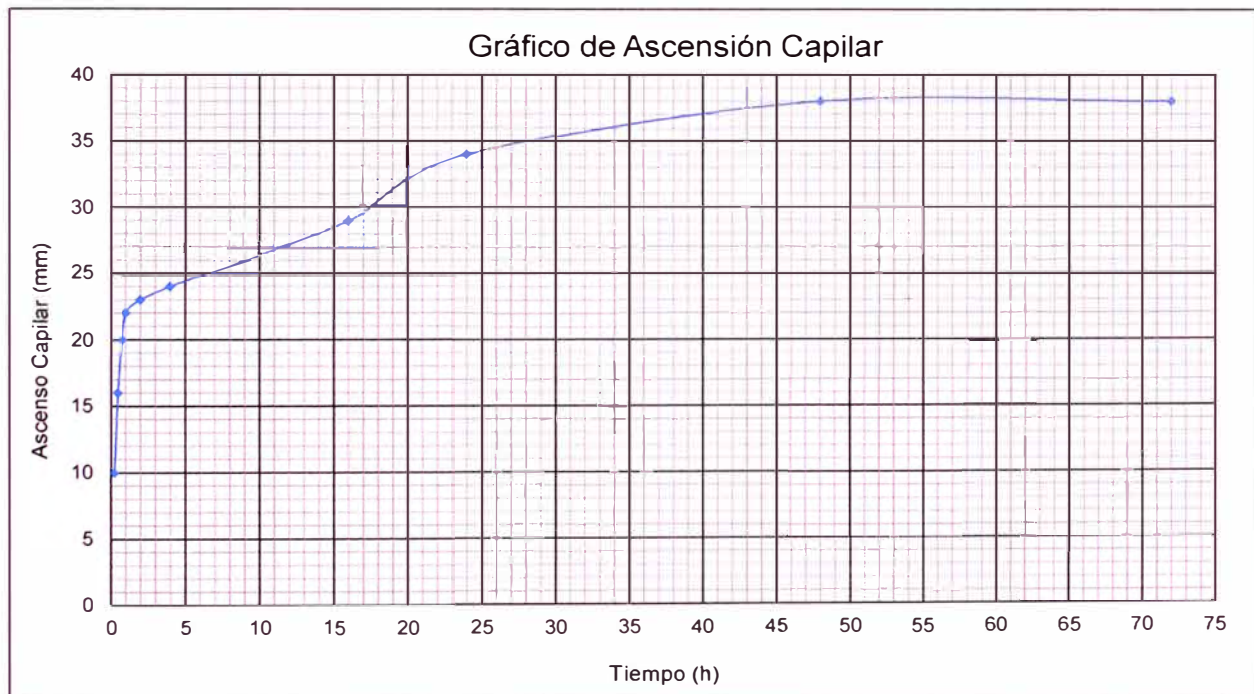
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 38
Diámetro Final (mm) : 80.15
Peso después de colocado en agua (g) : 1597.1
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1529.45

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 0.3
Expansión (%) : 2.0
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 21.3
Ascensión Capilar Final (%) : 23.8

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	16	20	22	23	24	29	34	38	38



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 14-1

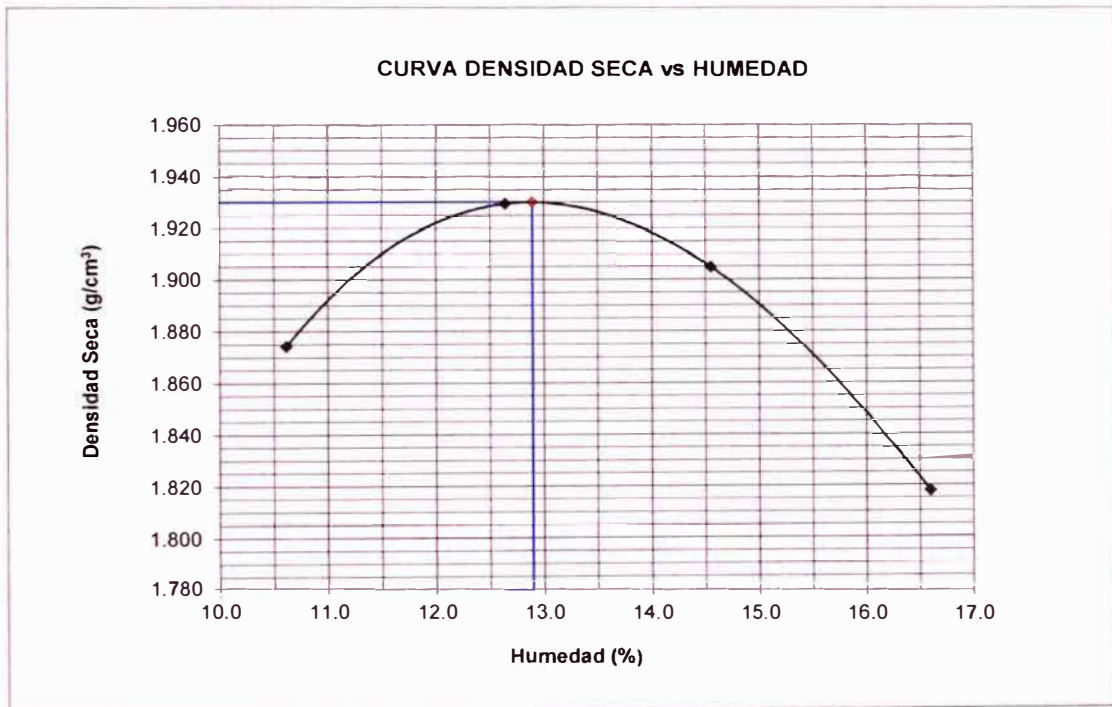
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.930
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.90



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SSC29 - 14-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.930
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.90

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.930	1.815	1.699
Contenido de Humedad	12.9	12.9	12.9

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	1081	1000	108.1
II	0.1	663	1000	66.3
III	0.1	340	1000	34.0
I	0.2	1286	1500	128.6
II	0.2	889	1500	88.9
III	0.2	495	1500	49.5

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 108.1% 0.1" 0.2" 128.6%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 72.5% 95.0%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	1.6	1.7	1.9
Absorción de Agua (%)	1.0	1.7	2.9

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

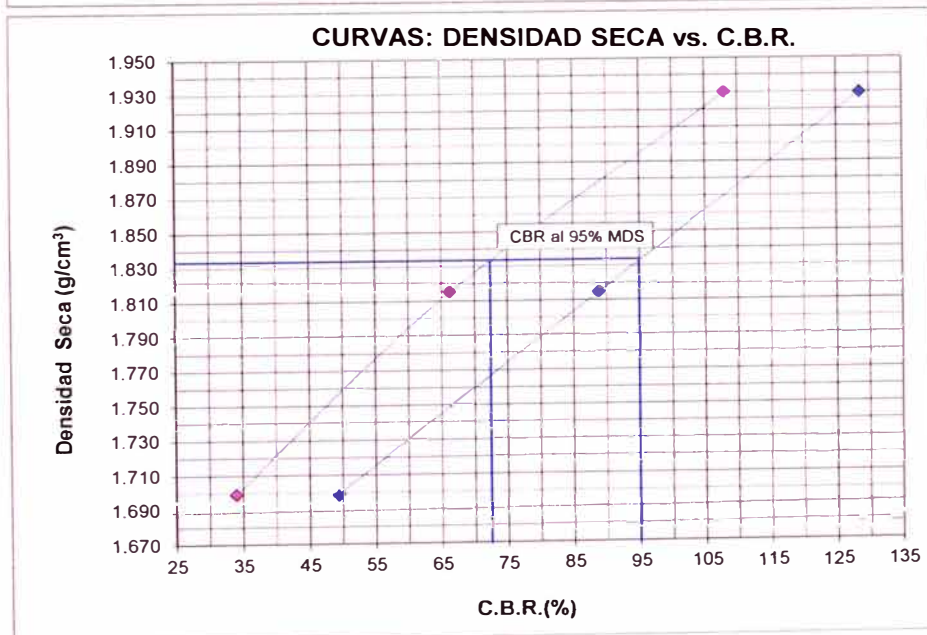
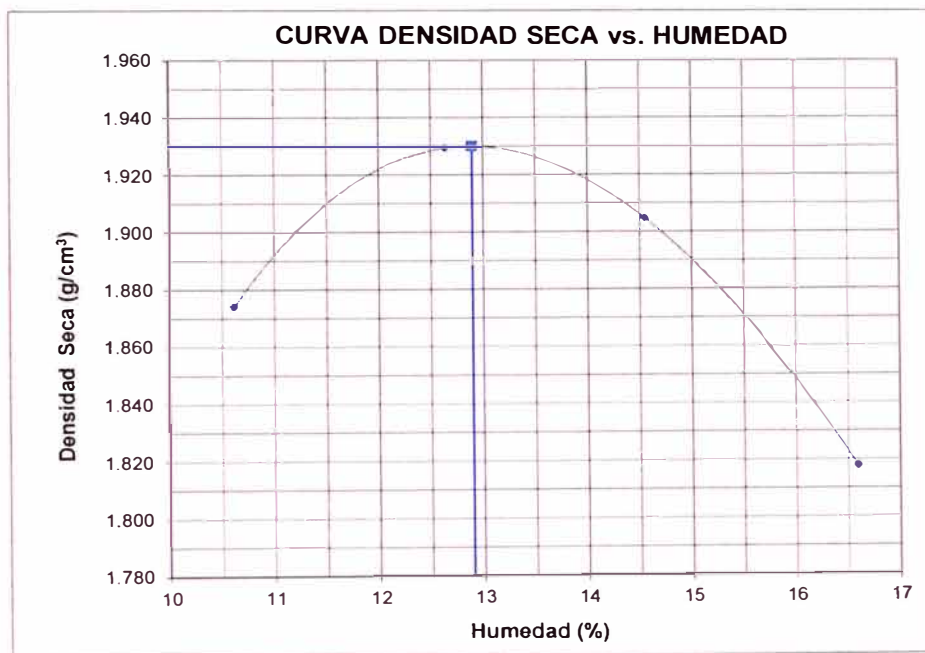
INFORME N° SSC29 - 14-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.930
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.90

Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 3 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora O.

INFORME N° SSC29 - 14-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m3
Solidry : 3 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

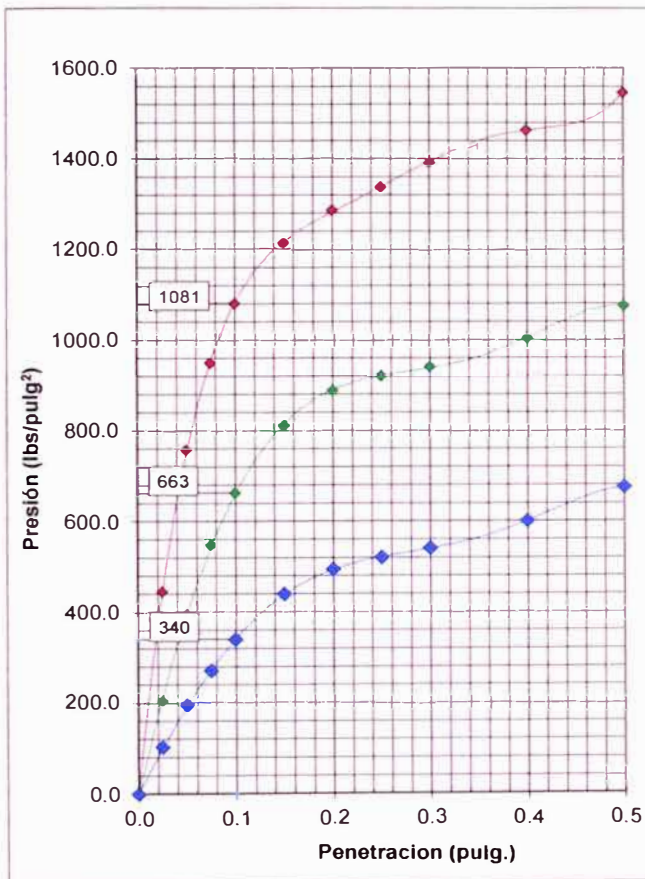
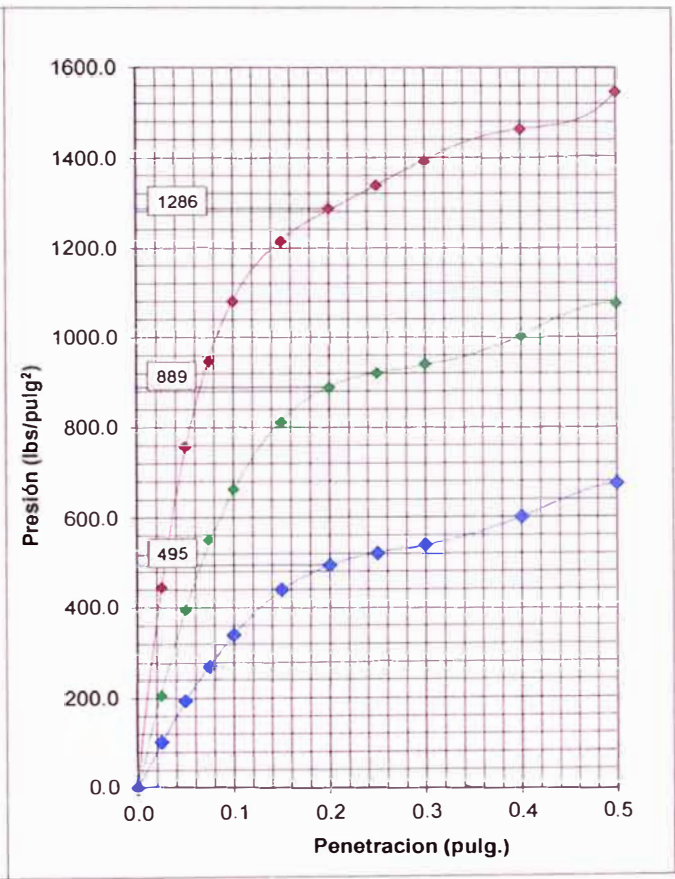


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 14-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 3 %
Clasificación SUCS : SC

ESPÉCIMEN

Condiciones Iniciales

Diámetro	mm	:	80.10
Altura	mm	:	160.00
Área	mm ²	:	5039.12
Volumen	mm ³	:	806259.60
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.179
Densidad seca	g/cm ³	:	1.930
Contenido de Humedad	%	:	12.90
L/D		:	2.00
Peso Relativo de Sólidos		:	2.70
Volumen de Sólidos	mm ³	:	576760.56
Grado de Saturación	%	:	87.45

Condiciones Finales

Diámetro	mm	:	81.25
Altura	mm	:	155.52
Área	mm ²	:	5184.28
Densidad Húmeda	g/cm ³	:	2.179

Parámetros de Resistencia

Carga última (kPa)	:	1063.60
Cohesión (kPa)	:	531.80
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	:	10.84

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

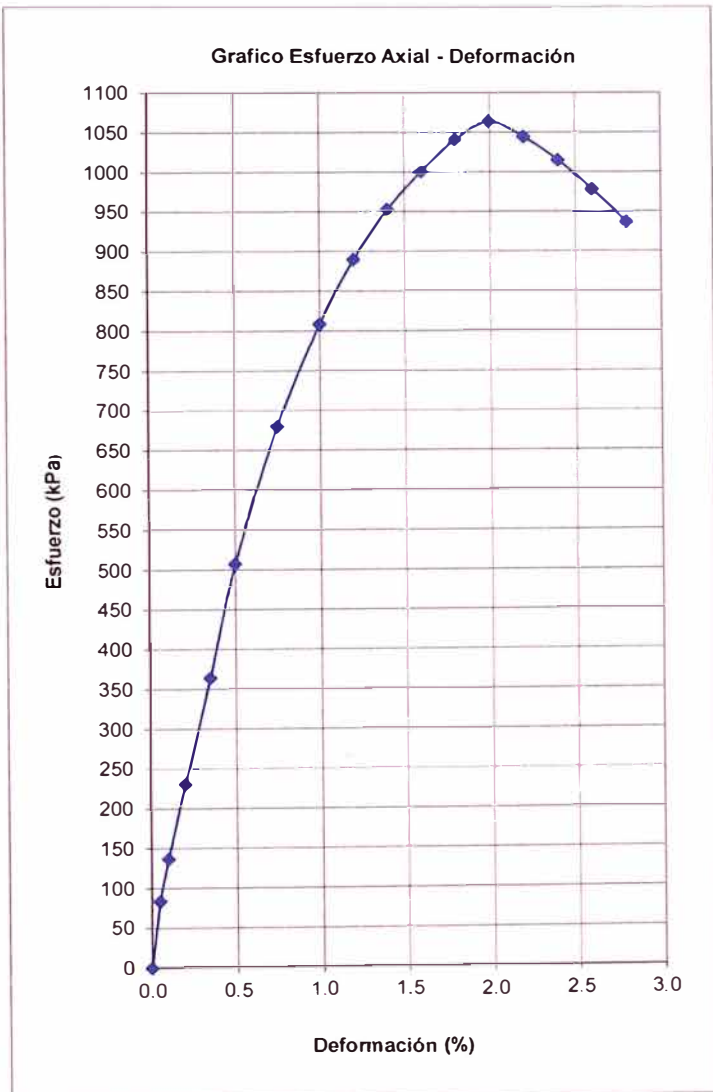
INFORME N° SSC29 - 14-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA - ASTM D2166 / MTC E 121

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D14
Consolid 444 : 0.08 l/m³
Solidry : 3 %

Espécimen			
Diámetro Inicial (mm)	:	80.10	
Área Inicial (mm ²)	:	5039.12	
Altura Inicial (mm)	:	160.00	
Deformación (%)	Área Corregida mm ²	Fuerza Axial (N)	Esfuerzo (kPa)
0.00		0.0	0.0
0.05	5041.6	421.7	83.6
0.10	5044.2	690.0	136.8
0.20	5049.2	1162.8	230.3
0.35	5056.8	1840.0	363.9
0.50	5064.4	2568.4	507.1
0.75	5077.2	3450.1	679.5
1.00	5090.0	4114.5	808.3
1.20	5100.3	4536.2	889.4
1.40	5110.7	4868.4	952.6
1.60	5121.1	5124.0	1000.6
1.80	5131.5	5341.2	1040.9
2.00	5142.0	5469.0	1063.6
2.20	5152.5	5379.5	1044.1
2.40	5163.0	5239.0	1014.7
2.60	5173.6	5060.1	978.1
2.80	5184.3	4855.6	936.6



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 14-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D14
 Consolid 444 : 0.08 l/m³
 Solidry : 3 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 161
 Diámetro Inicial (mm) : 80.25
 Peso después de Secado a 50°C (g) : 1636.7
 Densidad Seca (g/cm³) : 1.93
 Humedad de Compactación (%) : 12.9

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

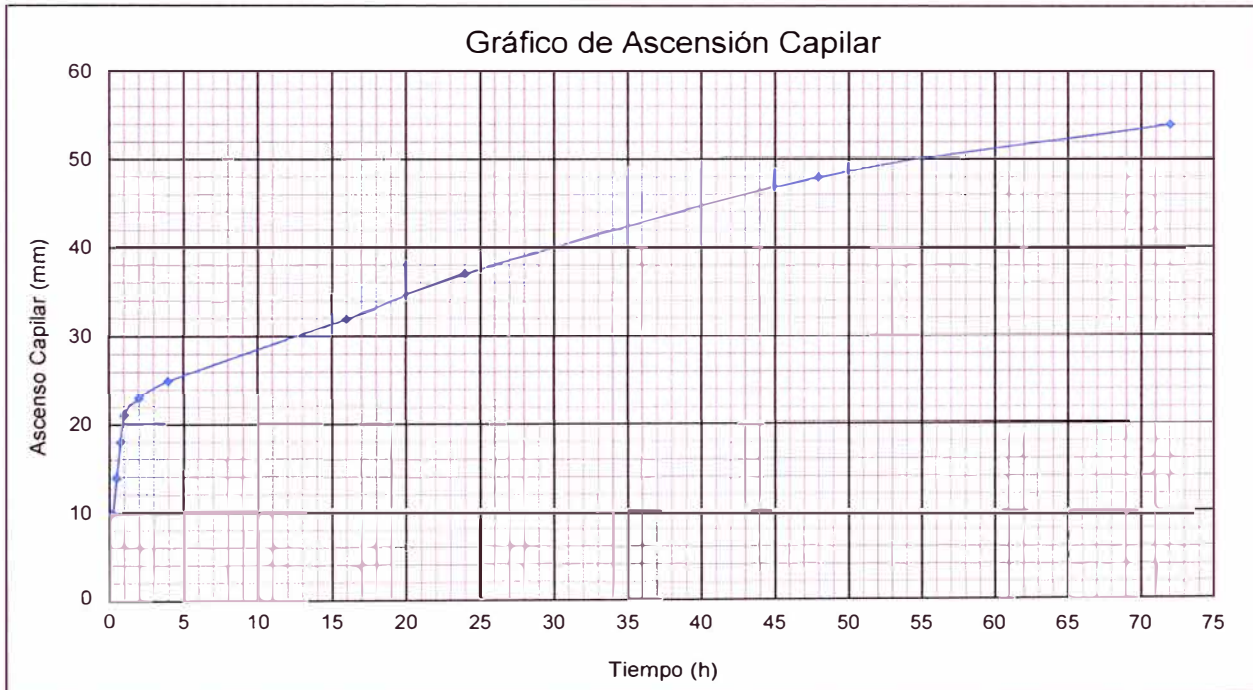
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 54
 Diámetro Final (mm) : 80.5
 Peso después de colocado en agua : 1640
 Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1571.68

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 0.2
 Expansión (%) : 0.6
 Ascensión Capilar a 24 h (%) : 23.0
 Ascensión Capilar Final (%) : 33.5

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	14	18	21	23	25	32	37	48	54



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
 Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 15-1

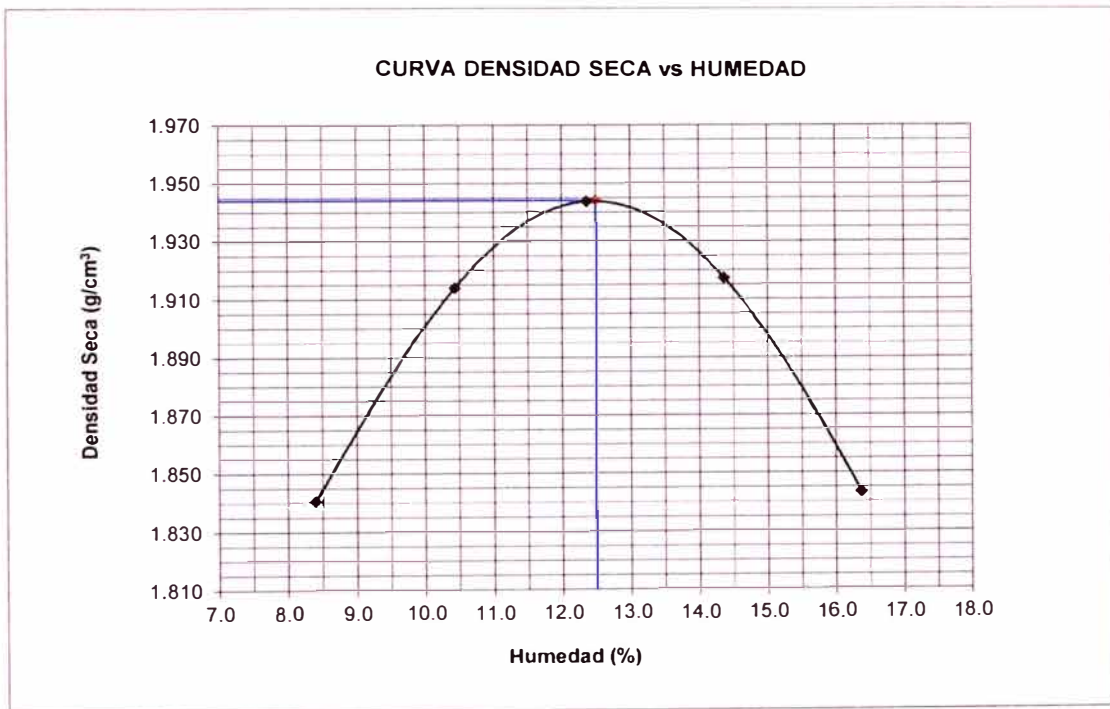
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.944
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.50



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 15-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.944
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.50

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.944	1.826	1.690
Contenido de Humedad	12.5	12.5	12.5

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	1043	1000	104.3
II	0.1	652	1000	65.2
III	0.1	277	1000	27.7
I	0.2	1284	1500	128.4
II	0.2	995	1500	99.5
III	0.2	472	1500	47.2

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 0.1" 104.3% 0.2" 128.4%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 71.5% 105.5%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	1.7	2.5	2.9
Absorción de Agua (%)	1.2	2.2	3.7

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

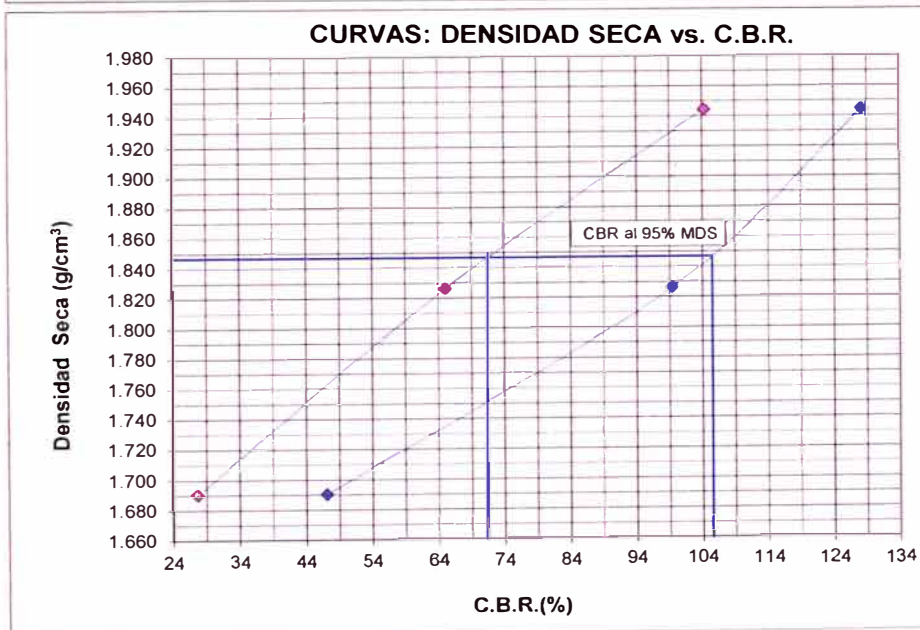
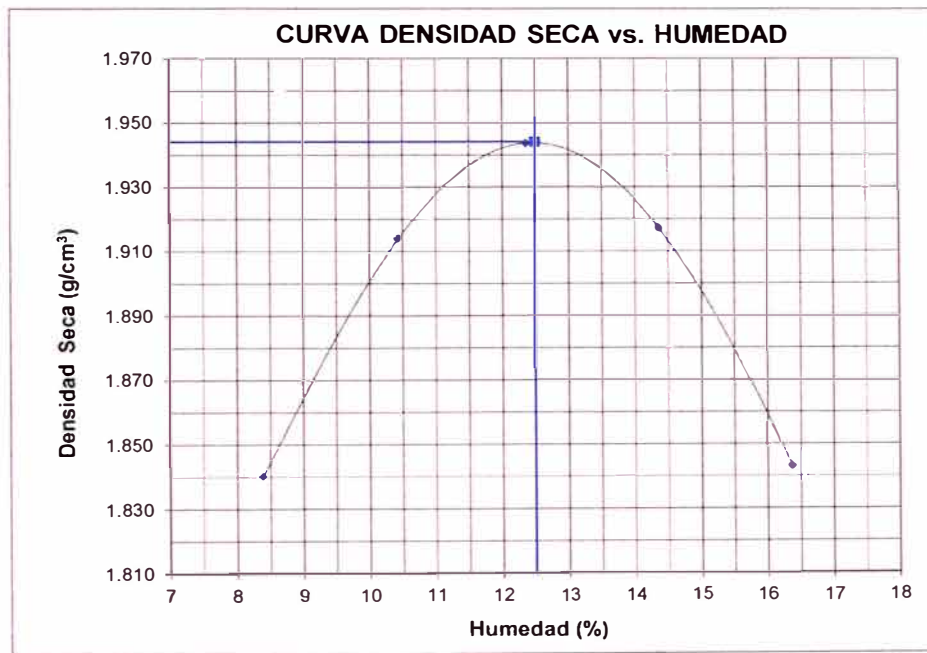
INFORME N° SSC29 - 15-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.944
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.50

Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 15-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

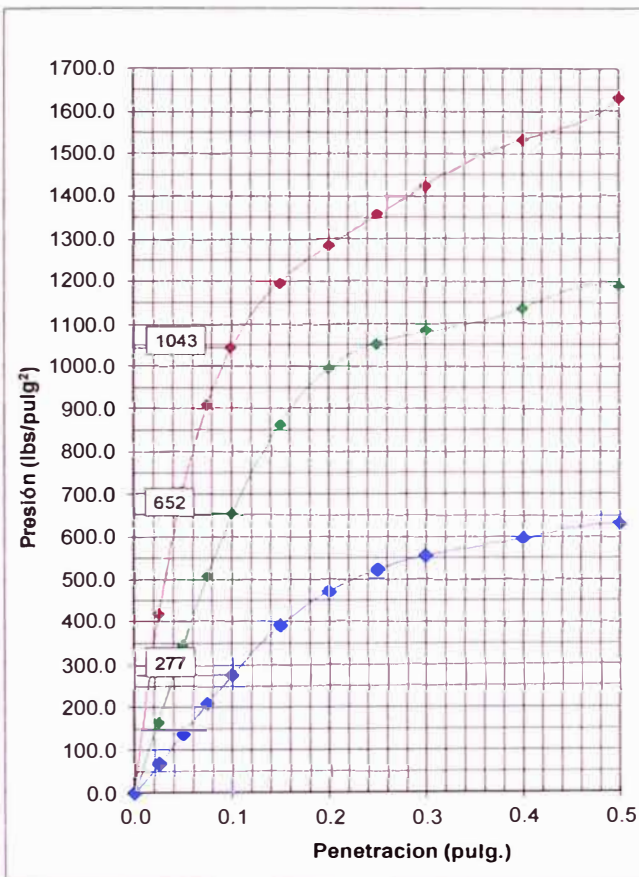
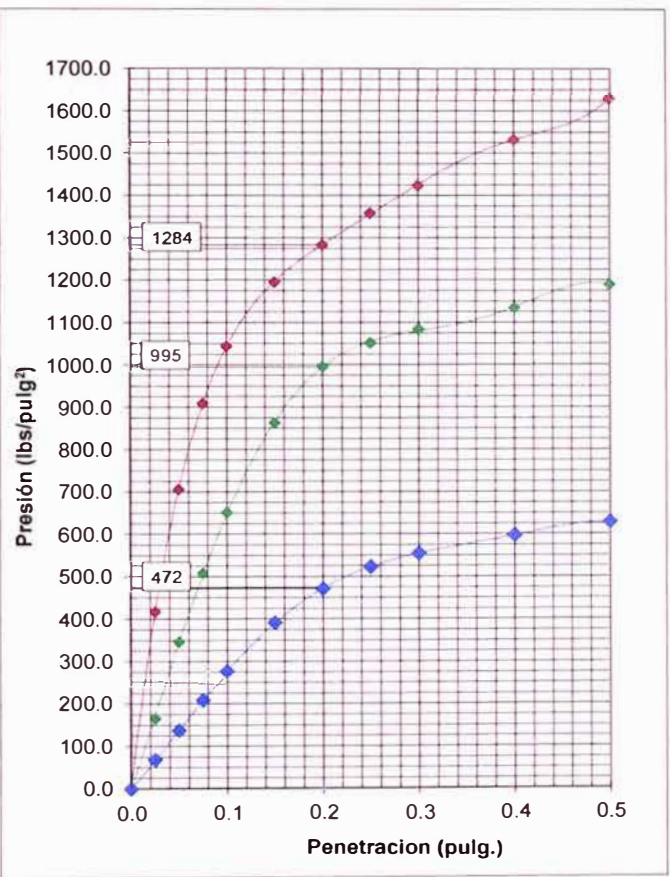


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 15-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO ASTM D1633 / MTC E 1103

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %

a) Datos de los Especímenes

	Especimen 1	Especimen 2
Diámetro (mm)	: 79.7	79.6
Altura (mm)	: 159.6	159.7
Área (mm ²)	: 4988.9	4976.4
Volumen (mm ³)	: 796131.8	794832.0
Densidad Seca (g/cm ³)	: 1.944	1.944
Humedad de Compactación (%)	: 12.5	12.5

b) Parámetros de Resistencia

Especimen	Edad de Especimen (días)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
1	0	49.9	499	10.0	10.4
2	0	49.8	537	10.8	

Observaciones: Los especímenes se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.

El Ensayo de Compresión Simple se realizó a una velocidad de carga constante de 1.5 kg/cm²/s.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 15-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D15
Consolid 444 : 0.12 l/m³
Solidry : 3 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 161.5
Diámetro Inicial (mm) : 79.5
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1631.1
Densidad Seca (g/cm³) : 1.944
Humedad de Compactación (%) : 12.5

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

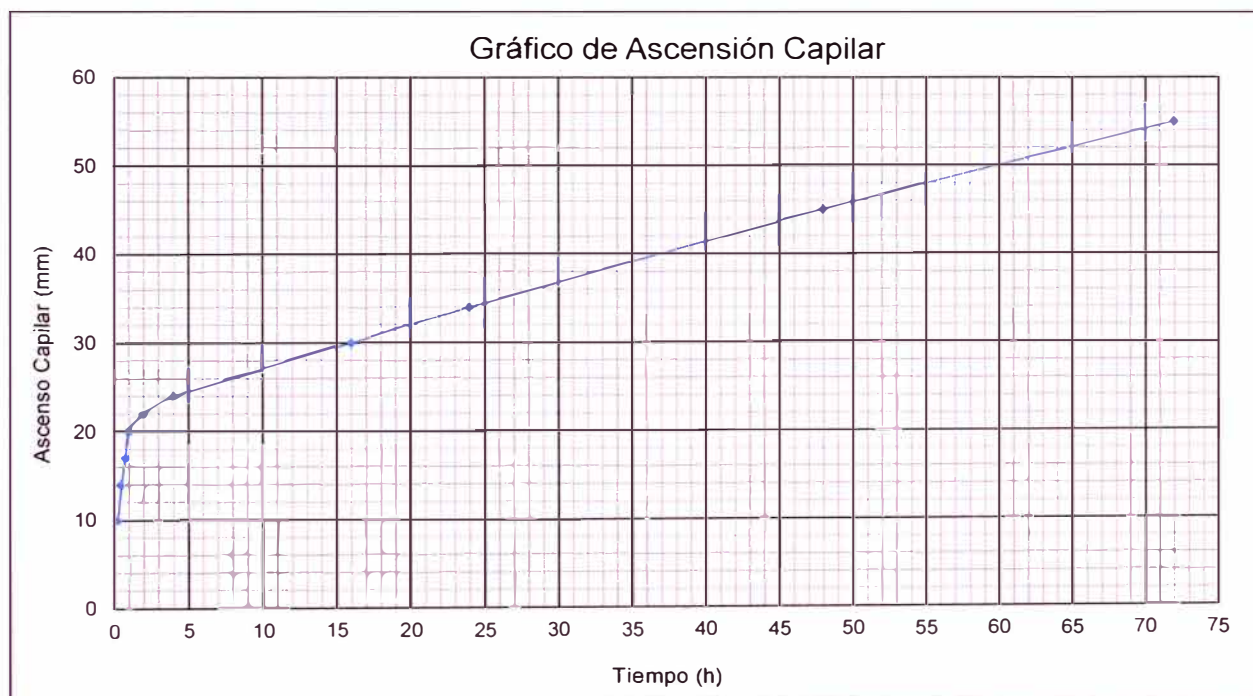
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 55
Diámetro Final (mm) : 80.5
Peso después de colocado en agua (g) : 1647.1
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1558.45

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 1.0
Expansión (%) : 2.5
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 21.1
Ascensión Capilar Final (%) : 34.1

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	14	17	20	22	24	30	34	45	55



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 16-1

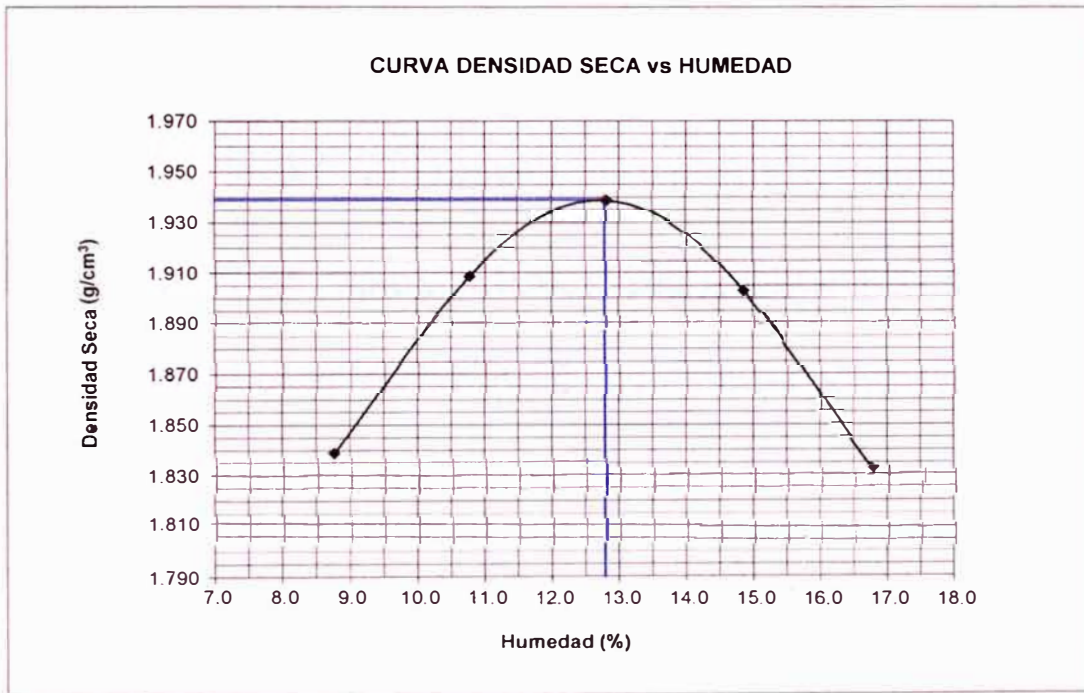
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.80



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 16-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.80

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm ³)	1.939	1.838	1.696
Contenido de Humedad	12.8	12.8	12.8

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg ²)	Presión Patrón (Lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.1	1292	1000	129.2
II	0.1	872	1000	87.2
III	0.1	289	1000	28.9
I	0.2	1492	1500	149.2
II	0.2	1169	1500	116.9
III	0.2	443	1500	44.3

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 129.2% 0.1" 0.2" 149.2%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 88.9% 118.7%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	1.3	1.7	2.3
Absorción de Agua (%)	1.0	1.8	3.2

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

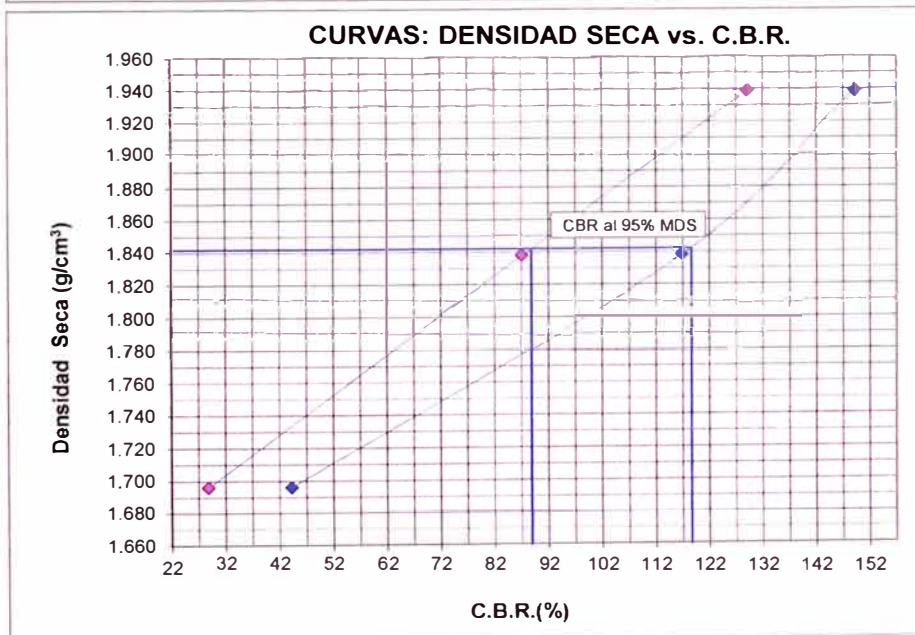
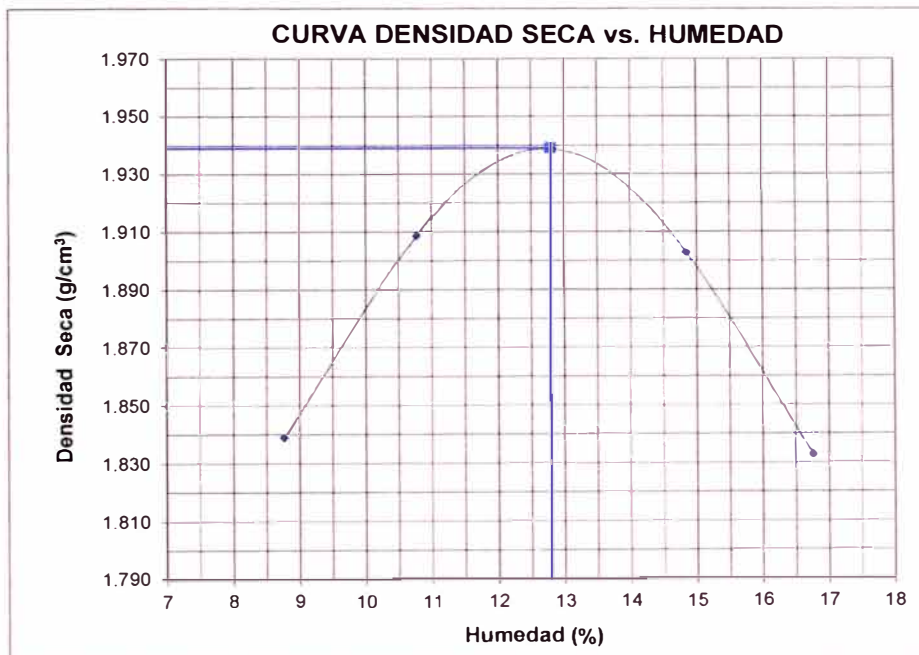
INFORME N° SSC29 - 16-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.939
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 12.80

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m^3
Solidry : 3 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 16-2

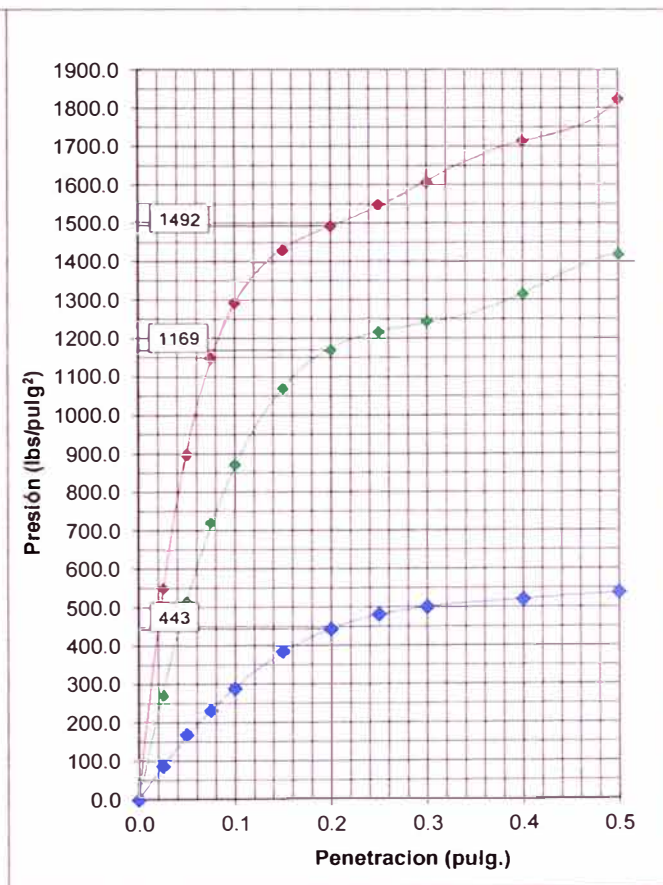
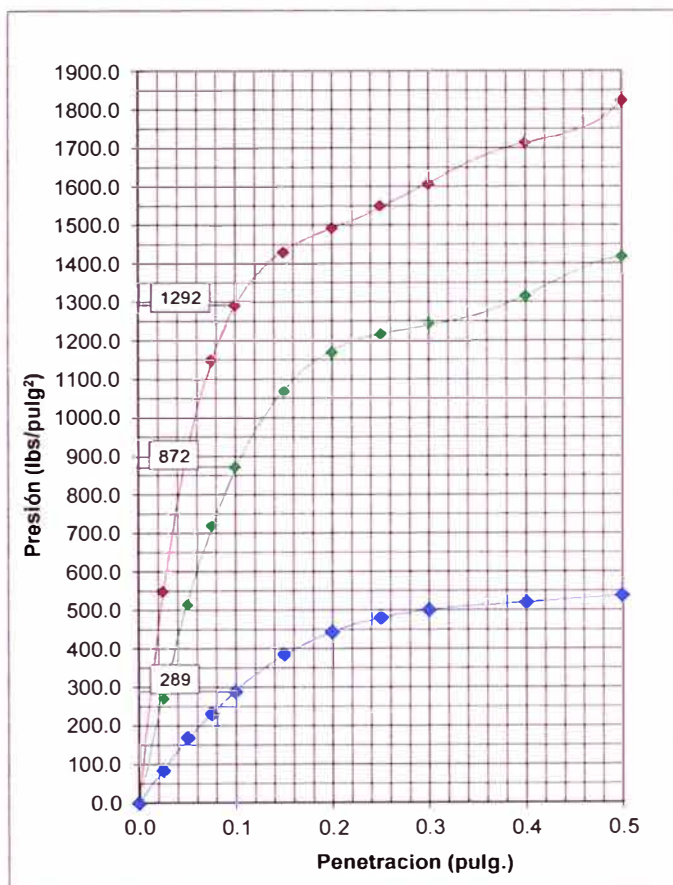
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 16-3

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO ASTM D1633 / MTC E 1103

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

a) Datos de los Especímenes	Especímen 1	Especímen 2
Diámetro (mm)	: 79.8	79.5
Altura (mm)	: 159.4	159.5
Área (mm ²)	: 4995.2	4963.9
Volumen (mm ³)	: 796419.2	791976.8
Densidad Seca (g/cm ³)	: 1.939	1.939
Humedad de Compactación (%)	: 12.8	12.8

b) Parámetros de Resistencia

Especímen	Edad de Especímen (días)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
1	0	50.0	1111	22.2	20.0
2	0	49.6	881	17.7	

Observaciones: Los especímenes se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.

El Ensayo de Compresión Simple se realizó a una velocidad de carga constante de 1.5 kg/cm²/s.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 16-4

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 161
Diámetro Inicial (mm) : 79.5
Peso después de Secado a 50°C (g) : 1634.3
Densidad Seca (g/cm³) : 1.939
Humedad de Compactación (%) : 12.8

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

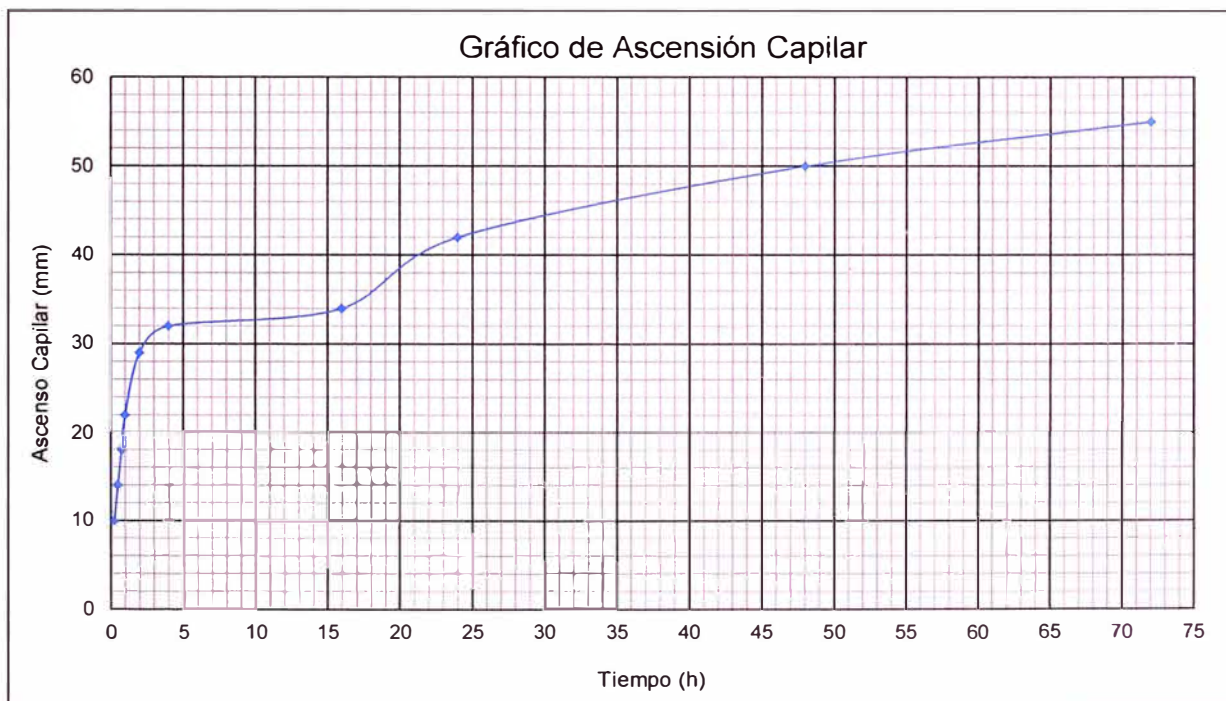
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 55
Diámetro Final (mm) : 80.95
Peso después de colocado en agua (g) : 1645.8
Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1549.63

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 0.7
Expansión (%) : 3.7
Ascensión Capilar a 24 h (%) : 26.1
Ascensión Capilar Final (%) : 34.2

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	14	18	22	29	32	34	42	50	55



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

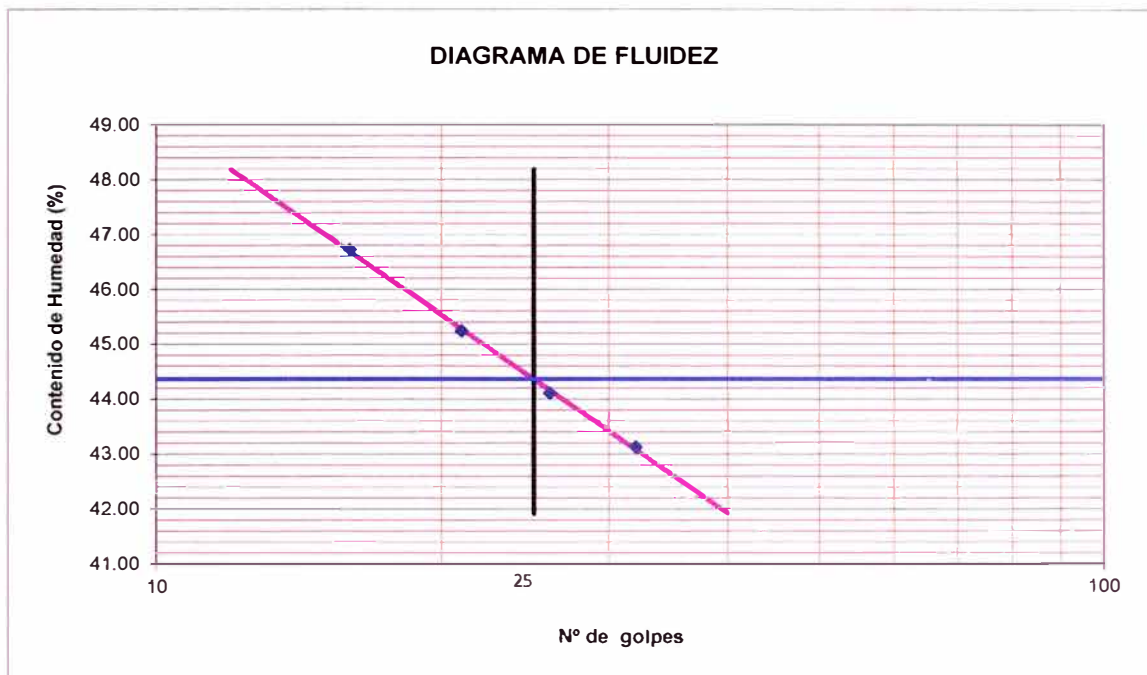
INFORME N° SSC29 - 16-5

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Dosificación : D16
Consolid 444 : 0.24 l/m³
Solidry : 3 %

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%) : 44.4
LÍMITE PLÁSTICO (%) : 26.6
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 17.8

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

ANEXO 3

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

INFORME N° SC29 - 01-1

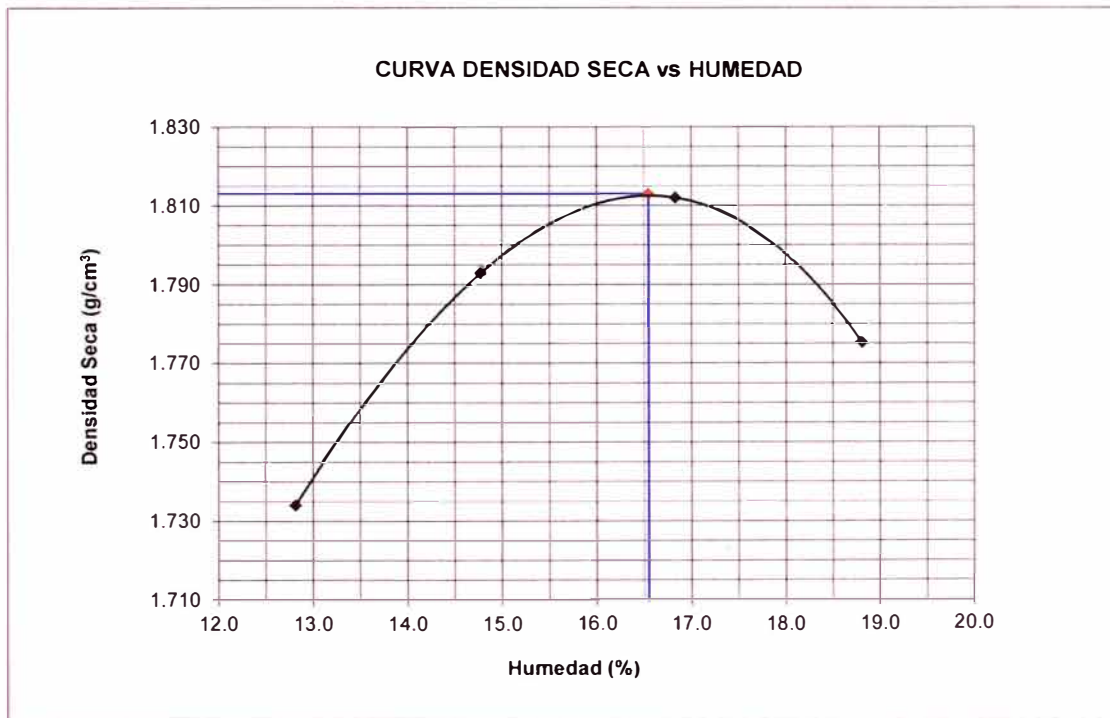
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 7 %

ENSAYO DE RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD (SUELO-CEMENTO) - ASTM D558 / MTC E 1102

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.813
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 16.55



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 01-2

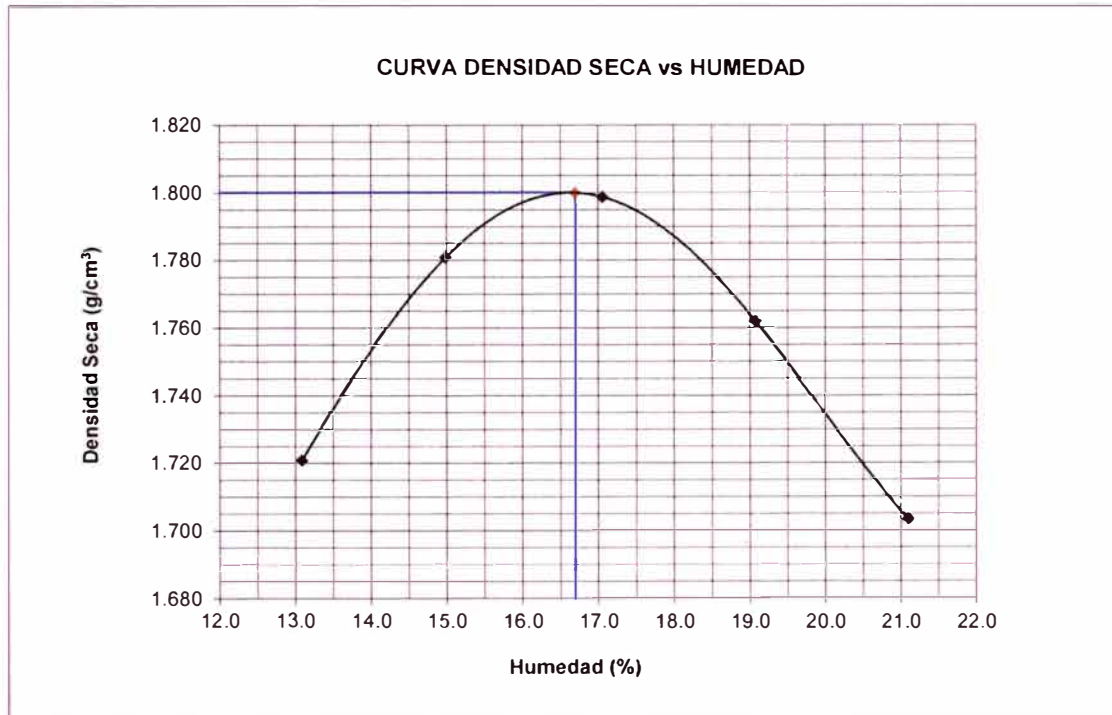
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO
ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 9 %

ENSAYO DE RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD (SUELO-CEMENTO) - ASTM D558 / MTC E 1102

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.800
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 16.70



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SSC29 - 01-3

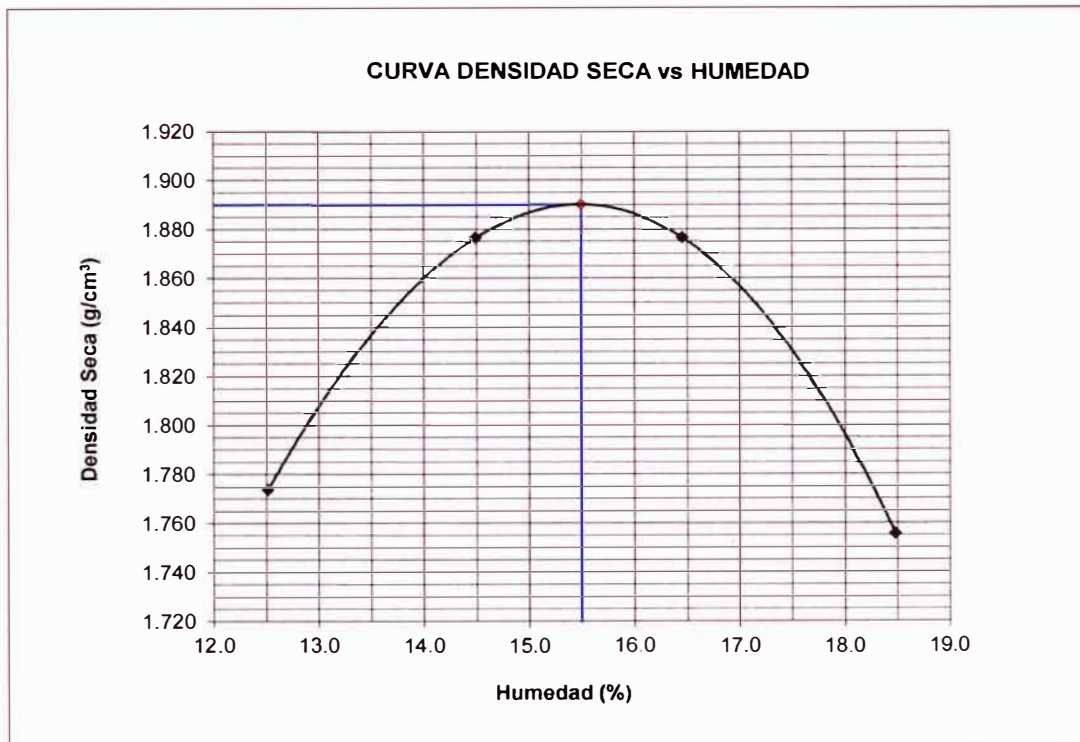
TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 9 %

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557 - MÉTODO DE REEMPLAZO ASTM D1883

Método de Ensayo : B
Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.890
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.50



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 02

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 9 %

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

a) Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado ASTM D1557

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.890
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.50

b) Compactación de moldes

MOLDE N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Numero de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (g/cm^3)	1.890	1.833	1.765
Contenido de Humedad	15.5	15.5	15.5

c) Cuadro de valores de C.B.R.

MOLDE N°	Penetración (pulg)	Presión Aplicada (Lb/pulg^2)	Presión Patrón (Lb/pulg^2)	C.B.R. (%)
I	0.1	1539	1000	153.9
II	0.1	1371	1000	137.1
III	0.1	1161	1000	116.1
I	0.2	2505	1500	250.5
II	0.2	2273	1500	227.3
III	0.2	1990	1500	199.0

C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 153.9% 250.5%
C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 125.5% 212.0%

d) Expansión y Absorción de Agua

MOLDE N°	I	II	III
Expansión (%)	0.3	0.3	0.4
Absorción de Agua (%)	0.6	1.0	1.3

Ejecutado por : Bach. B. Ramírez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

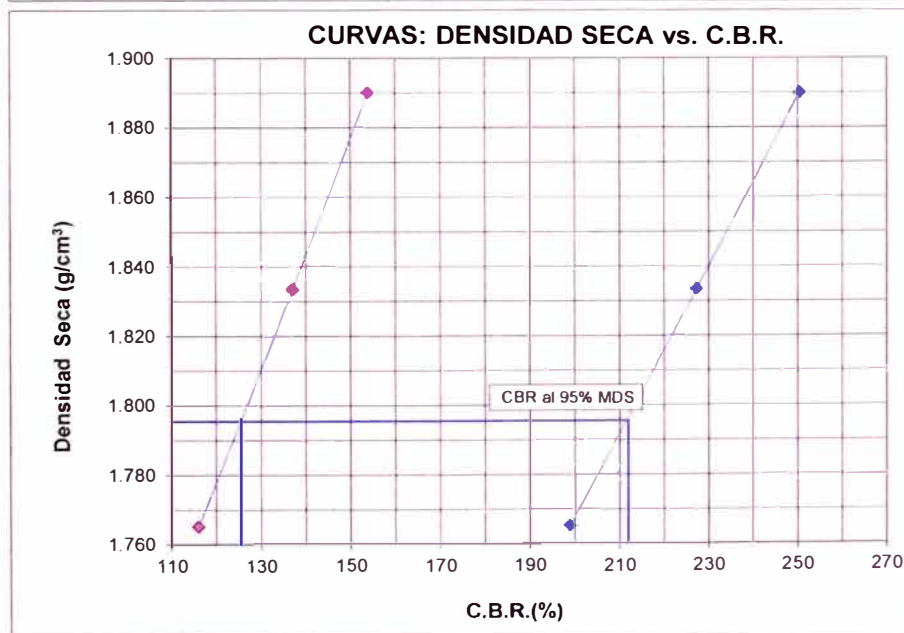
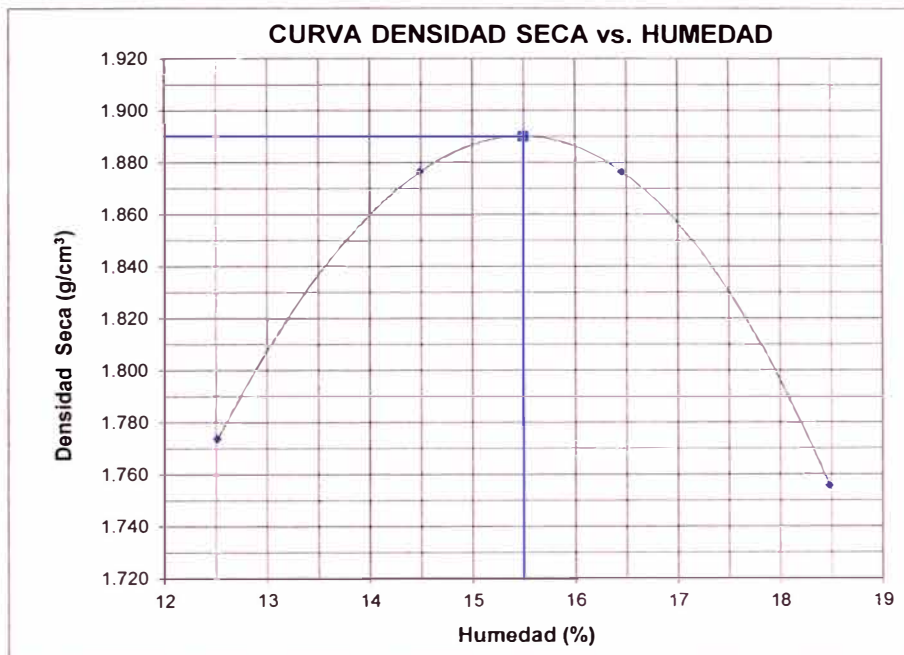
INFORME N° SC29 - 02

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.890
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 15.5

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de
Cemento en Peso : 9 %



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q

INFORME N° SC29 - 02

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - ASTM D1883 / MTC E 132

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 9 %

GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.1"

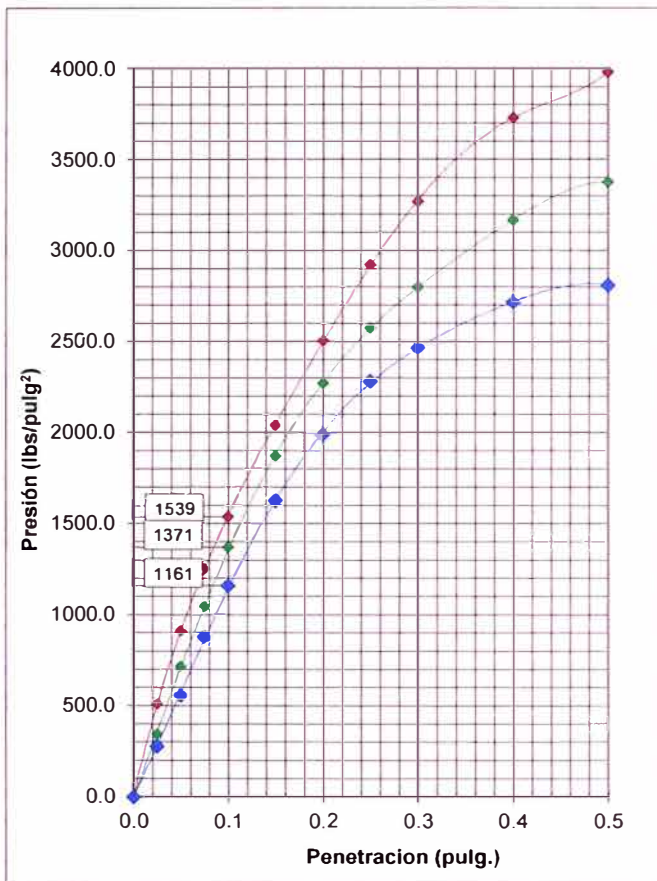
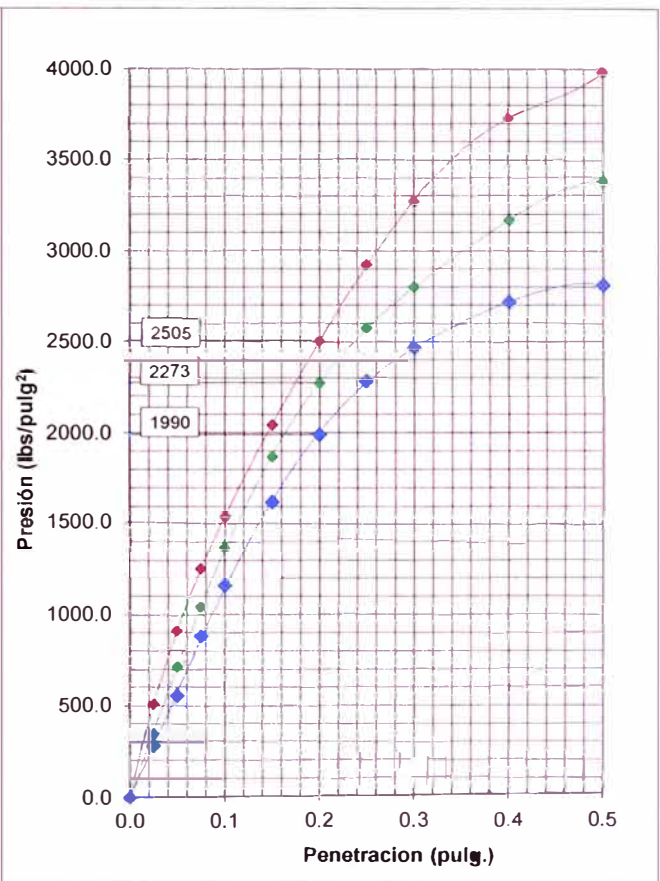


GRÁFICO PRESIÓN VS PENETRACIÓN
CBR DE PENETRACIÓN A 0.2"



Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 03-1

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO ASTM D1633 / MTC E 1103

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de : 7 %
Cemento en Peso

a) Datos de los Especímenes	Especímen 1	Especímen 2
Diámetro (mm)	: 79.5	79.5
Altura (mm)	: 158.0	158.0
Área (mm ²)	: 4957.7	4957.7
Volumen (mm ³)	: 783312.0	783312.0
Densidad Seca (g/cm ³)	: 1.813	1.813
Humedad de Compactación (%)	: 16.55	16.55

b) Parámetros de Resistencia

Especímen	Edad de Especímen (días)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
1	7	49.6	608	12.3	12.4
2	7	49.6	622	12.5	

Observaciones: Los especímenes se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Ensayo Densidad - Humedad (Suelo-Cemento)
El Ensayo de Compresión Simple se realizó a una velocidad de carga constante de 1.5 kg/cm²/s.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 03-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO
USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO ASTM D1633 / MTC E 1103

Estado : Remoldeado (Material < 3/8")
Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de
Cemento en Peso : 9 %

a) Datos de los Especímenes	Especímen 1	Especímen 2
Diámetro (mm)	: 79.3	79.9
Altura (mm)	: 160.0	160.0
Área (mm ²)	: 4939.0	5007.7
Volumen (mm ³)	: 790235.0	801234.6
Densidad Seca (g/cm ³)	: 1.800	1.800
Humedad de Compactación (%)	: 16.7	16.7

b) Parámetros de Resistencia

Especímen	Edad de Especímen (días)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)
1	7	49.4	1490	30.2	28.5
2	7	50.1	1340	26.8	

Observaciones: Los especímenes se remoldearon con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Ensayo Densidad - Humedad (Suelo-Cemento)

El Ensayo de Compresión Simple se realizó a una velocidad de carga constante de 1.5 kg/cm²/s.

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.

Revisado por : Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 04

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

ENSAYO DE ABSORCIÓN, EXPANSIÓN Y ASCENSIÓN CAPILAR DE MATERIALES COMPACTADOS AS 1141.53-1996 - TEST METHOD Q125D

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de Cemento en Peso : 9 %

a) Datos del Espécimen antes del Ensayo

Altura Inicial (mm) : 160.0
 Diámetro Inicial (mm) : 79.8
 Peso después de Secado a 50°C (g) : 1647.8
 Densidad Seca (g/cm³) : 1.800
 Humedad de Compactación (%) : 16.7

b) Datos del Espécimen después del Ensayo

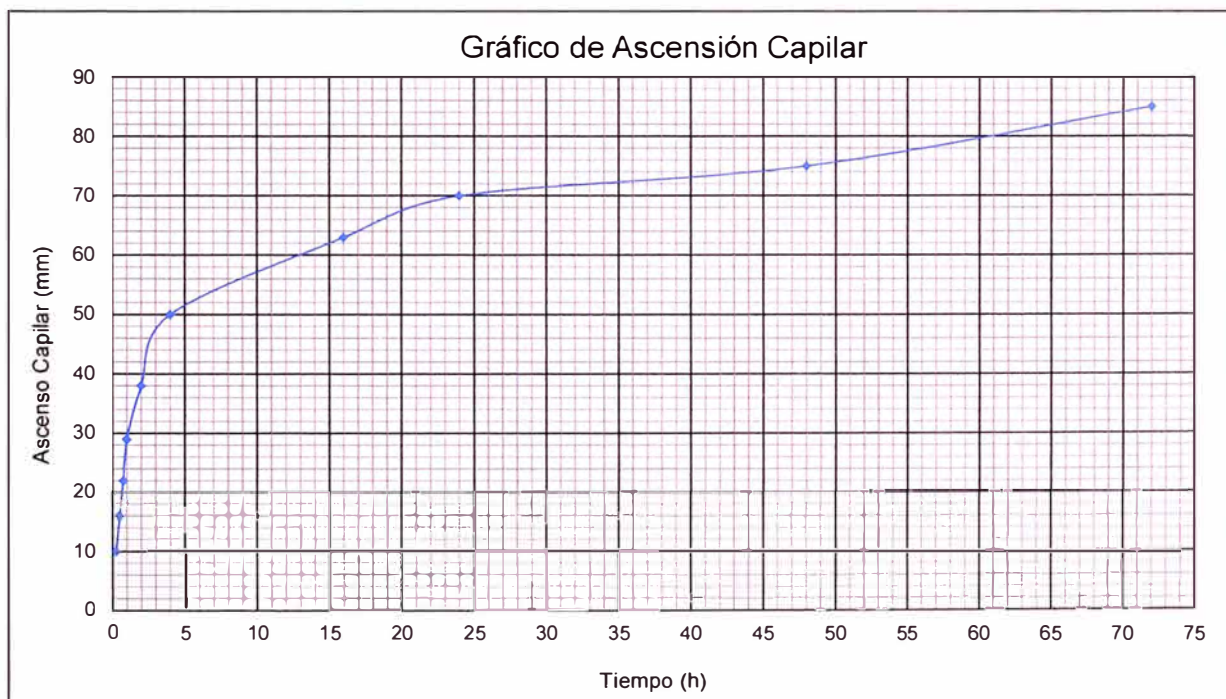
Altura de Ascenso Capilar Final (mm) : 85.0
 Diámetro Final (mm) : 80.0
 Peso después de colocado en agua (g) : 1662.6
 Peso Seco al horno a 110°C (g) : 1440.42

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Absorción de Agua (%) : 1.0
 Expansión (%) : 0.5
 Ascensión Capilar a 24 h (%) : 43.8
 Ascensión Capilar Final (%) : 53.1

c) Resultados de Absorción, Expansión y Ascensión Capilar

Tiempo (h)	0.25	0.5	0.75	1	2	3	16	24	48	72
Ascensión Capilar (mm)	10	16	22	29	38	50	63	70	75	85



Observaciones: El espécimen se remoldeo con la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del Proctor Modificado.
 El espécimen fue secado en el horno a una temperatura de 50°C durante 3.5 horas antes de ser colocado en agua.

Ejecutado por Bach. B. Ramirez P.
Revisado por Ing. S. Mora Q.

INFORME N° SC29 - 05-1

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 07 DE FEBRERO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de :
Cemento en Peso : 9 %

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111

LÍMITE LÍQUIDO (%) : NP
LÍMITE PLÁSTICO (%) : NP
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : NP

Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

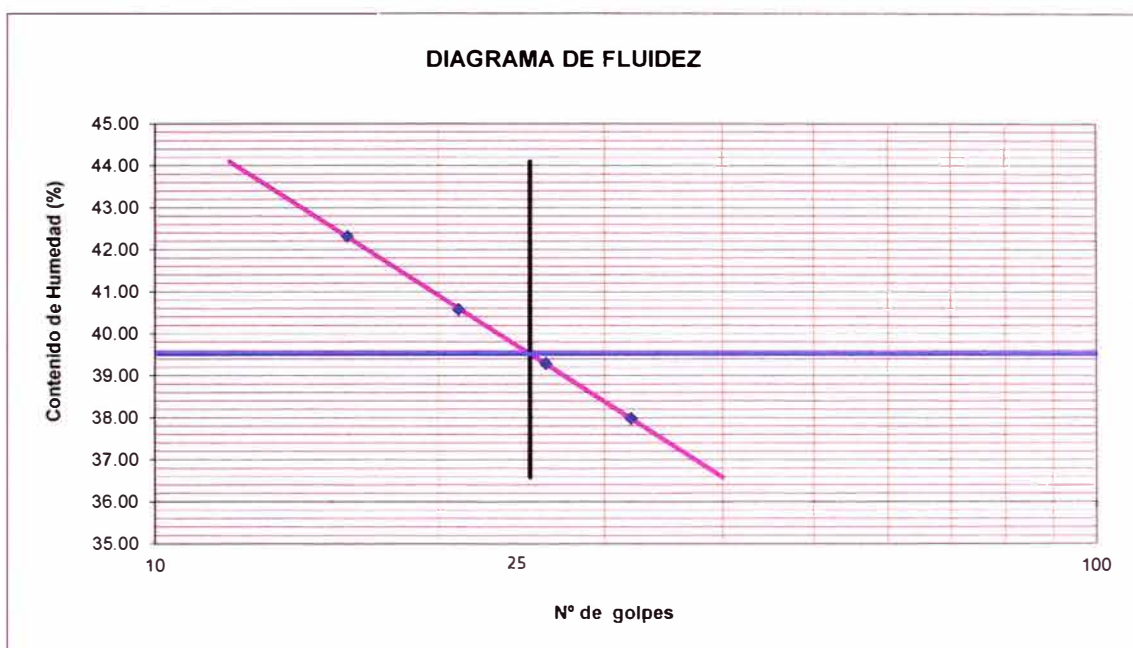
INFORME N° SC29 - 05-2

TESISTA : BACHILLER BRUNO YADIN RAMIREZ PONCE
TESIS : EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID.
UBICACIÓN : LIMA
FECHA : 16 DE MAYO 2018

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Suelo-Cemento
Contenido de : 9 %
Cemento en Peso :

ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA - ASTM D4318 / MTC E 110 - MTC E 111



LÍMITE LÍQUIDO (%) : 39.5
LÍMITE PLÁSTICO (%) : 24.0
ÍNDICE PLÁSTICO (%) : 15.5

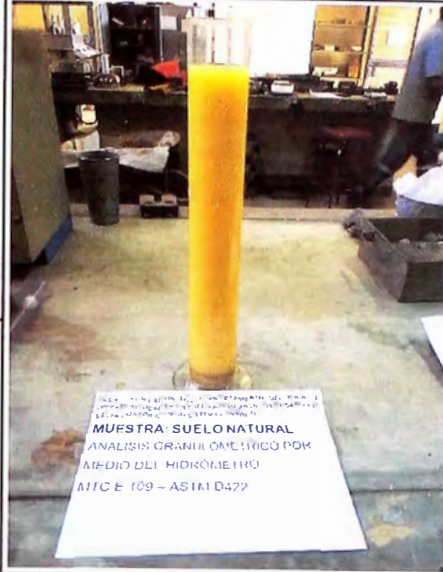
Ejecutado por : Bach. B. Ramirez P.
Revisado por : Ing. S. Mora Q.

ANEXO 4

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS REALIZADOS

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO NATURAL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR
SEDIMENTACIÓN**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LÍMITES DE CONSISTENCIA



LÍMITE LÍQUIDO

LÍMITE PLÁSTICO

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLIDO"
MUESTRA: SUELO NATURAL
 ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL
 LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
 MTC E 110 - ASTM D 4318 - AASHTO
 T 89

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLIDO"
MUESTRA: SUELO NATURAL
 ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL
 LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS
 MTC E 110 - ASTM D 4318 - AASHTO
 T 89

TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CBR E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLIDO"
MUESTRA: SUELO NATURAL
 ENSAYO: DETERMINACIÓN DE
 LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE
 PLASTICIDAD
 MTC E 111 - ASTM D 4318 - AASHTO
 T 90

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO NATURAL

ABRASIÓN LOS ÁNGELES



DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO



PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO NATURAL

PROCTOR MODIFICADO



CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO NATURAL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA



PROBETAS SIN ENSAYAR

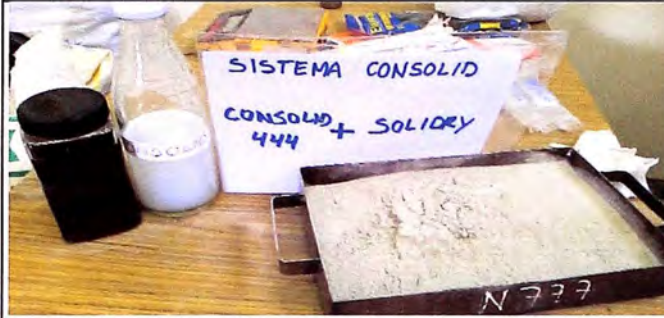


PROBETAS ENSAYADAS ASCENSIÓN CAPILAR



PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

SISTEMA CONSOLID



CONSOLID 444

SOLIDRY

DILUCIÓN DE CONSOLID 444 EN AGUA



MEZCLA DE SUELO CON CONSOLID 444



MEZCLA DE SUELO CON SOLIDRY

MEZCLA DE SUELO CON SISTEMA CONSOLID

**PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON
SISTEMA CONSOLID
PROCTOR MODIFICADO**



PROCESO DE COMPACTACIÓN DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID PROCTOR MODIFICADO



DOSIFICACIÓN 1



DOSIFICACIÓN 2



DOSIFICACIÓN 3



DOSIFICACIÓN 4

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID PROCTOR MODIFICADO



DOSIFICACIÓN 5



DOSIFICACIÓN 6



DOSIFICACIÓN 7



DOSIFICACIÓN 8

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID PROCTOR MODIFICADO



DOSIFICACIÓN 9



DOSIFICACIÓN 10

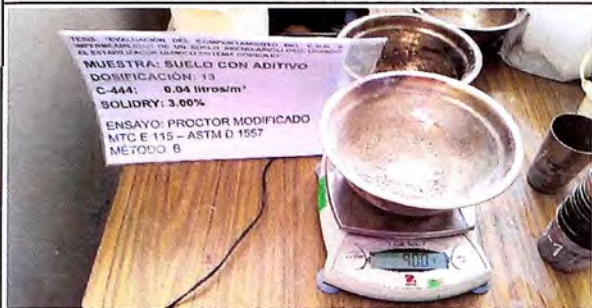


DOSIFICACIÓN 11



DOSIFICACIÓN 12

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID PROCTOR MODIFICADO



DOSIFICACION 13



DOSIFICACION 14



DOSIFICACION 15



DOSIFICACION 16

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

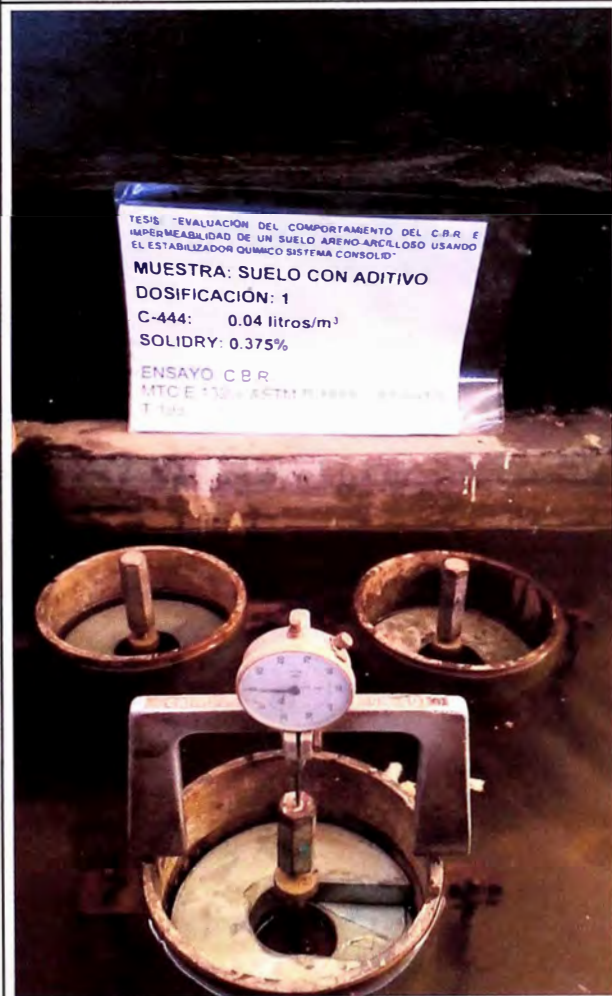
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 1

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

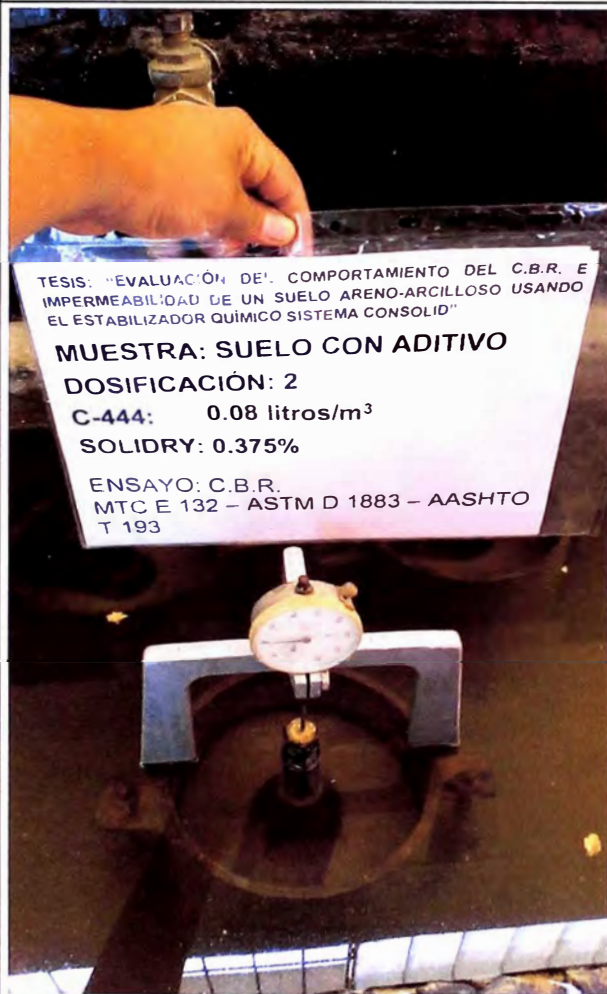
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 2
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 193

LECTURA DE EXPANSIÓN



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 2
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 193

MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 2

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

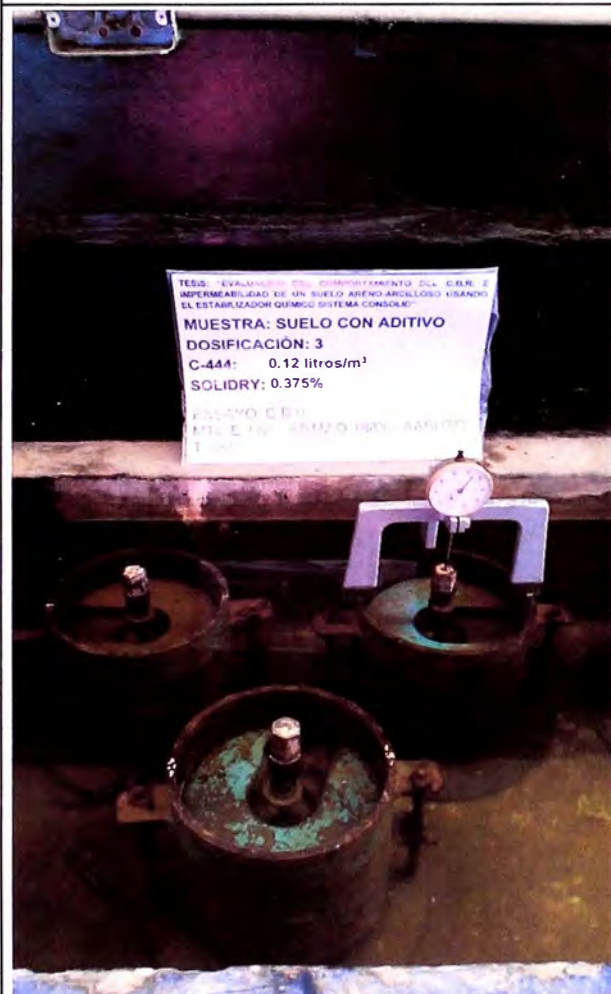
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

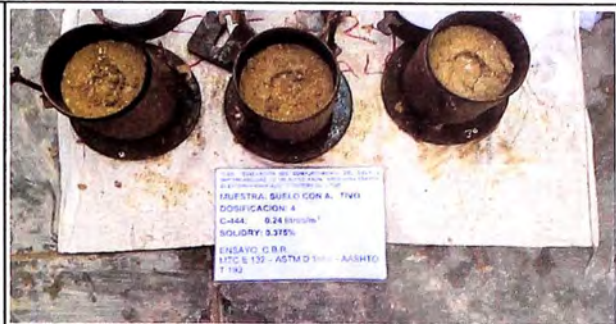
DOSIFICACIÓN 3

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

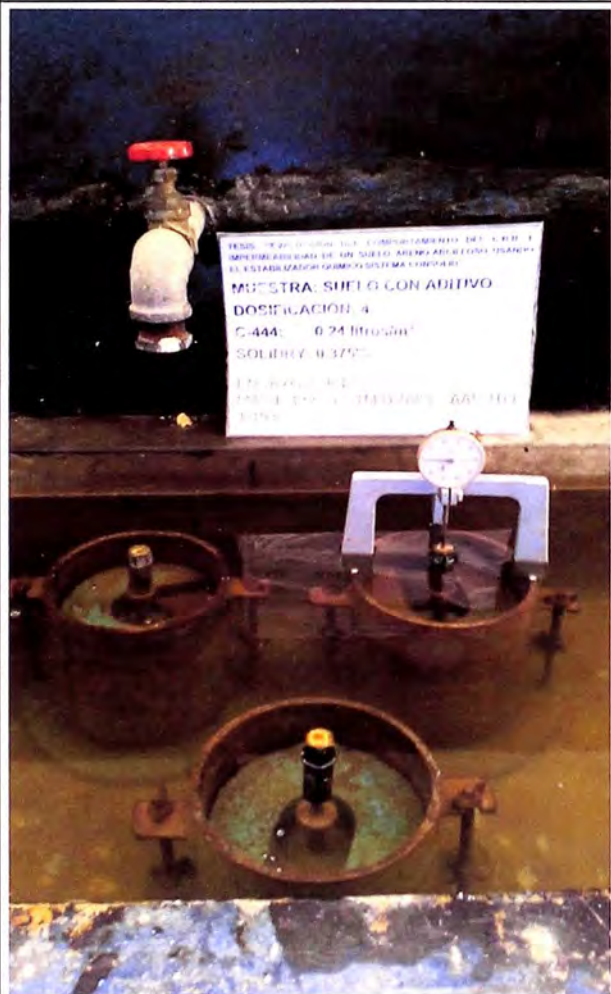
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 4

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

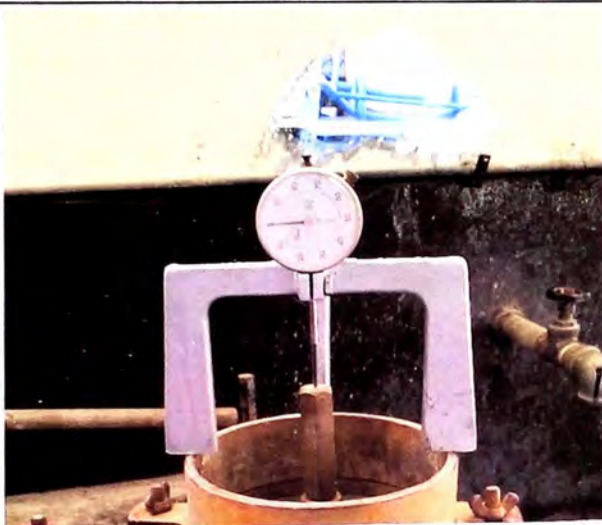
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 5
C-444: 0.04 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 193

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 5
C-444: 0.04 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%

ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 193

LECTURA DE EXPANSIÓN



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 5
C-444: 0.04 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 193

MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 5

**PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON
SISTEMA CONSOLID
CALIFORNIA BEARING RATIO**



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 6
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%

ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 – ASTM D 1883 – AASHTO
T 193

LECTURA DE EXPANSIÓN



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 6
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%

ENSAYO: C.B.R.
MTC E 132 – ASTM D 1883 – AASHTO
T 193

MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 6

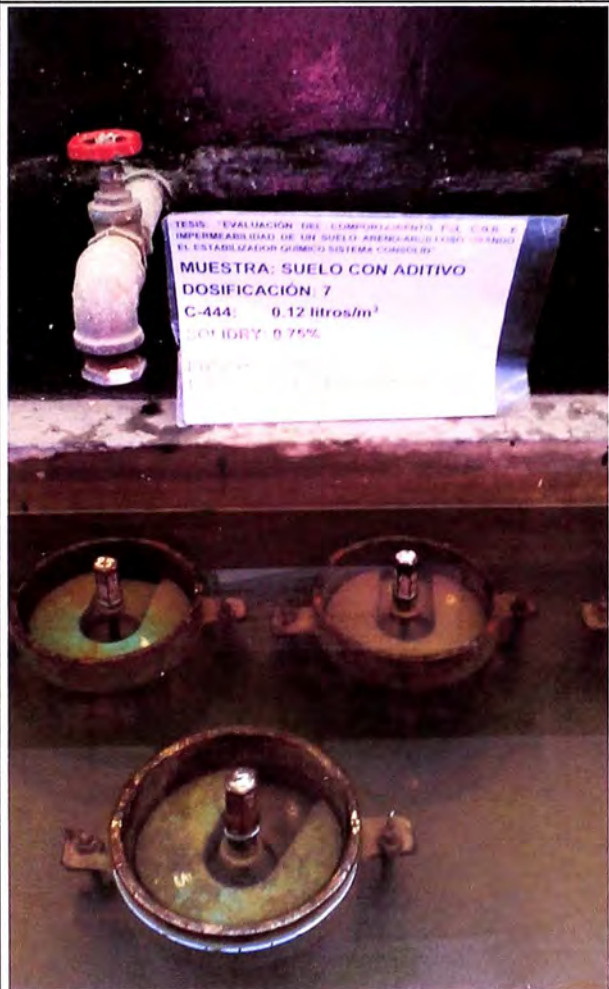
**PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON
SISTEMA CONSOLID
CALIFORNIA BEARING RATIO**



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. EN SATURACIÓN

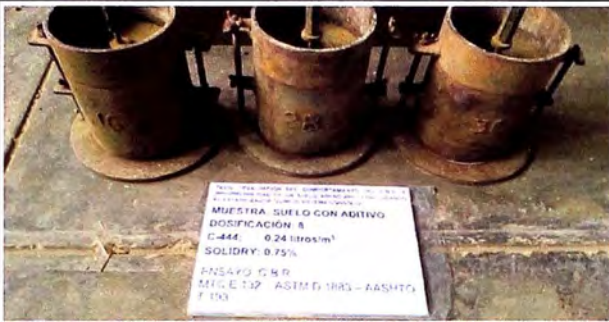


MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 7

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE SATURARSE



MOLDES DE C.B.R. EN SATURACIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 8

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

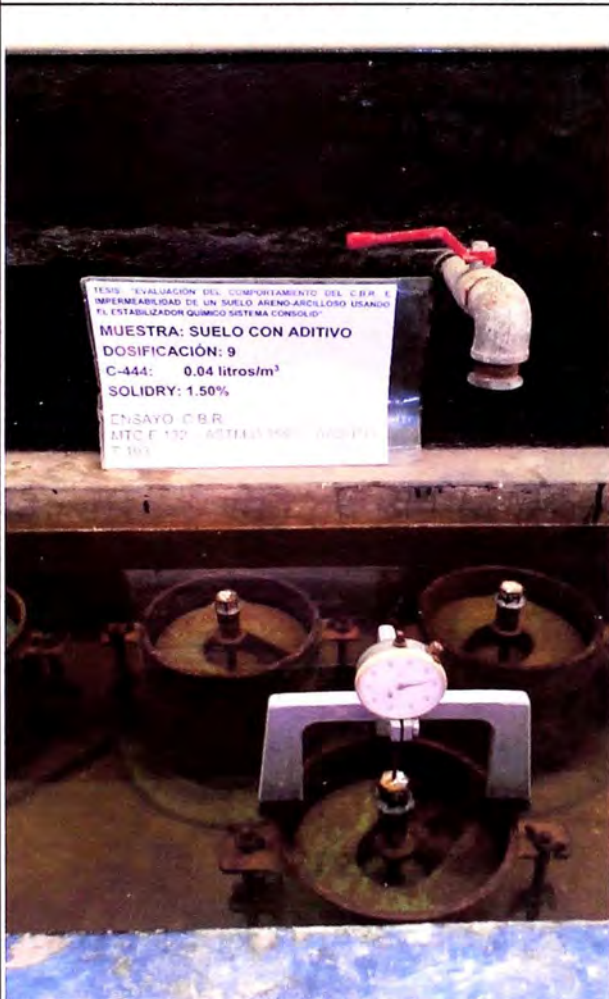
CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 9

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 10

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE SATURACIÓN



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 11

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. EN SATURACIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 12

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 13

**PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON
SISTEMA CONSOLID
CALIFORNIA BEARING RATIO**



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 14

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

DOSIFICACIÓN 15

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

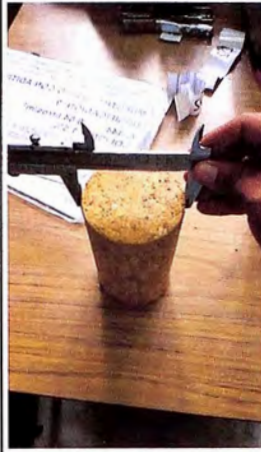
DOSIFICACIÓN 16

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

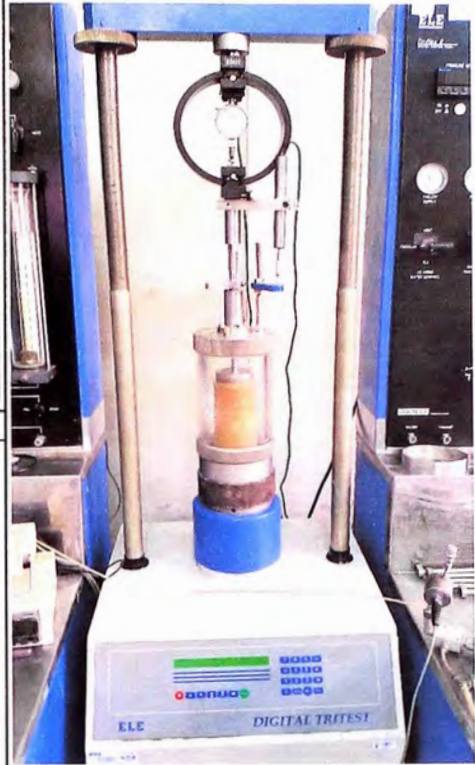
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



MOLDE ELABORADO PARA ENSAYO



MEDIDA DE PROBETA



EQUIPO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL



PROBETAS CAPEADAS



PRESA HIDRÁULICA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 1
C-444: 0.04 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208



PROBETA 1

PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS DOSIFICACIÓN 1



PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 2
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208



PROBETA 1

PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS DOSIFICACIÓN 2

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO
EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 3
C-444: 0.12 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFIRMADA
EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T
208

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 3



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO
IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO
EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 4
C-444: 0.24 litros/m³
SOLIDRY: 0.375%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFIRMADA
EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T
208

PROBETAS ENSAYADAS

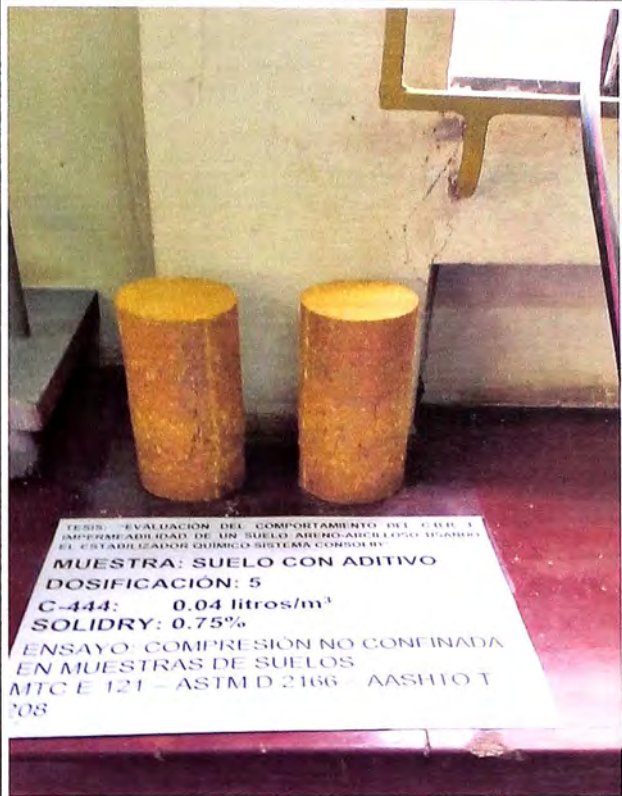
DOSIFICACIÓN 4

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 5



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 6

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 7
C-444: 0.12 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1

PROBETA 2



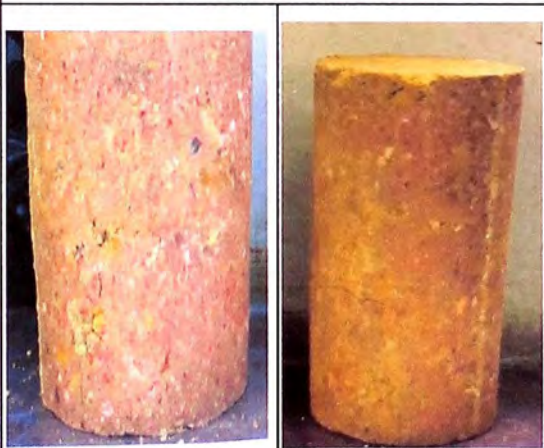
TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 7
C-444: 0.12 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

**PROBETAS ENSAYADAS
DOSIFICACIÓN 7**



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 8
C-444: 0.24 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1

PROBETA 2



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 8
C-444: 0.24 litros/m³
SOLIDRY: 0.75%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

**PROBETAS ENSAYADAS
DOSIFICACIÓN 8**

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 9



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 10

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 11
C-444: 0.12 litros/m³
SOLIDRY: 1.5%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 11



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 11



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 12
C-444: 0.24 litros/m³
SOLIDRY: 1.5%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208

PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"

MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 12
C-444: 0.24 litros/m³
SOLIDRY: 1.5%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 12

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 13
C-444: 0.04 litros/m³
SOLIDRY: 3.0%
ENSAYO: COMPRESIÓN NO CONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS
MTC E 121 - ASTM D 2166 - AASHTO T 208



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 13



PROBETAS SIN ENSAYAR



TESIS "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL C.B.R. E IMPERMEABILIDAD DE UN SUELO ARENO-ARCILLOSO USANDO EL ESTABILIZADOR QUÍMICO SISTEMA CONSOLID"
MUESTRA: SUELO CON ADITIVO
DOSIFICACIÓN: 14
C-444: 0.08 litros/m³
SOLIDRY: 3.0%



PROBETA 1



PROBETA 2

PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 14

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETA EN EQUIPO DE COMPRESIÓN

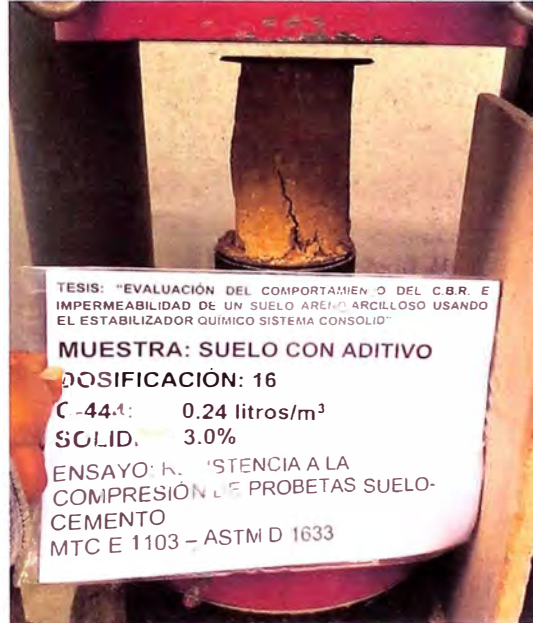


PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 15



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACIÓN 16

**PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON
SISTEMA CONSOLID
ASCENSIÓN CAPILAR**



SECADO DE PROBETAS EN EL HORNO



EQUIPO PARA ASCENSIÓN CAPILAR



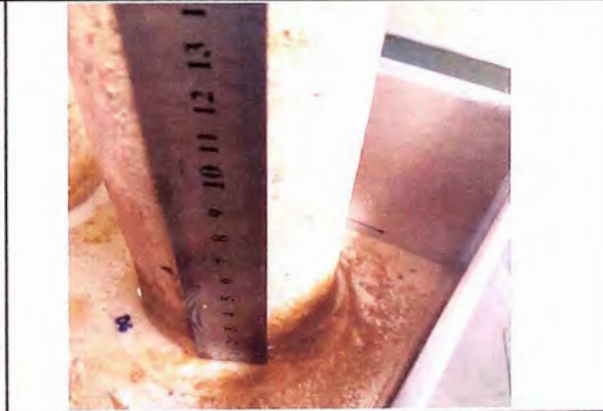
ALIMENTACIÓN DE AGUA HACIA LAS BANDEJAS



BOMBA PARA CIRCULACIÓN DE AGUA



SALIDA DE AGUA DE REBOSE



MEDICIÓN DE ASCENSO CAPILAR

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

ASCENCIÓN CAPILAR



DOSIFICACIÓN 1



DOSIFICACIÓN 2

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID ASCENSIÓN CAPILAR



DOSIFICACIÓN 3



DOSIFICACIÓN 4

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID ASCENSIÓN CAPILAR



DOSIFICACIÓN 5



DOSIFICACIÓN 6 - FALLA A 24 HORAS

DOSIFICACIÓN 7 - FALLA A 48 HORAS



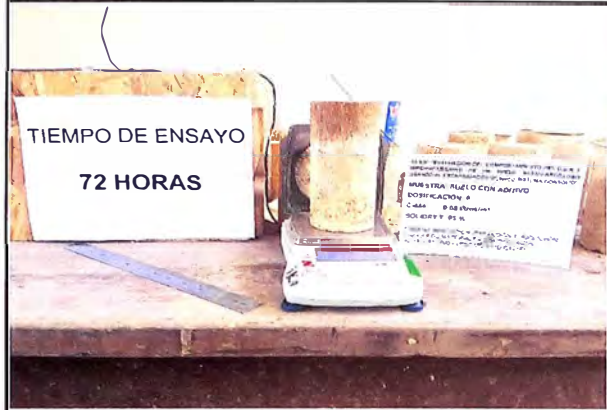
DOSIFICACIÓN 8 - FALLA A 48 HORAS

DOSIFICACIÓN 9 - FALLA A 24 HORAS

DOSIFICACIÓN 6 / DOSIFICACIÓN 7 / DOSIFICACIÓN 8 / DOSIFICACIÓN 9 - 1RA PRUEBA

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID

ASCENSION CAPILAR



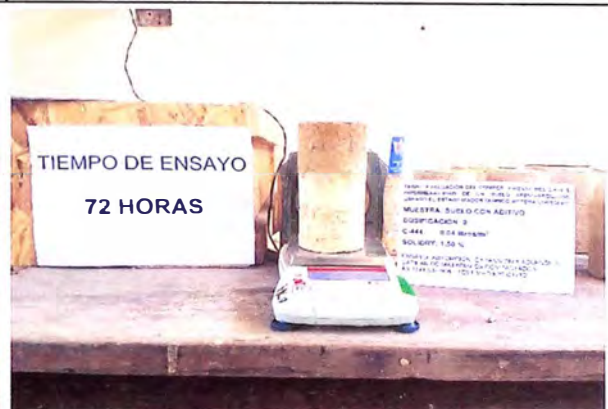
DOSIFICACIÓN 6



DOSIFICACIÓN 7



DOSIFICACIÓN 8



DOSIFICACIÓN 9

DOSIFICACIÓN 6 / DOSIFICACIÓN 7/ DOSIFICACIÓN 8/ DOSIFICACIÓN 9 - 2DA PRUEBA



DOSIFICACIÓN 10

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID ASCENSION CAPILAR

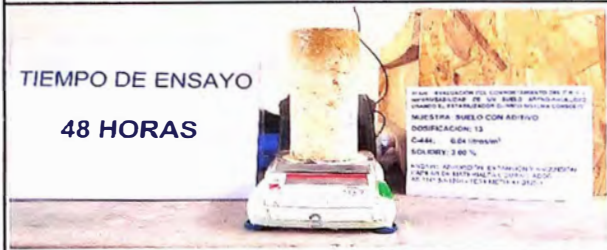


DOSIFICACION 11



DOSIFICACION 12

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID ASCENSIÓN CAPILAR



DOSIFICACIÓN 13



DOSIFICACIÓN 14

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID ASCENSIÓN CAPILAR



DOSIFICACIÓN 15



DOSIFICACIÓN 16

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON SISTEMA CONSOLID
LÍMITES DE CONSISTENCIA



DOSIFICACIÓN 1



DOSIFICACIÓN 6



DOSIFICACIÓN 11



DOSIFICACIÓN 16

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

ENSAYO DENSIDAD - HUMEDAD



MATERIAL PASANTE EL TAMIZ N° 4



MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ N° 4 SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO



ADICIÓN DE CEMENTO AL MAT. PAS. DEL TAMIZ N° 4



ADICIÓN DEL MAT. RET. EN EL TAMIZ N° 4



MEZCLA DE SUELO CON CEMENTO

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESION

DOSIFICACION: 7% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



PROBETAS SIN ENSAYAR



CURADO DE PROBETAS POR 7 DIAS



PROBETAS SUMERGIDAS EN AGUA POR 4 HORAS



PROBETAS ENSAYADAS

DOSIFICACION: 9% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



PROBETAS SIN ENSAYAR



PROBETAS ENSAYADAS



PROBETAS ENSAYADAS

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

CALIFORNIA BEARING RATIO



MOLDES DE C.B.R. ANTES DE ENSAYARSE



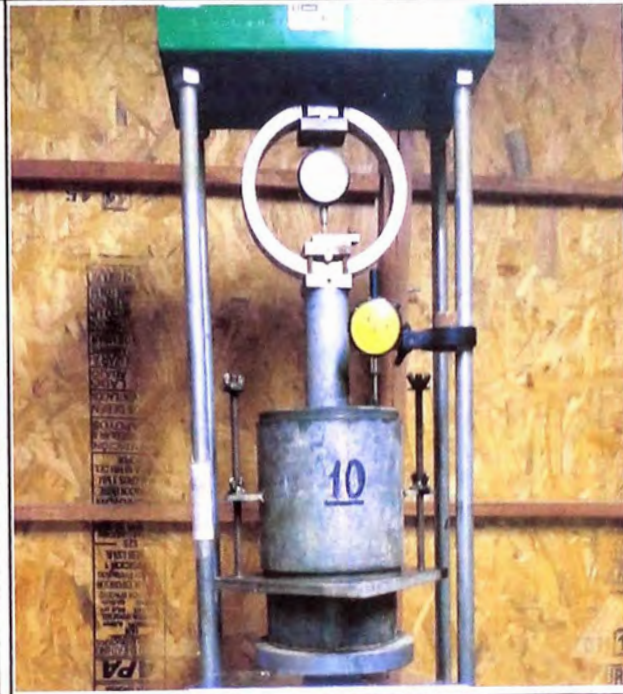
MOLDES DE C.B.R. EN CURADO POR 7 DÍAS



MOLDES DE C.B.R. DESPUÉS DE ENSAYARSE



LECTURA DE EXPANSIÓN



MOLDE EN PRENSA DE C.B.R.

PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

ASCENCIÓN CAPILAR



TIEMPO DE ENSAYO

48 HORAS



TIEMPO DE ENSAYO

72 HORAS



PANEL FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS AL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

LÍMITES DE CONSISTENCIA



SUELO - CEMENTO QUE NO PRESENTA PLASTICIDAD



SUELO - CEMENTO QUE PRESENTA PLASTICIDAD

ANEXO 5

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS USADOS

CERTIFICATE OF CALIBRATION

CERTIFICATE NUMBER

ISSUED BY ELE Force Calibration Laboratory

S00051

UKAS ACCREDITED CALIBRATION LABORATORY No. 0106

Page 3 of 3 Pages

RESULTS

FORCE kN	INDICATOR READING			
	divisions			
<u>COMPRESSION</u>	<u>TEST 1</u>	<u>TEST 2</u>	<u>TEST 3</u>	<u>AVERAGE</u>
ZERO	0.0	0.0	0.0	0.0
3	115.3	115.3	115.7	115.4
4	153.4	153.4	153.4	153.4
6	231.0	231.0	231.0	231.0
8	309.8	309.8	309.8	309.8
12	464.2	464.2	464.4	464.3
14	542.8	542.8	543.2	542.9
16	621.8	621.8	622.5	622.0
20	778.0	778.0	779.1	778.4
24	936.7	936.7	938.0	937.1
28	1094.8	1094.8	1096.7	1095.4

$$\text{kgf} = 2.6059 \times \text{DIV} + 7.7983$$

$$\text{kN} = 0.025556 \times \text{DIV} + 0.076475$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Accreditation Board for engineering and Technology



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

Página 1 de 2

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : LABORATORIO N° 2 MECANICA DE SUELOS
Ubicación : UNI
Asunto : Calibración de ANILLO
Expediente N° : 16-1121
Recibo N° : 49795
Fecha de emisión : 21/03/2016

1.0. DEL ENSAYO : Calibración de un ANILLO.

2.0. PROCEDIMIENTO : Alcance de las normas ASTM E4; Norma ISO 7500-1.
 Equipo AMSLER - Certificado de Calibración SNM: CMC - 100 - 2015.

3.0. EQUIPO A CALIBRAR

EQUIPO	ANILLO
MARCA	ELE - SOILTEST
CAPACIDAD	50 KN
MODELO	78-0860
SERIE	1155-16-01012

EQUIPO	DIAL
MARCA	ELE INTERNATIONAL
APROXIMACION	.002 mm
RANGO	0 - 5.0 mm

4.0. RESULTADOS

Fecha de calibración: 21/03/2016

CARGA REAL	LECTURA DEL DIAL
KG	x 0.002 mm.
0	0
500	151
1000	276
1500	403
2000	533
2500	641
3000	758
3500	883

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos sólo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Ing. Ana Torre Carrillo
 Jefe (e) del laboratorio

UNI-LEM

La Calidad es nuestro compromiso
 Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
 apartado 1301 - Perú



(511) 381-3343



(511) 481-1070 Anexo: 306



www.lem.uni.edu.pe



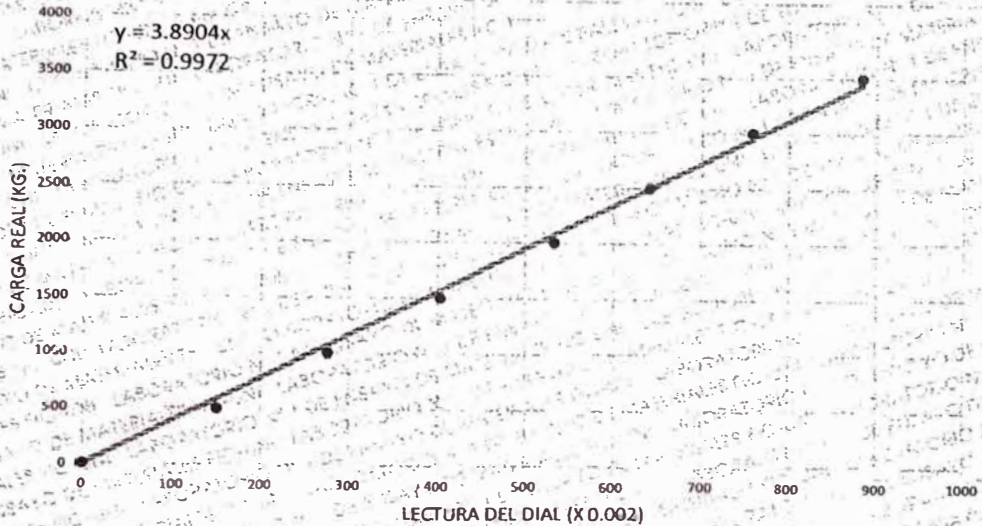
lem@uni.edu.pe



Laboratorio de Ensayo
 de Materiales - UNI



GRÁFICO DE CALIBRACIÓN DE ANILLO



Ecuación de la curva de ajuste:

$$y = 3.8904x$$

Donde:

$x =$ Lectura \times 0.002 mm.

$y =$ Carga Real (Kg).

5.0. OBSERVACIONES:

- 1) El equipo fue proporcionado e identificado por el solicitante.
- 2) El ajuste lineal es válido en el rango verificado y su empleo es opcional.
- 3) Los resultados son válidos en el momento de la calibración.

Hecho por
Técnico

Ing. R. Cachay, H.
V.G.R.

NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Ms. Ing. Ana Torre Carrillo
Jefe (e) del laboratorio



ANEXO 6

INFORMACIÓN DEL SISTEMA CONSOLID

MANUAL



SUDAMERICANA

Gerencia Regional y Técnica
12 de Octubre s/n
2625 Cavanagh, Pcia. de Cordoba
Cel/Whats up 0054 9 3462 412764
ARGENTINA

WWW.CONSOLIDSUD.CH

La Estabilización del Suelo

El suelo que conforma una calle o un camino de tierra tiene la posibilidad de *petrificarse* mediante un proceso llamado de compactación. Este proceso consiste en el *reacomodamiento* de las partículas que componen el suelo de tal manera que queden estrechamente vinculadas y trabadas 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 óptimo), 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.

Veamos por qué. En una calle de tierra sin tratar, comunmente observamos dos situaciones: una de ellas es cuando la calle tiene un exceso de agua, por factores climáticos como la lluvia. 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 formando barro. La otra situación se observa cuando la calle tiene escasa humedad, en períodos de sequía. También aquí el suelo pierde compactación. Las partículas se desprenden, se transforman en polvo y se produce la rotura de la calle.

Los métodos de estabilización son aquellos procedimientos a los que es sometido el suelo con el objeto de prolongar el tiempo que media entre la compactación y la disgregación de partículas que generan la rotura o deterioro de una calle o 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 torna 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 climáticas como lluvias o sequías.

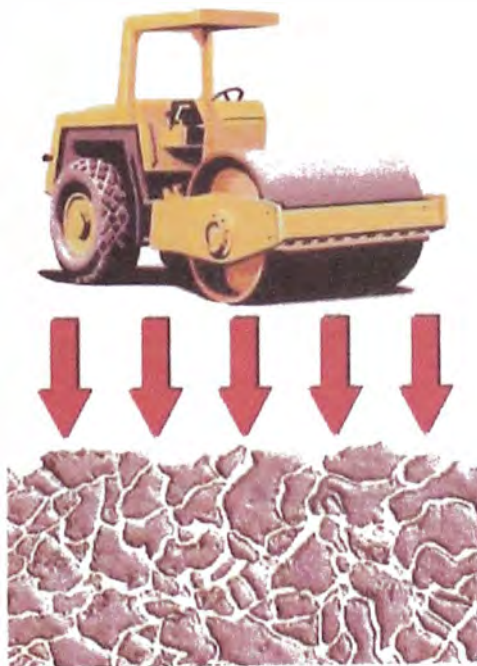
De esta manera, una calle tratada, modifica en forma **irreversible** los comportamientos del suelo, estabilizando en forma **definitiva** su compactación.

Los aditivos **CONSOLID** se insertan 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 manera tal 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 pozos.



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 la rotura 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 (California Bearing Ratio) se observa que éste aumenta entre un 20 a un 50 % para un suelo en condiciones de humedad óptimas, 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.

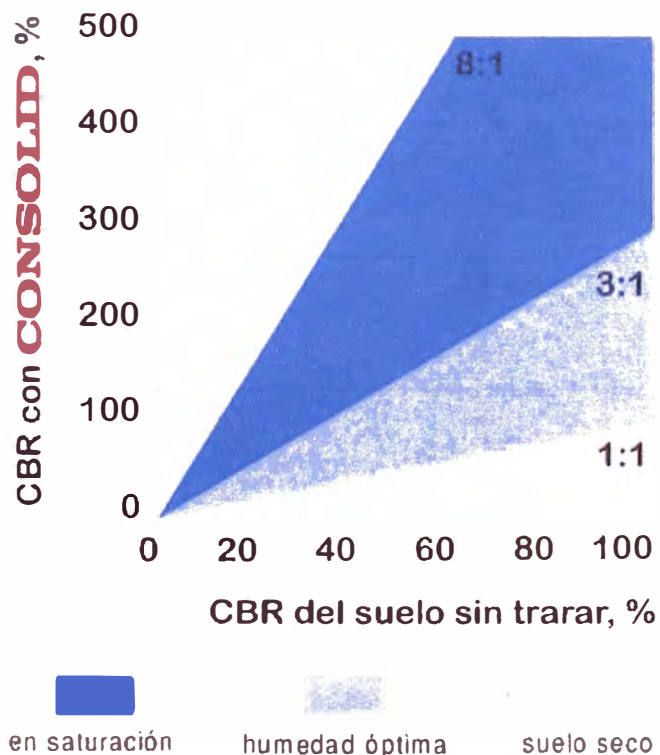
Es importante aclarar que el sistema **CONSOLID** sólo actúa sobre la compactación



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.



BERISSO - Bs.As. - Calle en construcción



natural del suelo, no ligando las partículas entre si, 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 e intensidad) que deba soportar la calle o camino estabilizado. Puede ir desde un simple regado asfáltico con una delgada capa de arena gruesa o pedregullo para caminos con pocas solicitudes, hasta carpetas asfálticas de 10 a 40 mm.

o de la Estabilización

A continuación exponemos algunas nociones muy simples acerca de cómo se realiza el diseño de una base estabilizada con el sistema **CONSOLID**[®], siendo los procedimientos aquí explicados útiles para obras sencillas. Para casos de mayor complejidad se requerirán estudios de ingeniería que no describiremos aquí porque están fuera del alcance y de los objetivos de este manual.

El sistema **CONSOLID**[®] consiste básicamente en el mezclado de los productos o aditivos que lo componen con el suelo a tratar.

etapas. Primero se mezclan 15 a 25 cm de suelo con **CONSOLID 444**[®]. Luego se le agrega **CONSERVEX**[®] o **SOLIDRY**[®] a la parte superior (5 a 10 cm) ya tratada con el primer componente, tal como se observa en el esquema.

El diseño de la estabilización consistirá en la elección de 3 tipos de parámetros: la **Combinación** de los productos, la **Dosis** o cantidad de aditivos a emplear y los **Espesores** de suelo a tratar.

Elección de la Combinación

Desde el punto de vista del funcionamiento químico del sistema, tanto **CONSERVEX**[®] como

SOLIDRY[®] tienen un comportamiento similar en (aproximadamente) el 80 % de los suelos. Sólo un 10 % funciona mejor con uno u otro producto. El otro 10 % corresponde a los que el sistema **CONSOLID**[®] no es efectivo, tal es el caso de los suelos orgánicos (también llamados negros o vegetales) y los suelos

no cohesivos (que no se pueden compactar) como las arenas de médanos o ríos.

Desde el punto de vista constructivo es más fácil colocar **CONSERVEX**[®] en suelos de baja plasticidad (arenosos, granulares y/o poco arcillosos). El **SOLIDRY**[®] tiene la ventaja de bajar la condición de los suelos plásticos (finos y arcillosos).

De todas maneras, la mejor forma de determinar la combinación ideal es realizar ensayos de ascenso de humedad por capilaridad (ver *Técnicas de Laboratorio*).

	CONSOLID 444	CONSERVEX	SOLIDRY
Presentación	líquido de color blanco	líquido semiviscoso de color marrón oscuro	polvo muy fino de color blanco
Envase	tambores de 200 litros	tambores de 200 litros	bolsas de 30 kg.
Aplicación	con regador de agua común	con regador de asfalto	en forma manual
Preparación	listo para usar, debiéndose agregar al agua del regador	debe diluirse (1:1) con agua dentro del regador	listo para usar
Conservación	en tambores bien cerrados	en tambores bien cerrados	en lugar seco

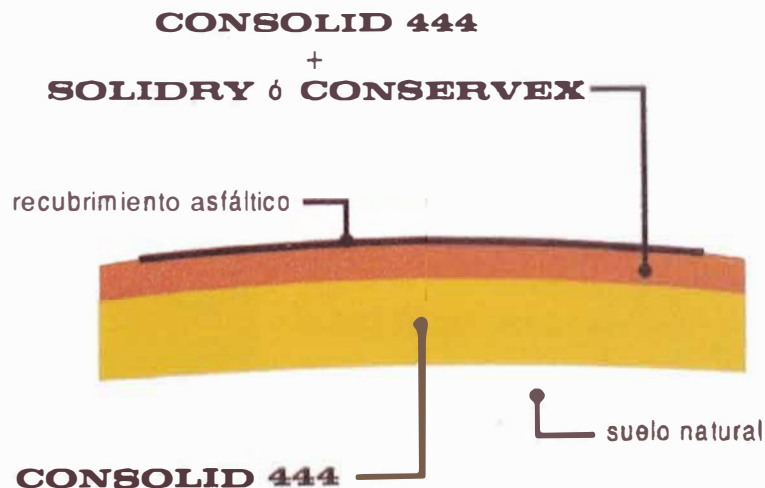
Según el tipo de suelo, estos tres productos se combinan en 2 formas:

CONSOLID 444[®] + **CONSERVEX**[®]

ó

CONSOLID 444[®] + **SOLIDRY**[®]

Cualquiera de estas combinaciones se aplican en dos



Espesores 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.

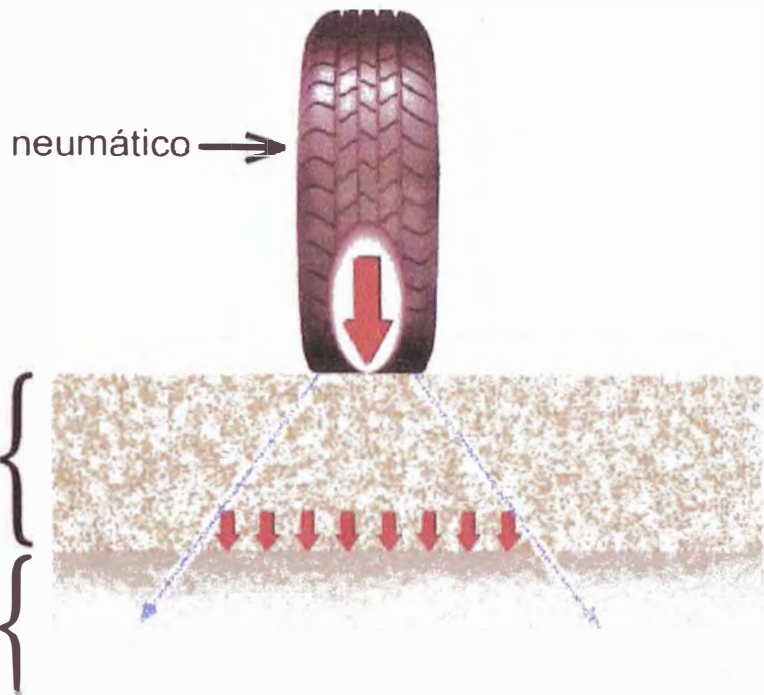
Tal como puede apreciarse en el gráfico el peso del vehículo se transmite a la superficie del pavimento a través del neumático en forma de carga puntual (flecha roja grande). Esta carga es transmitida hacia abajo en forma cónica (flechas azules), de tal manera que cuanto más grande es la altura del cono, 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 (en cantidad y en calidad o peso) 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 sub base que es donde la primera se apoya.

A modo de ejemplo podemos establecer que un tránsito pesado y/o una sub-base débil demandará un mayor espesor de tratamiento. Por el contrario, el tránsito de una calle en un barrio residencial y/o una sub-base 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 ac-



túan los componentes) en relación con las partículas de mayor tamaño, ya que estas 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 (segunda columna) y la cantidad de cada producto por metro cúbico de suelo (tercer columna), asumiendo que este último pesa aproximadamente 2000kg.

Tabla de Dosis

CONSOLID 444
CONSERVEX
SOLIDRY

0.032% del peso del suelo	0.64 litros/m ³
0.5% a 1% del peso del suelo	10 a 20 litros/m ³
1% a 2% del peso del suelo	20 a 40 kg/m ³

Cantidad de productos por metro cuadrado

Obsérvese 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 (de 15 a 25 cm). La siguiente tabla nos muestra la cantidad de producto necesario por m², según los distintos espesores.

litros/m ²	CONSOLID 444		
	Espesores a tratar en cm.		
	15 cm	20 cm	25 cm
Dosis Estándar (0,032%)	0,10 l/m ²	0,13 l/m ²	0,16 l/m ²

La dosis de **CONSERVEX** y la de **SOLIDRY** que observamos en la tabla de dosis, son variables. A los efectos prácticos, dividiremos estos rangos de dosis en *mínima, estándar y máxima*. En las siguientes tablas combinamos las tres dosis a utilizar con distintos espesores, obteniendo las cantidades de producto necesario para estabilizar cada combinación de dosis / espesor.

kilogramos/m ²	SOLIDRY		
	Espesores a tratar en cm.		
	5 cm	7,5 cm	10 cm
Dosis Mínima (1%)	1,00 kg/m ²	1,50 kg/m ²	2,00 kg/m ²
Dosis Estándar (1,5%)	1,50 kg/m ²	2,25 kg/m ²	3,00 kg/m ²
Dosis Máxima (2%)	2,00 kg/m ²	3,00 kg/m ²	4,00 kg/m ²

litros/m ²	CONSERVEX		
	Espesores a tratar en cm.		
	5 cm	7,5 cm	10 cm
Dosis Mínima (0,5%)	0,50 l/m ²	0,75 l/m ²	1,00 l/m ²
Dosis Estándar (0,75%)	0,75 l/m ²	1,13 l/m ²	1,50 l/m ²
Dosis Máxima (1%)	1,00 l/m ²	1,50 l/m ²	2,00 l/m ²

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 aludido anteriormente es la forma más ajustada para determinar la dosis.

Método de Aplicación

En los siguientes desarrollos fotográficos describimos, paso a paso, dos ejemplos de aplicación (uno para cada combinación de producto).

Para los dos ejemplos vamos a suponer que elegimos un espesor de tratamiento de 20 cm para el primer producto y de 7 cm para el segundo, ambos aplicados en dosis estándar (ver tabla de dosificaciones).

Cabe aclarar que el sistema **CONSOLID**® no requiere ningún tipo de maquinaria específica para el trabajo de compactación. Se pueden usar las máquinas usuales de cada región de acuerdo al tipo de suelo. En los dos ejemplos que veremos a continuación se trataron suelos finos, usando rodillos tipo *pata de cabra* y tipo *neumático*. Para otras clases de suelo se podrán usar rodillos lisos, vibradores, etc.

CONSOLID 444® + CONSERVEX®

En primer lugar se escarifica el suelo con una motoniveladora o con un arado o rastra de discos. Este trabajo se realiza hasta que el suelo quede bien desmenuzado.



Luego se aplica el primero de los dos productos a utilizar que es el **CONSOLID 444**® (líquido de color blanco). Para ello, se deberá cargar agua en un regador. La cantidad (en litros) debe ser aproximadamente de 3 a 4 veces la superficie (en m²) a tratar. Por ejemplo: si tengo que tratar 800 m², multiplico 800 por 3 ó 4, lo que me indica que tengo que cargar en el regador una cantidad de 2400 a 3200 litros de agua. Agregar al agua del regador **CONSOLID 444**® en una cantidad equivalente a 0,13 litro por m² a tratar (esto surge de la tabla de dosificación). Para obtener esta cantidad, se multiplica 0,13 litros x 800 m² = 104 litros.



El contenido del regador se esparce en varias pasadas, lo más uniformemente posible sobre la superficie a tratar.

Luego se mezcla cuidadosamente con la rastra de discos.

Es muy importante prestar mucha atención a este paso, ya que el único requisito necesario para que la aplicación sea exitosa es obtener un buen mezclado de los productos con el suelo.



Una vez mezclado se comienza a compactar con el rodillo *pata de cabra*. Si el suelo está demasiado húmedo para compactarlo hay que seguir pasando la rastra de discos hasta que se seque. Si está demasiado seco se le puede agregar agua sin inconvenientes.



El pata de cabra irá compactando primero la parte inferior de la base, y a medida que esto sucede veremos que se va levantando, es decir que cada vez se hunde menos. Para esta clase de suelo, esto ocurre hasta una profundidad de alrededor de 5 cm, ya que este tipo de rodillo no puede compactar esta capa superior del suelo.

Aquí comienza la segunda etapa del tratamiento, donde se aplica **CONSERVEX**[®] (líquido color marrón oscuro). Para su aplicación es recomendable el uso de un regador de asfalto.



Suponiendo que el espesor a tratar es de 7 cm, se carga en el regador de asfalto, agua y **CONSERVEX**[®] en cantidades iguales. Según la dosis estándar para 7 cm son necesarios 1,13 litros por m² a tratar. Para obtener la cantidad de producto a cargar, multiplico: 1,13 litros x 800 m² = 904 litros de **CONSERVEX**[®] (y 904 de agua).

Luego se distribuye uniformemente.

Un vez distribuido este segundo producto se procede a mezclarlo bien, cuidando que la rastra de discos no profundice los 7 que estamos tratando.



Si todo el proceso desarrollado hasta aquí ha deformado la conformación superficial de la calle (niveles, gálibo, etc.), se deberá recomponer con la motoniveladora.

En los casos de suelos finos como los de este ejemplo, es recomendable agregar sobre los 7 cm tratados, una capa fina de áridos que tengan una granulometría de hasta 20 mm, en una cantidad de 20 a 40 kg. por m². Estos áridos, en la etapa de compactación (paso siguiente) se incorporarán superficialmente (o se *clavarán*) en la masa del suelo tratado, mejorando el valor soporte y actuando como elemento de anclaje del recubrimiento asfáltico final.

Luego se realiza la compactación y sellado final de esta última capa con pata de cabra (si fuese necesario) y/o rodillo neumático. En caso de ser necesario también se puede regar con agua si el suelo está muy seco para poder compactarlo.



Por último se realiza el riego asfáltico final con asfalto diluido tipo R-1. Al asfalto R-1 se le puede agregar un 20% de querosén para mejorar la penetración del riego.



Sobre el riego se distribuirá arena gruesa o piedra (dependiendo de si se le va a agregar o no algún tipo de carpeta asfáltica) y se rodillará.



En este ejemplo, la estabilización realizada con el sistema **CONSOLID** se complementó con un micropavimento (microcapa o microsursfacing) de 12 mm de espesor colocado con una máquina aplicadora.



CONSOLID 444® + SOLIDRY®

Este segundo ejemplo corresponde a la combinación cuyo segundo producto es **SOLIDRY®**. Las 4 primeras fotografías ilustran la aplicación de **CONSOLID 444®**, siendo su explicación similar a la del ejemplo anterior.

Primero se escarifica, en este caso con una moto-niveladora ya que había que reconstituir la forma del camino (gálibo y pendientes).



Luego se riega el **CONSOLID 444®**.



Se mezcla cuidadosamente con el arado de discos.



Finalmente se concluye la primer etapa compactando con rodillo pata de cabra.



La segunda etapa comienza con la distribución de las bolsas de **SOLIDRY**[®] (polvo blanco en bolsas de 30 kg.) sobre la superficie a tratar.

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 lo veremos seguidamente.

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

Siguiendo con las medidas del ejemplo anterior, para un espesor de 7cm, en una dosis estándar (ver tabla), necesitaremos 2,25 kg por m².

La cantidad de producto necesario para tratar 800 m² se obtiene multiplicando 2,25 kg x 800 m² = 1800 kg.

A los 1800 kg los dividimos por los 30 kg que tiene cada bolsa y obtenemos su cantidad: 60 bolsas.

Estas 60 bolsas necesarias para estabilizar los 800 m² deberán ser distribuidas uniformemente sobre un costado y a lo largo del camino. Para que esta distribución sea uniforme, se calculará la distancia que debe existir entre bolsas.

Vamos a suponer que los 800 m² a tratar correspondan a un sector que tenga 8 m de ancho por 100 m de largo. Se toma el largo y se lo divide por la cantidad de bolsas, obteniendo la distancia entre las mismas:

$$100 \text{ m} / 60 \text{ bs.} = 1,66 \text{ m}$$

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 caño 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.

El mezclado del material, en el comienzo, se realiza con el 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, primero con pata de cabra si es necesario.



El trabajo de compactación final se termina con rodillo neumático.



En este ejemplo la cobertura superficial consistió en un tratamiento superficial asfáltico *tipo simple*.

Sobre la superficie compactada se efectúa 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 aplicar un riego asfáltico final muy liviano y sobre éste esparcirse arena fina para terminar de sellar la superficie.



RECOMENDACIONES MUY IMPORTANTES:

- Antes de cargar **CONSOLID 444[®]** o **CONSERVEX[®]** en un regador deberá batirse el 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.

Técnicas de Laboratorio

El sistema **CONSOLID**® generalmente puede ser aplicado en dosis estándar con excelentes resultados en casi todo tipo de suelo cohesivo.

No obstante, si se requiere una mayor seguridad en cuanto al funcionamiento del sistema, o si se quiere optimizar rendimientos y costos, es recomendable determinar las dosis óptimas mediante un sencillo ensayo llamado de *ascenso capilar*, que a continuación describimos.

En primer término enumeramos los elementos necesarios para realizar los ensayos:

- 1 zaranda construída con tejido de alambre que tenga una abertura de malla de 5 x 5 milímetros
- 1 balanza con capacidad de 1 kg.
- 1 molde cilíndrico para probetas de 50 mm. de diámetro y 180 mm. de largo.
- 1 recipiente de mezclado
- 1 recipiente de humedecimiento
- 1 probeta graduada de 100 cm³.
- 1 pipeta graduada de 10 cm³.
- 1 espátula
- 1 jarra.



El ensayo comienza con la extracción de tierra de la calle a tratar. Esta muestra será extraída en una cantidad aproximada de 5 a 7 kg., hasta una profundidad coincidente con el espesor de suelo a tratar.



El suelo extraído debe ser bien desmenuzado y puesto a secar. Una vez que el suelo esté bien seco, se pasa por el tamiz, de tal manera que no queden partículas mayores de 5 mm. en el suelo a ensayar.

En la tabla siguiente se muestran las denominaciones (columna izquierda) con las que se deben marcar las distintas probetas (esto es una convención internacional) según las distintas combinaciones y dosis de productos.

		CONSOLID ®	CONSERVEX	SOLIDRY
O	sin tratar			
B X/2	mínima	8 cm ³ *	2,50 cm ³	
B X	estándar	8 cm ³ *	3,75 cm ³	
B XX	máxima	8 cm ³ *	5,00 cm ³	
B S/2	mínima	8 cm ³ *		5,00 g
B S	estándar	8 cm ³ *		7,50 g
B SS	máxima	8 cm ³ *		10,00 g

* los 8 cm³ son de una dilución de 1 parte de **COSOLID** 444 en 50 de agua



Con el suelo tamizado y bien seco se pesan porciones de 500 gramos cada una, que originarán las probetas de ensayo.



El conjunto de molde y pistón es comprimido en una prensa hidráulica (del tipo de las usadas en los talleres mecánicos).



Cada una de las porciones de suelo debe ser adicionada con las cantidades de productos determinadas en la tabla. Para ello se usa la probeta, la pipeta graduada y la balanza.



La presión aproximada deberá ser de 50 kg./cm (aproximadamente 1 tonelada para la superficie de este molde).

Si la prensa no dispone de manómetro se deberá ensayar con suelo sin tratar hasta obtener una probeta compacta.



Los productos que son agregados a cada porción de suelo deberán ser bien mezclados con la espátula.

Una vez mezclados los productos, se le podrá agregar agua hasta obtener la humedad óptima para la compactación.

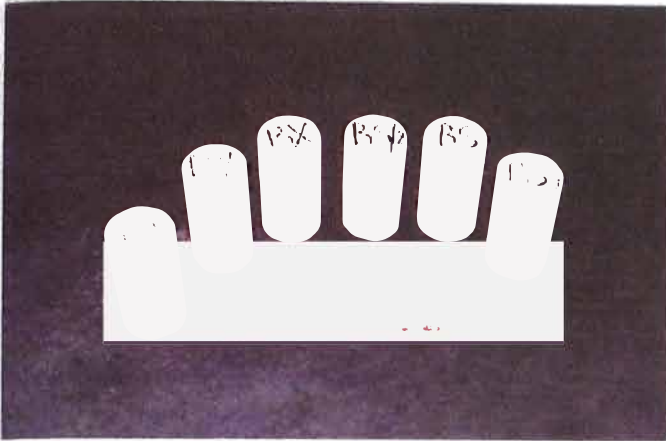
Luego se llena el molde con la porción de suelo dosificado y se coloca el pistón de compresión.



Inmediatamente después del prensado, se debe desmoldar la probeta con mucho cuidado tratando de no romper los bordes.

Una vez desmoldadas, las debe dejar secar en forma na-

tural hasta que por el color determinemos que están totalmente secas.



Es importante tener en cuenta que los comportamientos de los suelos son muy disímiles y varían de acuerdo a su composición física y química. Hacemos esta aclaración porque el desarrollo del ensayo que vemos a continuación es indicativo ya que es propio de este tipo de suelo. Otro tipo de suelo seguramente tendrá otro comportamiento diferente.



Se vierte de 1 a 2 cm de agua en el recipiente de humedecimiento (tipo asadera de cocina) y se apoyan las probetas bien secas.



A los 5 minutos observamos un pequeño humedecimiento parejo en todas las probetas tratadas. La probeta sin tratar comienza a disgregarse su base.



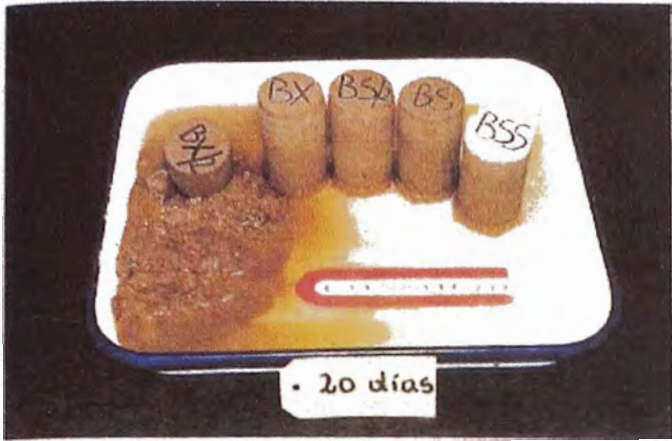
A las 3 horas comienzan a diferenciarse las probetas con mayor dosificación con un leve mejor comportamiento para las que tienen CONSERVEX (BX/2 y BX). La probeta de suelo sin tratar (O) ya está totalmente saturada y sigue su proceso de disgregación.



Luego de 10 horas observamos que se ha revertido el rendimiento a favor de las probetas tratadas con SOLIDRY. La probeta O ya está casi desarmada.



A los 5 días, la primer probeta con CONSERVEX (BX/2) está totalmente saturada. Generalmente, 4 ó 5 días son suficientes para determinar las tendencias definitivas de las distintas combinaciones. Para este suelo observamos una leve diferencia en favor de las probetas tratadas con SOLIDRY. Y de estas dos elegimos la de menor dosificación, ya que, si bien la de mayor dosificación tiene mejor comportamiento, no se justifica su elección porque ésta lleva el doble de producto



Después de los 20 días entran en estado de saturación total, no obstante conservan el estado de compactación.

La descripción de los comportamientos de las probetas deberá ser volcada en una planilla tabulada en 5 minutos, 2, 5, 10, 24, 48 y 120 horas (se adjunta modelo para fotocopiar), donde se irán anotando los centímetros de ascenso de cada período. También, en reemplazo de la medición en centímetros, se puede ir anotando la cantidad de gramos de agua absorbida, para lo cual se deberá ir pesando cada probeta en los distintos períodos e ir restándole el peso de la probeta seca (500g).

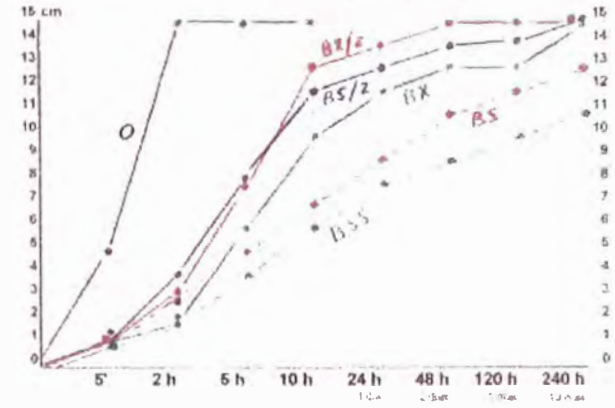
CONSOLID

ENSAYO DE CAPILARIDAD

Ensayo N° _____ Fecha _____

Lugar _____ Observaciones _____

	5'	2 h	5 h	10 h	24 h	48 h	120 h	240 h
O	5	15	15	15	15	15	15	15
B X/2	1	5	8	12	13	14	14	14
B X	1	4	7	10	11	12	13	13
B XX	1	3	6	9	10	11	12	12
B S/2	1	4	8	12	13	14	14	14
B S	1	3	6	9	10	11	12	12
B SS	1	2	4	6	7	8	9	9



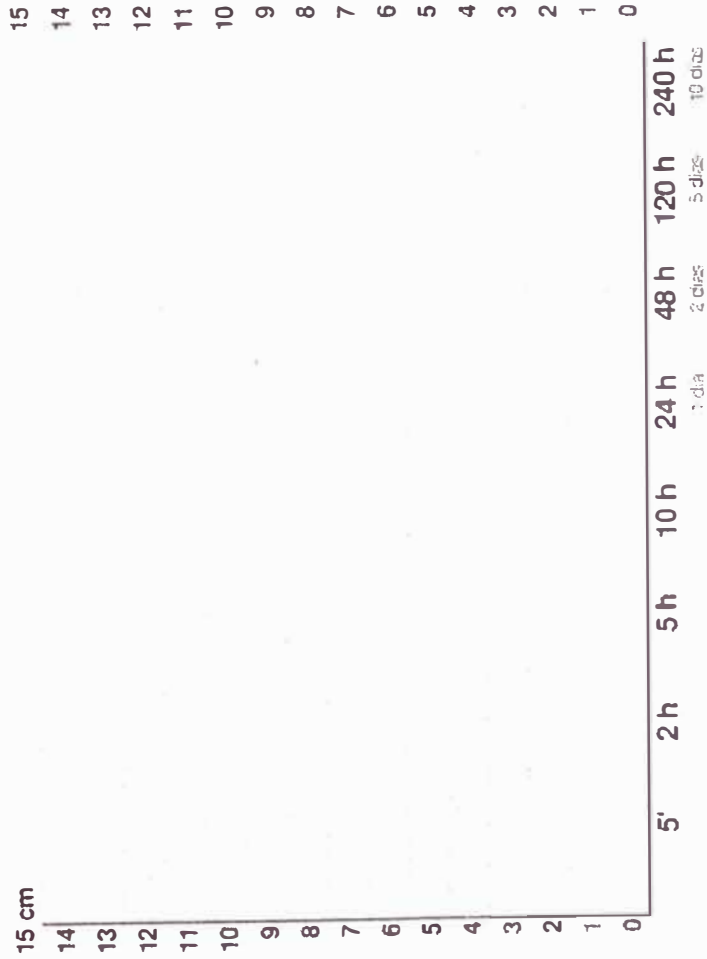
ENSAYO DE CAPILARIDAD

Lugar _____

Observaciones _____

Ensayo N° _____ Fecha _____

	5'	2 h	5 h	10 h	24 h	48 h	120 h	240 h
O								
B X/2								
B X								
B XX								
B S/2								
B S								
B SS								





CONSOLID TECHNOLOGIES

Tecnología Europea

Sistema CONSOLID®
Consolid + Solidry
(Líquido+Polvo)

**Estabilización e Impermeabilidad
de suelos**



Representante exclusivo en el Perú

INDICE

1. EL SISTEMA CONSOLID.
2. OBJETIVO.
3. ALCANCE.
4. ESTUDIOS DE SUELOS.
5. REQUERIMIENTOS PREVIOS A LA APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSOLID.
6. CONTROL DE CALIDAD
7. APLICACIÓN DEL SISTEMA.
8. RESULTADOS DE APLICACIONES ANTERIORES.

1. EL SISTEMA CONSOLID:

EL SISTEMA CONSOLID, es un sistema de estabilización de suelos, que utiliza el suelo existente en la plataforma, convirtiéndolo en material de construcción, esta acción brinda un ahorro considerable pues no se necesita material clasificado de canteras y permite aprovechar el material nativo o existente en la plataforma del camino o carretera.

El SISTEMA CONSOLID está conformado por dos componentes:

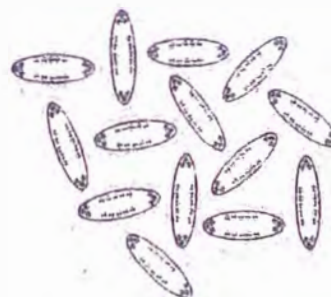
A. CONSOLID (C-444):

Este componente líquido permite la aglomeración irreversible de las partículas finas y de este modo una reducción de la superficie activa del suelo. Actúa sobre el agua absorbida insertándose entre las partículas del suelo formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reducen la tensión superficial de agua que circunda dichas partículas de manera tal que la película de agua que las cubre se dispersan permitiendo así su evaporación. Quedando la cantidad suficiente para la lubricación entre las partículas de suelo, promoviendo una mayor capacidad de compactación y la atracción electromagnética entre ellas de manera tal de proveer al suelo de una mayor resistencia a la deformación. Los contenidos de agua del suelo, especialmente su saturación capilar, son altamente disminuidos.



Arreglo disperso de partículas

Película de agua adsorbida formada principalmente por cationes positivos



Aglomeración de partículas por floculación

Complejo de adsorción formado por la acción de CONSOLID 444

Figura 5.7: Variación de los arreglos de partículas por efecto del CONSOLID-444.

B. SOLIDRY:

Es un producto complementario del Consolid C-444 y refuerza la protección contra el agua, bloqueando los capilares y permitiendo además que el agua de la superficie no penetre en la capa tratada.

El espectro de suelos al que se puede aplicar el Solidry es muy amplio, pudiendo ser suelos no plásticos, pero está diseñado principalmente para ser aplicado a suelos de alta plasticidad, llevando su índice plástico a valores tales que el suelo pueda ser trabajado fácilmente.

El Solidry, es el componente sólido del sistema y el que permite en conjunto con el componente líquido (C-444) iniciar el proceso catalítico del suelo estabilizado, esta propiedad diferencia totalmente al Sistema Consolid de otros suelos estabilizados con componentes químicos, enzimáticos, etc., al lograr El Sistema Consolid obtener altos valores estructurales del suelo y estables en el tiempo.

2. OBJETIVO:

Hacer de conocimiento el método de aplicación del Sistema Consolid para lograr el mejoramiento de las propiedades físico, mecánicas de los suelos existentes en la Zona hasta lograr la estabilización, de tal manera de utilizar los suelos que en el sistema convencional no podrían ser utilizados para la construcción de carreteras, a demás que estos suelos puedan ser mejorados reduciendo grandemente el empleo de material seleccionado de Cantera y los gastos que implica trasladar material de las mismas desde zonas muy alejadas, así como reduciendo el mantenimiento por tratarse de un impermeabilizante y estabilizador como es el SISTEMA CONSOLID .

3. ALCANCE:

La estabilización real del suelo cambia enormemente sus propiedades en forma irreversible, debiéndose la distinguir así de un suelo mejorado por adición de agregados o aditivos temporales.

En la estabilización de suelos tratamos de usar la totalidad de material de la zona para reducir la cantidad de material de préstamo, también reducir los botaderos así como las consecuencias ambientales y económicas que estas traen.

4. SOPORTE TÉCNICO:

Durante todo el proceso brindamos el soporte técnico a nuestros clientes investigando rápidamente los suelos a estabilizar, efectuamos el diseño luego de realizar rigurosos ensayos de laboratorio y análisis de ingeniería, los mismos que se encuentran a cargo de ingenieros especialistas.

5. REQUERIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSOLID:

- a. El equipo para ejecutar las labores de campo para la estabilización.
 - Camión Cisterna.
 - Motoniveladora,
 - Rodillo Pata de Cabra (Dependiendo del Tipo de Suelo)
 - Rodillo Liso Vibratorio y/o Rodillo Neumatico.
 - Movilidad de Apoyo para el transporte del personal.

Debemos de tener en cuenta que no se necesita equipos o maquinarias especiales para su aplicación, los equipos clásicos de una empresa de movimiento de tierra o constructora de carreteras sirven para aplicar y lograr esta estabilización.

Sin embargo también puede emplearse equipos como: Estabilizadores de suelo, Recicladoras, plantas de mezcla de agregados, etc.

6. CONTROL DE CALIDAD:

Como proveedores del Sistema Consolid, se incluyen controles de calidad de obra por parte de ingenieros especialistas durante todo el proceso de la aplicación en obra.

7. APLICACIÓN DEL SISTEMA

El Sistema Consolid no necesita equipos o maquinas especiales para su aplicación. Los equipos clásicos de una empresa de movimiento de tierra o constructora de carreteras sirven para aplicar el Sistema Consolid. Sin embargo también puede emplearse equipos como: Estabilizadores de suelo, Recicladoras, plantas de mezcla de agregados, etc

Metodología

- En primer lugar se escarifica el suelo con una motoniveladora, o arado de discos, este trabajo se realizara hasta que el suelo quede bien desmenuzado.



- Luego el orden de aplicación se inicia con el riego con CONSOLID C444 en todo el ancho de la vía



- Se mezcla cuidadosamente hasta que se logre el riego homogéneamente de todo el suelo a estabilizar.

- La segunda etapa comienza con la distribución de las bolsas de SOLIDRY (polvo blanco en bolsas de 25 Kg) sobre la superficie a tratar.



- Luego se distribuye el solidry el mismo que se va esparciendo sobre toda el área



- Procedemos a mezclar todo el material aplicado a muy baja velocidad para evitar el venteo del solidry, esta mezcla la podemos realizar con motoniveladora o recicladora.



Nota: De ser necesaria la incorporación de más agua para realizar una óptima compactación, se puede agregar sin ningún problema con otro tanque que contenga agua sola, hasta llegar al óptimo contenido e humedad.

- Una vez terminada la mezcla se inicia la compactación final con el rodillo pata de cabra y/o la aplicación del rodillo vibrador liso. Terminando así el proceso de aplicación del sistema



8. RESULTADOS DE APLICACIONES ANTERIORES:

PROYECTO: “CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DE LA CARRETERA RUTA EMP. PE-IN – DV. NEPEÑA – SAN JACINTO – MORO – HORNILLO – PAMPAROMAS –DV. HUATA – PUEBLO LIBRE – EMP. PE-3N”

RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE SUELOS ESTABILIZADOS.

- El siguiente cuadro muestra un resumen de los resultados obtenidos tanto en el incremento del CBR como en la impermeabilización.

KM. 36 + 500 – 37 + 000:

UBICACIÓN	36 + 500 - 37 + 000	
TRATAMIENTO	Sin tratamiento	SISTEMA CONSOLID
TIPO DE SUELO	SM	
%GRAVA	27.20%	
%ARENA	72.65%	
%FINOS	15.50%	
CBR 95 %	22.80%	36.00%
CBR 100%	38.20%	77.30%
CAPILARIDAD	ALTA	MINIMA

KM. 49 + 100:

UBICACIÓN	KM. 49 + 100		
TRATAMIENTO	Sin tratamiento	SISTEMA CONSOLID	SISTEMA CONSOLID
DOSIFICACION	Sin tratamiento	Dosificación 1	Dosificación 2
TIPO DE SUELO	SC	SC	SC
%GRAVA	12.70%		
%ARENA	48.10%		
%FINOS	39.20%		
CBR 95 %	4.20%	48.50%	61.20%
CBR 100%	4.60%	63.80%	85.71%
CAPILARIDAD	ALTA	MINIMA	MINIMA

RESUMEN FOTOGRÁFICO DE EVALUACIÓN ENSAYO ASCENSION CAPILAR



SUELO SIN TRATAMIENTO

SUELOS ESTABILIZADOS CON SISTEMA CONSOLID EN DIVERSAS DOSIFICACIONES

KM 53 + 100:

UBICACIÓN	KM. 53 + 100	KM. 53 + 100
TRATAMIENTO	Sin tratamiento	SISTEMA CONSOLID
TIPO DE SUELO	SC	
%GRAVA	37.40%	
%ARENA	37.50%	
%FINOS	25.10%	
CBR 95 %	9.50%	64.20%
CBR 100%	10.43%	105.30%
CAPILARIDAD	ALTA	MINIMA

KM 60 + 800:

UBICACIÓN	KM. 60 + 800	KM. 60 + 800
TRATAMIENTO	Sin tratamiento	SISTEMA CONSOLID
TIPO DE SUELO	GC	
%GRAVA	39.70%	
%ARENA	39.50%	
%FINOS	20.80%	
CBR 95 %	32.30%	81.00%
CBR 100%	43.57%	100.00%
CAPILARIDAD	ALTA	MINIMA

VALORES DE INCREMENTO DE CBR.

Con el empleo del Sistema Consolid se puede elevar el valor relativo de soporte CBR a voluntad y en función a la dosificación utilizada, esto quiere decir que el valor CBR de un suelo sin tratamiento podemos duplicarlo, triplicarlo, cuadruplicarlo y mucho más dependiendo de la necesidad del proyecto.

Seguidamente presentamos un resumen de pruebas de laboratorio en el mundo y experiencias en el Perú.

Se emplea el suelo existente en la zona, obteniendo excelentes resultados.

**RESULTADOS DE PRUEBAS EN LABORATORIO
Del SISTEMA CONSOLID**

Aparato para medir la resistencia de los suelos

LA VUELTA AL MUNDO CON EL SISTEMA CONSOLID

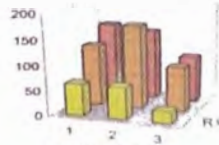


PHILIPPINES: DPWH, ESPNA, Division City, M.M.

Soil Type	A-2-7	d 1 891 kg/m ³	w: 8.5%
C.B.R.	98%	91	88%
Untreated	63	83	23
Treated C+SD ₁	124	169	90
Treated C+SD ₂	165	146	96

d 1 416 kg/m³

1996 :Soaked C.B.R. values



PHILIPPINES
C.B.R. Increase 2.5-times, 2.3-times, 4.1-times

EGYPT: DPWH, check, d 1 440 kg/m³ w: 21%

Soil Type	clay	d 1 440 kg/m ³	w: 21%
C.B.R.	Sandy Silt	1 940 kg/m ³	w 11%
Untreated	4	3	3
Treated C+SD ₁	14	16	46

1999 :Soaked C.B.R. values

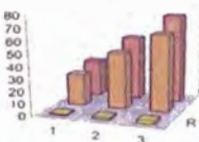


EGYPT
C.B.R. Increase 3.5 times, 5.3 times, 22 times

SPAIN: C. Interprovincial, Carreteras Andaluzas

Soil Type	A - 6	d 1 750 kg/m ³	w: 17.8%
C.B.R.	95%	98%	100%
Untreated	1.26	1.85	2.41
Treated C+SD ₁	26	48	63
Treated C+SD ₂	30	63	73

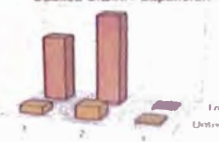
2000 :Soaked C.B.R. values



ESPAÑA
C.B.R. Increase 24 times, 29 times, 30 times

BOLIVIA: Soil Laboratory of CONNAL SRI 2001

Soil Type	A - 4	d 2 040 kg/m ³	w _{opt} 11%
C.B.R.	95%	100%	Expansion
Untreated	7	13	2.11
Treated C+SD	70	98	0.10

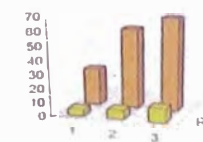


BOLIVIA
C.B.R. Increase 10 times, 7.5 times, 21 times

PAKISTAN: DHA, Demo Road Karachi 1995

Soil Type	Sandy Silt	d 1 800 kg/m ³	w 10%
C.B.R.	different	sources	silt
Untreated	4	6	10
Treated C+SD ₁	27	58	67

1995 :Soaked C.B.R. values



PAKISTAN
C.B.R. Increase 6.7 times, 9.7 times, 6.7 times

TANZANIA: Buda Plain, Expansion, 1997

Soil Type	A-7.5	d 1 648 kg/m ³	w: 14.3%
C.B.R.	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Untreated	1	6	23
Treated C+SD ₁	18	60	88

1997 :Soaked C.B.R. values

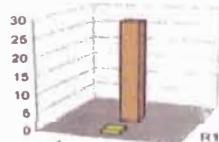


TANZANIA
C.B.R. Increase 18 times, 10 times, 3.8 times

SOUTH AFRICA: Gouda, Western Cape 1997

Soil Type	Silty Clay	on former road in Gouda
C.B.R.	Untreated	Treated with C + SD
Untreated	1	28
Treated		

1996 :Soaked C.B.R. values



AFRICA DEL SUR
C.B.R. Increase 28 times

Czech Republic: 300 places with Sandy Silt 1993

Soil Type	Sandy Silt	+ Clayey Silt (SM+ML)
C.B.R.	A - 6	treated with C + SD
Untreated	14	14.6
Treated	59	34.3
	Lubec	Dystica
		Nazanylice

1993 :Soaked C.B.R. values



CZECH REPUBLIC
C.B.R. Increase 4.2 times, 2.4 times, 4.4 times

SISTEMA CONSOLID

1.1. Principio y descripción:

El Sistema de **impermeabilización y estabilización** química de suelos CONSOLID está formado por dos productos: un polvo granulado de nombre comercial SOLIDRY, y un líquido semi-viscoso de nombre comercial CONSOLID 444.

El sistema impermeabiliza los suelos tratados, así como **incrementa la capacidad portante** de los mismos.

La aplicación del CONSOLID 444 permite una aglomeración de las partículas finas, y de este modo una reducción de la superficie activa del suelo; se destruye la película de agua adherida en la medida de lo posible, **activando así el poder de unión propio del suelo**. Un tratamiento posterior con SOLIDRY permite una estabilización precisa de acuerdo a los requerimientos del lugar de construcción.

El Sistema Consolid utiliza agentes sólidos y líquidos como vehículos para su transporte y llegar a todas las partículas.

1.2 Materiales y componentes

1.2.1 SOLIDRY:

Este es un producto sólido que se presenta en bolsas de 25 Kg. **No es tóxico ni contaminante al medio ambiente.**

El Solidry actúa sobre el agua absorbida, **impermeabilizando el suelo de manera tal de impedir su ingreso y controlar la pérdida de humedad**. Controla los procesos de capilaridad como de permeabilidad, transformando al suelo en un material hidrófugo.

El espectro de suelos al que es aplicable el Solidry es muy amplio, pudiéndose aplicar a casi todo tipo de suelos, incluso los no plásticos, y esta también diseñado para ser aplicado a suelos de alta plasticidad, llevando su índice plástico a valores tales que el suelo pueda **ser trabajado fácilmente**.

Solidry Concentrado:

Polvo granulado formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos.

Tabla No. 1. Identificación de la sustancia.

Nombre comercial de producto	SOLIDRY CONC
Nombre químico Código	Mezcla de tensoactivos catiónicos E1DR01 9 73.0082 /F
Productor	KAO CORPORATION S.A. Puig dels Tudons, 10-08210 BARRERA DEL VALLES (Barcelona, España)

Tabla No. 2. Caracterización química del SOLIDRY CONCENTRADO.

Compuesto	%
Alquilamina grasa	25- 100
Ester alquílico de tri- etanol amonio metil sulfato	25- 100
2 Propanol	5- 10

Tabla No. 3. Características técnicas del SOLIDRY CONCENTRADO.

Características técnicas	UM	Valor nominal
Aspecto	-	sólido
Color	-	amarillento
Olor	-	similar a las aminas
Valor pH (a 50 g/l H ₂ O) (50 °C)	-	9-10
Punto de fusión	°C	50-52
Punto de inflamación en copa cerrada	°C	>170
Densidad (75 °C)	g/cm ³	0,858
Viscosidad dinámica (75°C)	mPa.s	<100
Solubilidad en agua (20°C)	-	Insoluble
Solubilidad en Isopropanol (55 °C)	g/L	50

1.2.2 CONSOLID 444:

Se presenta como líquido lechoso en tambores de 200 litros. Es soluble en agua, no es tóxico ni contaminante del medio ambiente. Es un líquido semi viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros catalizadores, aceleradores de la penetración.

El C-444 actúa sobre el agua adsorbida que lubrica las partículas de arcilla o de limo, **promoviendo una mayor capacidad de compactación del suelo** promoviendo la atracción electromagnética entre ellas y evitando la orientación de las mismas de manera tal de proveer al suelo de una **mayor resistencia a la deformación**.

El c-444 es aplicable todo tipo de suelos.

Tabla No. 4. Identificación de la sustancia.

Nombre comercial del producto	CONSOLID 444 CONCENTRADO
Código	9708500
Productor	BUSSETTI & Co. GesmbH Rotszergasse 57 1170, Viena

Tabla No. 5. Caracterización química del CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Compuesto	%
Compuesto de amonio cuaternario	25-50
Amina grasa	10-25
Ácido fórmico	2,5-10
Otras aminas grasas	2,5-10
Xeno alcalino	^2,5

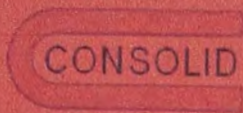
Tabla No. 6. Características técnicas CONSOLID 444 CONCENTRADO.

Características	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	líquido
Color	-	amarillo
Olor	-	característico
Punto de inflamación	°C	41
Presión de vapor a 20 °C	hPa	23
Densidad	g/cm ³	0,98-1,00
Solubilidad en agua	-	completa
Valor pH(100g/l)a20°C	-	4,5-5

Ventajas y Efectos del Sistema Consolid

- Reduce la permeabilidad
- Reduce el índice de Plasticidad (IP)
- Reduce el Óptimo Contenido de Humedad
- Incremento del California Bearing Ratio (BCR)
- Aumento al máximo la densidad seca
- Reducción del hinchamiento así como de la dilatación lineal
- Previene el ablandamiento de suelo a causa del agua (después del curado)
- Reduce la resistencia a la compresión debido a la pérdida de agua en los espacios entre las partículas minerales
- Reducción del ascenso capilar del agua
- En el suelo tratado, el óptimo contenido de humedad es más bajo y la densidad, más alta
- Proceso continuo de la aglomeración de finos a través del tiempo (incremento de la densidad por la compactación ocasionada por el tráfico vehicular);
- Reducida sensibilidad al agua (alta resistencia al agua)
- Gran incremento de la densidad seca después de la compactación, aún cuando se haya compactado con un contenido de humedad alto
- Reduce el periodo de secado
- El tratamiento funciona con prácticamente cualesquiera tipos de suelo cohesivo, independientemente de la composición química y física
- La dosificación es casi la misma, mínima y máxima, para casi todos los tipos de suelo
- El Sistema Consolid no es un ligante, modifica el comportamiento de las partículas del suelo; mantiene un pavimento flexible;
- No reacciona químicamente con el suelo. El tratamiento funciona como activador o catalizador de la petrificación de la tierra ya que la petrificación natural del suelo requiere mucho tiempo y presión, de manera de obtener un suelo con mayor densidad
- El tratamiento es permanente, el efecto irreversible
- El suelo tratado, es reciclable, es decir, puede ser recuperado y utilizado en otro lugar sin perder sus propiedades
- El suelo tratado puede ser almacenado por un tiempo indefinido, hasta que se lo requiera
- Puede ser aplicado en una planta de mezcla de suelo y luego, transportado y tendido en la obra
- Es inocuo al medio ambiente
- No es venenoso
- No requiere de equipos especiales para su aplicación
- El suelo tratado resiste a las heladas. Controla los cambios bruscos de temperatura

- Mejora sensiblemente el suelo natural:
- En muchos casos, evita utilizar material granular de cantera, cada vez más escasos, permitiendo un ahorro muy importante en el proceso constructivo.
- La obra de construcción puede ser interrumpida a causa de la lluvia si consecuencias negativas
- Reduce considerablemente el costo de mantenimiento debido al eficiente control de la acción destructiva del agua
- Como superficie de rodamiento o cobertura, solamente requiere una delegada capa de protección, no estructural



CONSOLID TECHNOLOGIES S.A.C.

PRODUCTOS VALES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Obra: **MODELO** Fecha: **Nov 13**
 Proyecto: **Sistema Consolid**
 Ubicación: **Km:**

CONSOLID TECHNOLOGIES S.A.C

Datos

Valores Para Aplicar en el Ensayo de capilaridad

Peso de Suelo Mezclado para adicionar a probeta

Peso Mezcla **382,097 Gramos**

Maxima Densidad Seca **1946 Kg/m3**

Pasante malla N 3/4 **85 %**

Pasante malla N 4 **74 %**

Humedades:

H. Inicial **7,6 %**

H. Optima **12,1 %**

Datos del molde de Probeta:

Volumen

1,9635 m3

Peso Suelo Probeta **380**

Numero de Probetas **1**

Formulacion	Psuelo(gr)	C444 Min(cm3)	C444 ST(cm3)	C444 Max(cm3)	Agua ml	SD(gr)	Mejor Formul
o	380				17.2	0	Cs(0) - SD(0)
BS/2 (0.5%)	380	3.1			14.1	1.9	Cs(0.08)-SD(0.5)
BS/0.75%	380	3.1			14.1	2.9	Cs(0.08)-SD(0.75)
BS(1%)	380	3.1			14.1	3.8	Cs(0.08)-SD(1.00)
BS/1.25%	380	3.1			14.1	4.8	Cs(0.08)-SD(1.25)
BS/1.5%	380	3.1			14.1	5.7	Cs(0.08)-SD(1.5)
BSS(2%)	380	3.1			14.1	7.6	Cs(0.08)-SD(2.0)

Formulacion	Psuelo(gr)	C444 Min(cm3)	C444 ST(cm3)	C444 Max(cm3)	Agua ml	SD(gr)	Mejor Formul
o	380		0		17.2	0	Cs(0) - SD(0)
BS/2 (0.5%)	380		4.7		12.5	1.9	Cs(0.128)-SD(0.5)
BS/0.75%	380		4.7		12.5	2.9	Cs(0.128)-SD(0.75)
BS(1%)	380		4.7		12.5	3.8	Cs(0.128)-SD(1.00)
BS/1.25%	380		4.7		12.5	4.8	Cs(0.128)-SD(1.25)
BS/1.5%	380		4.7		12.5	5.7	Cs(0.128)-SD(1.5)
BSS(2%)	380		4.7		12.5	7.6	Cs(0.128)-SD(2.0)

Formulacion	Psuelo(gr)	C444 Min(cm3)	C444 ST(cm3)	C444 Max(cm3)	Agua ml	SD(gr)	Mejor Formul
o	380			0.0	17.2	0	Cs(0) - SD(0)
BS/2 (0.5%)	380			6.2	11.0	1.9	Cs(0.16)-SD(0.5)
BS/0.75%	380			6.2	11.0	2.9	Cs(0.16)-SD(0.75)
BS(1%)	380			6.2	11.0	3.8	Cs(0.16)-SD(1.00)
BS/1.25%	380			6.2	11.0	4.8	Cs(0.16)-SD(1.25)
BS/1.5%	380			6.2	11.0	5.7	Cs(0.16)-SD(1.5)
BSS(2%)	380			6.2	11.0	7.6	Cs(0.16)-SD(2.0)

Obra: **Sistema Consolid** Fecha:
 Proyecto: **Sistema Consolid**
 Ubicación:

CONSOLID TECHNOLOGIES S.A.C

Escojido: **SUELO NATURAL**

Longitud: **1 m**

Ancho: **1 m**

Base	C444- SD	Concentrado	
		Espesor(m)	C444(lts/m3)
		0	0
Total			0.00%

Datos para realizar ensayo C.B.R:

Insumo	Pesos	Unidad
Peso de Suelo	6	kg
Solidry por molde	0,00	gr
Consolid por molde(1:200)	0,00	Mlts
Agua	271,80	Mlts

Nota : Dosificaciones por Molde para CBR

Nota. Previamente antes de dosificar con el Sistema Consolid de debe tener lo valores de granulometria proctor y cbr con el suelo Natural

EJEMPLO DE DOSIFICACION PARA LABORATORIO

Proctor Modificado:

Este ensayo nos determinara la relación entre el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo (Curva de Compactación).

-Muestra: Tomamos una muestra de 18 kg aproximadamente de suelos seco.

-Utensilio

- . Molde de 4 pulgadas
- . Pisón o Martillo
- . Balanza con aproximación 1gr
- . horno para secado
- . Regla
- . Herramientas de Mezcla

-Procedimiento: como menos del 20% es retenida en la malla N° 4, se utilizara el método A, homogeneizamos la muestra y separamos en fracciones de 3kg en bolsas herméticas para no perder humedad.

Tomamos una bolsa de 3kg y lo ponemos sobre la bandeja agregándole agua y Consolid preparado 2% del peso y 1% de Solidry en peso también, mezclamos completamente, ya húmedo y homegeinado añadimos una porción al molde de 4pulg. Y empezamos a compactar a 25 golpes a una altura de 18pul con el pisón de 44.5N. Repetimos la compactación en 5 capas.

Tomamos el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca de la Proctor sin estabilizar:

Datos obtenidos:

- Humedad Inicial= 5.2%
- Máxima densidad seca (Sin Estabilizar)=1885 Kg/m³
- Dosificación Sistema Consolid= Consolid 444(0.08Lt/m³) y Solidry (1% en peso)
- Corrección por Grava=0.86 (pasante de la malla N°4)
- Cantidad de líquido punto inicial=7.2% (216ml)

Pesos:

Cantidad de Aditivos para 3kg de muestra por Molde de 4pulg:

- **Consolid 444**

$$C444 = \frac{[(\text{Peso suelo}) \times (\text{Corrección por grava}) \times (\text{Dosificación Consolid444}) \times (200)]}{x1000}$$

Máxima Densidad Seca (Proctor sin estabilizar)

$$C444 = \frac{3 \times 0.89 \times 0.08 \times 200 \times 1000}{1885}$$

$$\mathbf{Consolid444=22.66ml}$$

- **Solidry**

$$\text{Solidry} = [(\text{Peso de suelo}) \times (\text{Corrección por Grava}) \times (\text{Dosificación Solidry})] \times 1000$$

$$\text{Solidry} = 3 \times 0.89 \times 0.01 \times 1000$$

$$\mathbf{Solidry=26.7gr}$$

Pesos por Molde para el ensayo de Proctor:

Prueba N° 1

Peso de suelo=3kg

Agua=37.34ml

Consolid 444=22.66ml

Solidry=26.7gr

Prueba N° 2

Peso de suelo=3kg

Agua=97.34ml

Consolid 444=22.66ml

Solidry=26.7gr

Prueba N° 3

Peso de suelo=3kg

Agua=157.34ml

Consolid 444=22.66ml

Solidry=26.7gr

Prueba N° 4

Peso de suelo=3kg

Agua=2217.34.34ml

Consolid 444=22.66ml

Solidry=26.7gr

Prueba N° 5

Peso de suelo=3kg

Agua=277.34ml

Consolid 444=22.66ml

Solidry=26.7gr



Ensayo de Compactación

Ya terminada la quinta capa retiramos el collar y nivelamos o enrazamos al nivel del borde por medio de una regla para formar una superficie plana en la parte superior del molde, pesamos el molde más el suelo compactado sin la base y lo registramos en la hoja.

También extraemos suelo de la parte superior de la muestra compactada con el propósito de determinar el contenido de humedad, de nuestro primer puntos.

Repetimos el procedimiento para las 5 muestras de suelo preparadas agregándole 2% de agua a cada punto efectuado.

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

Realizado por : Fmedina
 Revisado por :
 Fecha : 15/02/2012

Datos de muestra

Ubicación(Km) : 13+800
 Cantero
 Calicata : C-13
 Muestra : M-1
 Lado : L. izquierdo
 Prof. (m) : 0.00-1.00

Suelo Estabilizado S.C

METODO (A)

Compactación

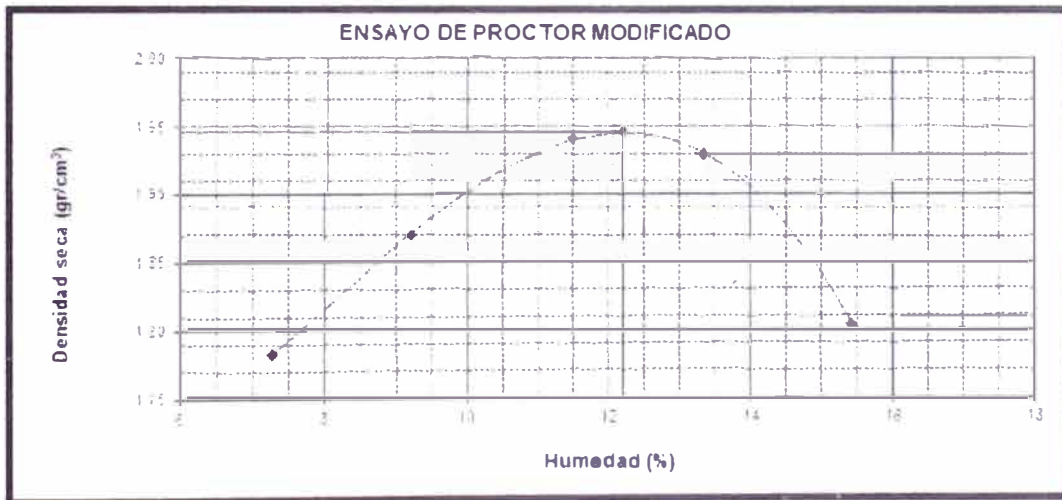
Prueba N°	1	2	3	4	5
Número de capas	5	5	5	5	5
Número de golpes	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	3553	3675	3790	3811	3712
Peso molde (gr.)	1747	1747	1747	1747	1747
Peso suelo compactado (gr.)	1806	1928	2043	2064	1965
Volumen del molde (cm ³)	944	944	944	944	944
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.913	2.042	2.164	2.186	2.082

Humedad (%)

Tara N°	J-15	J-8	C-6	C-3	J-12
Tara + suelo húmedo (gr.)	356.00	398.00	408.00	383.00	339.00
Tara + suelo seco (gr.)	336.00	369.50	374.50	345.50	302.00
Peso de agua (gr.)	20.00	28.50	33.50	37.50	37.00
Peso de tara (gr.)	61.50	60.50	83.00	64.00	62.00
Peso de suelo seco (gr.)	274.50	309.00	291.50	281.50	240.00
Humedad (%)	7.3	9.2	11.5	13.3	15.4
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.783	1.870	1.941	1.929	1.804

Máxima Densidad Seca (gr/cm³) : 1.946
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.2

1.946
12.2



CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR):

El ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad portante del suelo sin estabilizar en condiciones de densidad y humedad controlada, utilizando el ensayo de compactación más conocido como CBR.

Con este índice evaluaremos la capacidad portante del suelo natural.

-Muestra: Se preparan 15 kg aproximadamente seco lo separamos en 3 fracciones de 5 kg cada uno. Donde compactaremos a 12, 25 y 56 golpes.

-Utensilios:

- . Molde metal Cilíndrico
- . Pisón de compactación
- . Disco espaciador
- . Placa de metal perforada por cada molde
- . Trípode para medir expansión
- . Pesas o sobre cargas
- . Diales para lecturas de penetración
- . Balanza de 20Kg con sensibilidad de 1g
- . horno para secado
- . Regla
- . Herramientas de Mezcla

-Procedimiento: tomamos una fracción separada de muestra de 5kg. Aproximadamente, sobre una bandeja limpia agregamos el material y empezamos a humedecerla con la cantidad de agua necesaria para llegar al óptimo de humedad (valor de la compactación, homogeneizamos hasta que esté bien mezclada con el agua.

Tomamos el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca de la Proctor:

Datos obtenidos:

- Humedad Inicial= 7%
- Máxima densidad seca=1946Kg/m³
- Optimo Contenido de Humedad=12.2%

-Dosificación Sistema Consolid= Consolid 444(0.08Lt/m³) y Solidry (1% en peso)

-Corrección por Grava=0.86 (pasante de la malla N°4)

Cantidad de Aditivos para 5kg de muestra por Molde de 6pulg:

- **Consolid444:**

$$C444 = \frac{[(\text{Peso suelo}) \times (\text{Corrección por grava}) \times (\text{Dosificación SC}) \times (200)] \times 1000}{\text{Máxima Densidad Seca}}$$

$$C444 = \frac{5 \times 0.89 \times 0.08 \times 200 \times 1000}{1.946}$$

1.946

$$\underline{\underline{C444 = 35.39\text{ml}}}$$

- **Solidry:**

$$\text{Solidry} = [(\text{Peso de suelo}) \times (\text{Corrección por Grava}) \times (\text{Dosificación SC})]$$

$$\text{Solidry} = 5 \times 0.89 \times 0.01$$

$$\underline{\underline{\text{Solidry} = 43.05\text{ml}}}$$

Pesos por Molde para el ensayo de CBR:

Prueba N°1 (12 Golpes)

Peso de suelo=5kg

Agua=224.61

Consolid 444=35.39ml

Solidry=43.05gr

Prueba N°2 (25 Golpes)

Peso de suelo= 5kg

Agua= 224.61ml

Consolid 444= 35.39 ml

Solidry= 43.05gr

Prueba N°3 (56 Golpes)

Peso de suelo= 5kg

Agua= 224.61ml

Consolid 444= 34.39ml

Solidry= 43.05gr

Procedimiento de mezclado de los aditivos estabilizantes:



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 posa de agua para su saturación.

Sumergimos en la posa 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.

Resultados

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) ASTM D-1583

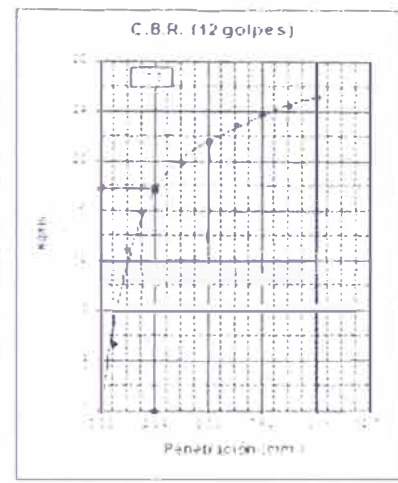
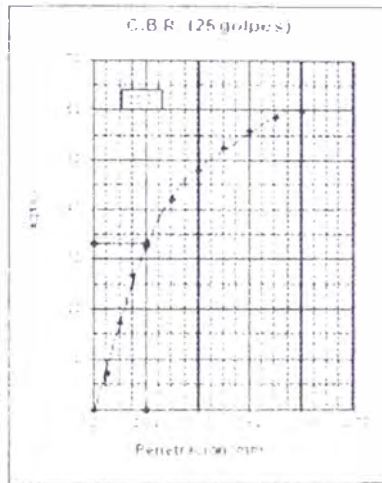
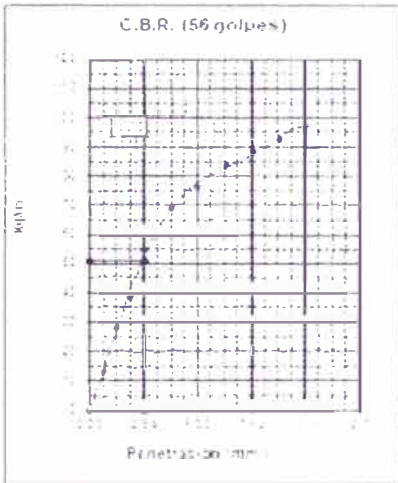
Realizado por : Emedina
 Revisado por :
 Fecha :

Datos de muestra

Prog. (Km.) : 13+800
 Cantero :
 Calicata : c-13
 Muestra : M-1
 Lado : Izq.
 Prof. (m.) : 0.00-1.00

Máxima Densidad Seca (g/cm^3) : 1.946
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.2

Suelo Estabilizado S.C

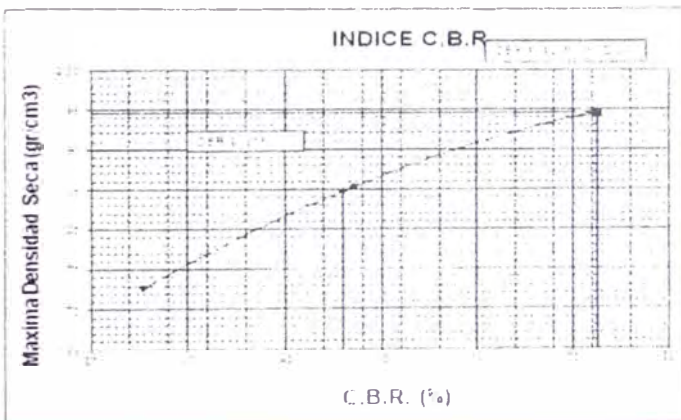


C.B.R. (0.1)-56 GOLPES : 73

C.B.R. (0.1)-25 GOLPE : 47

C.B.R. (0.1)-12 GOLPES : 26

DETERMINACION DE C.B.R.



95% DE M.D.S. : 1.549

C.B.R. (100% M.D.S.) 01%

73₄₅
46₄₅

C.B.R. (95% M.D.S.) 01%

OBSERVACIONES:

.....

