

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

PLAN DE DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL:

Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una sub
base granular con material proveniente de la provincia de
Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC.

Realizado por:

SEBASTIAN DAVID LASCANO

LUIS ANIBAL NARVAEZ SANCHEZ

Como requisito para la obtención del título de
INGENIERO CIVIL

QUITO, FEBRERO 2010

DEDICATORIA

A mis padres ya que ellos son quienes forjaron la persona que soy hoy en día, porque a través de su cariño y paciencia me enseñaron el valor del trabajo duro y la importancia que tiene mi educación, a mi novia por su amor y apoyo incondicional siempre inspirándome a seguir adelante y a mis amigos pues son parte fundamental en mi desarrollo ya que con su comprensión y motivación supieron sacar lo mejor de mí en cada proyecto emprendido, cada uno de ellos se convirtió en una familia con la cual compartí momentos inigualables que se conservarán en mi recuerdo.

Sebastián Lascano

DEDICATORIA

Todos mis esfuerzos están dedicados a mis padres Luis y Jenny, a mi abuelita Ena, a mis hermanas, a toda mi familia, a mi novia Fernanda, a mi hija Vanessa y a mis amigos.

Luis Narváez

INDICE DE CONTENIDO

Tabla de contenido

Tabla de contenido	5
Introducción.....	10
Antecedentes	13
Objetivos	15
CAPITULO I	16
DEFINICION Y DESCRIPCION DE LOS MATERIALES.....	16
1.1 Escorias o Residuos de PVC	16
1.1.1 Concepto de PVC.....	16
1.1.2 Procedencia de los Materiales de PVC.....	16
1.1.3 Origen de los Materiales de PVC.....	18
1.1.4 Composición Físico Química PVC	19
1.1.4.1 Composición física	19
1.1.4.2 Composición química.....	20
1.2 Materiales a Utilizarse en la Sub-base.....	20
1.2.1 Concepto de Agregados	21
1.2.3 Origen de los Agregados	22
1.2.4 Procedencia de los Agregados	23
1.2.5 Propiedades Físico-Química de los Agregados	24
1.2.5.1 Propiedades físicas de los agregados.....	24
1.2.5.2 Propiedades químicas de los agregados.....	24
CAPITULO II	25
ENSAYOS DE LABORATORIO.....	25
2.1 Realización de los Ensayos de Laboratorio	25
2.1.1 Muestreo y Cuarteo de los Materiales.....	25
2.1.1.1 Muestreo de los Materiales	25
2.1.1.2 Cuarteo de los Materiales	27
2.1.2 Granulometría.....	29
2.1.3 Contenido de humedad	31

2.1.4 Contenido Orgánico	32
2.1.5 Densidad del agregado	34
2.1.5.1 Densidad del agregado fino	34
2.1.5.2 Densidad del agregado grueso.....	36
2.1.6 Peso unitario	38
2.1.7 Durabilidad de los agregados a la acción de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio.....	39
2.1.8 Desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles	40
2.1.9 Límites de Atterberg	41
2.1.11 Ensayos Químicos del PVC	43
CAPITULO III	46
COMPACTACION Y CBR	46
3.1 Compactación.....	46
3.1.1 Definición	46
3.1.2 Fundamentos de compactación.....	46
3.1.3 Beneficios de la compactación	47
3.1.4 Ensayos de Compactación	48
3.4.1.2 Proctor Modificado	48
3.2 CBR (California Bearing Ratio)	50
3.2.1 Definición	50
3.2.2 Ensayo de CBR.....	51
3.3 Ensayos de compactación y de CBR con el material de la mina de Tachina...	52
CAPITULO IV	54
RESULTADOS	54
4.1 Análisis de los Resultados.....	54
4.1.1 Compactación y CBR para sub-base en condiciones naturales (sin adición de PVC)	54
4.1.2 Compactación y CBR para sub-base con adición de diferentes porcentajes de desecho de PVC.....	55
4.2 Determinación del porcentaje de Mezcla a utilizarse en la Sub-base.	57
CAPITULO V	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1 CONCLUSIONES	59

5.2 RECOMENDACIONES	61
Anexos.....	63
ANEXO 1 – ENSAYOS REALIZADOS	63
1.1 Ensayos de control de calidad.....	63
1.1.1 Granulometría	63
1.1.2 Contenido orgánico.....	65
1.1.3 Abrasión, máquina de Los Ángeles	66
1.1.4 Peso unitario	66
1.1.5 Gravedad específica, agregado fino.....	67
1.1.6 Gravedad específica, agregado grueso	67
1.1.7 Desgaste a los sulfatos	68
Anexo 2 Ensayos de compactación y CBR.....	69
2.1 Ensayos Proctor.....	69
2.2 Ensayos CBR	78
BIBLIOGRAFIA.....	94
OTRAS FUENTES DE CONSULTA	95

LISTA DE GRAFICAS, TABLAS, FOTOGRAFIAS Y

ANEXOS

TABLA NO. 1 PROCEDIMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS	12
FOTOGRAFÍA NO. 1.1 USOS DEL PVC, TUBERÍAS	17
GRÁFICA NO. 1.1 IMPORTACIONES DE POLIETILENO Y PVC EN 2006	17
GRÁFICA NO.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PVC	18
TABLA NO. 1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PVC	19
GRÁFICA NO. 1.3 FÓRMULA DEL PVC	20
GRÁFICA NO. 1.4 ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	21
FOTOGRAFÍA NO. 1.2 UBICACIÓN DE LA MINA DE TACHINA	22
GRÁFICA NO. 1.5 CICLO DE LAS ROCAS	23
TABLA NO. 1.2 PROPIEDADES FÍSICAS EXIGIBLES PARA AGREGADO DE SUBBASE	24
TABLA NO. 2.1 CANTIDAD DE MATERIAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE AGREGADO	26
GRÁFICA NO. 2.1 SEPARADOR MECÁNICO	27
GRÁFICA NO. 2.2 MÉTODO DE CUARTEO ¹	28
GRÁFICA NO. 2.3 MUESTREO EN PILA ¹	28
FOTOGRAFÍA NO. 2.1 CUARTEO	29
FOTOGRAFÍA NO. 2.2 GRANULOMETRÍA	30
FOTOGRAFÍA NO. 2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	32
TABLA NO. 2.2 ESCALA DE VIDRIO DE COLOR NORMALIZADO	33
FOTOGRAFÍA NO. 2.4 MATERIAL EN SOLUCIÓN Y ESCALA DE COLOR NORMALIZADO	33
FOTOGRAFÍA NO. 2.5 DENSIDAD DEL AGREGADO FINO	36
FOTOGRAFÍA NO. 2.6 DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO	37
FOTOGRAFÍA NO. 2.7 PESO UNITARIO	39
FOTOGRAFÍA NO. 2.8 DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIO	40
FOTOGRAFÍA NO. 2.9 DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	41
GRÁFICA NO. 2.4 LÍMITES DE CONSISTENCIA	42
FOTOGRAFÍA NO. 2.10 COPA DE CASAGRANDE	43
TABLA NO. 2.3 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS	45
TABLA NO. 3.1 TIPOS DE MÉTODO DE ENSAYO PROCTOR	48
GRÁFICA NO. 3.1 CURVA DENSIDAD SECA VS. CONTENIDO DE HUMEDAD	49
FOTOGRAFÍA NO. 3.1 PROCTOR MODIFICADO	49
FOTOGRAFÍA NO. 3.2 CBR	51
FOTOGRAFÍA NO. 3.3 DESECHO DE PVC	52
FOTOGRAFÍA NO. 3.4 MEZCLA DE SUBBASE CON DESECHO DE PVC	53
FOTOGRAFÍA NO. 3.5 ENSAYO CBR	53
TABLA NO. 4.1 VALORES DE COMPACTACIÓN DE LA SUB-BASE EN CONDICIONES NATURALES	54
TABLA NO. 4.2 VALORES DE CBR DE LA SUB-BASE EN CONDICIONES NATURALES	55
TABLA NO. 4.3 VALORES DE COMPACTACIÓN DE SUB-BASE CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE PVC	55
TABLA NO. 4.4 VALORES DE CBR DE SUB-BASE CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE PVC	56
GRÁFICA NO. 4.1 PORCENTAJE DE VALOR ÓPTIMO DE CBR	57
TABLA NO. 5.1 RESUMEN DE RESULTADOS	59

Introducción

Suelo es el sustrato físico sobre el cual se erigen obras ingenieriles; edificios, presas, puentes, diques, canales, etc.

Lambe considera que “el suelo es el material de construcción más abundante. Sin embargo no siempre el suelo posee las características mínimas para un uso determinado”¹. La carencia de material granular en ciertas zonas, así como los altos costos de trituración y largos tiempos de viaje, son factores que influyen en la explotación y/o acarreo del material idóneo para el empleo en la construcción de obras civiles, esencialmente, en vías.

Bajo esta circunstancia, se ha visto la necesidad de mejorar la calidad de los materiales pétreos a través de adiciones de aditivos, orgánicos o inorgánicos, o recurriendo a tratamientos especiales que le confieran características específicas.

Es así que se desarrolla la estabilización de los suelos, convirtiéndose en el proceso que permite mejorar el suelo para alcanzar los requisitos necesarios para su uso.

Dentro de la historia de la estabilización de suelos se han utilizado procedimientos que se resumen en el siguiente cuadro:

¹ LAMBE William y WHITMAN Robert, Mecánica de Suelos, USA, 2002

Metodo	Principio	Condicion mas adecuada del suelo , tipos	Profundidad Eficiente	Propiedades del material tratado	Ventajas y Limitaciones Especificas	Costos Relativos
Electroosmosis	La corriente electrica continua produce un fluido de agua	limos normalmente consolidados y arcillas limosas	?	Reduce el contenido de agua y la compresibilidad	No se requieren rellenos para carga	Alto
Impregnación a Chorro	Chorros de alta velocidad, profundidad	Arcillas blandas o suelos orgánicos, pantanos	?	Se solidifica paredes y columnas	Util en suelos que no pueden ser impregnados	Alto
Calentamiento	Secado a baja temperatura	Todos los suelos	15 m	Se produce contenido de agua, la plasticidad	Mejoramientos irreversibles de suelo	Alto
Congelamiento	Se congela el terreno blando y húmedo para darle resistencia	Arcillas blandas y depósitos aluviales	Varios metros	Se aumenta la resistencia y rigidez	No es aplicable en agua freatica	Alto
Impregnacion Química	Solucion de pductos quimicos	Limos medios o mas gruesos	Sin limite	Impermeabiliza, resistencia de baja y alta	Baja viscosidad, tiempo real	Alto a muy alto
Explosión	Ondas de impregnación y vibraciones causan liquefacción y desplazamiento	Arenas saturadas total o parcialmente , limos	> 30m	Pueden obtenerse densidades de 70-80%	Rapidez, Economica	Bajo
Apisonamiento Pesado	Aplicación repetida de impactos de alta densidad	Suelos no cohesivos , rellenos no utilizables	30 m	Buen mejoramiento del suelo	Rapidez , economica,simplicidad	Bajo
Precarga	La carga es aplicada con anticipacion a la construccion	Arcillas blandas, limos, depositos organicos	?	Reduce el contenido de agua	Facilidad teoria bien aplicada	Bajo
Rellenos Estructurales	Rellenos estructurales que distribuyen la carga	Todos los suelos inorgánicos	?	Las subsaneres blandas son protegidas	Uniformidad, se controla el suelo	Bajo a alto
Listones Membranas	Listones horizontales para tensión, membranas enterradas		Varias décimas de m	Las estructuras de tierra son autosoportantes	Económica, las estructuras de suelo son coherentes	Bajo a moderado
Inyección Electrocinética	Productos químicos estabilizase	Limos saturados, arcillas limosas	Desconocido	Se aumenta la resistencia	Los suelos y estructuras están a altas presiones	Caro
Inyeccion a presion con cal	Lechada de cal inyectada a poca profundidad	Arcillas expansivas	Entre 2-3 m	La cal encapsulada las zonas impregnantes	?	Competitividad con otras soluciones
Impregnacion con particulas	La impregnacio penetrante rellena los poros del suelo con suelo-cemento	arena media y gruesa,gravas	Sin limite	Impermeabiliza, resistencia de baja y alta	Impregnantes son de bajo costo	El mas bajo de los sistemas
Sondas Vibratorias	Densificacion por vibracion liquefaccion	arenas limpias, saturada o seca	Sobre 3-4m	Pueden obtenerse densidades 80%	Rapidez,Economica simplicidad	Moderado

Vibro Compactacion	Densificacion por vibracion y compactacion de material relleno	suelos no cohesivos con 50% de finos	30m	Pueden Obtenerse densidades altas	Util en suelos saturados	Moderado
Rellenos de Sobrecarga	Un relleno en exceso del requerido permanentemente	Arcillas blandas consolidadas , limos, depositos organicos	?	Reduce el contenido de agua, la relacion de vacios	Es mas rapida que la precarga	Moderado
Pilotes de Compactacion	Densificacion por desplazamiento de volumen en pilotes	suelos arenosos sueltos, suelos arcillosos	> 20 m	Pueden obtenerse densidades altas	Utilen suelos con finos	Moderado alto
Pilotes y Muros	Cal, cemento, asfalto, introducido mediante taladro rotativo	Suelos de grano fino, arcillas, limos	> 20 m	Pilotes o muros de suelo solidificados	Alta resisitencia, buena distribución	Moderado alto
Pilotes para fundición	Se usan elementos para soportar la tensión, esfuerzo cortante y compresión	Suelos no cohesivos	?	La zona se comporta como una masa coherente	Reforzamiento insitu para suelos	Moderado alto
Reemplazo por vibración	Perforación a chorro en suelos blandos de grano fino	Todos los suelos	20 m	Se aumenta la capacidad de soporte	Más rápida que el sistema de precompresión	Moderado o alto

TABLA NO. 1 PROCEDIMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS²

² SALVADOR José, Apuntes Pavimentos, 2009.

Antecedentes

El poli cloruro de vinilo es uno de los plásticos más antiguos y desarrollados, ya que desde 1835, en que Justus von Liebig³, descubrió la polimerización del cloruro de vinilo, la industria no ha dejado de progresar. Por tanto, la gestión de los residuos de PVC (la descarga en vertedero, la incineración, el reciclado, etc.), se calcula aumentará en un 80%⁴, aproximadamente, durante los próximos veinte años.

Para aprovechar este crecimiento del residuo de PVC se propone la inclusión en el suelo para mejorar sus características mecánicas, medidas a través del CBR. Este estudio se basa en un trabajo desarrollado en Medellín, Colombia, denominado “Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo sub base”, elaborado por Edgar Rodríguez Rincón, Hugo Alexander Rondón Quintana, Diana Marcela Vélez Pinzón y Leidy Carolina Aguirre Aguirre, en el año 2006.

En algunas ocasiones el Ingeniero de carreteras debe trabajar con materiales granulares que no cumplen los requisitos mínimos de calidad de la especificación vial pertinente. En este caso el Ingeniero debe intentar mejorar las propiedades del material ya sea por medios mecánicos o químicos.

³ www.eis.uva.es

⁴ www.europa.eu

En la presente investigación se utilizó desecho de PVC como material de adición, para modificar el comportamiento de una subbase granular. A partir de ensayos de Proctor Modificado y CBR se comparó el comportamiento del material natural y mezclado con diferentes proporciones del desecho de PVC. Los resultados de la investigación muestran que el CBR de una mezcla de material granular tipo subbase y material de desecho, presenta un incremento notable. Además, la mezcla modificada logra variar el peso unitario del material, obteniéndose una mezcla con mayor resistencia y menor peso unitario.

Objetivos

Objetivo general

- Investigar la influencia de la adición de desechos de PVC en el CBR de una sub-base granular.

Objetivos específicos

- Identificar las principales empresas que podrían proveer material de desecho en nuestro país para reutilizar en la elaboración de sub-bases granulares.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados de la cantera de Tachina en la provincia de Esmeraldas.
- Realizar los ensayos de CBR con distintas proporciones de desecho de PVC y de agregados en su condición natural.
- Determinar el porcentaje de PVC que mejor resultado presente (porcentaje óptimo).

CAPITULO I

DEFINICION Y DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

1.1 Escorias o Residuos de PVC

Al finalizar el siglo XX la producción anual del poli cloruro de vinilo fue de, aproximadamente 20 millones de toneladas siendo los mayores fabricantes los Estados Unidos, Europa y Japón⁵, debido a su extendido uso en diversas industrias.

Considerando que los materiales de construcción elaborados con poli cloruro de vinilo tienen una vida útil entre 5 y 30 años ⁶, así como la gran producción del material, los residuos generados durante los procesos de fabricación, uso y desecho, son altos y finalmente se disponen en escombreras, vertederos de residuos sólidos o incineradoras.

1.1.1 Concepto de PVC

El poli cloruro de vinilo, PVC, es un polímero termoplástico, que a temperatura ambiente, es deformable; se funde cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría.

1.1.2 Procedencia de los Materiales de PVC

El uso del PVC es diverso, desde la industria de zapatos, carteras, tarjetas, cortinas, llaveros, juguetes hasta revestimientos, tuberías, tanques y

⁵ www.petroquimicaypvcvenezuela.blogspot.com

⁶ www.nodo50.org

recubrimientos aislantes en la construcción; representando en esta manufactura el 60 % de la producción total.

El PVC utilizado en la presente investigación proviene de los residuos de la industria de la construcción, específicamente, de la fábrica ecuatoriana de tubos AMANCO-PLASTIGAMA.



FOTOGRAFÍA NO. 1.1 USOS DEL PVC, TUBERÍAS

LA PRODUCCIÓN	
<i>En millones de dólares. En el 2006</i>	
Las empresas que más importan	
Empresa	kilos en bruto
Amanco Plastigama	24,3
Bopp del Ecuador	14,0
Amcor Pet Packaging	12,5
Pica	10,5
Plásticos Rival	19,1
Paraíso del Ecuador	6,9
Plásticos Ecuatorianos	6,7
Trilex	6,3
Plasticsacks	5,7
Plastiempaqués	5,3
Otras	180,8
Total	282,1
Fuente: Aseplas/ EL COMERCIO	

GRÁFICA NO. 1.1 IMPORTACIONES DE POLIETILENO Y PVC EN 2006 ⁷

⁷ www.elcomercio.com

1.1.3 Origen de los Materiales de PVC

El PVC se obtiene por polimerización, que es un proceso químico en el que los monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan entre si formando una molécula de gran peso llamado polímero.

La materia prima para la fabricación de éste polímero es natural: 57% de cloruro de sodio, y 43% de petróleo o gas natural.

El cloruro de vinilo es polimerizado con un 0,8% de peróxido benzoico del peso del monómero. La operación requiere de una temperatura de 58 °C, 17 horas y un cilindro rotativo, en cuyo interior se colocan esferas de acero inoxidable.



GRÁFICA NO.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PVC⁸

⁸ www.solvaymartorell.com

1.1.4 Composición Físico Química PVC

1.1.4.1 Composición física

Se puede describir al PVC como un material resistente, rígido y de dureza mecánica elevada; tiene la ventaja de ser aislante eléctrico y altamente resistente a sustancias químicas, es impermeable a gases y líquidos, resistente a la acción de microorganismos y agentes atmosféricos.

Las propiedades físicas generales del PVC se exponen en la siguiente tabla:

Propiedad	Referencia
Punto de ebullición (°C)	- 13,9 +/- 0,1
Punto de congelación (°C)	- 153,7
Densidad a 28,11°C (gr/cm ³)	0,8955
Calor de fusión (Kcal/mol)	1,181
Calor de vaporización	5.735
Índice de refracción a 15°	1,38
Viscosidad a - 10°C (mPoisses)	2,63
Presión de vapor a 25°C (mm)	3,000
Calor específico del líquido (cal/g)	0,38
Calor específico del vapor	10,8 - 12,83
Calor de combustión a 80°C (Kcal/mol)	286

TABLA NO. 1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PVC⁹

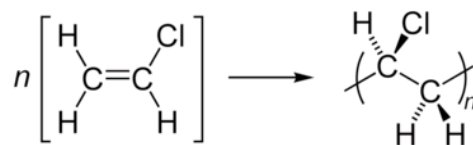
⁹ www.textoscientificos.com/polimeros/pvc

1.1.4.2 Composición química

El poli cloruro de vinilo contiene carbono e hidrógeno, y algunos oxígenos, nitrógeno, azufre y cloro que provienen de:

- Cloruro de sodio que por un proceso electrolítico se obtiene cloro, soda cáustica e hidrógeno,
- Petróleo y/o Gas natural de los que se adquiere el etileno, y
- Etileno y cloro, que combinados producen el etileno diclorado.

El etileno diclorado se transforma en cloruro de vinilo (VCM) que a través de la polimerización y secado origina un polvo blanco inocuo denominado poli cloruro de vinilo (PVC).



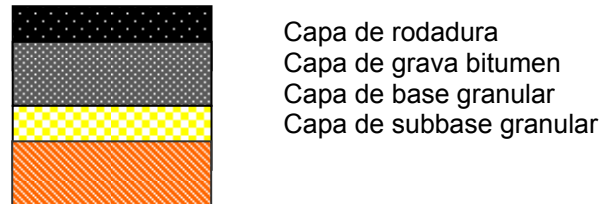
GRÁFICA NO. 1.3 FÓRMULA DEL PVC¹⁰

1.2 Materiales a Utilizarse en la Sub-base

La estructura de un pavimento flexible se halla compuesto por la subrasante que es la capa inferior y la que constituye la fundación del pavimento, posteriormente, se encuentran la subbase y la base granular conformadas por material pétreo natural, triturado o mejorado. Finalmente, la capa grava

¹⁰ www.wikipedia.com

bitumen y la capa de rodadura que se forman por mezclas bituminosas. En la siguiente figura se muestra una estructura básica del pavimento flexible:



GRÀFICA NO. 1.4 ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Dada la importancia de la subbase, en el Manual del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, Sección 403, se describen los requisitos que deben cumplir previa a su utilización. El uso de las diferentes clases de material para subbase depende del origen del material.

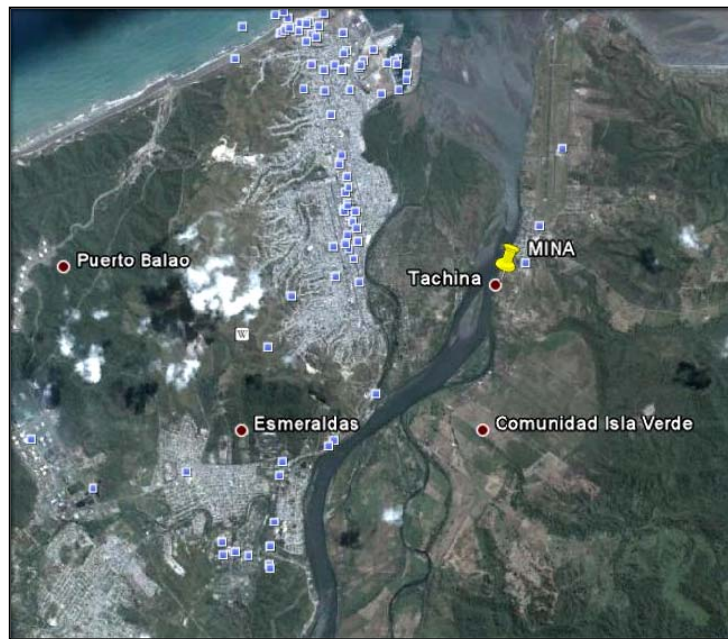
1.2.1 Concepto de Agregados

Se entiende por agregado al material granular inerte, generalmente de origen pétreo formado por rocas y minerales. Los minerales son sustancias sólidas naturales con estructuras internas ordenadas. Las rocas, dependiendo de su origen se clasifican en ígneas, sedimentarias o metamórficas. Estos materiales por procesos de intemperismo y erosión producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla¹¹.

¹¹ PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, Portland Cement Association, Illinois, USA, 2004

1.2.2 Ubicación de la Mina de los Agregados

La mina del agregado se denomina Tachina ubicada en la población del mismo nombre, a una latitud de 0.97N y a una longitud de 79.63W, en la provincia de Esmeraldas, al norte del Ecuador.



FOTOGRAFÍA NO. 1.2 UBICACIÓN DE LA MINA DE TACHINA¹²

1.2.3 Origen de los Agregados

El material pétreo natural puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

El material ígneo se forma a partir del enfriamiento del magma debido al aumento de temperatura, u disminución de la presión o un cambio en la composición.

¹² www.googleearth.com

Las rocas metamórficas se han formado luego de que otras rocas han experimentado un metamorfismo. Este cambio no implica un cambio de estado y actúa indistintamente en rocas ígneas o sedimentarias.

Las rocas formadas por la acumulación de sedimentos sometidos a diagénesis (procesos físicos y químicos) que dan origen a las rocas sedimentarias. Este tipo de rocas se forman generalmente, en las orillas de los ríos, en el fondo de los valles, lagos y mares, o en la desembocadura de los ríos.



GRÁFICA NO. 1.5 CICLO DE LAS ROCAS¹³

1.2.4 Procedencia de los Agregados

El agregado es obtenido de las terrazas fluviales del río Tachina, ubicado en la provincia de Esmeraldas. El material aquí explotado es de origen sedimentario.

¹³ www.ingeodav.gl.fcen.uba.ar

1.2.5 Propiedades Físico-Química de los Agregados

1.2.5.1 Propiedades físicas de los agregados

Para el empleo del agregado en las subbases de los pavimentos rígidos se deberá conocer la distribución granulométrica, que puede ser discontinua o continua. También se analizará la forma, lajosidad, tamaño medio, y tamaño máximo de las partículas.

Será determinante conocer la resistencia mecánica al desgaste, durabilidad, contenido orgánico, porcentaje que pasa el tamiz No. 200 y fundamentalmente la resistencia al corte del suelo por medio del ensayo de CBR.

De forma cualitativa se presentan, en la siguiente tabla, las propiedades físicas de los agregados.

Capa	Exigencia	Ensayos
Sub base	Baja exigencia mecánica Durabilidad aceptable Alta permeabilidad Baja plasticidad del filler Alta resistencia al corte bajo humedad y densidad controlada	Granulométrico Desgaste, máquina de los Ángeles Resistencia a los sulfatos Equivalente de arena Ensayo de CBR

TABLA NO. 1.2 PROPIEDADES FÍSICAS EXIGIBLES PARA AGREGADO DE SUBBASE¹⁴

1.2.5.2 Propiedades químicas de los agregados

El agregado para subbase será mineralógicamente estable ante la acción de sulfatos, sulfuros, cloruros, óxidos, sílice reactiva, etc.

¹⁴ www.sirio.ua.es

CAPITULO II

ENSAYOS DE LABORATORIO

2.1 Realización de los Ensayos de Laboratorio

Para la realización de los ensayos en laboratorio se utilizaron las Normas ASTM, cuyos resultados se muestran en los anexos.

2.1.1 Muestreo y Cuarteo de los Materiales

2.1.1.1 Muestreo de los Materiales

De acuerdo a la Norma ASTM D-75, Práctica normalizada de ensayo para muestreo de agregados, el muestreo de los materiales se lo debe realizar con precaución ya que todas las muestras a ser evaluadas deben representar la naturaleza y condición del material de la mina.

Es fundamental conocer el lugar de muestreo y la cantidad de material. Existen diferentes tipos de muestreo dependiendo del lugar de donde provienen, así, se pueden mencionar

- Muestreo por un Flujo de Corriente de Agregado (Tolva o faja de descarga)
- Muestreo de las Bandas Transportadoras
- Muestreo de Apiladoras o Unidades de Transporte
- Muestreo de calzadas (Bases y Subbases)

El muestreo para la Mina de Tachina se realizó en apiladoras. Las muestras fueron tomadas de tres puntos de la pila: del tercio superior, punto medio y tercio inferior. Utilizando una tabla se debe empujar el material verticalmente dentro de la pila, justo sobre el punto de muestreo.

Para determinar la cantidad de muestra de campo, se debe verificar la cantidad necesaria para cada ensayo, de acuerdo al tamaño del agregado que se especifica en la siguiente tabla:

Medida Agregado ^A	Masa Muestra de Campo, mín, Kg ^B
Agregado fino	
2.36 mm	10
4.75 mm	10
Agregado grueso	
9.50 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50.0 mm	100
63.0 mm	125
75.0 mm	150
90.0 mm	175

^A Para agregados procesados, use el tamaño máximo nominal como está indicado por la especificación o descripción apropiada. Si la especificación o descripción no indica un tamaño máximo nominal (por ejemplo, la medida del tamiz indicando pasante 90 – 100%), use el tamaño máximo (que indica el tamiz pasante 100%).

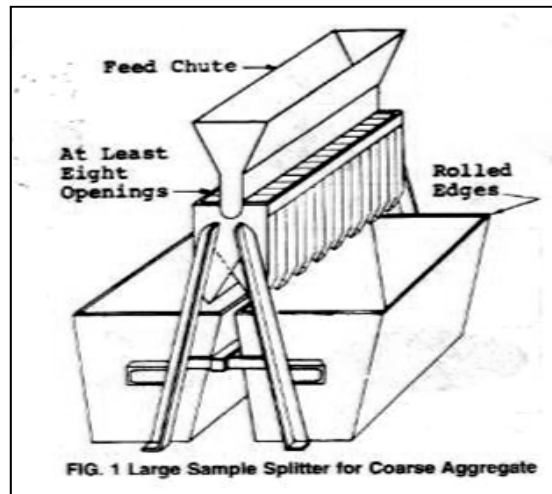
^B Para agregado combinado grueso y fino (por ejemplo, agregado base o subbase) el peso mínimo será la masa mínima del agregado grueso más 10 Kg.

TABLA NO. 2.1 CANTIDAD DE MATERIAL DE ACUERDO AL TAMAÑO DE AGREGADO

2.1.1.2 Cuarteo de los Materiales

El cuarteo de materiales permite dividir la muestra en diferentes partes con el objeto de obtener porciones de muestra con los mismos rangos y proporciones granulométricos. De acuerdo a la Norma ASTM C-702, Práctica normalizada para la reducción de muestras de agregados utilizadas en ensayos, existen tres métodos para la reducción de muestras grandes de agregados a un tamaño apropiado, estos son:

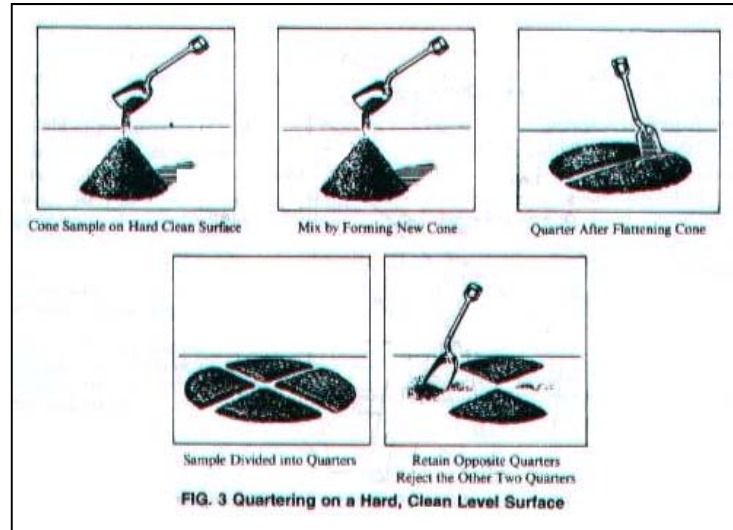
- **Método A**, separador mecánico



GRÀFICA NO. 2.1 SEPARADOR MECÀNICO¹⁵

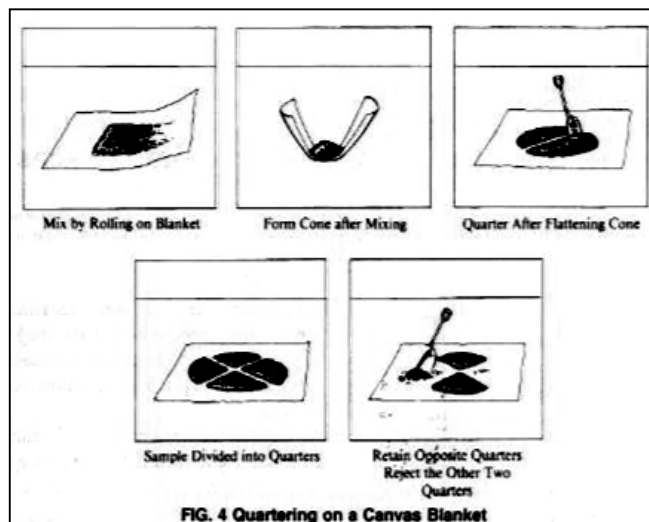
¹⁵ ASTM, Norma ASTM C-702, Práctica normalizada para la reducción de muestras de agregados utilizadas en ensayos, 2006

- **Método B**, cuarteo



GRÁFICA NO. 2.2 MÉTODO DE CUARTEO¹

- **Método C**, muestreo de pila miniatura de almacenaje (para agregado fino húmedo)



GRÁFICA NO. 2.3 MUESTREO EN PILA¹

Para la reducción de las muestras del material proveniente de la mina se utilizó el método A, utilizando un separador mecánico de 8 y 12 rampas, para la reducción de agregado grueso y fino, respectivamente.



FOTOGRAFÍA NO. 2.1 CUARTEO

2.1.2 Granulometría

Se entiende por granulometría a la distribución del tamaño de las partículas de agregado a través de tamices o cedazos.

El tamaño de las partículas del agregado se determina a través de mallas de alambre con aberturas desde 75 μ m hasta 4.75 mm. para el agregado fino, y entre 4.75 mm. hasta 3" para agregado grueso.

La granulometría se realizó en base a lo estipulado en ASTM C 136 Método de ensayo normalizado para el análisis de tamizado para agregado fino y grueso.

Procedimiento:

- Secar la muestra a una temperatura de $110^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Seleccionar la serie de mallas para tamizar el agregado fino y grueso, independientemente.

- El proceso de tamizado puede ser manual o mecánico, para este caso, se empleó el método mecánico. Una vez instalado el equipo e instalados los tamices en orden ascendente, se coloca la cantidad necesaria de material sobre la malla superior, dejando tamizar por un lapso máximo de 10 minutos.
- Finalmente, retirar el material retenido en cada tamiz y pesar, aproximando su lectura al 1% de la masa. Los cálculos de porcentaje total retenido, o el porcentaje en los tamaños de fracciones, se hará en base a la masa total de la muestra seca inicial aproximándolos al 0.1% más cercano.

Adicionalmente, se realizó otra granulometría del material, eliminando el material de 3”.

Los valores y graficas obtenidas en este ensayo se encuentran en el Anexo I



FOTOGRAFÍA NO. 2.2 GRANULOMETRÍA

2.1.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad del material de Tachina se obtuvo con la aplicación de la norma ASTM C 566, Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de los agregados por secado.

Procedimiento:

- Para determinar este parámetro se utilizó una muestra del material, del cual se obtuvo la masa inicial, aproximando su lectura al 0.1% más cercano.
- Posteriormente, se lleva al horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que la masa sea constante y se pesa el material en estado seco.
- Para el cálculo de contenido de humedad se utiliza la siguiente expresión:

$$p=100(W-D)/D$$

Donde:

p= porcentaje del contenido de humedad total evaporable

W= masa inicial de la muestra, g, y

D= masa de la muestra seca, g.



FOTOGRAFÍA NO. 2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

2.1.4 Contenido Orgánico

El contenido orgánico es el porcentaje de materia orgánica que contiene el agregado fino. El estudio de este parámetro es fundamental debido a que la materia orgánica es perjudicial dentro de hormigones asfálticos porque no permite que exista una adecuada adherencia entre sus componentes.

De acuerdo a la Norma ASTM C-40, Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para hormigón, existen dos procedimientos para la determinación aproximada de impurezas orgánicas en el agregado fino, uno de estos es solución de color normalizado y el otro un vidrio de color normalizado. Para este caso, en particular se utilizó la escala de vidrio de color normalizado.

Procedimiento:

- Este método de ensayo requiere colocar 450 gr de la muestra seca en un recipiente de vidrio graduado.
- Posteriormente se deja reposar la muestra en una solución de hidróxido de sodio por un período de 24 horas.

- Se compara la solución con la escala de vidrio de color normalizado.

El valor máximo permitido corresponde al vidrio No. 3.

No. de Vidrio de Color Normalizado
1
2
3 (normalizado)
4
5

TABLA NO. 2.2 ESCALA DE VIDRIO DE COLOR NORMALIZADO

Para el material en estudio el valor de este ensayo se encuentra en el Anexo

II.



FOTOGRAFÍA NO. 2.4 MATERIAL EN SOLUCIÓN Y ESCALA DE COLOR NORMALIZADO

2.1.5 Densidad del agregado

La densidad del agregado o peso unitario permite establecer la densidad de la porción esencial sólida de un número grande de partículas y proveer un valor promedio que represente la muestra.

2.1.5.1 Densidad del agregado fino

Para conocer este parámetro del agregado fino se utiliza la norma ASTM C 128, Método de ensayo normalizado para la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado fino.

Procedimiento:

- La muestra de agregado se sumerge en agua por un período de 24 ± 4 horas.
- Cumplido este lapso, se retira la muestra del agua y se elimina el exceso de la superficie de las partículas.
- Posteriormente, se pesa y se coloca en un recipiente graduado de volumen previamente conocido.
- Finalmente, se lleva el material al horno y se pesa.

Con estos valores se calcula la densidad en base a las siguientes expresiones:

- Densidad relativa (gravedad específica) (SH)= $A / (B+S-C)$
- Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)= $S1 / [0.9975(R2-R1)]$

- Densidad relativa aparente (gravedad específica)=

$$[S1(A/S)]/[0.9975(R2-R1)-[(S1/S)(S-A)]]$$
- Absorción, % = $100 [(S - A) / A]$

Donde:

A = masa de la muestra seca al horno, g

B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración,g

C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

R1 = lectura inicial del nivel de agua en el frasco Le Chatelier, mL

R2 = lectura final de agua en el frasco Le Chatelier, mL

S = masa de muestra saturada con superficie seca (usado en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica), o por absorción con ambos procedimientos), g

S1 = masa de la muestra saturada con superficie seca (usada en el procedimiento volumétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica)), g.

Los valores de gravedad específica, gravedad específica con superficie seca, gravedad específica aparente y porcentaje de absorción, se presentan en la tabla (ver Anexo III):



FOTOGRAFÍA NO. 2.5 DENSIDAD DEL AGREGADO FINO

2.1.5.2 Densidad del agregado grueso

La obtención de este valor se utiliza la norma ASTM C 128, Método de ensayo normalizado para la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción del agregado grueso.

Procedimiento:

- La aplicación de esta prueba requiere de muestra sumergida en agua por 24 ± 4 horas.
- Transcurrido este tiempo se retira el exceso de agua de la superficie del material y se determina la masa.
- Luego de obtener la masa de la muestra sumergida del agregado grueso, utilizando una cesta de alambre, se lleva al horno y se determina la masa.
- Conocidas las masas de la muestra en los diferentes estados se procede con los cálculos a partir de las siguientes fórmulas:
 - Densidad relativa (gravedad específica) $(SH) = A / (B - C)$

- Densidad relativa (gravedad específica)(SSS) = $B / (B - C)$
- Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) = $A / (A - C)$

Donde:

A = masa de la muestra seca en horno al aire, g,

B = masa de la muestra de ensayo saturada con superficie seca en aire, g , y

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.

Los valores que se obtuvieron del análisis de dicho material se presentan en el anexo IV.



FOTOGRAFÍA NO. 2.6 DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO

2.1.6 Peso unitario

El peso unitario constituye la densidad del agregado incluyendo vacíos. La prueba se realiza en base a la norma ASTM C 29, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad volumétrica (peso unitario) y vacíos del agregado.

Conociendo el tamaño máximo del agregado se puede utilizar el método por apisonamiento, sacudidas o paladas. Con el material de Tachina se utilizó el método por apisonamiento.

Procedimiento:

- Se compacta el material de con una varilla, luego de llenar cada una de las tres capas de un molde calibrado.
- A continuación se determina el peso del molde lleno y se procede con el cálculo del peso unitario a través de esta expresión
 - $P_{us} = (B - P) / V$

Donde:

P_{us} = densidad volumétrica de los agregados, $[g./cm^3]$,

B = masa del molde con los agregados, $[g]$,

P = masa del molde, $[g.]$,

V = volumen del molde $[cm^3]$,.

Los resultados de este ensayo se resumen en la tabla presentada en el

Anexo V.



FOTOGRAFÍA NO. 2.7 PESO UNITARIO

2.1.7 Durabilidad de los agregados a la acción de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio

La durabilidad de los agregados se evalúa a través de la cantidad de material que se disgrega luego de ser sometido a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

De acuerdo con la norma ASTM C-88, Método de ensayo normalizado para la desgaste del agregado por medio de la utilización de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, este método cubre el procedimiento a seguirse en el ensayo de agregados para determinar su resistencia a la desintegración por saturación en soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Provee información que ayuda a juzgar la resistencia de los agregados sujetos a la acción climática, particularmente si es que no existe información estadística de los materiales sujetos a las actuales condiciones del medio.

La durabilidad del material de Tachina a la acción de los sulfatos se puede apreciar en el Anexo VI.



FOTOGRAFÍA NO. 2.8 DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIO

2.1.8 Desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles

El desgaste es una de las propiedades más importantes cuando el material se destina a pavimentos por las exigencias de carga que deben resistir y duración que deben garantizar.

El desgaste se evalúa a través de la norma ASTM C 535, Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la degradación de las partículas grandes del agregado grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.

Procedimiento:

- El agregado grueso y esferas de acero se colocan en la máquina y se deja rotar a una velocidad de 30 y 33 r/min. Finalizada esta fase se retira el material del tambor, se tamiza, se lava y pesa.

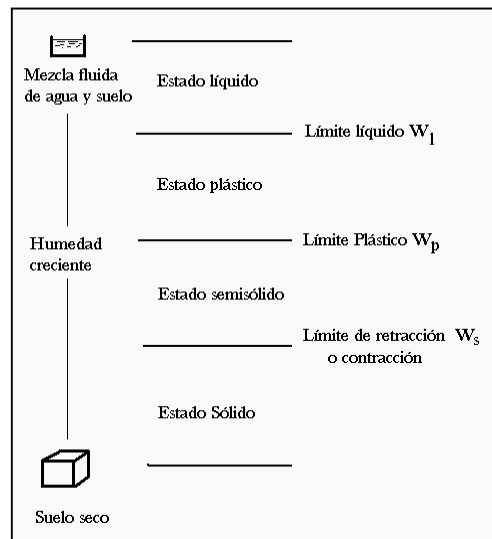
Los valores de éste ensayo se encuentran en el Anexo VII.



FOTOGRAFÍA NO. 2.9 DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

2.1.9 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten caracterizar los suelos finos en las diferentes fases de consistencia, como se muestra en la figura:

GRÁFICA NO. 2.4 LÍMITES DE CONSISTENCIA¹⁶

Límite líquido, W_L o L.L. es el contenido de agua de una pasta de suelo por encima del cual pasa del estado plástico al estado líquido.

Límite plástico, W_P o L.P. es el contenido de agua de una pasta de suelo amasada por debajo del cual pasa del estado plástico al estado semisólido.

Límite de retracción, W_S o L.R. representa el contenido de agua de una pasta de suelo amasada por debajo del cual pasa del estado semisólido al sólido.

Índice plástico, I_p . Es la diferencia entre los límites líquido y plástico.

¹⁶ www.wikipedia.com



FOTOGRAFÍA NO. 2.10 COPA DE CASAGRANDE

2.1.11 Ensayos Químicos del PVC

Para la evaluación y control de calidad del policloruro de vinilo se realizan los siguientes ensayos químicos:

- Índice de fluidez
- Densidad
- Temperatura de reblandecimiento Vicat
- Contenido en negro de carbono
- Retracción longitudinal
- Dispersión del negro de carbono
- Tiempo de inducción a la oxidación
- Propiedades en tracción
- Resistencia a la presión interna a temperatura constante
- Resistencia al impacto de tubos
- Resistencia a choques externos
- Opacidad

- Grado de reticulación
- Resistencia a diclorometano a una temperatura específica
- Contenido en monómero de cloruro de vinilo residual en resinas de PVC
- Estanquidad de uniones de tubos
- Propagación rápida de la fisura
- Fluencia de tubos
- Rigidez y flexibilidad anular de tubos
- Ciclos de temperatura
- Ciclos de presión

Sin embargo, no se cuentan con los datos de resultado de los ensayos citados porque el proveedor no pudo entregar esta información por considerarla confidencial.

En el siguiente cuadro se resumen el método de ensayo y los valores permitidos por las normativas para el control de calidad del material:

Ensayo	Norma	Valores normados		Valores obtenidos		Observaciòn
Granulometria	ASTM C 136, MOP Capitulo 4	75 mm.	100%	75 mm.	95,04%	No cumple
		4,75 mm.	30-70 %	4,75 mm.	58,28%	
		0,075 mm.	0-20%	0,075 mm.	2,75%	
Límite Líquido	ASTM C4318-05, MOP Capitulo 4	≤25		0		Si cumple
Índice plástico	ASTM C4318-05, MOP Capitulo 4	<6		0		Si cumple
Contenido orgánico	ASTM C 40	Plato No. 3		Plato No. 3		Si cumple
Abrasión Máquina de Los Angeles	ASTM C 531, MOP Capitulo 4	≤50%		17,27%		Si cumple
Peso unitario	ASTM C 39	Puc (g/cm³)	-	Puc (g/cm³)	1,74	-
		Pus (g/cm³)	-	Pus (g/cm³)	1,61	
Gravedad específica agregado fino	ASTM C 127	Ge (g/cm³)	-	Ge (g/cm³)	2,32	-
		Ges (g/cm³)	-	Ges (g/cm³)	2,48	
		Gea (g/cm³)	-	Gea (g/cm³)	2,76	
		Ab (%)	-	Ab (%)	6,97	
Gravedad específica agregado grueso	ASTM C 128	Ge (g/cm³)	-	Ge (g/cm³)	2,34	-
		Ges (g/cm³)	-	Ges (g/cm³)	2,42	
		Gea (g/cm³)	-	Gea (g/cm³)	2,54	
		Ab (%)	-	Ab (%)	3,33	
Desgaste a los sulfatos	ASTM C 88, MOP Capitulo 4	≤12%		33,52%		No cumple

TABLA NO. 2.3 CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

CAPITULO III

COMPACTACION Y CBR

3.1 Compactación

3.1.1 Definición

Es la densificación de los suelos a través de sistemas mecánicos para mejorar las características de resistencia superficial y estabilidad del volumen.

B.K. Hough, “define a la compactación como el término utilizado para la designación de cualquier procedimiento para incrementar la densidad del suelo.”¹⁷

3.1.2. Fundamentos de compactación

La compactación es el producto de la reorientación de las partículas de suelo en la que el agua también juega un papel preponderante, pues reduce la fricción entre los granos y facilita el proceso.

La compactación se mide a través de pesos unitarios o densidades secas que el suelo va adquiriendo a medida que fluctúa la humedad, la energía o el método de compactación.

¹⁷ Hough, B.K., Basic Soils Engineering, Second Edition, The Ronald Press Company, New Cork, USA, 1957, pag. No. 517.

Los métodos de compactación pueden ser en campo o en laboratorio. La compactación en obra se realiza con equipos de rodillo liso, neumático o tipo pata de cabra, y en laboratorio por medios de impacto, amasado o carga estática.

En los suelos no cohesivos se utiliza un compactador de amplia área, o choque y vibración. Para los suelos cohesivos, el método óptimo de altas presiones.

3.1.3 Beneficios de la compactación

- Aumento de la capacidad o peso unitario, debido a que por reacomodación de las partículas, los vacíos se llenan, permitiendo que el suelo soporte cargas mayores.
- Reducción de la permeabilidad de las capas de suelo, ya que limita la penetración del agua.
- Reducción de daños por heladas, debido a que la cantidad de agua propensa al congelamiento es escasa y no se producirán esfuerzos internos de tensión que dañen las capas de suelo.
- Reducción del esponjamiento, porque la mejor distribución de las partículas limita el paso del agua en el invierno y su contracción en la estación seca.
- Reducción de la compresibilidad del suelo.
- Incremento del esfuerzo de corte.

3.1.4 Ensayos de Compactación

Los ensayos de compactación son:

- Proctor Estándar
- Proctor Modificado

Para la realización de la presente investigación se utilizó el ensayo del proctor modificado.

3.4.1.2 Proctor Modificado

Este procedimiento normalizado consiste en la compactación de suelo dentro de un molde cilíndrico de metal en varias capas y con una energía de compactación que cambia en función del tipo de ensayo, así:

Método	Peso pistón (lb.)	Altura de caída (pulg.)	Número de capas	Número de golpes	Diámetro del molde (pulg.)
Proctor estándar	5 ½	12	3	25 o 56	4
Proctor modificado	10	18	5	56	6

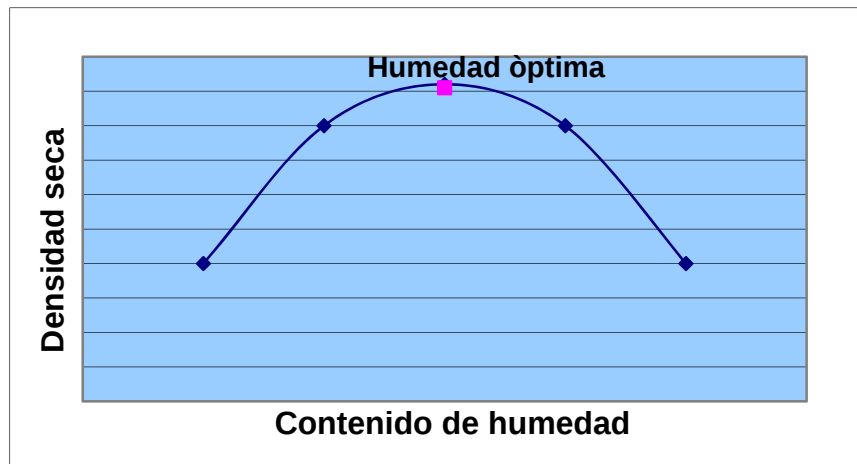
TABLA NO. 3.1 TIPOS DE MÉTODO DE ENSAYO PROCTOR

Procedimiento:

- Se coloca una muestra de suelo con un contenido de agua seleccionado, en cinco capas, en un recipiente de dimensiones dadas, cada capa se compacta con 56 golpes de un martillo de 10 lb. que se deja caer desde una distancia de 18 pulg.
- Se determina el peso unitario seco resultante.

- El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el contenido de agua para el suelo y el peso unitario seco.
- Se grafican estos datos y se obtiene una relación curvilínea que representa la curva de compactación.
- Los valores del contenido óptimo del agua y el peso unitario seco máximo se determinan de la curva de compactación.

Los valores y graficas obtenidas en este ensayo se encuentran en el Anexo II



GRÁFICA NO. 3.1 CURVA DENSIDAD SECA VS. CONTENIDO DE HUMEDAD



Fotografía No. 3.1 Proctor modificado

3.2 CBR (California Bearing Ratio)

3.2.1 Definición

El ensayo CBR, mide la capacidad portante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. En la presente disertación se utilizaron muestras remoldadas, con la humedad óptima del material.

El ensayo CBR, mide la carga necesaria para penetrar un pistón de 19 cm² de área, a una velocidad previamente fijada (1,27 mm/min—0,05 pulgadas/min), en una muestra saturada y sometida a una sobrecarga, la cual asemeja a un pavimento colocado sobre la subrasante, mediante este procedimiento, se simulan las condiciones mecánicas más desfavorables para el suelo.

Se encuentra bajo la designación ASTM D 1883-05 “Método de ensayo normalizado para la determinación de CBR (California Bearing Ratio) de muestras de suelo compactadas en laboratorio.

Este método de ensayo cubre la determinación de CBR (California Bearing Ratio) para subrasante, subbase o base de material grueso para muestras de pavimentos compactadas en laboratorio. Este método de ensayo tiene la intención, pero no la limitación, de la evaluación del esfuerzo del material cohesivo que tiene un tamaño máximo menor a ¾ pulg. (19 mm.).

3.2.2 Ensayo de CBR

Procedimiento

- Las muestras se compactan utilizando diferentes esfuerzos de compactación para obtener pesos unitarios bajo y sobre el peso unitario deseado.
- Luego de que las muestras han sido curadas, por inmersión en agua u otro método, se colocarán en la máquina de penetración donde se registrarán los valores de esfuerzo (carga) y la profundidad de penetración para graficar y obtener el CBR de cada muestra.
- Posteriormente, se graficará el CBR de cada muestra vs. su peso unitario seco para obtener el valor de CBR a la densidad deseada.

Los valores y graficas obtenidas en este ensayo se encuentran en el Anexo II



FOTOGRAFÍA NO. 3.2CBR

3.3 Ensayos de compactación y de CBR con el material de la mina de Tachina.

Para establecer los parámetros de compactación del material de subbase de la mina de Tachina se realizaron ensayos para la obtención en laboratorio de las características de los suelos utilizando el proctor modificado y determinación de CBR (California Bearing Ratio) de muestras de suelo compactadas en laboratorio, cuyos resultados se muestran en los anexos.

Los ensayos de proctor modificado y CBR se realizaron en muestras de subbase en estado natural y con adición de PVC en diferentes porcentajes (3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 20% y 25%).

Los porcentajes de adición de residuos de pvc utilizados para la realización de ésta investigación, se tomaron en base a la investigación realizada en Colombia.

Los valores y graficos de estos ensayos se encuentran en los anexos.



FOTOGRAFÍA NO. 3.3 DESECHO DE PVC



FOTOGRAFÍA NO. 3.4 MEZCLA DE SUBBASE CON DESECHO DE PVC



FOTOGRAFÍA NO. 3.5 ENSAYO CBR

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de los Resultados

Los valores obtenidos en la presente investigación son utilizados como parámetros de comparación del material natural y del material modificado con desecho de PVC.

4.1.1 Compactación y CBR para sub-base en condiciones naturales (sin adición de PVC)

Resumen de valores de compactación suelo natural			
	Humedad	Densidad	Especificación
Punto 1	8,13	1,91	AASHTO T 180 método D, MOP Capítulo 4
Punto 2	11,71	1,99	
Punto 3	16,43	1,99	
Punto 4	18,54	1,90	
Valores óptimos			

TABLA NO. 4.1 VALORES DE COMPACTACIÓN DE LA SUB-BASE EN CONDICIONES NATURALES

De acuerdo a la tabla No. 4.1 podemos observar que los valores de la humedad y densidad seca obtenido bajo especificaciones AASHTO T 180 método D,

MOP Capítulo 4.

Resumen de valores de CBR de sub-base en condiciones naturales					
No. De Golpes	Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)	CBR a 0,1 pulg	CBR a 0,2 pulg	Especificación
56	14,34	2,015	18	20,5	ASTM D 1557, MOP Capítulo 4
25	14,32	1,967			
11	14,13	1,936			

TABLA NO. 4.2 VALORES DE CBR DE LA SUB-BASE EN CONDICIONES NATURALES

Mientras que el porcentaje del CBR con el 0,1 pulgadas de penetración y 0,2 pulgadas de penetración no cumple con las especificaciones de las Normas MOP ya que el mínimo porcentaje de CBR para sub-bases clase 3 es de 30%.

4.1.2 Compactación y CBR para sub-base con adición de diferentes porcentajes de desecho de PVC.

Resumen de valores de compactación a diferentes porcentajes de adición de residuos de PVC									
	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	Especificación
% de PVC	Natural		3%		6%		9%		AASHTO T 180 método D, MOP Capítulo 4
Punto 1	8,13	1,91	8,03	1,88	7,66	1,84	7,45	1,81	
Punto 2	11,71	1,99	11,16	1,96	11,08	1,93	10,95	1,90	
Punto 3	16,43	1,99	15,70	1,98	15,78	1,94	15,16	1,92	
Punto 4	18,54	1,90	17,75	1,89	17,51	1,85	17,06	1,83	
Valores óptimos	14,25	2,012	14,07	1,997	13,78	1,977	13,59	1,943	
	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	Humedad	Densidad	
% de PVC	12%		15%		20%		25%		
Punto 1	7,33	1,76	7,28	1,70	7,10	1,67	7,07	1,64	
Punto 2	10,89	1,87	10,53	1,83	10,39	1,80	10,42	1,77	
Punto 3	14,73	1,88	14,33	1,85	14,33	1,81	14,41	1,78	
Punto 4	16,74	1,81	16,54	1,78	16,50	1,74	16,48	1,70	
Valores óptimos	13,19	1,895	12,95	1,862	12,73	1,823	12,48	1,796	

TABLA NO. 4.3 VALORES DE COMPACTACIÓN DE SUB-BASE CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE PVC

De acuerdo a la tabla No. 4.3 podemos observar los valores de humedad y densidad seca obtenidas bajo las especificaciones AASHTO T 180 método MOP Capítulo 4.

Resumen de valores de CBR para sub-base con adición de diferentes porcentajes de desecho de PVC						
% de PVC	No. De Golpes	Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)	CBR a 0,1 pulg	CBR a 0,2 pulg	Especificación
0%	56	14,34	2,015	18	20,5	ASTM D 1557, MOP Capitulo 4
	25	14,32	1,967			
	11	14,13	1,936			
3%	56	13,85	1,999	20	23	
	25	14,19	1,954			
	11	14	1,924			
6%	56	13,81	1,854	23	25	
	25	13,47	1,761			
	11	13,48	1,709			
9%	56	13,77	1,974	26	28	
	25	13,42	1,943			
	11	13,44	1,915			
12%	56	13,12	1,894	23	25,5	
	25	13,12	1,847			
	11	12,89	1,775			
15%	56	12,5	1,864	20,5	23	
	25	13,09	1,832			
	11	13,11	1,792			
20%	56	12,34	1,821	18,5	21	
	25	12,69	1,771			
	11	12,45	1,735			
25%	56	12,63	1,795	16,5	19,5	
	25	12,65	1,736			
	11	12,79	1,696			

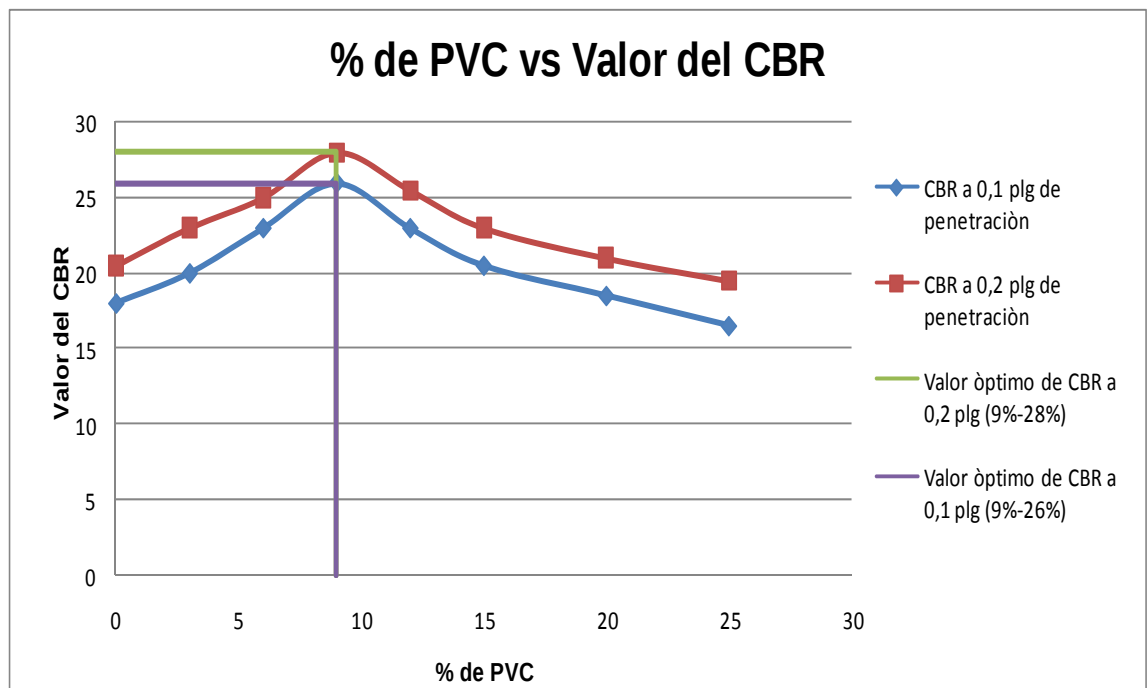
TABLA NO. 4.4 VALORES DE CBR DE SUB-BASE CON ADICIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE PVC

De acuerdo a la tabla No 4.4 podemos observar que el porcentaje de CBR aumenta a partir del 3% de adición de desecho hasta el 9%, viendo su máximos valores con el 9% de mezcla de PVC.

Mientras que con el 12%, 15%, 20% y 25 % de mezcla de PVC el porcentaje de CBR disminuye.

Podemos observar también que a medida de que se aumenta el porcentaje de mezcla del PVC disminuye la densidad seca de nuestro material.

4.2 Determinación del porcentaje de Mezcla a utilizarse en la Sub-base.



GRÁFICA NO. 4.1 PORCENTAJE DE VALOR ÓPTIMO DE CBR

De acuerdo al grafico No. 4.1 El porcentaje óptimo de mezcla de la escoria de PVC es del 9%, ya que el porcentaje de CBR arroja los resultados más satisfactorios como los vemos a continuación:

- Para 0,1 pulgadas de penetración obtenemos un porcentaje de CBR del 26%, y
- Para 0,2 pulgadas de penetración obtenemos un porcentaje de CBR del 28%.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo al siguiente cuadro de resumen de resultados obtenidos, de los ensayos realizados bajo los métodos normalizados se puede observar que el material de la mina de Tachina no cumple con las especificaciones técnicas del Ministerio de Obras Publicas:

Ensayo	Norma	Valores normados		Valores obtenidos		Observaciones
Granulometría	ASTM C 136, MOP Capitulo 4	75 mm.	100%	75 mm.	95,04%	No cumple
		4,75 mm.	30-70 %	4,75 mm.	58,28%	
		0,075 mm.	0-20%	0,075 mm.	2,75%	
Límite Líquido	ASTM C4318-05, MOP Capitulo 4	≤25		0		Si cumple
Índice plástico	ASTM C4318-05, MOP Capitulo 4	<6		0		Si cumple
Contenido orgánico	ASTM C 40	Plato No. 3		Plato No. 3		Si cumple
Abrasión Máquina de Los Angeles	ASTM C 531, MOP Capitulo 4	≤50%		17,27%		Si cumple
Peso unitario	ASTM C 39	Puc (g/cm³)	-	Puc (g/cm³)	1,74	-
		Pus (g/cm³)	-	Pus (g/cm³)	1,61	
Gravedad específica agregado fino	ASTM C 127	Ge (g/cm³)	-	Ge (g/cm³)	2,32	-
		Ges (g/cm³)	-	Ges (g/cm³)	2,48	
		Gea (g/cm³)	-	Gea (g/cm³)	2,76	
		Ab (%)	-	Ab (%)	6,97	
Gravedad específica agregado grueso	ASTM C 128	Ge (g/cm³)	-	Ge (g/cm³)	2,34	-
		Ges (g/cm³)	-	Ges (g/cm³)	2,42	
		Gea (g/cm³)	-	Gea (g/cm³)	2,54	
		Ab (%)	-	Ab (%)	3,33	
Desgaste a los sulfatos	ASTM C 88, MOP Capitulo 4	≤12%		33,52%		No cumple
CBR (material en estado natural)	ASTM D 1557, MOP Capitulo 4	≥30%		18% (0,1 plg) 20,5% (0,2 plg)		No cumple No cumple

TABLA NO. 5.1 RESUMEN DE RESULTADOS

- El límite líquido y el límite plástico obtenidos son menores que 25 y 6 respectivamente.
- El contenido orgánico corresponde al plato No. 3.
- El porcentaje de abrasión en la maquina de los ángeles es 17,27% siendo menor al máximo permitido.
- La granulometría del material que pasa el tamiz de 75 mm no cumple ya que el valor normado es de 100% y se obtuvo en el ensayo únicamente un valor del 95%.
- El desgaste a los sulfatos de 33,52% es superior al 12% establecido por la especificación.
- En el ensayo de C.B.R los valores obtenidos de 18% para 0,1 pulgadas y 20,5% para 0,2 pulgadas son menores a lo estipulado por la norma técnica por tanto no cumple.
- El material de la Mina de Tachina es una sub-base clase 3 según el capítulo 4 de las normas del MOP en la Tabla 403-1.1.
- El suelo en estado natural, de acuerdo a la clasificación S.U.C.S, es una arena mal graduada del tipo SP con presencia de grava.
- Por otra parte al hacer uso del desecho de PVC, el medio ambiente se beneficia porque se está reciclando un residuo industrial no biodegradable.
- Con el uso de la adición de desecho de PVC entre el 3 y el 9% se presenta una disminución de la densidad seca máxima sin que esto afecte a la resistencia del material, por lo contrario se genera una

relación inversamente proporcional: mientras la densidad seca máxima disminuye la resistencia aumenta.

- Con el uso de adición de desecho de PVC entre el 12 y el 25% se genera una relación directamente proporcional: mientras la densidad seca máxima disminuye la resistencia también.
- Se determinó que el desecho de PVC mejora el CBR de una sub-base desde el 3% hasta el 9% de adición, siendo el 9% el porcentaje de desecho de PVC óptimo. Mientras que del 12% en adelante, el valor de CBR empieza a disminuir.
- El material de la mina de Tachina no cumple con los requisitos de MOP- Capítulo IV para ser considerado como material de subbase sino únicamente para material de mejoramiento de subrasante.
- Las principales empresas generadoras de desechos de pvc en el Ecuador son: Amanco Pñastigama, Bopp del Ecuador, Amcor Pat Packaging, Plásticos Rival, Pica, Plastiempaques y Plásticos Ecuatorianos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los propietarios de la mina de Tachina utilizar una malla No.3 para tamizar la sub-base y desechar el material retenido en el mismo para que el material cumpla con los requisitos de las normas técnicas.
- Al ser utilizada la mezcla de sub-base y desecho de PVC se podría lograr un material que cumpla con los requerimientos de resistencia

exigidos en pavimentos y posiblemente proporcionar a la base granular o a la losa de hormigón, según sea el caso, una superficie de apoyo muy resistente confiriéndole un peso menor sobre la subrasante.

- Para la obtención de contenidos de humedad en la muestra suelo-PVC se recomienda secar el material a una temperatura constante de 60 grados centígrados; debido a que con temperaturas mayores el desecho de PVC se quema y se tiene una disminución del peso de la muestra y por lo tanto un aumento en el contenido de humedad.

Anexos

ANEXO 1 – ENSAYOS REALIZADOS

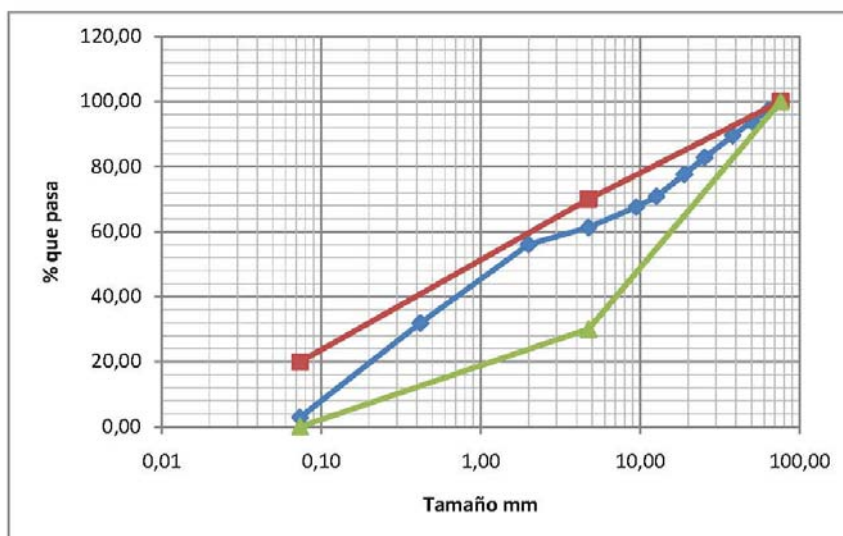
1.1 Ensayos de control de calidad

1.1.1 Granulometría

GRANULOMETRIA POR MALLAS (ELIMINANDO MATERIAL DE 3")

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narvâez, Sebastiàn Lascano
Norma:	ASTM C 136		

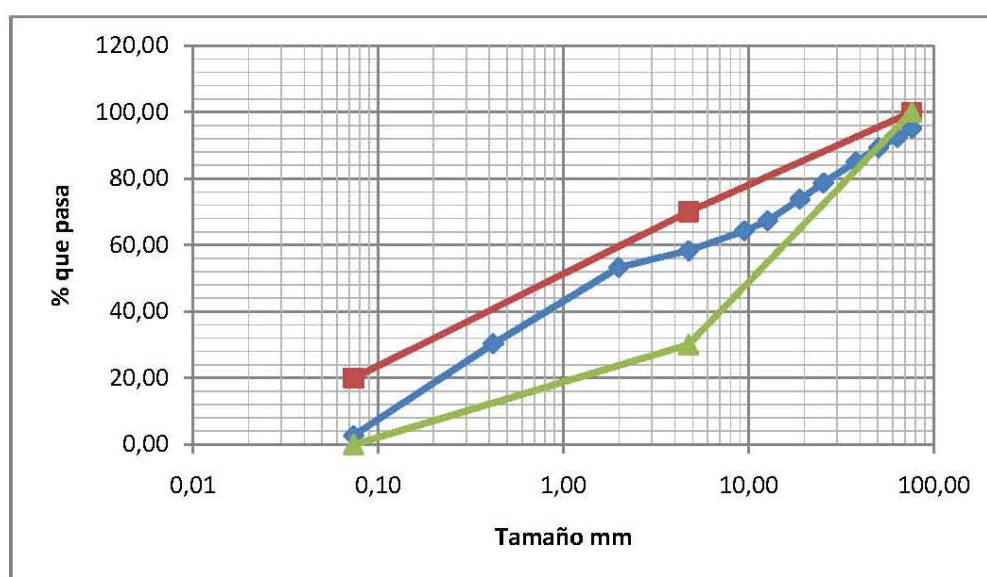
Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)
MATERIAL GRUESO					
3"	76,20	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	64,00	752	752	2,75	97,25
2"	50,40	920	1672	6,12	93,88
1 1/2"	38,10	1200	2872	10,51	89,49
1"	25,40	1830	4702	17,20	82,80
3/4"	19,00	1412	6114	22,37	77,63
1/2"	12,70	1864	7978	29,18	70,82
3/8"	9,51	882	8860	32,41	67,59
No. 4	4,76	1714	10574	38,68	61,32
pasa el No.4		16762	27336		
MATERIAL FINO					
No. 10	2,00	1437,34	12011,33995	43,94	56,06
No.40	0,42	6603,87	18615,20881	68,10	31,90
No.200	0,074	7928,98	26544,18591	97,10	2,90
pasa No. 200		791,81	27336	100	0,00
SUMA		16762			



GRANULOMETRIA POR MALLAS

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narv�ez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 136		

Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)
MATERIAL GRUESO					
3''	76,20	1426	1426	4,96	95,04
2 1/2''	64,00	752	2178	7,57	92,43
2''	50,40	920	3098	10,77	89,23
1 1/2''	38,10	1200	4298	14,94	85,06
1''	25,40	1830	6128	21,31	78,69
3/4''	19,00	1412	7540	26,22	73,78
1/2''	12,70	1864	9404	32,70	67,30
3/8''	9,51	882	10286	35,76	64,24
No. 4	4,76	1714	12000	41,72	58,28
pasa el No.4		16762	28762		
MATERIAL FINO					
No. 10	2,00	1437,34	13437,33995	46,72	53,28
No.40	0,42	6603,87	20041,20881	69,68	30,32
No.200	0,074	7928,98	27970,18591	97,25	2,75
Pasa No. 200		791,81	28762	100	0,00
SUMA		16762			



1.1.2 Contenido orgánico

CONTENIDO ORGANICO DE LA MUESTRA

Mina: Tachina **Material:** Subbase, clase 3
Fecha: nov-09 **Realizado por:** Luis Narvàez,
Norma: ASTM C 40 Sebastián Lascano

No. de Vidrio de Color Normalizado	Muestra
1	
2	
3 (normalizado)	X
4	
5	

Cumple: SI (X)
 NO

OBSERVACIONES:

La muestra presenta un color No. 3 en la escala de colores de Gardner

1.1.3 Abrasión, máquina de Los Ángeles

DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 535		

$$C=A - B$$

$$\% \text{ de desgaste} = C/A * 100$$

C= Material que pasa el tamiz No. 12 (g)
 A=Masa inicial de la muestra (g)
 B= Masa sostenida en el tamiz No.12 (g)

A (g)	B (g)	C (g)	% desgaste
5004,00	4140,00	864,00	17,27

1.1.4 Peso unitario

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 29		

$$M_c = B - P$$

$$M_s = A - P$$

$$P_{uc} = M_c / V$$

$$P_{us} = M_s / V$$

M_c= masa del material compactado
 B= masa de recipiente + material compactado
 P= masa del recipiente
 M_s= masa del material suelto
 A= masa del molde mas el material suelto
 V= volumen
 P_{uc}= peso unitario del material compactado
 P_{us}= peso unitario del material suelto

B (Kg)	P (Kg)	M _c (Kg)	V (cm³)	P _{uc} (g/cm³)	A (Kg)	M _s (Kg)	P _{us} (g/cm³)
26,20	8,54	17,66	10127,00	1,74	24,82	16,28	1,61

1.1.5 Gravedad específica, agregado fino

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narvâez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 127		

$$\begin{aligned}
 Ma &= Mmw - (Mm + B) \\
 Ge &= A / 500 - Ma \\
 Ges &= B/500 - Ma \\
 Gea &= A/[(500+A)-(Mmw-Mm)] \\
 Ab &= B-A*100/A
 \end{aligned}$$

Ma= Masa de agua añadida al matraz

Mm= masa del matraz (g)

Mmw= Masa del conjunto matraz, agua y muestra (g)

A = Masa de la muestra seca (g)

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

Ge = Gravedad específica

Ges= Gravedad específica del material saturado con superficie seca

Gea = Gravedad específica aparente

Ab = Porcentaje de Absorción (%)

Ma (g)	Mm (g)	Mmw (g)	B (g)	A (g)	Ge	Ges	Gea	Ab (%)
298,22	209,35	1007,60	500,03	467,45	2,32	2,48	2,76	6,97

1.1.6 Gravedad específica, agregado grueso

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narvâez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 127		

$$\begin{aligned}
 Ge &= A / B - C \\
 Ges &= B/B - C \\
 Gea &= A/A - C \\
 Ab &= B-A*100/A
 \end{aligned}$$

Ge = Gravedad específica

A = Masa de la muestra seca (g)

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (g)

Ges= Gravedad específica del material saturado con superficie seca

Gea = Gravedad específica aparente

Ab = Porcentaje de Absorción (%)

A (g)	B (g)	C (g)	Ge	Ges	Gea	Ab (%)
3218,00	3325,00	1952,00	2,34	2,42	2,54	3,33

1.1.7 Desgaste a los sulfatos

DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCION DEL SULFATO DE SODIO

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano
Norma:	ASTM C 88		

No. De Tamiz		Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones después del ensayo	% retenido parcial	% que pasa	% desgaste parcial
Pasa	Retiene					
AGREGADO GRUESO						
1 1/2"	1"	1000,9	958,8	6,36	4,21	0,27
1"	3/4"	501,91	269,59	4,91	46,29	2,27
3/4"	1/2"	666,8	547,17	6,48	17,94	1,16
1/2"	3/8"	328,94	239,38	3,07	27,23	0,83
3/8"	No. 4	297,67	220,91	5,96	25,79	1,54
No.4						
						6,07
AGREGADO FINO						
	No.4	98,81	72,11	5,96	27,02	1,61
No.4	No.8	98,51	55,85	5,83	43,31	2,53
No.8	No.16	98,63	54,19	16,16	45,06	7,28
N0.16	N0.30	98,73	63,05	20,96	36,14	7,58
N0.30	No.50	98,64	64,76	24,61	34,35	8,45
N0.50						
						27,45

Total desgaste (%) = **33,52**

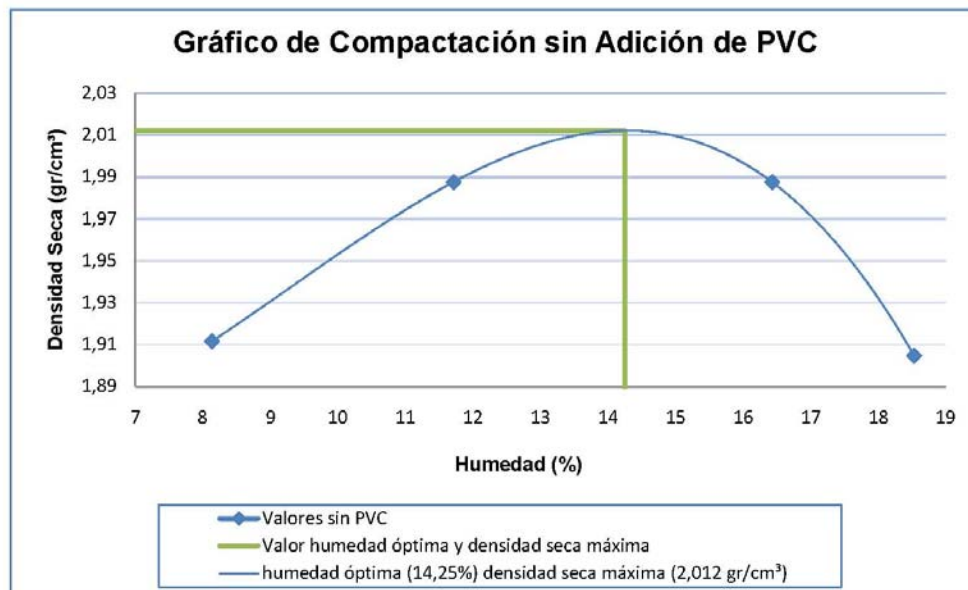
Anexo 2 Ensayos de compactación y CBR

2.1 Ensayos Proctor

ENSAYO DE COMPACTACION (SIN ADICION)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

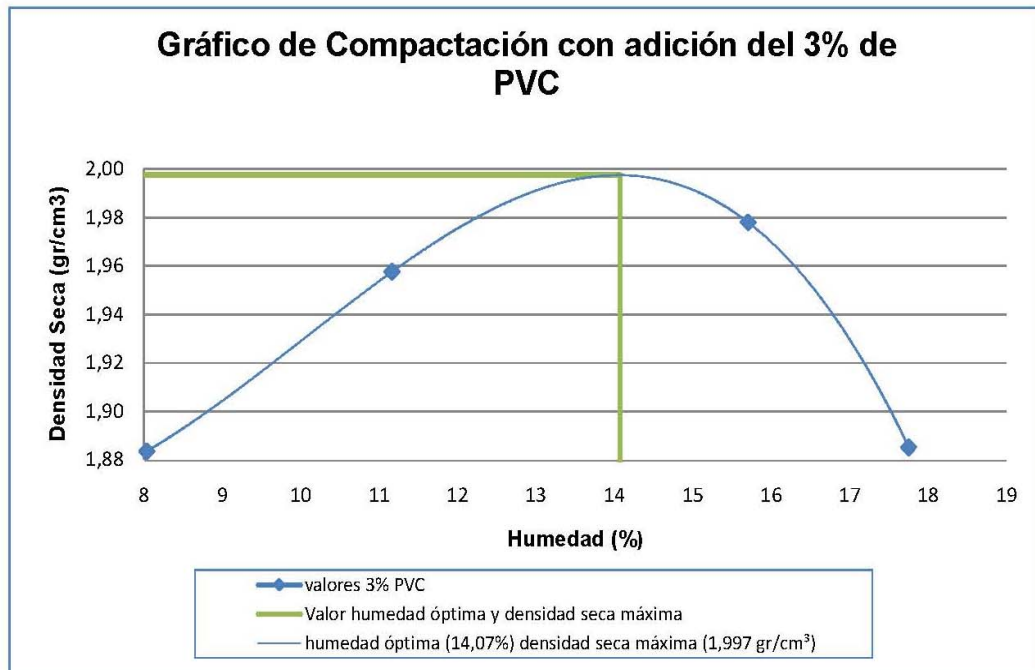
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10883,00		11209,00		11408,00		11288,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4390,00		4716,00		4915,00		4795,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2,07		2,22		2,31		2,26	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	87,66	95,76	89,90	86,37	89,42	91,76	93,52	94,28
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	82,39	90,05	82,73	79,16	79,52	81,39	82,07	82,22
Peso Cápsula (gr)	18,76	18,51	20,00	19,05	18,54	19,02	19,09	18,38
Humedad (w%)	8,28	7,98	11,43	11,99	16,23	16,63	18,18	18,89
	8,13		11,71		16,43		18,54	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,909	1,914	1,993	1,983	1,99	1,98	1,91	1,90
	1,91		1,99		1,99		1,90	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	2,012							
Humedad Optima (w%)	14,25							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 3% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

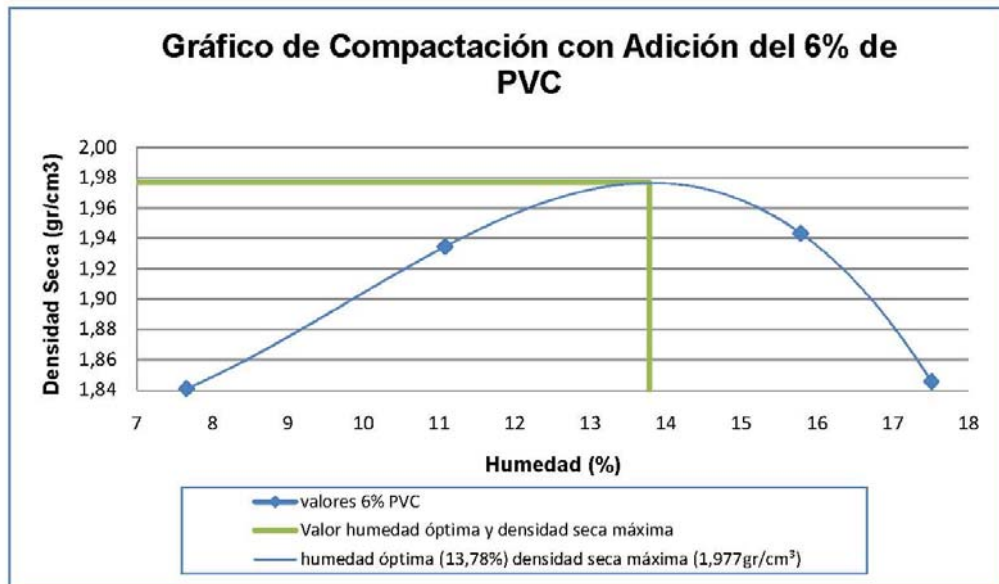
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10815,00		11115,00		11354,00		11208,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4322,00		4622,00		4861,00		4715,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2,03		2,18		2,29		2,22	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	96,55	93,73	79,84	79,98	90,88	92,89	103,12	101,89
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	90,90	88,03	73,82	73,67	80,98	82,94	90,55	89,11
Peso Cápsula (gr)	19,00	18,60	18,26	18,75	18,75	18,74	18,74	18,10
Humedad (w%)	7,86	8,21	10,84	11,49	15,91	15,50	17,50	18,00
	8,03		11,16		15,70		17,75	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,887	1,880	1,963	1,952	1,97	1,98	1,89	1,88
	1,88		1,96		1,98		1,89	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,997							
Humedad Óptima (w%)	14,07							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 6% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

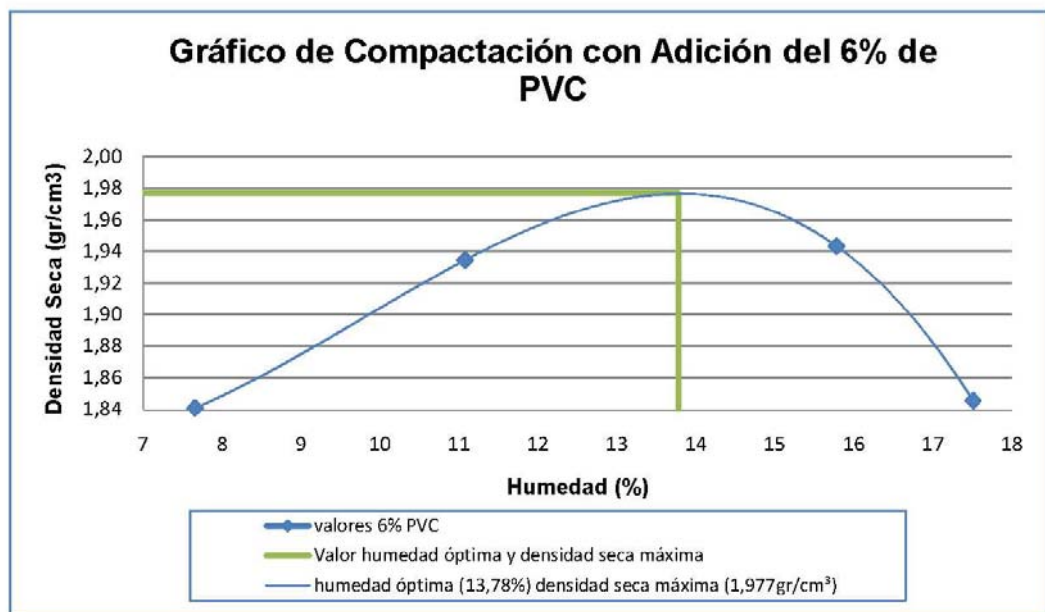
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10702,00		11057,00		11272,00		11099,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4209,00		4564,00		4779,00		4606,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,98		2,15		2,25		2,17	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	91,66	89,90	84,89	82,56	84,66	85,14	105,22	107,98
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	86,75	84,61	78,45	76,01	75,73	75,85	92,77	94,57
Peso Cápsula (gr)	19,07	18,97	18,75	18,38	18,36	17,76	20,89	18,79
Humedad (w%)	7,25	8,06	10,79	11,37	15,57	15,99	17,32	17,70
	7,66		11,08		15,78		17,51	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,848	1,834	1,940	1,929	1,95	1,94	1,85	1,84
	1,84		1,93		1,94		1,85	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,977							
Humedad Óptima (w%)	13,78							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 6% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10702,00		11057,00		11272,00		11099,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4209,00		4564,00		4779,00		4606,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,98		2,15		2,25		2,17	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	91,66	89,90	84,89	82,56	84,66	85,14	105,22	107,98
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	86,75	84,61	78,45	76,01	75,73	75,85	92,77	94,57
Peso Cápsula (gr)	19,07	18,97	18,75	18,38	18,36	17,76	20,89	18,79
Humedad (w%)	7,25	8,06	10,79	11,37	15,57	15,99	17,32	17,70
	7,66		11,08		15,78		17,51	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,848	1,834	1,940	1,929	1,95	1,94	1,85	1,84
	1,84		1,93		1,94		1,85	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,977							
Humedad Óptima (w%)	13,78							

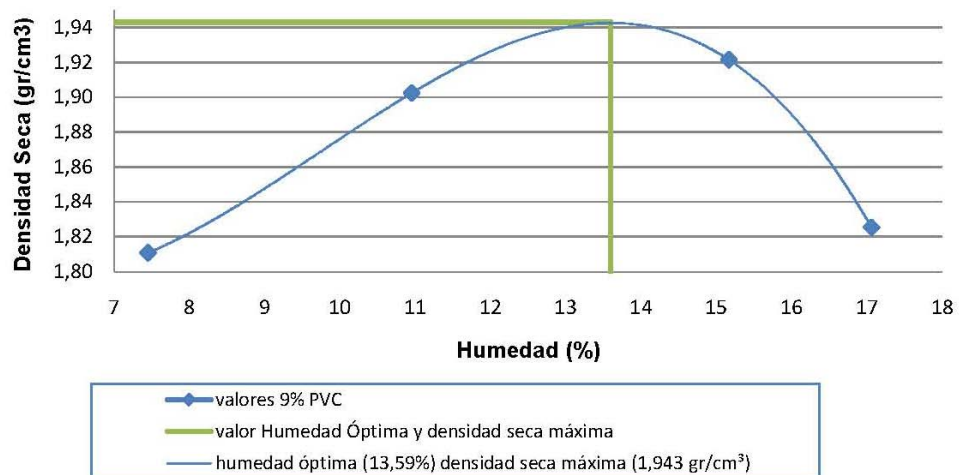


ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 9% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10625,00		10976,00		11193,00		11031,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4132,00		4483,00		4700,00		4538,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,95		2,11		2,21		2,14	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (g)	74,05	74,01	91,98	82,08	91,95	89,24	78,70	79,16
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	70,37	70,05	84,91	75,66	82,49	79,86	69,87	70,21
Peso Cápsula (gr)	18,95	18,85	18,79	18,38	19,09	18,98	17,70	18,15
Humedad (w%)	7,16	7,73	10,69	11,21	14,92	15,41	16,93	17,19
	7,45		10,95		15,16		17,06	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,815	1,806	1,907	1,898	1,93	1,92	1,83	1,82
	1,81		1,90		1,92		1,83	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,943							
Humedad Óptima (w%)	13,59							

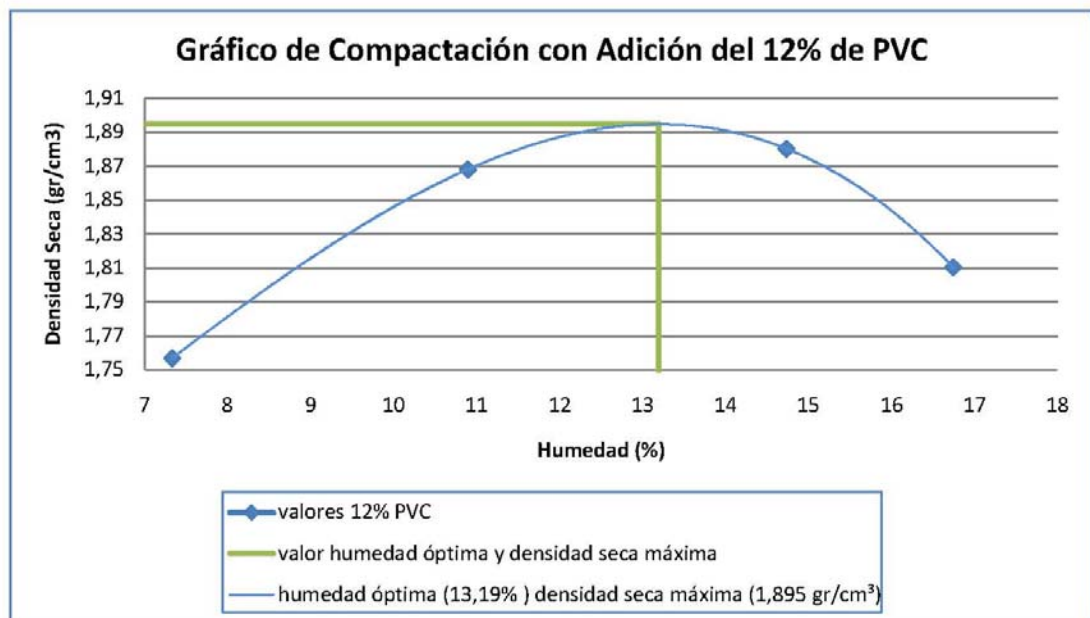
Gráfico de Compactación con adición del 9% de PVC



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 12% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

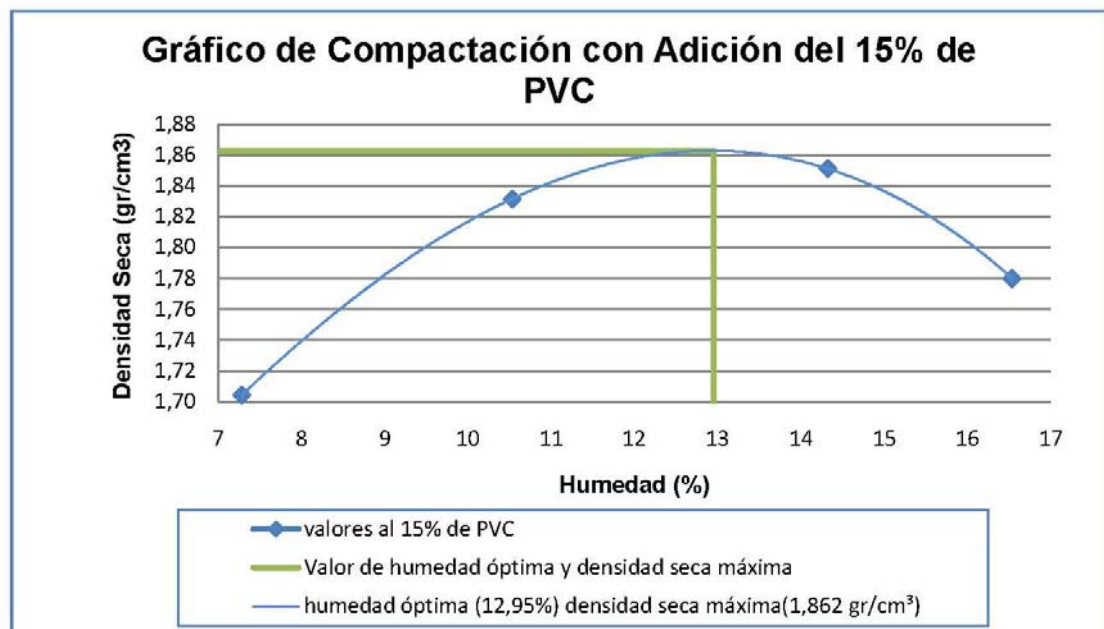
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10498,00		10893,00		11075,00		10982,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	4005,00		4400,00		4582,00		4489,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,89		2,07		2,16		2,11	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	67,18	68,84	68,46	65,87	67,34	68,40	71,56	74,55
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	63,88	65,26	63,52	61,19	61,08	61,92	63,71	66,63
Peso Cápsula (gr)	17,63	17,71	18,71	17,71	18,17	18,36	17,72	18,38
Humedad (w%)	7,14	7,53	11,02	10,76	14,59	14,88	17,07	16,41
	7,33		10,89		14,73		16,74	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,760	1,754	1,866	1,870	1,88	1,88	1,81	1,82
	1,76		1,87		1,88		1,81	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,895							
Humedad Óptima (w%)	13,19							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 15% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narv�ez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

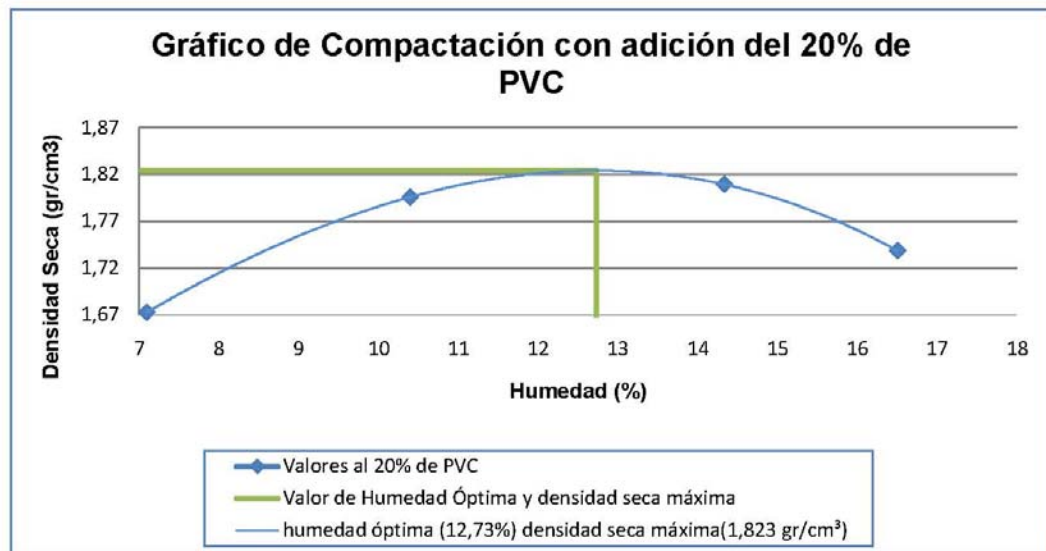
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10376,00		10793,00		10988,00		10899,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	3883,00		4300,00		4495,00		4406,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,83		2,02		2,12		2,07	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	75,47	85,64	68,82	69,78	72,61	70,03	63,33	67,42
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	71,48	81,27	63,89	64,93	65,73	63,75	57,01	60,58
Peso Cápsula (gr)	18,75	18,83	17,93	18,03	18,58	19,08	19,27	18,69
Humedad (w%)	7,57	7,00	10,73	10,34	14,59	14,06	16,75	16,33
	7,28		10,53		14,33		16,54	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,700	1,709	1,828	1,835	1,85	1,86	1,78	1,78
	1,70		1,83		1,85		1,78	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,862							
Humedad Optima (w%)	12,95							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 20% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

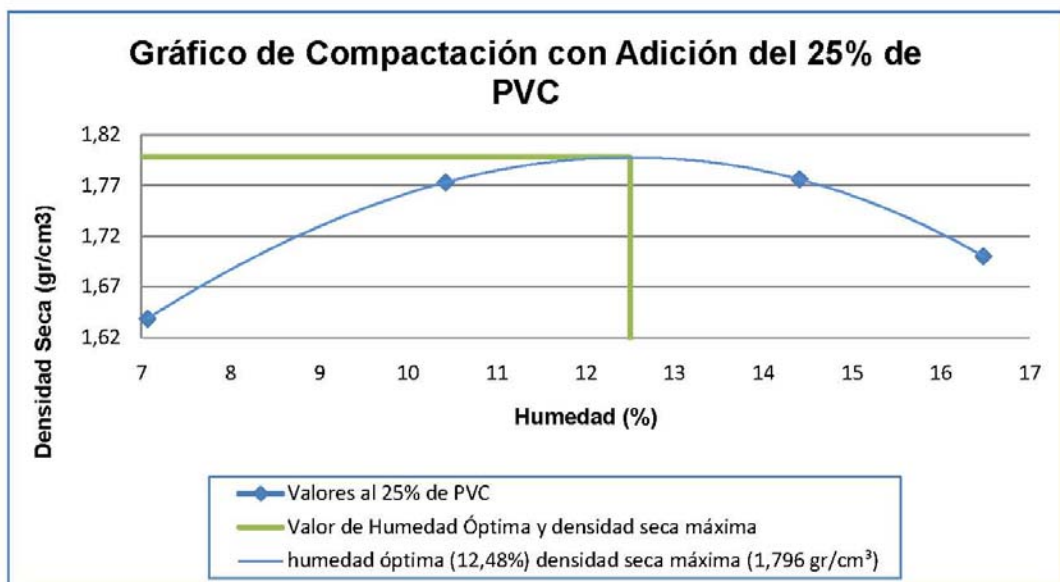
PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10298,00		10704,00		10887,00		10795,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	3805,00		4211,00		4394,00		4302,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,79		1,98		2,07		2,03	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	69,73	72,74	66,83	68,58	73,28	70,89	86,28	77,36
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	66,43	69,15	62,27	63,98	66,57	64,22	76,83	68,94
Peso Cápsula (gr)	18,53	19,98	19,02	19,08	18,78	18,59	18,73	18,63
Humedad (w%)	6,89	7,30	10,54	10,24	14,04	14,62	16,27	16,74
	7,10		10,39		14,33		16,50	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,676	1,670	1,793	1,798	1,81	1,80	1,74	1,74
	1,67		1,80		1,81		1,74	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,823							
Humedad Óptima (w%)	12,73							



ENSAYO DE COMPACTACION (ADICION 25% DE PVC)

Mina:	Tachina	Material:	Subbase, clase 3
Fecha:	nov-09	TIPO DE PRUEBA	Metodo C
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano	ESPECIFICACIONES	AASHTO T-180, ASTM D-1557
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³)	2124	PESO MARTILLO (lb)	10
MASA DEL MOLDE (gr)	6493	ALTURA DE CAIDA (cm)	45,72
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

PRUEBA No	1		2		3		4	
Molde + Suelo Húmedo (gr)	10219,00		10652,00		10809,00		10699,00	
Masa Molde (gr)	6493,00		6493,00		6493,00		6493,00	
Masa Suelo Húmedo (gr)	3726,00		4159,00		4316,00		4206,00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)	1,75		1,96		2,03		1,98	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO								
Masa Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	69,71	73,27	67,26	68,49	79,55	73,62	68,84	69,37
Masa Cápsula + Suelo Seco (gr)	66,45	69,54	62,77	63,69	72,17	66,48	62,08	62,12
Peso Cápsula (gr)	18,47	18,72	18,80	18,57	19,48	18,28	20,39	18,83
Humedad (w%)	6,79	7,34	10,21	10,64	14,01	14,81	16,21	16,75
	7,07		10,42		14,41		16,48	
Densidad Seca (gr/cm³)	1,643	1,634	1,777	1,770	1,78	1,77	1,70	1,70
	1,64		1,77		1,78		1,70	
Densidad Seca Máxima (gr/cm³)	1,796							
Humedad Óptima (w%)	12,48							



2.2 Ensayos CBR

ENSAYO CBR - Material en estado natural 1

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

Datos:

Molde	B3	D1	C1
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	11
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11577	11639	11877
Peso del molde (gr)	6811	6891	7182
Peso muestra humeda (gr)	4766	4748	4695
Volumen de la muestra (cm³)	2068,5	2111,7	2125,1
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,304	2,248	2,209
densidad seca maxima (gr/cm³)	2,015	1,967	1,936

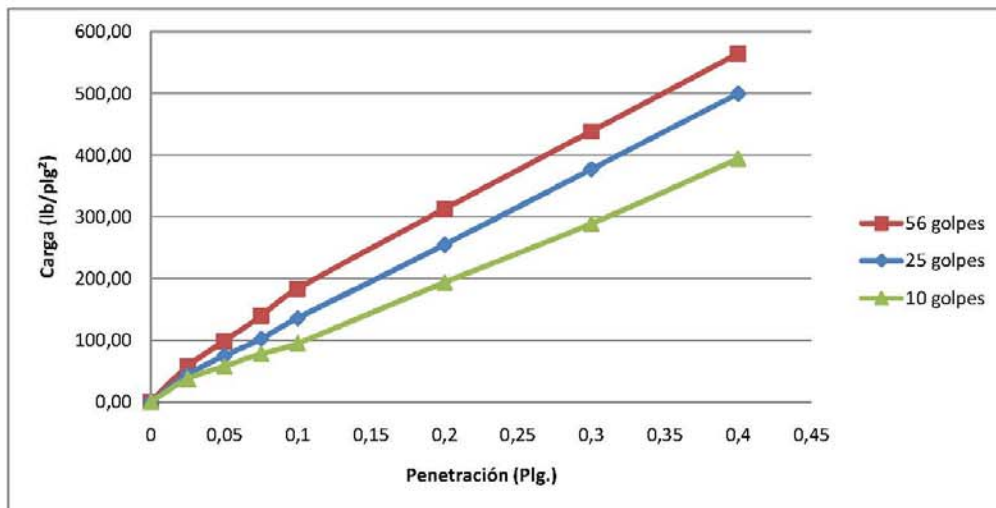
Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	98,76	87,98	76,52	86,47	95,38	101,76
Peso muestra seca mas tarro (gr)	88,87	79,17	69,27	77,89	86,15	91,37
Peso del Agua (gr)	9,89	8,81	7,25	8,58	9,23	10,39
Peso del Tarro (gr)	18,87	18,59	18,28	18,36	19,73	18,99
Peso muestra seca (gr)	70	60,58	50,99	59,53	66,42	72,38
Contenido de humedad (%)	14,13	14,54	14,22	14,41	13,90	14,35
Variacion	0,41		0,19		0,46	
Contenido promedio de humedad (%)	14,34		14,32		14,13	
Después de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	M5	D4	95	5	91	F7
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	102,88	89,95	77,63	81,17	66,22	83,24
Peso muestra seca mas tarro (gr)	91,53	80,16	69,03	72,21	59,25	73,69
Peso del Agua (gr)	11,35	9,79	8,6	8,96	6,97	9,55
Peso del Tarro (gr)	18,93	18,74	18,58	19,04	18,79	19,98
Peso muestra seca (gr)	72,6	61,42	50,45	53,17	40,46	53,71
Contenido de humedad (%)	15,63	15,94	17,05	16,85	17,23	17,78
Variacion	0,31		0,19		0,55	
Contenido promedio de humedad (%)	15,79		16,95		17,50	
Despues de la saturación y ensayo	Contenido de Humedad					
	B3		D1		C1	
Molde #	B3		D1		C1	
Peso muestra humeda+molde (gr)	11640		11710		12031	
Peso molde (gr)	6811		6891		7182	
Peso del Agua absorbido (gr)	63		71		154	
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,32		1,50		3,28	

ENSAYO CBR - Material en estado natural 1

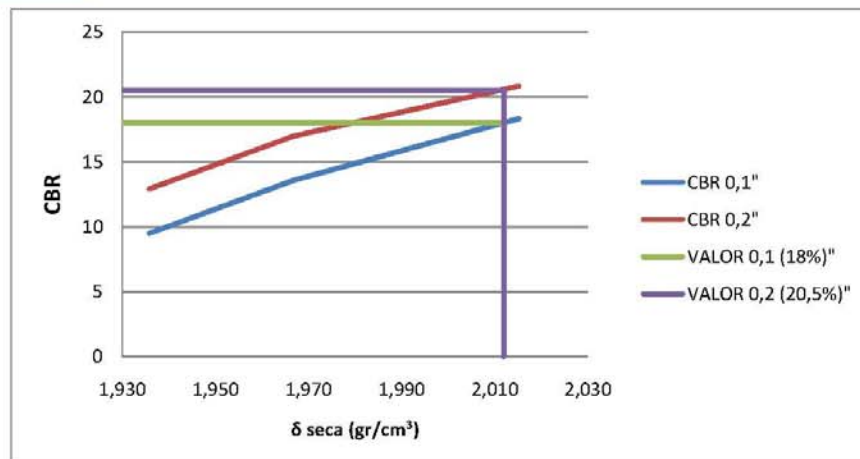
Mina: Tachina
 Fecha: nov-09
 Norma: ASTM D 1883-07

Material: Subbase, clase 3
 Realizado por: Luis Narváez,
 Sebastián Lascano

t(min)	Penetración mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
	0		0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,5	0,63 - 0,025		11	57,51		7	43,91		5	37,11	
1	1,27 - 0,050		23	98,31		16	74,51		11	57,51	
1,5	1,90 - 0,075		35	139,11		24	101,71		17	77,91	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	48	183,31	18,33	34	135,71	13,57	22	94,91	9,49
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	86	312,51	20,83	69	254,71	16,98	51	193,51	12,90
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	123	438,31	23,07	105	377,11	19,85	79	288,71	15,20
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	160	564,11	24,53	141	499,51	21,72	110	394,11	17,14
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	188	659,31	25,36	172	604,91	23,27	138	489,31	18,82



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	18,33	20,83	2,015	2,012
25 golpes	13,57	16,98	1,967	
10 golpes	9,49	12,90	1,936	



ENSAYO CBR - Adicionado 3% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narv��ez, Sebastián Lascano

Datos:

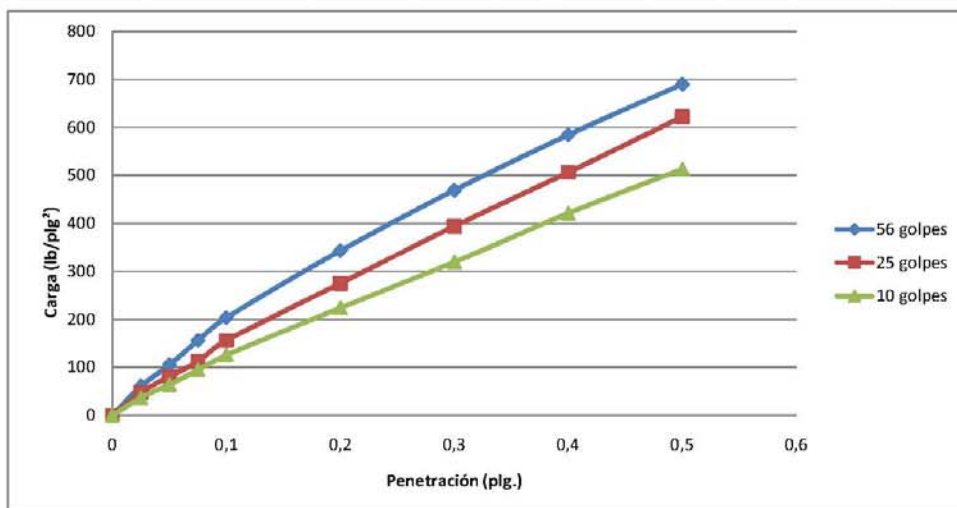
Molde	A1	A2	A3			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	11			
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11869	11737	11538			
Peso del molde (gr)	6980	6966	6987			
Peso muestra humeda (gr)	4889	4771	4551			
Volumen de la muestra (cm��)	2148,5	2138,6	2075,4			
Peso unitario húmedo, (gr/cm��)	2,276	2,231	2,193			
densidad seca maxima (gr/cm��)	1,999	1,954	1,924			
Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	2A	5	101	D9	M9	3
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	98,72	79,53	82,17	90,27	68,27	72,16
Peso muestra seca mas tarro (gr)	89,16	71,93	74,28	81,45	62,13	65,83
Peso del Agua (gr)	9,56	7,6	7,89	8,82	6,14	6,33
Peso del Tarro (gr)	18,57	18,26	19,03	18,93	18,74	20,12
Peso muestra seca (gr)	70,59	53,67	55,25	62,52	43,39	45,71
Contenido de humedad (%)	13,54	14,16	14,28	14,11	14,15	13,85
Variacion	0,62		0,17		0,30	
Contenido promedio de humedad (%)	13,85		14,19		14,00	
Despues de la saturacion	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	D9	2A	101	4	3	95
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	88,16	85,75	93,82	73,91	95,27	83,72
Peso muestra seca mas tarro (gr)	78,58	76,59	83,25	65,98	83,71	73,72
Peso del Agua (gr)	9,58	9,16	10,57	7,93	11,56	10
Peso del Tarro (gr)	18,93	18,66	18,93	19,17	18,75	18,69
Peso muestra seca (gr)	59,65	57,93	64,32	46,81	64,96	55,03
Contenido de humedad (%)	16,06	15,81	16,43	16,94	17,80	18,17
Variacion	0,25		0,51		0,38	
Contenido promedio de humedad (%)	15,94		16,69		17,98	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
Molde #	A1		A2		A3	
Peso muestra humeda+molde (gr)	11928		11836		11693	
Peso molde (gr)	6980		6966		6987	
Peso del Agua absorbido (gr)	59		99		155	
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,21		2,08		3,41	

ENSAYO CBR - Adicionado 3% de PVC

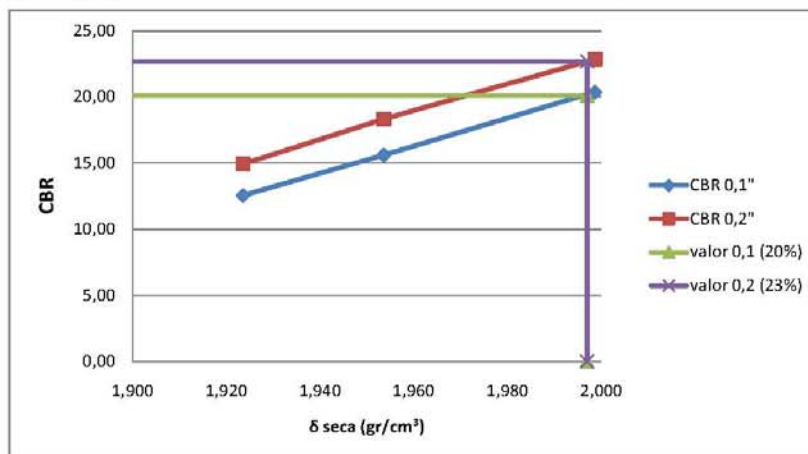
Mina: Tachina
 Fecha: nov-09
 Norma: ASTM D 1883-07

Material: Subbase, clase 3
 Realizado por: Luis Narváez,
 Sebastián Lascano

t(min)	Penetracion mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
			0	0		0	0		0	0	
0,5	0,63 - 0,025		12	60,91		8	47,31		5	37,11	
1	1,27 - 0,050		25	105,11		18	81,31		13	64,31	
1,5	1,90 - 0,075		40	156,11		27	111,91		22	94,91	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	54	203,708	20,371	40	156,108	15,611	31	125,51	12,551
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	95	343,108	22,874	75	275,108	18,341	60	224,108	14,941
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	132	468,91	24,68	110	394,11	20,74	88	319,31	16,81
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	166	584,51	25,41	143	506,31	22,01	118	421,31	18,32
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	197	689,91	26,53	177	621,91	23,92	145	513,11	19,73



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	20,37	22,87	1,999	1,997
25 golpes	15,61	18,34	1,954	
10 golpes	12,55	14,94	1,924	



ENSAYO CBR - Adicionado 6% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

Datos:

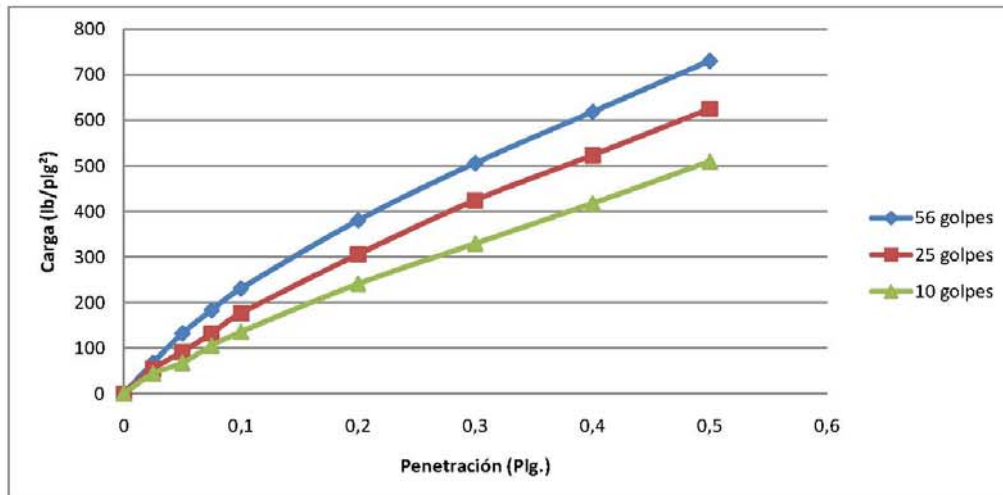
Molde	B1	B3	B2			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	11			
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11821	11372	10909			
Peso del molde(gr)	7036	6811	6439			
Peso muestra humeda (gr)	4785	4561	4470			
Volumen de la muestra (cm³)	2123,8	2068,5	2056,5			
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,253	2,205	2,174			
densidad seca maxima (gr/cm³)	1,980	1,943	1,915			
Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	103	4	J	M6	S77	1
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	93,61	85,27	87,46	79,72	68,52	71,29
Peso muestra seca mas tarro (gr)	84,57	77,19	79,47	72,41	62,51	65,07
Peso del Agua (gr)	9,04	8,08	7,99	7,31	6,01	6,22
Peso del Tarro (gr)	18,79	18,93	18,79	19,36	18,39	18,45
Peso muestra seca (gr)	65,78	58,26	60,68	53,05	44,12	46,62
Contenido de humedad (%)	13,74	13,87	13,17	13,78	13,62	13,34
Variacion	0,13		0,61		0,28	
Contenido promedio de humedad (%)	13,81		13,47		13,48	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	D12	4	D9	22	103	95
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	97,28	95,27	86,27	85,19	80,72	98,71
Peso muestra seca mas tarro (gr)	86,58	85,03	76,62	75,91	71,59	87,05
Peso del Agua (gr)	10,7	10,24	9,65	9,28	9,13	11,66
Peso del Tarro (gr)	18,38	18,79	18,93	18,53	18,92	19,27
Peso muestra seca (gr)	68,2	66,24	57,69	57,38	52,67	67,78
Contenido de humedad (%)	15,69	15,46	16,73	16,17	17,33	17,20
Variacion	0,23		0,55		0,13	
Contenido promedio de humedad (%)	15,57		16,45		17,27	
Despues de la saturación	Contenido Humedad					
Molde #	B1		B3		B2	
Peso muestra humeda+molde (gr)	11875		11474		11048	
Peso molde (gr)	7036		6811		6439	
Peso del Agua absorbido (gr)	54,00		102,00		139,00	
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,13		2,24		3,11	

ENSAYO CBR - Adicionado 6% de PVC

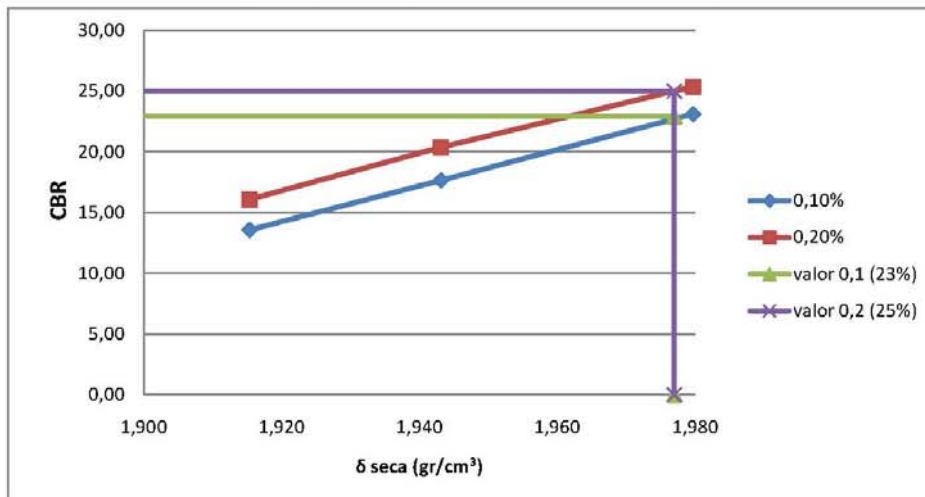
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

t(min)	Penetracion mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	Kg/cm ²	dial	lb/plg ²	Kg/cm ²
			0	0		0	0		0	0	
0,5	0,63 - 0,025		14	67,71		10	54,108		7	43,908	
1	1,27 - 0,050		33	132,31		21	91,508		14	67,708	
1,5	1,90 - 0,075		48	183,31		33	132,308		25	105,108	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	62	230,91	23,09	46	176,508	17,65	34	135,708	13,57
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	106	380,51	25,37	84	305,708	20,38	65	241,108	16,07
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	143	506,31	26,65	119	424,708	22,35	91	329,508	17,34
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	176	618,51	26,89	148	523,308	22,75	117	417,908	18,17
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	209	730,71	28,10	178	625,308	24,05	144	509,708	19,60



No. Golpes	CBR 0	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	23,09	25,37	1,980	1,977
25 golpes	17,65	20,38	1,943	
10 golpes	13,57	16,07	1,915	



ENSAYO CBR 9%

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastiàn Lascano

Datos:

Molde	C1	C2	D1
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	11
Peso muestra húmeda + Molde (gr)	11883	11213	11385
Peso del molde (gr)	7182	6567	6891
Peso muestra húmeda (gr)	4701	4646	4494
Volumen de la muestra (cm³)	2125,1	2148,5	2111,7
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,212	2,162	2,128
densidad seca máxima (gr/cm³)	1,944	1,907	1,876

Antes de la Saturación y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	S12	A10	S2	M1	95	8
Peso muestra Húmeda mas tarro (gr)	67,19	74,28	85,18	93,72	88,27	63,48
Peso muestra seca mas tarro (gr)	61,17	67,65	77,24	84,77	80,09	58,23
Peso del Agua (gr)	6,02	6,63	7,94	8,95	8,18	5,25
Peso del Tarro (gr)	18,14	18,74	17,65	18,59	20,17	18,52
Peso muestra seca (gr)	43,03	48,91	59,59	66,18	59,92	39,71
Contenido de humedad (%)	13,99	13,56	13,32	13,52	13,65	13,22
Variación	0,43		0,20		0,43	
Contenido promedio de humedad (%)	13,77		13,42		13,44	

Después de la Saturación y Ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	J	103	8	5	M1	M6
Peso muestra Húmeda mas tarro (gr)	70,32	66,53	86,21	68,27	93,26	69,53
Peso muestra seca mas tarro (gr)	63,49	60,41	77,01	61,73	82,17	62,2
Peso del Agua (gr)	6,83	6,12	9,2	6,54	11,09	7,33
Peso del Tarro (gr)	18,32	18,95	19,27	20,02	18,75	18,53
Peso muestra seca (gr)	45,17	41,46	57,74	41,71	63,42	43,67
Contenido de humedad (%)	15,12	14,76	15,93	15,68	17,49	16,78
Variación	0,36		0,25		0,70	
Contenido promedio de humedad (%)	14,94		15,81		17,14	

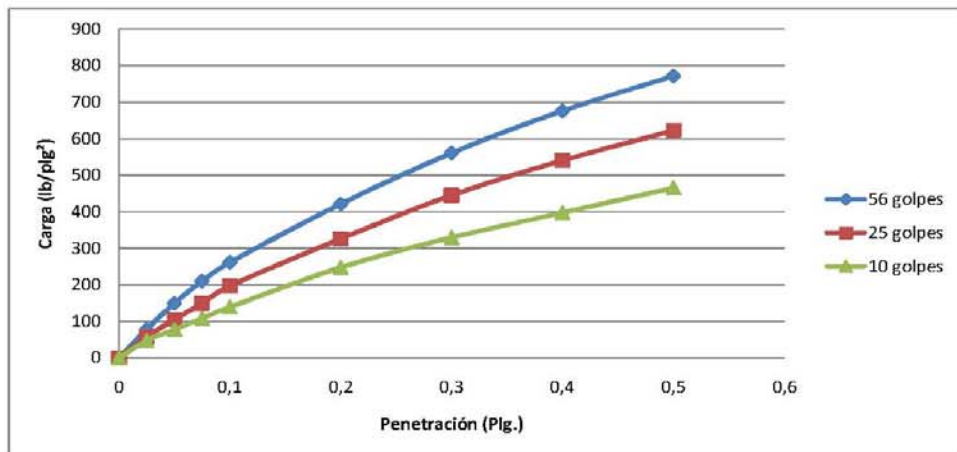
Después de la saturación				Contenido de Humedad		
Molde #	C1	C2	D1			
Peso muestra húmeda+molde (gr)	11964	11328	11527			
Peso molde (gr)	7182	6567	6891			
Peso del Agua absorbido (gr)	81	115	142			
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,72	2,48	3,16			

ENSAYO CBR - Adicionado 9% de PVC

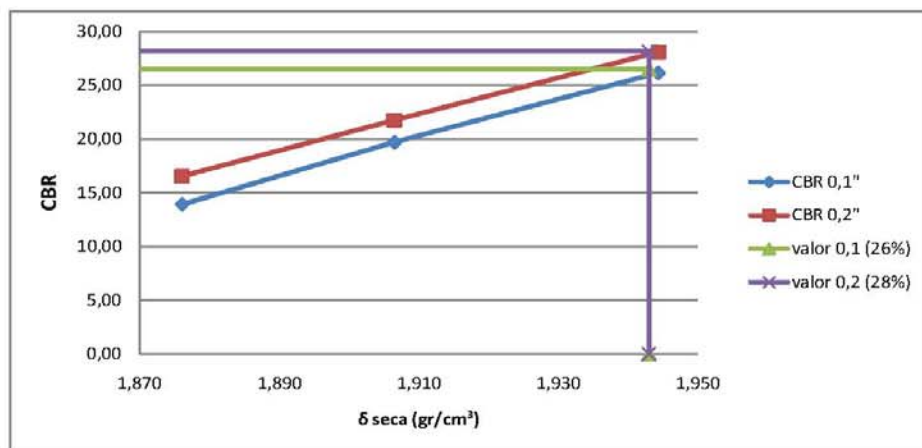
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

t(min)	Penetración mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
			0	0			0			0	
0,5	0,63 - 0,025		17	77,91		11	57,51		8	47,31	
1	1,27 - 0,050		38	149,31		25	105,11		17	77,91	
1,5	1,90 - 0,075		56	210,51		38	149,31		26	108,51	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	71	261,51	26,15077	52	196,91	19,691	35	139,11	13,911
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	118	421,31	28,08718	90	326,11	21,741	67	247,91	16,527
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	159	560,71	29,51093	125	445,11	23,427	91	329,51	17,343
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	193	676,31	29,40468	153	540,31	23,492	111	397,51	17,283
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	221	771,51	29,67337	177	621,91	23,92	131	465,51	17,904



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	26,15	28,09	1,944	1,943
25 golpes	19,69	21,74	1,907	
10 golpes	13,91	16,53	1,876	



ENSAYO CBR - Adicionado 12% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián

Datos:

Molde	B1	B2	B3
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	11
Peso muestra húmeda + Molde (gr)	11639	10735	10956
Peso del molde(gr)	7036	6439	6811
Peso muestra húmeda (gr)	4603	4296	4145
Volumen de la muestra (cm³)	2148,5	2056,5	2068,5
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,142	2,089	2,004
densidad seca máxima (gr/cm³)	1,894	1,847	1,775

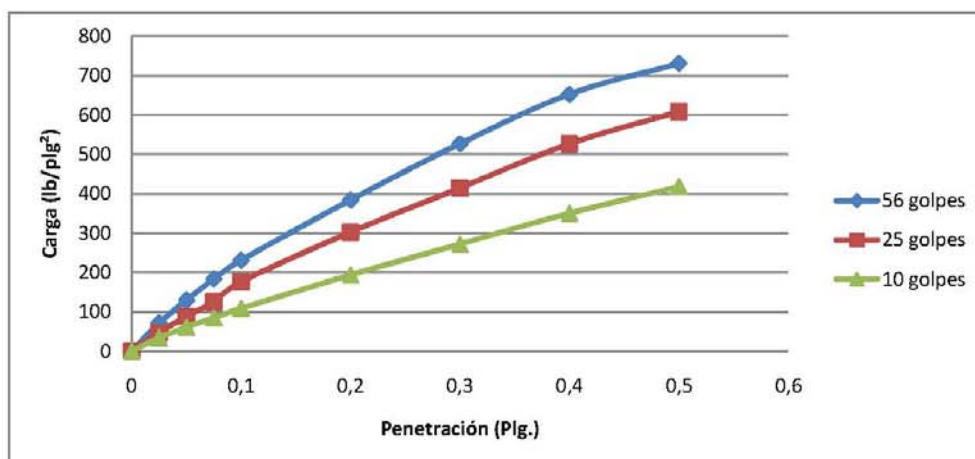
Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	x7	x11	B11	121	A2	D8
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	89,10	91,35	83,17	81,68	73,52	69,94
Peso muestra seca mas tarro (gr)	81,01	82,87	75,57	74,38	67,28	64,06
Peso del Agua (gr)	8,09	8,48	7,6	7,3	6,24	5,88
Peso del Tarro (gr)	18,89	18,73	18,27	18,16	19,21	18,13
Peso muestra seca (gr)	62,12	64,14	57,3	56,22	48,07	45,93
Contenido de humedad (%)	13,02	13,22	13,26	12,98	12,98	12,80
Variacion	0,20		0,28		0,18	
Contenido promedio de humedad (%)	13,12		13,12		12,89	
Después de la Saturación y Ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	X11	121	D18	P15	A2	R4
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	91,56	78,64	83,15	72,55	84,72	85,39
Peso muestra seca mas tarro (gr)	81,94	70,84	73,84	64,74	74,97	75,64
Peso del Agua (gr)	9,62	7,8	9,31	7,81	9,75	9,75
Peso del Tarro (gr)	19,72	18,47	18,63	18,79	20,04	18,72
Peso muestra seca (gr)	62,22	52,37	55,21	45,95	54,93	56,92
Contenido de humedad (%)	15,46	14,89	16,86	17,00	17,75	17,13
Variacion	0,57		0,13		0,62	
Contenido promedio de humedad (%)	15,18		16,93		17,44	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
	B1		B2		B3	
Molde #	11707		10912		11213	
Peso muestra humeda+molde (gr)	7036		6439		6811	
Peso molde (gr)	68		177		257	
Peso del Agua absorbido (gr)	1,48		4,12		6,20	
Porcentaje de agua absorbido (%)						

ENSAYO CBR - Adicionado 12% de PVC

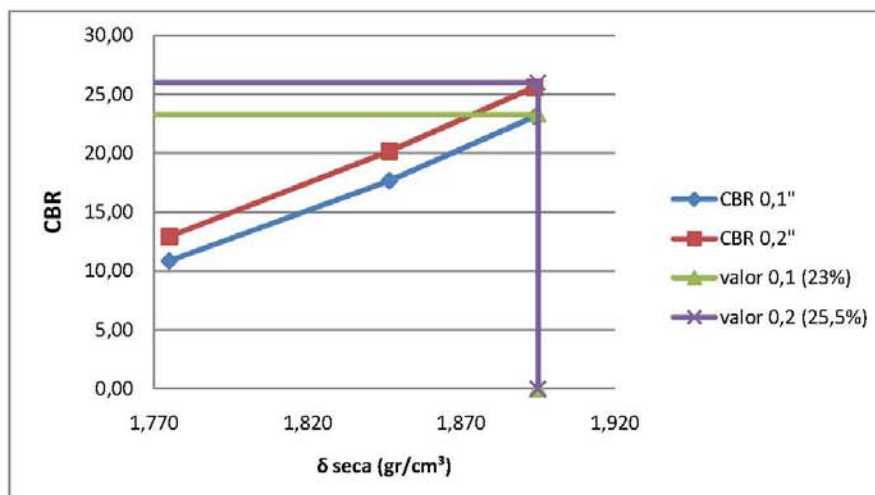
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narvâez, Sebastiàn Lascano

t(min)	Penetracion mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
				0			0			0	
0,5	0,63 - 0,025		15	71,11		8	47,31		4	33,71	
1	1,27 - 0,050		32	128,91		20	88,11		12	60,91	
1,5	1,90 - 0,075		48	183,31		31	125,51		19	84,71	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	62	230,91	23,09	46	176,51	17,65	26	108,51	10,85
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	107	383,91	25,59	83	302,31	20,15	51	193,51	12,90
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	149	526,71	27,72	116	414,51	21,82	74	271,71	14,30
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	186	652,51	28,37	149	526,71	22,90	97	349,91	15,21
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	209	730,71	28,10	173	608,31	23,40	117	417,91	16,07



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	23,09	25,59	1,894	1,895
25 golpes	17,65	20,15	1,847	
10 golpes	10,85	12,90	1,775	



ENSAYO CBR - Adicionado 15% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

Datos: 1862

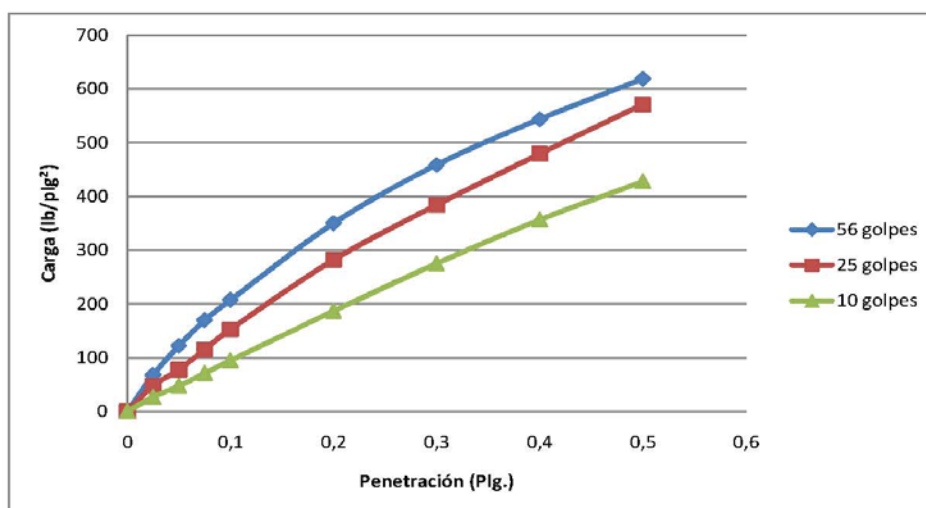
Molde	B1	B2	B2			
Número de capas	5	5	5			
Número de golpes	56	25	11			
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11542	10700	11004			
Peso del molde(gr)	7036	6439	6811			
Peso muestra humeda (gr)	4506	4261	4193			
Volumen de la muestra (cm³)	2148,5	2056,5	2068,5			
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,097	2,072	2,027			
densidad seca maxima (gr/cm³)	1,864	1,832	1,792			
Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	P10	35	N5	P91	121	A2
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	79,85	68,53	85,29	87,11	85,23	92,54
Peso muestra seca mas tarro (gr)	73,13	62,81	77,44	79,15	77,23	84,13
Peso del Agua (gr)	6,72	5,72	7,85	7,96	8	8,41
Peso del Tarro (gr)	18,83	17,49	17,75	18,05	17,21	18,94
Peso muestra seca (gr)	54,3	45,32	59,69	61,1	60,02	65,19
Contenido de humedad (%)	12,38	12,62	13,15	13,03	13,33	12,90
Variacion	0,246		0,123		0,428	
Contenido promedio de humedad (%)	12,50		13,09		13,11	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	P10	35	N5	P91	121	A2
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	81,64	72,41	85,79	79,53	68,55	67,29
Peso muestra seca mas tarro (gr)	73,35	65,43	76,36	70,79	61,18	60,17
Peso del Agua (gr)	8,29	6,98	9,43	8,74	7,37	7,12
Peso del Tarro (gr)	18,42	18,64	18,87	18,53	18,97	19,81
Peso muestra seca (gr)	54,93	46,79	57,49	52,26	42,21	40,36
Contenido de humedad (%)	15,09	14,92	16,40	16,72	17,46	17,64
Variacion	0,17		0,32		0,18	
Contenido promedio de humedad (%)	15,00		16,56		17,55	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
Molde #	B1		B2		B2	
Peso muestra humeda+molde (gr)	10950		10178		10133	
Peso molde (gr)	7036		6439		6811	
Peso del Agua absorbido (gr)	-592		-522		-871	
Porcentaje de agua absorbido (%)	-13,14		-12,25		-20,77	

ENSAYO CBR - Adicionado 15% de PVC

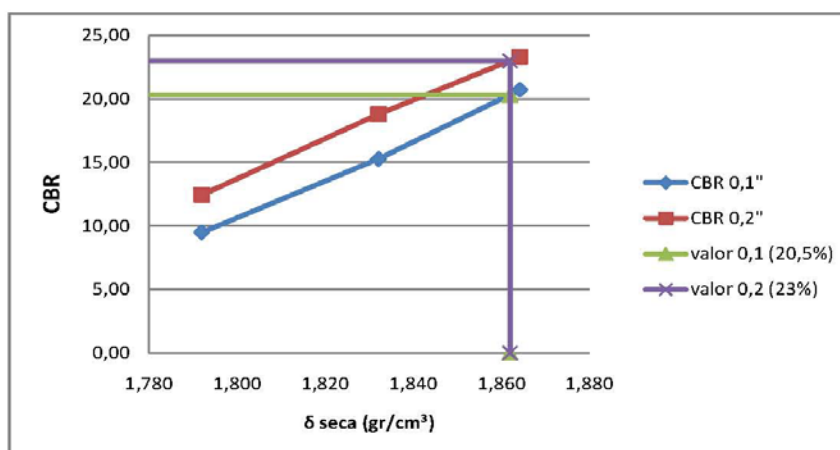
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

t(min)	Penetración mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
			0	0		0	0		0	0	
0,5	0,63 - 0,025		14	67,708		8	47,308		2	26,908	
1	1,27 - 0,050		30	122,108		17	77,908		8	47,308	
1,5	1,90 - 0,075		44	169,708		28	115,308		15	71,108	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	55	207,108	20,71	39	152,708	15,27	22	94,908	9,49
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	97	349,908	23,33	77	281,908	18,79	49	186,708	12,45
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	129	458,708	24,14	107	383,908	20,21	75	275,108	14,48
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	154	543,708	23,64	135	479,108	20,83	99	356,708	15,51
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	176	618,508	23,79	162	570,908	21,96	120	428,108	16,47



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm³)	δ seca max. (gr/cm³)
56 golpes	20,71	23,33	1,864	1,862
25 golpes	15,27	18,79	1,832	
10 golpes	9,49	12,45	1,792	



ENSAYO CBR - Adicionado 20% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narv�ez, Sebastián Lascano

Datos:

Molde	C1	C2	D1
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	56	25	11
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11530	10856	11011
Peso del molde(gr)	7182	6567	6891
Peso muestra humeda (gr)	4348	4289	4120
Volumen de la muestra (cm ³)	2125,1	2148,5	2111,7
Peso unitario húmedo, (gr/cm ³)	2,046	1,996	1,951
densidad seca maxima (gr/cm ³)	1,821	1,771	1,735

Antes de la Saturacion y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	P18	P15	2	Q	X11	R4
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	78,27	88,63	82,11	92,17	102,56	72,9
Peso muestra seca mas tarro (gr)	71,78	80,83	75,13	83,83	93,15	66,89
Peso del Agua (gr)	6,49	7,8	6,98	8,34	9,41	6,01
Peso del Tarro (gr)	18,19	18,75	19,71	18,6	18,34	18,1
Peso muestra seca (gr)	53,59	62,08	55,42	65,23	74,81	48,79
Contenido de humedad (%)	12,11	12,56	12,59	12,79	12,58	12,32
Variacion	0,45		0,19		0,26	
Contenido promedio de humedad (%)	12,34		12,69		12,45	

Despues de la saturacion	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	P18	P15	2	Q	X11	R4
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	90,03	78,65	88,65	89,42	83,11	66,29
Peso muestra seca mas tarro (gr)	80,48	70,29	78,49	79,27	73,15	59,38
Peso del Agua (gr)	9,55	8,36	10,16	10,15	9,96	6,91
Peso del Tarro (gr)	18,87	18,29	18,95	18,17	18,03	20,11
Peso muestra seca (gr)	61,61	52	59,54	61,1	55,12	39,27
Contenido de humedad (%)	15,50	16,08	17,06	16,61	18,07	17,60
Variacion	0,58		0,45		0,47	
Contenido promedio de humedad (%)	15,79		16,84		17,83	

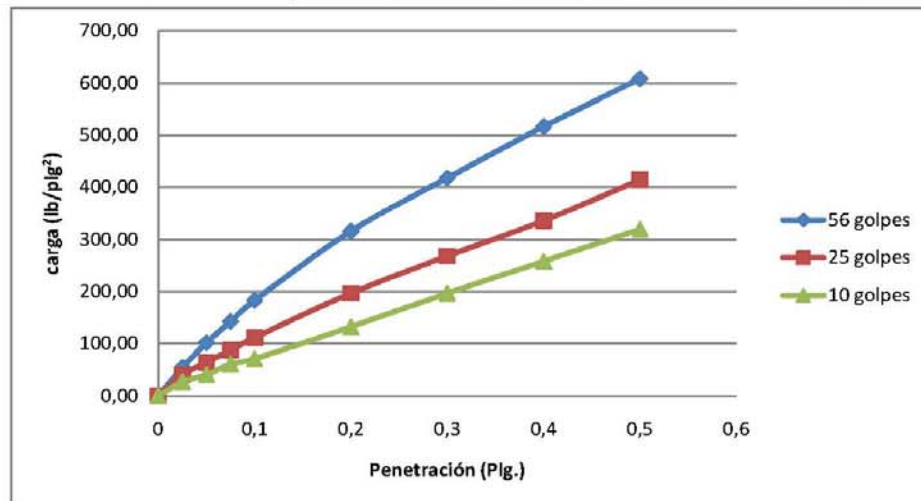
Despues de la saturación			
Contenido de Humedad			
Molde #	C1	C2	D1
Peso muestra humeda+molde (gr)	11605	11017	11209
Peso molde (gr)	7182	6567	6891
Peso del Agua absorbido (gr)	75	161	198
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,72	3,75	4,81

ENSAYO CBR - Adicionado 20% de PVC

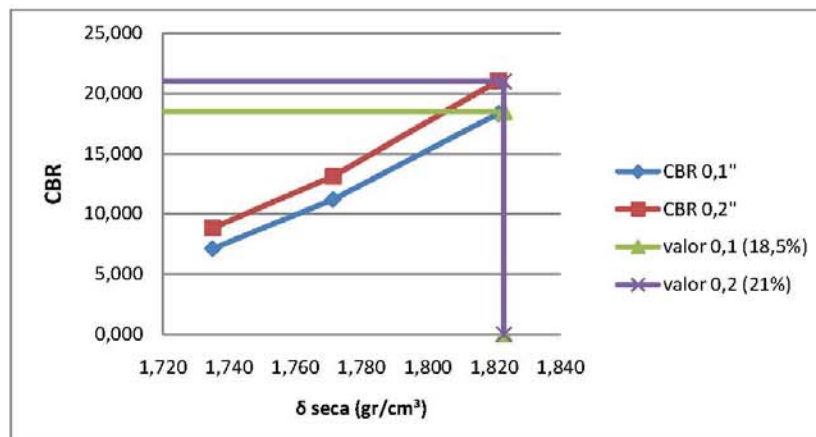
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

t(min)	Penetración mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
			0	0,00		0	0,00		0	0,00	
0,5	0,63 - 0,025		10	54,11		6	40,51		2	26,91	
1	1,27 - 0,050		24	101,71		13	64,31		6	40,51	
1,5	1,90 - 0,075		36	142,51		20	88,11		12	60,91	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	48	183,31	18,33	27	111,91	11,19	15	71,11	7,11
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	87	315,91	21,06	52	196,91	13,13	33	132,31	8,82
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	117	417,91	22,00	73	268,31	14,12	52	196,91	10,36
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	146	516,51	22,46	93	336,31	14,62	70	258,11	11,22
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	173	608,31	23,40	116	414,51	15,94	88	319,31	12,28



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	18,331	21,061	1,821	1,823
25 golpes	11,191	13,127	1,771	
10 golpes	7,111	8,821	1,735	



ENSAYO CBR - Adicionado 25% de PVC

Mina:	Tachina
Fecha:	Nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

Datos:

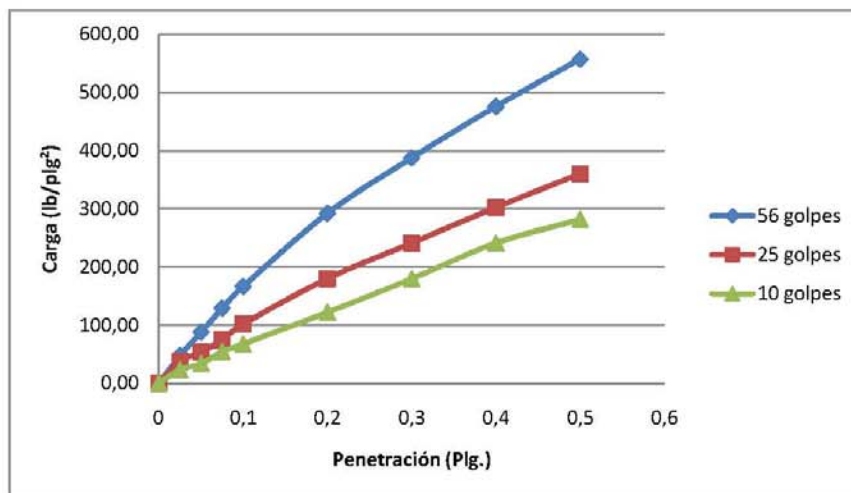
Molde	A1		A2		A3	
Número de capas	5		5		5	
Número de golpes	56		25		11	
Peso muestra humeda + Molde (gr)	11323		11149		10957	
Peso del molde(gr)	6980		6966		6987	
Peso muestra humeda (gr)	4343		4183		3970	
Volumen de la muestra (cm³)	2148,5		2138,6		2075,4	
Peso unitario húmedo, (gr/cm³)	2,021		1,956		1,913	
densidad seca maxima (gr/cm³)	1,795		1,736		1,696	
Antes de la Saturación y ensayo	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	95,78	88,32	68,55	90,47	100,22	70,91
Peso muestra seca mas tarro (gr)	87,17	80,46	63,03	82,21	91,05	64,87
Peso del Agua (gr)	8,61	7,86	5,52	8,26	9,17	6,04
Peso del Tarro (gr)	18,41	18,73	18,4	18,29	18,54	18,2
Peso muestra seca (gr)	68,76	61,73	44,63	63,92	72,51	46,67
Contenido de humedad (%)	12,52	12,73	12,37	12,92	12,65	12,94
Variacion	0,21		0,55		0,30	
Contenido promedio de humedad (%)	12,63		12,65		12,79	
Despues de la Saturación	Contenido de Humedad					
	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
tarro	M5	5	4	3	M6	191
Peso muestra Humeda mas tarro (gr)	90,76	97,53	87,45	67,29	93,17	70,35
Peso muestra seca mas tarro (gr)	80,81	86,57	76,99	59,95	81,54	62,38
Peso del Agua (gr)	9,95	10,96	10,46	7,34	11,63	7,97
Peso del Tarro (gr)	18,79	19,52	18,62	18,1	18,95	20,08
Peso muestra seca (gr)	62,02	67,05	58,37	41,85	62,59	42,3
Contenido de humedad (%)	16,04	16,35	17,92	17,54	18,58	18,84
Variacion	0,30		0,38		0,26	
Contenido promedio de humedad (%)	16,19		17,73		18,71	
Despues de la saturación	Contenido de Humedad					
Molde #	A1		A2		A3	
Peso muestra humeda+molde (gr)	11397		11321		11135	
Peso molde (gr)	6980		6966		6987	
Peso del Agua absorbido (gr)	74		172		178	
Porcentaje de agua absorbido (%)	1,70		4,11		4,48	

ENSAYO CBR - Adicionado 25% de PVC

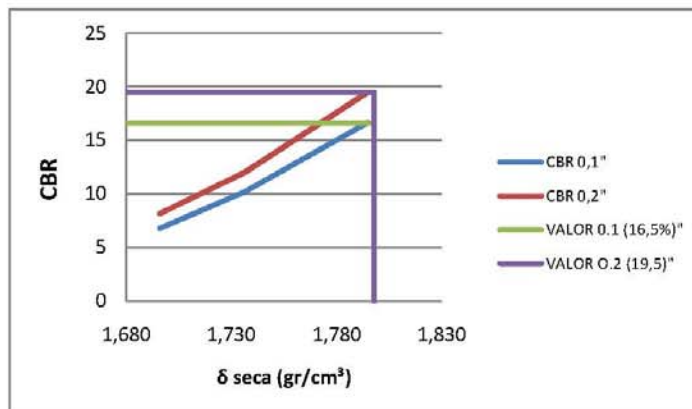
Mina:	Tachina
Fecha:	nov-09
Norma:	ASTM D 1883-07

Material:	Subbase, clase 3
Realizado por:	Luis Narváez, Sebastián Lascano

t(min)	Penetración mm (pulg)	Cargas tipo Kg/cm ² (lb/in ²)	Molde # 1 (56 golpes)			Molde # 2 (25 golpes)			Molde # 3 (10 golpes)		
			Carga de ensayo			Carga de ensayo			Carga de ensayo		
			dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR	dial	lb/plg ²	CBR
			0	0,00		0	0,00		0	0	
0,5	0,63 - 0,025		8	47,31		5	37,11		1	23,51	
1	1,27 - 0,050		20	88,11		10	54,11		4	33,71	
1,5	1,90 - 0,075		32	128,91		16	74,51		10	54,11	
2	2,54 - 0,100	70,31-1000	43	166,31	16,63	24	101,71	10,17	14	67,71	6,77
4	5,08 - 0,200	105,46-1500	80	292,11	19,47	47	179,91	11,99	30	122,11	8,14
6	7,62 - 0,300	133,58-1900	108	387,31	20,38	65	241,11	12,69	47	179,91	9,47
8	10,16 - 0,400	161,71-2300	134	475,71	20,68	83	302,31	13,14	65	241,11	10,48
10	12,70 - 0,500	182,8-2600	158	557,31	21,43	100	360,11	13,85	77	281,91	10,84



No. Golpes	CBR 0,1"	CBR 0,2"	δ seca (gr/cm ³)	δ seca max. (gr/cm ³)
56 golpes	16,631	19,474	1,795	1,798
25 golpes	10,171	11,994	1,736	
10 golpes	6,771	8,141	1,696	



BIBLIOGRAFIA

1. ASTM, Normas Técnicas, 2007
2. ASTM, Procedures for testing soils: sponsored by ASTM Committe D-18 on Soils for Engineering Purposes, nomenclature and definitions standard and tentative methods proposed and suggested methods, USA, 1964
3. BOWLES, Joseph E., Propiedades geofísicas de los suelos, Mc. Graw-Hill, Colombia, 1982
4. CASSAN, Maurice, Los ensayos in situ en la mecánica del suelo, Editores Técnicos Asociados, España, 1982
5. CHEN, Fu Hua, Soil Engineering : testing, design, and remediation, M. D. Morris, USA
6. Das, Braja M, Soils Mechanics, Oxford Univ Pr, USA
7. Hough, B.K., Basic Soils Engineering, Second Edition, The Ronald Press Company, New Cork, USA, 1957
8. PCA, Diseño y control de mezclas de hormigón, Portland Cement Association, Illinois, USA, 2004
9. TSCHEBOTARIOFF Gregory P., Mecánica del Suelo: Cimientos y Estructura de Tierra, México, 1995
10. BADILLO Juárez y RODRIGUEZ Rico, Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos en la Mecánica de Suelos, México, 1996
11. LAMBE William y WHITMAN Robert, Mecánica de Suelos, USA, 2002
12. LMC-PUCE, Manual de Mecánica de Suelos Módulo I, Ecuador, 2006

13. LMC-PUCE, Manual de técnico de campo Grado I, Ecuador, 2005
14. LMC-PUCE, Manual de técnico de laboratorio Grado I, Ecuador, 2007
15. TERZAGHI Karl y PECK Ralph, Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica, USA, 1999

OTRAS FUENTES DE CONSULTA

1. www.elcomercio.com
2. www.googleearth.com
3. www.ingeodav.gl.fcen.uba.ar
4. www.nodo50.org
5. www.petroquimicaypvcenvenezuela.blogspot.com
6. www.solvaymartorell.com
7. www.sirio.ua.es
8. www.textoscientificos.com/polimeros/pvc
9. www.wikipedia.com