

10-2007

## **Análisis comparativo de la estabilización de una base granular, a través de dos elementos químicos como el multienzemático perma zyme 11X, y cemento en un suelo de Bogotá D.C**

Hialmar Ivan Rojas Gonzalez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

John Henry Barrera Garcia  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Carlos Mauricio Piracon Sanchez  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil)



Part of the [Civil Engineering Commons](#)

---

### **Citación recomendada**

Rojas Gonzalez, H. I., Barrera Garcia, J. H., & Piracon Sanchez, C. M. (2007). Análisis comparativo de la estabilización de una base granular, a través de dos elementos químicos como el multienzemático perma zyme 11X, y cemento en un suelo de Bogotá D.C. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/283](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/283)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA BASE  
GRANULAR, A TRAVÉS DE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS COMO EL  
MULTIENZEMATICO PERMA ZYME 11X, Y CEMENTO EN UN SUELO  
DE BOGOTÁ D.C.

HIALMAR IVAN ROJAS GONZALEZ  
JOHN HENRY BARRERA GARCIA  
CARLOS MAURICIO PIRACON SANCHEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2007

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DE UNA BASE  
GRANULAR, A TRAVÉS DE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS COMO EL  
MULTIENZEMATICO PERMA ZYME 11X, Y CEMENTO EN UN SUELO  
DE BOGOTÁ D.C.

HIALMAR IVAN ROJAS GONZALEZ  
JOHN HENRY BARRERA GARCIA  
CARLOS MAURICIO PIRACON SANCHEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero Civil

Director temático  
PhD. Octavio Coronado García

Asesora metodológica  
Mag. Rosa Amparo Ruiz Saray

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2007



## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de la presente investigación expresan su reconocimiento.

Al Dr. OCTAVIO CORONADO GARCIA, asesor temático del trabajo de investigación por el apoyo y la colaboración prestada en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. ADOLFO CAMILO TORRES PRADA, docente de la Universidad de La Salle, por su disposición al momento de resolver las inquietudes generadas en el proyecto.

La Ingeniera ANA SOFIA FOGUEROA, docente de la universidad de La Salle, por su disposición al momento de resolver las inquietudes generadas en el proyecto.

A ROSA AMPARO RUIZ SARAY, por su asesoría y apoyo incondicional en el desarrollo del trabajo de investigación.

A JOSÉ LUIS ROZO ZAMBRANO, Tecnólogo encargado del Laboratorio de Pavimentos de la Universidad de La Salle, por su colaboración y asesoría en el desarrollo de los ensayos realizados.

A todos los docentes de la universidad de La Salle, quienes contribuyeron en la formación profesional.

## **DEDICATORIA**

Le doy gracias a Dios por darme la vida, salud y valor para salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida, a mi familia que con esfuerzo y dedicación lograron que llegara este momento tan importante para mí. A mi mamá y a mi papá que con su apoyo incondicional, consejos, amor y paciencia me han acompañado en mi formación personal y profesional. A mi hermana, hermano y sobrina que se han convertido en un gran ejemplo para seguir adelante y seguir luchando por aquellos sueños que aun no se han cumplido, y que seguirán siendo un reto que muy seguramente estarán llenos de dificultades, dificultades que se deberán afrontar con esfuerzo y dedicación y por último a todos mis amigos que de una u otra forma me apoyaron y confiaron en mí.

**JOHN HENRY BARRERA GARCIA**

## **DEDICATORIA**

Doy gracias a Dios quien me dio la vida, la sabiduría para poder culminar este proyecto de grado, a mi familia y en especial a mis padres y mi hermano quienes me han apoyado continuamente en mi formación profesional, a mis amigos quienes siempre estuvieron al lado en los bueno y malos momentos, a los profesores quien en mi formaron un profesional capaz de enfrentar las eventualidades que la vida profesional trae y a todas aquellas personas que han formado parte activa de mi vida y que me han permitido dejar huella en la suya.

**HIALMAR IVAN ROJAS GONZALEZ**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado es un logro muy significativo en mi vida estudiantil; el cual dedico primero que todo a Dios por haberme dado la salud y el esmero para la ejecución de este proyecto, e indiscutiblemente a mi madre Rosaura por el apoyo, animo y la formación profesional que me ha dado; todo esto se ve reflejado en el fruto que con esfuerzo y sacrificios ella me ha brindado para la culminación de mi carrera.

A mi familia, tíos, tías primos, primas que me ofrecieron todo su apoyo, y en particular a mi hermana laura con sus consejos brindando un apoyo incondicional.

CARLOS MAURICIO PIRACÓN SÁNCHEZ

## CONTENIDO

		Pág.
	INTRODUCCIÓN	22
1.	EL PROBLEMA	
1.1	LÍNEA	24
1.2	TÍTULO	25
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	25
1.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.5	JUSTIFICACIÓN	26
1.6	OBJETIVOS	28
1.6.1	Objetivo general	28
1.6.2	Objetivo específico	28
2.	MARCO REFERENCIAL	
2.1	MARCO TEÓRICO	30
2.1.1	Estabilización	30
2.1.2	Estabilización y mejoramiento	35
2.1.3	Generalidades sobre estabilización de suelos	35
2.1.3.1	Estabilización de un suelo mediante un mezclado con cal	36
2.1.3.2	Estabilización de un suelo mediante un mezclado con cemento	38
2.1.4	Estabilizador de suelos Perma Zyme 11x	39
2.1.5	Clasificación de los suelos con fines de estabilización	40

2.1.6	Sub-base granular	42
2.1.7	Base granular	43
2.1.7.1	Requisitos	43
2.2	MARCO CONCEPTUAL	
2.2.1	Capas granulares	45
2.3	MARCO NORMATIVO	47
2.4	MARCO CONTEXTUAL	49
3	METODOLOGÍA	
3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.2	OBJETO DE ESTUDIO	54
3.3	INSTRUMENTOS	54
3.4	VARIABLES	55
3.5	HIPÓTESIS	55
3.6	COSTOS	55
4	TRABAJO INGENIERIL	
4.1	DESARROLLO	56
4.1.1	Caracterización de los materiales	57
4.1.1.1	Procedimiento para la preparación de muestras de suelo por	57

	cuarteo I.N.V.E - 104	
4.1.1.2	Determinación en el laboratorio del Contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado I.N.V.E - 122	57
4.1.1.3	Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición I.N.V.E - 121	59
4.1.1.4	Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V.E - 125	60
4.1.1.5	Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad I.N.V.E -126	62
4.1.1.6	Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133	63
4.1.1.7	Ensayo de Azul de Metileno AFNOR P18-592	65
4.1.1.8	Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V.E - 123	66
4.1.1.9	Clasificación del suelo	69
4.1.1.10	Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V.E - 142	71
4.1.1.11	Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V. E - 148	74
4.1.1.12	Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo natural I.N.V.E – 809	78
4.1.2	Ensayos realizados para la muestra estabilizada con el	80

	multienzemático perma zyme	
4.1.2.1	Ensayo de azul de Metileno AFNOR P18-592	80
4.1.2.2	Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E -133	81
4.1.2.3	Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V.E - 125	83
4.1.2.4	Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad I.N.V.E -126	84
4.1.2.5	Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V.E - 142	85
4.1.2.6	Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V. E - 148	89
4.1.2.7	Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo y multienzemático I.N.V.E - 809	92
4.1.3	Ensayos realizados para la muestra estabilizada con Cemento Pórtland Tipo 1	95
4.1.3.1	Ensayo de azul de metileno AFNOR P18-592	95
4.1.3.2	Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133	97
4.1.3.3	Determinación del L.L de los suelos I.N.V.E – 125	98
4.1.3.4	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad I.N.V.E -126	100
4.1.3.5	Relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo	101

	cemento I.N.V.E-806	
4.1.3.6	Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas I.N.V. E-807	104
4.1.3.7	Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento I.N.V.E – 809	111
4.1.4	Preparación especímenes del 7% de contenido de cemento	113
4.1.4.1	Ensayo de azul de metileno AFNOR P18-592	113
4.1.4.2	Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133	114
4.1.4.3	Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V.E - 125	115
4.1.4.4	Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad I.N.V.E -126	117
4.1.4.5	Relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento I.N.V.E-806	118
4.1.4.6	Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas con 7% I.N.V. E-807	120
4.1.4.7	Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V.E – 148 para la muestra del 7% de contenido de cemento	125
4.1.4.8	Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento I.N.V. E – 809	126

4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	129
5	CONCLUSIONES	139
6	RECOMENDACIONES	143
	BIBLIOGRAFÍA	145
	ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los suelos con fines ingenieriles	42
Tabla 2. Granulometría para bases granulares en los pavimentos flexibles	43
Tabla 3. Normatividad para realización de los ensayos para suelos	47
Tabla 4. Estado del arte	51
Tabla 5. Variables del objeto de estudio	55
Tabla 6. Contenido de humedad para suelo en estado natural	58
Tabla 7. Contenido de materia orgánica del suelo en estado natural	59
Tabla 8. Determinación de los límites líquidos del suelo en estado natural	61
Tabla 9. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	63
Tabla 10. Determinación del equivalente de arena del suelo en estado natural	64
Tabla 11. Valor de azul de metileno material natural	66
Tabla 12. Análisis granulométrico	67

Tabla 13.	Características del material de acuerdo a la granulometría	69
Tabla 14.	Clasificación sistema AASHTO	69
Tabla 15.	Determinación de la humedad óptima suelo natural	72
Tabla 16.	Ensayo CBR suelo en estado natural	76
Tabla 17.	Resistencia a la compresión inconfiada de probetas suelo en estado natural	78
Tabla 18.	Valor de azul de metileno para material con perma zyme	81
Tabla 19.	Determinación equivalente de arena suelo con perma zyme	82
Tabla 20.	Determinación de los límites líquidos del suelo con perma zyme	83
Tabla 21.	Determinación del límite plástico e IP material perma zyme	85
Tabla 22.	Determinación de la humedad óptima perma zyme	87
Tabla 23.	Ensayo CBR para especímenes de perma zyme	91
Tabla 24.	Resistencia a la compresión inconfiada de probetas (1)	93
Tabla 25.	Resistencia a la compresión inconfiada de probetas (2)	94
Tabla 26.	Valor de azul de metileno para material con 6% de cemento	96
Tabla 27.	Determinación equivalente de arena suelo con 6% cemento	98
Tabla 28.	Determinación de los límites líquidos del suelo 6% cemento	99
Tabla 29.	Determinación del límite plástico e IP material 6% cemento	101
Tabla 30.	Determinación de la humedad óptima para un contenido de cemento del 6%	103
Tabla 31.	Lecturas especímenes suelo cemento 6%	107

Tabla 32.	Variación de volúmenes especímenes suelo cemento 6%	108
Tabla 33.	Calculo contenido de humedad y desgaste con el 6% de cemento	109
Tabla 34.	Compresión inconfiada para probetas de cemento del 6% cemento	112
Tabla 35.	Valor de azul de metileno para material con 7% de cemento	114
Tabla 36.	Determinación equivalente de arena suelo con 7% cemento	115
Tabla 37.	Determinación de límites líquidos del suelo con 7% cemento	116
Tabla 38.	Determinación del límite plástico e IP material 7% cemento	117
Tabla 39.	Determinación de la humedad óptima para un contenido de cemento del 7%	118
Tabla 40.	Lecturas especímenes suelo cemento 7%	121
Tabla 41.	Variación de volúmenes especímenes suelo cemento 7%	122
Tabla 42.	Calculo contenido de humedad y desgaste con el 7% de cemento	123
Tabla 43.	Ensayo CBR contenido 7% de cemento	125
Tabla 44.	Compresión inconfiada para probetas de cemento del 7% cilindro 1	127
Tabla 45.	Compresión inconfiada probetas cemento del 7% cilindro 2	128
Tabla 46.	Correlación valor de CBR con el Valor de la resistencia -	130

	material natural y estabilizantes	
Tabla 47.	Correlación valor de EA con el Valor de LL , material natural y estabilizantes	131
Tabla 48.	Correlación valor de EA con el IP, material natural y estabilizante	132
Tabla 49.	Resumen de los diferentes ensayos en la estabilización	137
Tabla 50.	Cualidades de los suelos estabilizados según el IDU	137
Tabla 51.	Requisitos materiales afirmados, subbases y base granular	138

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona de extracción material	50
Figura 2. Lugar de extracción material de estudio	56
Figura 3. Toma de humedades	58
Figura 4. Proceso ignición de la muestra a una temperatura de 600°C	60
Figura 5. Limite líquido material natural	62
Figura 6. Limite plástico material natural	63
Figura 7. Equivalente de arena material natural	65
Figura 8. Valor de azul material natural	66
Figura 9. Análisis granulométrico por tamizado	69
Figura 10. Proctor modificado material Natural	74
Figura 11. Ensayo de CBR (capacidad portante) material natural.	77
Figura 12. Ensayo de compresión inconfiada material natural	79
Figura 13. Valor de azul de metileno perma zyme	81
Figura 14. Valor de equivalente de arena perma zyme	82
Figura 15. Proctor modificado material natural con perma zyme	89
Figura 16. Ensayo de CBR para suelos con perma zyme	91
Figura 17. Valor de azul de metileno con el 6% de Cemento	97
Figura 18. Extracción especimenes y pasadas con el cepillo de alambre	110
Figura 19. Extracción especimenes y preparación cámara húmeda	124

## LISTA DE GRÁFICAS

		Pág.
Gráfica 1.	Determinación de los límites líquidos del suelo en estado natural	61
Gráfica 2.	Curva granulométrica	68
Gráfica 3.	Curva de humedad vs. Densidad material natural	73
Gráfica 4.	Determinación del esfuerzo máximo material natural	79
Gráfica 5.	Determinación del limite liquido material con perma zyme	84
Gráfica 6.	Curva de humedad vs. densidad perma zyme	88
Gráfica 7	Determinación esfuerzo máximo probetas 1 perma zyme	94
Gráfica 8.	Determinación esfuerzo máximo probetas 2 perma zyme	95
Gráfica 9.	Determinación limite liquido material 6% de cemento	100
Gráfica 10.	Proctor modificado 6% de cemento	103
Gráfica 11.	Determinación esfuerzo máximo probetas 6% cemento	112
Gráfica 12.	Determinación limite liquido material con el 7% cemento	116
Gráfica 13.	Proctor modificado 7% de Cemento	119
Gráfica 14.	Determinación del esfuerzo máximo para pobretas de suelo cemento del 7% - cilindro 1	127
Gráfica 15.	Determinación del esfuerzo máximo para probetas de suelo cemento del 7% - cilindro 2	128

Gráfica 16.	Correlación valor de CBR con el valor de la resistencia material natural y estabilizantes	130
Gráfica 17.	Correlación valor EA con valor de LL, material natural y estabilizantes	132
Gráfica 18.	Correlación VA con el valor IP, material natural y estabilizantes	133
Gráfica 19.	Comparativa de los diferentes ensayos a la muestra en estado natural y estabilizada	134
Gráfica 20.	Comparativa de resultados de CBR , en estado natural y estabilizada	135
Gráfica 21.	Curva granulométrica	136

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Costos totales de la investigación	148
Anexo 2. Formato para la determinación determinar el contenido de agua de los suelos ( humedad ) y contenido de materia orgánica	151
Anexo 3. Formato para la determinación del límite liquido, plástico e índice de plasticidad material natural	152
Anexo 4. Formato para la determinación equivalente de arena de suelos y agregados finos material natural	153
Anexo 5. Formato para la determinación del VA material natural, norma técnica de referencia ANFNOR P-18-592	154
Anexo 6. Formato para la determinación análisis granulométrico de suelo por tamizado	155
Anexo 7. Formato para la determinación de la relaciones de peso unitarios – humedad en los suelos equipo modificado suelo natural	156
Anexo 8. Formato para la determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio – material natural	157
Anexo 9. Formato para la determinación de resistencia a la compresión de cilindros preparados suelo natural	166

Anexo 10.	Formato para la determinación del VA perma zyme, norma técnica de referencia ANFNOR P-18-592	167
Anexo 11.	Formato para la determinación equivalente de arena de suelos y agregados finos perma zyme	168
Anexo 12.	Formato para la determinación del límite liquido, plástico e índice de plasticidad material perma zyme	169
Anexo 13.	Formato para la determinación de la relaciones de peso unitarios – humedad en los suelos equipo modificado perma zyme	170
Anexo 14.	Formato para la determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio con perma zyme	171
Anexo 15.	Formato para la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros preparados con perma zyme probetas 1 y 2	179
Anexo 16.	Formato para la determinación del VA con el 6% de cemento, norma técnica de referencia ANFNOR P-18-592	181
Anexo 17.	Formato para la Determinación del equivalente de arena material con el 6% de cemento.	182
Anexo 18.	Formato para la determinación del límite liquido, plástico e índice de plasticidad material 6% de cemento.	183
Anexo 19.	Formato para la determinación de la relación humedad – peso unitario de mezclas de suelo cemento 6%	184

Anexo 20.	Formato para la determinación del humedecimiento y secado muestras de suelo cemento espécimen del 6%	185
Anexo 21.	Formato para la determinación de resistencia a la compresión de cilindros preparados suelo cemento 6%	188
Anexo 22.	Formato para la determinación del VA con el 7% de cemento, norma técnica de referencia ANFNOR P-18-592	189
Anexo 23.	Formato para la determinación equivalente de arena de suelos y agregados finos material 7% de cemento	190
Anexo 24.	Formato para la determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad material 7% de cemento	191
Anexo 25.	Formato para la determinación de la relación humedad peso unitario de mezclas de suelo cemento muestra 7%	192
Anexo 26.	Formato para la determinación del humedecimiento y secado muestras de suelo cemento espécimen del 7%	193
Anexo 27.	Formato para la determinación de la relación de soporte del suelo cemento 7% en el laboratorio	196
Anexo 28.	Formato para la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros preparados con suelo cemento muestras del 7% ( especímenes 1 y 2 )	204

## GLOSARIO

**AGREGADO (AGGREGATE):** material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**AGREGADO FINO (FINE AGGREGATE):** proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, Agregado que pasa el tamiz de 6.4 mm (N°4) y queda retenido en el tamiz 74 um (N°200).

**AGREGADO GRUESO (HEAVY AGGREGATE):** agregado retenido en el tamiz de 6.4 mm (N°4).

**BASE GRANULAR (BASE GRANULATE):** capa de materiales seleccionados colocados sobre la sub-base, “en algunas ocasiones se construye directamente sobre la subrasante, tiene como función principal transmitir las cargas recibidas del tránsito con intensidades adecuadas a los elementos subyacentes.

**CAL (CAL):** proviene de las rocas calizas puras, sometidas a un proceso de calcinación que se origina con el incremento de la temperatura alrededor de los 880°C a los 900°C.

**CEMENTO (CEMENT):** material que tiene propiedades de adhesión y cohesión para unir materiales inertes y conformar masas mucho más sólidas.

**CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):** valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

**COMPACTACIÓN (COMPACTION):** proceso generalmente mecánico que consiste en someter al suelo a esfuerzos de compactación (mediante golpes con martillo) con el fin de aumentar su densidad, lo que produce un mejoramiento de las propiedades mecánicas del mismo.

**COMPRESIÓN (COMPRESSION):** acción de comprimir un material aplicando una carga que puede ser axial, existiendo variantes en ensayos como: no confinada, triaxial y entre estos el ensayo consolidado no drenado.

**COMPRESIÓN NO CONFINADA (COMPRESSION NONCONFINED):** procedimiento para determinar la resistencia al corte de un suelo.

**CUARTEO:** procedimiento de reducción del tamaño de una muestra.

**CURVA DE COMPACTACIÓN (COMPACTION CURVE):** curva de Proctor, que relacione el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación.

**CURADO (CURED):** tratamiento que se le hace al suelo para que fragüe y pueda adquirir determinada resistencia.

**DEFORMACIÓN (DEFORMATION):** cambio de forma y volumen provocado por la actuación de una o varias fuerzas o algún otro fenómeno física. La naturaleza de la deformación depende tanto del fenómeno físico que la provoca así como de su magnitud.

**DENSIDAD (DENSITY):** masa del suelo por la unidad de volumen del mismo.

**ESFUERZO (EFFORT):** resultado de la división entre una fuerza y el área en la que se aplica. Se distinguen dos direcciones para las fuerzas, las que son normales al área en la que se aplican y las que son paralelas al área en que se aplican, si la fuerza aplicada no es normal ni paralela a la superficie, siempre puede descomponerse.

**ESTABILIZACIÓN (STABILIZATION):** tratamiento que se aplica a los suelos, a los materiales granulares o capas de subrasante, adicionándoles un ligante que puede ser o no bituminoso (productos químicos, aceites, asfalto, emulsión asfáltica, cal, cemento) para mejorar sus características mecánicas, especialmente la capacidad portante, resistencia a los agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica, etc.

**HUMEDAD (HUMIDITY):** cantidad de agua en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Es la relación existente entre el peso del agua presente en la masa del suelo y el peso de los sólidos en el suelo.

**LÍMITE LÍQUIDO (LIQUID LIMIT):** contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

**LÍMITE PLÁSTICO (LIMIT PLASTIC):** contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

**MATERIA ORGANICA (ORGANIC MATTER):** elemento perjudicial en un suelo o material: turba, raíces, etc.

**PERMA ZYME 11X (ESTABILIZANTE):** formulación química concentrada y líquida, diseñada para maximizar la densidad e incrementar las propiedades naturales de los suelos a los niveles y condiciones más óptimas, con resultados muy superiores a los productos actuales en uso.

**SUB-BASE:** capa de una estructura de pavimento asfáltico que se encuentra inmediatamente debajo de la capa de base. Si el suelo de subrasante es adecuado, puede servir como capa de subbase.

**SUBRASANTE (SUBGRAZING):** suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación.

**SUBRASANTE MEJORADA (SUBGRAZING IMPROVED):** plataforma de trabajo mediante el uso de cualquier capa o capas de material seleccionado o mejorado y colocado directamente sobre el suelo de subrasante existente.

**SUELO CEMENTO (SOIL CEMENT):** mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mayor densidad.

**TAMIZ (SIEVE):** aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

**TESTIGO (WITNESS):** muestra cilíndrica de concreto endurecido, de mezcla bituminosa compactada y endurecido usualmente obtenida por medio de una broca diamantina de una máquina extractora.

## INTRODUCCIÓN

Algunos de los problemas que presenta el suelo en cuanto a estructura vial de Bogotá se refiere, están presentes en algunas de sus propiedades de resistencia y durabilidad. El desarrollo de este proyecto de investigación se orientó a la búsqueda de algunas situaciones que limitan la buena estabilización de bases granulares. Lo anterior implica a que se planteen soluciones ingenieriles que ayuden a mejorar dichas propiedades, mediante ensayos de laboratorio, aportando con esta investigación la implementación de un producto innovador estabilizante, económico y beneficioso que mejore la optimización de las propiedades ya mencionadas; de esta manera se ayudaría a resolver problemas generados en las vías de Bogotá.

La investigación va enfocada a indagar las condiciones que conllevan a que se produzca un frecuente deterioro del suelo granular que conforma la estructura de un pavimento; es decir, en cuanto a resistencia y capacidad de soporte. El tipo de suelo seleccionado para el estudio está ubicado en la calle 133B con transversal 40, en el barrio San José de Sprint en la localidad 11; el cual se estabilizó tal como estaba in situ; la intención es mejorar algunas de sus características físico-mecánicas a la hora de trabajar con los estabilizantes multienzimático (Perma Zyme 11X) y cemento como técnica ya utilizada en diferentes áreas en la aplicación de la ingeniería de pavimentos; estableciendo un análisis comparativo

para conocer cual de los dos es más eficiente en el momento de cambiar la propiedades anteriormente mencionadas, y cual es más económico y practico al momento de utilizarlo en la rehabilitación vial.

## **1. PROBLEMA**

### **1.1 LÍNEA**

La relación que existe entre el proyecto y la línea de investigación, (análisis comparativo de la estabilización de una base granular a través de dos elementos químicos como el multienzimático (Perma Zyme 11 x), y cemento en un suelo de la localidad 11 de Bogotá), pertenece al área de GEOTECNIA y corresponde a la línea de investigación Grupo INDETEC, (Nuevos materiales para carreteras), es la posibilidad de descubrir y analizar elementos químicos que contribuyan al mejoramiento de algunas propiedades físico-mecánicas de una base granular, planteando condiciones para su eventual análisis.

Esta relación es compleja ya que actualmente existe gran variedad de productos y sus respectivos procesos ofrecen tratamiento químico y/o físico a los materiales en la estabilización de suelos. Se tuvo que buscar un producto innovador (Perma Zyme 11 X) y eventualmente se empleó el cemento como alternativo; estos dos productos cumplen tanto con las especificaciones que contempla la norma del Instituto Nacional De Vías (INV), como con la guía para el diseño y la construcción de capas estructurales de pavimentos estabilizadas mediante procesos químicos, observada por el instituto de desarrollo urbano (IDU), para la estabilización de una base granular. Con la aplicación de estos dos productos se realizó una comparación para observar los desempeños que cumplen cada uno los

estabilizantes utilizados, arrojando resultados que contribuyen a la investigación del grupo INDETEC de la Universidad de La Salle.

## **1.2 TÍTULO**

Análisis comparativo de la estabilización de una base a partir de dos elementos químicos como el multienzemático (perma zyme 11 x), y cemento en un suelo granular de la localidad 11 de Bogotá D.C.

## **1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Debido a las condiciones deficientes en las capas granulares de los pavimentos presentes en la localidad 11 de Bogotá, que presentan complicaciones de poca durabilidad ya que están sometidas a cargas repetitivas, incrementándose problemas de deformaciones a nivel de la base granular los cuales se reflejan básicamente en la reacomodación de sus partículas que pueden llegar a sufrir fracturamiento; lo que indica que el material no poseerá las mismas características durante el periodo que esté haciendo parte de la estructura del pavimento; de esta forma, cuando se estudian los materiales granulares y se aprueba su utilización mediante las normas vigentes, no se está teniendo en cuenta que esos materiales en su vida útil, se van a comportar diferentes a como se estima que se comportaran en todos los estudios realizados en el laboratorio, sobre todo por que los materiales granulares sufren cambios, como lo discuten muchos autores como Berry, Loaiza y Montejo; por la acumulación de esfuerzos, todo esto implica que

los materiales van cambiar sus propiedades físicas y mecánicas y que un ensayo común, no puede describir de manera real el comportamiento del material granular al final de su periodo de servicio, porque no simula lo que realmente le ocurre al aplicarle la carga; todo esto se debe a un previo análisis de las capas que conforman la estructura de un pavimento (base y subbase granular).

Se buscan alternativas con la implementación de esta investigación, a la solución de dicho problema con el empleo dos productos estabilizantes: multienzemático (Perma Zyme 11 X) y el cemento, reduciendo los problemas anteriormente mencionados, previendo además su comportamiento que garantizara su resistencia y durabilidad de dicha base.

#### **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo establecer las propiedades físico-mecánicas actuantes por los productos Perma Zyme 11x y el cemento, en su resultado estabilizante en una base granular de los suelos de la localidad 11 en Bogotá?

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Cuando se estudia la estabilización en un material granular (a nivel de base y subbase), se presentan algunos problemas de resistencia y durabilidad; en una muestra de este, sometida a cargas, no solo resulta importante estudiar las relaciones de esfuerzo-deformación existentes, sino que también el cambio de las

características físicas y mecánicas de las partículas. En esencia, el cambio de estos materiales es debido a que las capas que conforman la estructura de un pavimento están sometidas a cargas, y prever su comportamiento garantizará la durabilidad del mismo.

Se implementa una parte experimental, con el fin de poder analizar la estabilización realizada con el multienzemático (Perma Zyme 11 X) y el cemento, observando el comportamiento del material de base granular utilizado en la construcción de la estructura de pavimento. Un propósito fundamental es indagar las propiedades físicas y mecánicas del suelo a trabajar, y los análisis de resultados obtenidos por los ensayos de granulometría, contenido de materia orgánica, equivalente de arena, azul de metileno, límites de Atterberg, proctor modificado, capacidad portante CBR IN-SITU y compresión encofinada; los cuales permitan determinar las particularidades de muestras tomadas in-situ, estableciendo patrones y cuadros comparativos en la aplicación de dichos estabilizantes.

En la localidad 11, exactamente en la dirección calle 133B con transversal 40, en el barrio San José de Sprint, su calzada está compuesta de una base granular dada a los mayores niveles de exigencia a que está sometida esta capa; sus materiales se obligaron a ser estabilizados para mejorar su calidad de compactación respecto a los ensayos de proctor modificado y CBR; así mismo en unas condiciones de humedad óptima, se debió cumplir con la granulometría de

acuerdo a las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto nacional de vías y del Instituto de desarrollo urbano de Bogotá y deberá ser sensiblemente paralela a los límites de Atterberg para asegurar la máxima estabilidad mecánica. Además, es conveniente que el control de la granulometría se realice también luego de compactada la capa, por cuanto la estabilidad puede verse afectada por la rotura de partículas durante la compactación y el servicio. Con estas pruebas o análisis hechos se pretende alcanzar beneficios tanto técnicos como económicos por reducción de tiempo en los procesos constructivos, reutilización de materiales, disminución del impacto ambiental y la formulación de nuevas alternativas de construcción y mejoramiento de capas granulares.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 Objetivo general**

Establecer comparativamente las propiedades físico-mecánicas del multienzemático (Perma Zyme 11 X) y el cemento, en la estabilización de una base granular de la localidad 11 de Bogotá, mediante los respectivos ensayos de laboratorio.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Adquirir información sobre estabilizaciones de tipo químico efectuadas, que contribuyan a buen desarrollo del proyecto de investigación.

- Estabilizar una base granular en condiciones naturales existentes, sin realizar ningún cambio en su granulometría, permitiendo aprovechar el material existente en la vía.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas a través de los ensayos de laboratorio tales como: ensayos de granulometría, contenido de materia orgánica, equivalente de arena, azul de metileno, límites de Atterberg, proctor modificado, capacidad portante CBR IN-SITU y compresión inconfiada de la estabilización efectuada.
- Establecer patrones comparativos entre los resultados obtenidos de la presente investigación al estabilizar una base granular con el multienzemático (Perma Zyme 11X) y el cemento.
- Correlacionar los valores de capacidad portante (CBR) y resistencia a la compresión inconfiada, equivalente de arena vs límite líquido, azul de metileno vs índice de plasticidad del material en estado natural y estabilizado.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

**2.1.1 Estabilización.** Para la construcción teórica y técnica del trabajo es preciso profundizar en diversos planteamientos que existen con relación a la estabilización de suelos, a partir de la implementación de un nuevo producto químico que funcione en el buen desempeño de las propiedades mecánicas y físicas de dicho suelo; en consecuencia se indaga acerca de este tema a autores como Berry, Loaiza y Montejo quienes profundizan al respecto y aportan lo siguiente:

Con base en algunos planteamientos teóricos de la estabilización de suelos se puede señalar según Loaiza que “la estabilización es un proceso mediante el cual se trata de modificar un suelo o un agregado procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento. El proceso busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad portante del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua. El objetivo es también que el material alcance alta rigidez y, en consecuencia, tenga capacidad para absorber tensiones de tracción.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> FERNÁNDEZ LOAIZA, Carlos. Mejoramiento y Estabilización de suelos. Guanajuato: México: Limusa, 1993. p.34.

De ahí que, también es indispensable reconocer que la estabilización no es una herramienta mágica, que nos ayude a mejorar todas las propiedades del suelo, por consiguiente, se debe tener una clara apreciación de las propiedades que se desee mejorar, pues este requisito específico es un elemento muy importante para tomar la decisión correcta, acerca de la conveniencia de la estabilización.

De acuerdo con los planteamientos de Berry, “con las propiedades de un suelo se pueden alterar con los diferentes procesos de estabilización:

- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos, de los que la electrólisis y la utilización de pilotes electrometálicos son probablemente los mejor conocidos.
- Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos, generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos, como el cemento, la cal, el asfalto u otros”<sup>2</sup>.

Entre las principales propiedades de un suelo que pueden ser de interés para su estudio, se pueden contar las siguientes según “Loaiza:

- Estabilidad volumétrica: muchos suelos se expanden y se contraen con los cambios de humedad los cuales se pueden presentar en forma rápida o acompañando a las variaciones estacionales. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a un incremento en la humedad no se controlan de alguna forma, estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes,

---

<sup>2</sup> BERRY, Peter y REID, David. Mecánica de suelos. Bogotá: Mc Graw Hill, 1995.p.416.

fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc. Por lo cual es de vital importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar lo anterior.

- Resistencia mecánica: al estudiar los efectos de una estabilización, se debe tener presente al fin que se busca, ya que si el suelo estabilizado permanecerá húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada, sin embargo, si el suelo permanecerá seco y agrietado probablemente sea más efectivo ejecutar pruebas, con cargas repetidas para estudiar efectos de disgregación y pulverización. Por otro lado debe tenerse en mente la forma como se va a utilizar el suelo, ya que si se va a emplear tal como se encuentra in situ puede ser más conveniente utilizar pruebas de resistencias in situ que el caso de suelos remoldados en donde las pruebas efectuadas en el laboratorio si puedan servir para estimar los parámetros de resistencia.
- Permeabilidad: se plantea en dos problemas básicos, como lo es el relacionado con la disipación de las presiones de poro y el relacionado con el flujo del agua a través del suelo. El tener presiones de poros excesivas puede originar deslizamientos, y el flujo de agua puede originar turificaciones y arrastres
- Durabilidad: Al igual que con todos los materiales de construcción una condición muy deseable en los suelos estabilizados es la durabilidad, definida como la resistencia a los procesos de intemperización, erosión y abrasión, la

durabilidad esta relacionada con las capas superficiales de los pavimentos en la formación de baches y/o disgregaciones, erosiones en los taludes y cortes y cambios en la textura de los agregados de las carpetas.

- **Compresibilidad:** Los cambios en volumen o compresibilidad, tiene una importante influencia en las propiedades ingenieriles de los suelos, pues modifica la permeabilidad, se alteran las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como es sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo a el esfuerzo cortante y se provocan desplazamientos”<sup>3</sup>.

Se deben tener muy presentes las variaciones que se espera lograr en lo que respecta a las propiedades antes mencionadas. En la estabilización de suelos existen diferentes métodos, que depende del suelo a tratar y del proceso mismo; básicamente existen tres métodos:

- **Estabilización química.** Se fundamenta en la inclusión de un agente químico estabilizante en los poros o fisuras del suelo; o bien se puede mezclar al suelo un aditivo químico para luego compactar. Se usa ocasionalmente para estabilizar suelos de grano fino; y se realiza, según Berry, Meter (1993), “con el fin de obtener uno o más de los siguientes mejoramientos del suelo:
  - El aumento de la resistencia y durabilidad del suelo.
  - La impermeabilización del suelo para impedir la entrada del agua.

---

<sup>3</sup> Ibíd., p.36.

- La disminución del potencial de cambio de volumen del suelo debido a una contracción o una expansión.
- La manejabilidad del suelo”<sup>4</sup>.
- **Inyecciones.** En el proceso de inyección lo que pretende es introducir a presión en el suelo un agente estabilizante con el fin de que penetre en el mismo a través de los poros y fisuras, para mejorar condiciones de resistencia del mismo. Peter Berry, (1993) expone: “generalmente los objetivos que se buscan son los siguientes:
  - Cementar la macroestructura del suelo o de la roca para aumentar la resistencia.
  - Llenar los poros y las fisuras para reducir la comprensibilidad y la permeabilidad de la masa.”<sup>5</sup>

Esta estabilización se realiza generalmente con lechada, ya que está, además de ser un material cementante, tiene facilidad para penetrar en la fisuras del suelo.

- **Geosintéticos.** Estos productos han presentado un gran avance geotécnico y es el empleo de telas poliméricas para fines de estabilización de suelos. Actualmente estos geosintéticos se utilizan en el mundo entero de acuerdo a las necesidades particulares que se presenten; son empleadas para la construcción de autopistas, canales, presas, etc.

---

<sup>4</sup> BERRY, Peter y REID, David. Mecánica de suelos. Bogotá: Mc Graw Hill, 1995.p. 416.

<sup>5</sup> BERRY, Op. cit., p.418.

Como posterior mente veremos, existen tratamientos mediante los cuales se puede mejorar varias propiedades en forma simultánea. Por otro lado, no debe pensarse en el uso de la estabilización solamente como una medida correctiva sino también como una medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura.

**2.1.2 Estabilización y mejoramiento.** Se debe destacar según el comentario anterior planteado por Loaiza que impulsa a un buen análisis de la estabilización que “en la ejecución de todas las actividades necesarias para la construcción de una o varias capas estructurales de pavimentos, constituidas por materiales resultantes de la escarificación de la capa superficial existente, o por material de préstamo, o mezcla de ambos, incrementado su desempeño mecánico y durabilidad mediante procesos físico-químicos, con el menor deterioro ambiental y minimizando los riesgos para la salud de los seres vivos; de acuerdo con los lineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor, los espesores de capa serán los indicados en las Especificaciones Técnicas Particulares y se entenderán medidos sobre la capa estabilizada”<sup>6</sup>.

**2.1.3 Generalidades sobre la estabilización de suelos.** Una generalidad importante a la hora de estabilizar, según Loaiza “es alterar sus propiedades físico

---

<sup>6</sup> FERNÁNDEZ LOAIZA, Carlos. Mejoramiento y estabilización de suelos. México: Limusa, 1993. p.38.

mecánicas, incrementando su resistencia y su durabilidad con el fin de obtener un material de fundación satisfactorio. Los materiales mas utilizados actualmente en el mundo con estos fines en la construcción de carreteras son: el cemento, la cal, el asfalto y la arena, etc...Ha existido cierta controversia especialmente entre las personas que prefieren estabilizar con cemento y aquellas que prefieren con cal, lo cierto es que la eficiencia en los procesos utilizando alguno de estos materiales depende del mejor aprovechamiento que se le de a los materiales”<sup>7</sup>.

Del mismo modo en el diseño de estabilizaciones con agentes estabilizantes se debe llevar a cabo una adecuada clasificación del suelo con base en lo cual se determina el tipo y cantidad de agente estabilizante así como el procedimiento para efectuar la estabilización. Seguidamente se muestran algunos de los procedimientos más comunes e indicados por instituciones o empresas que representan a los productos utilizados.

**2.1.3.1 Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cal.** Fonseca considera que “la cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero solo recientemente se han hecho estudios científicos relacionados a su empleo

Como estabilizador de suelos y se han cuantificados sus magníficos resultados. Cuando tenemos arcillas muy plásticas podemos disminuir dicha plasticidad y consecuentemente los cambios volumétricos de la misma asociados a la variación

---

<sup>7</sup> Ibíd., p. 41.

en los contenidos de humedad con el solo hecho de agregarle una pequeña proporción de cal”<sup>8</sup>.

Según el análisis que presenta este contenido es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material para estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión.

Se ha determinado que al mezclar la arcilla con cal apagada los iones de calcio sustituyen algunos iones metálicos presentes en la película de agua que rodea a la partícula de arcilla y que son responsables de los cambios volumétricos, además, si el suelo tratado contiene suficiente sílice y alúmina estos pueden reaccionar formando silicatos de calcio y alúmina. Estos silicatos tienen un gran poder cementante, lo que implica que al agregar cal también se logre aumentar la resistencia del suelo.

---

<sup>8</sup> MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia: Ediciones y publicaciones. 1998. p.99.

**2.1.3.2 Estabilización de suelos mediante su mezclado con Cemento.** Para el Instituto Nacional de Vías “los fenómenos químicos que ocurren entre el suelo y elemento cuando ambos se mezclan con el contenido apropiado de aguas consisten en reacciones del cemento con los componentes silíceos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua libera iones de calcio muy ávidos de agua, que la toman del asistente en las láminas de arcilla”<sup>9</sup>.

Todo esto implica que se tenga en cuenta que una reacción favorable del suelo con el cemento se ve perjudicada, cuando el primero tiene materia orgánica; los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento. Para contrarrestar los efectos de la materia orgánica son recomendables cementos de alta resistencia y cuando la mezcla con el suelo se produce y extiende a baja temperatura, puede convenir los de fraguado rápido.

El diseño de mezclas suelo-cemento como el Instituto Nacional de Vías lo estipula, “suelen basarse en criterios de resistencia y durabilidad. La resistencia a la compresión inconfiada sobre probetas cilíndricas compactadas con la humedad óptima y la máxima densidad del ensayo normal de compactación y curadas bajo condiciones normalizadas según la (Norma de Ensayos INV E – 809 y la 807) y otras como I.N.V.E. 123 Análisis Granulométrico del suelo por tamizado , I.N.V.E.

---

<sup>9</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Manual De Diseño De Pavimentos En Vías Con Bajos Volúmenes De Transito. Bogotá: 1997; p.29.

125 – 126 Limite liquido e índice de plasticidad de los suelos, I.N.V.E. 233 Composición química (proporción de sulfatos del suelo), I.N.V.E. 218 Resistencia a la abrasión, I.N.V.E. 142 Proctor modificado, I.N.V.E. 148 Relación del soporte del suelo en el laboratorio ( CBR ) ”<sup>10</sup>, normas que se aplicaron en el desarrollo ingenieril de este proyecto.

Las estabilizaciones con cemento y cal requieren, para su ejecución luego de su compactación, tanto la aplicación de un riego de curado para asegurar que la capa retiene suficiente agua para que el estabilizante continúe su hidratación, como para reducir la contracción de la capa compactada e impedir la carbonatación de su parte superior. Esta precaución es importante, entre más seco y caliente sea el clima de la región donde se trabaja.

**2.1.4 Estabilizador de suelos PERMA ZYME 11X.** En esta investigación en la parte del desarrollo ingenieril es de suma importancia que el lector esté informado acerca del producto multienzemático Perma Zyme 11X, que se aplicó como producto innovador, “el cual consiste en una formulación química concentrada y líquida, diseñada para maximizar la densidad e incrementar las propiedades naturales de los suelos a los niveles y condiciones óptimas, Desarrollada y probada por años en terreno, Perma Zyme 11X entrega ventajas adicionales a constructores de caminos, comunidades y a la ecología por ser no-tóxico y ambientalmente seguro. Se requiere de sólo un litro de Perma Zyme 11X, para tratar 33 m<sup>3</sup> de material en situ. Se agrega al agua necesaria contenida en un

---

<sup>10</sup> Ibid., p.38.

carrotanque, la cual seguidamente es aplicada en forma de riego al material para luego ser mezclada, extendida y compactada.

La cantidad de agua en la cual *Perma Zyme 11X* será diluida dependerá de las condiciones del terreno a tratar y su humedad óptima de compactación<sup>11</sup>.

Este producto también es utilizado para el sellamiento de la base granular en caminos terciarios, controlando la pérdida de finos, se aplica en una solución de: 1litro de Perma Zyme 11X por 10.000litros de agua. Este tratamiento es altamente efectivo reduciendo los finos en suspensión producto del tráfico vehicular, evitando así los tratamientos temporales y las grandes cantidades de agua que se requieren normalmente para controlar este problema.

**2.1.5 Clasificación de los suelos con fines de Estabilización.** Se debe tener en cuenta que el suelo debido a su gran “heterogeneidad y variabilidad intrínseca, presenta problemas muy serios que ordinariamente no se encuentran en otros materiales de construcción. En los suelos estabilizados es necesario tener un conocimiento teórico práctico de los principales tipos de suelos naturales y sus propiedades”<sup>12</sup>.

Generalmente se ha enmarcado a los suelos como gravas, arenas y arcillas ó limos. Los primeros intentos de clasificación se basaban precisamente en dicha en

---

<sup>11</sup> SECSA, Superficies Ecológicas y caminos S.A. En: Manual Técnico: Perma Zyme 11 X; 2006; P.3.

<sup>12</sup> FERNÁNDEZ LOAIZA, Carlos. Mejoramiento y Estabilización de suelos. México: Limusa, 1993. p.45.

marcación; pero en la actualidad no resultan adecuados en trabajos muy especializados como los de estabilización de suelos, ya que es de suma importancia el prever la forma en que el suelo responderá a la estabilización. Se han desarrollado clasificaciones “genéticas” de los suelos, es decir, clasificaciones en donde se toma en cuenta a la roca que dio origen al suelo. Sin embargo, los propósitos ingenieriles de carreteras tienen un uso muy marginado de este tipo de clasificaciones.

Uno de los sistemas más ampliamente utilizado es el propuesto por Casagrande, que posteriormente fue modificado y designado como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Esta clasificación se basa, primer término, en la identificación de un suelo como grava, arena, limo, arcilla o suelo orgánico y en segundo término, en la determinación del porcentaje de finos y su plasticidad. Este sistema ha resultado muy útil, pero existen otros factores que se pueden mencionar a la presencia en la zona de estudio como aguas cargadas de sales, ácidos orgánicos, álcalis, etc...Que pueden atacar al suelo tratado.

También existen algunos sistemas para clasificarlos con fines ingenieriles, uno de los cuales se basa en el tamaño, forma y arreglo de las partículas y conocido como un sistema Nortcote en donde se divide en los grupos fundamentales siguientes:

**Tabla 1.** Clasificación de los suelos con fines Ingenieriles

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
Suelo con perfil de textura uniforme	U
Suelo con perfil de textura gradual	G
Suelo con perfil de textura doble	D
Suelos orgánicos	O

Fuente: Mejoramiento y Estabilización de suelos

Posteriormente se subdivide a estos suelos en subgrupos de acuerdo con algunas características visibles tales como color, presencia de concreciones, rellenos en las grietas o fisuras, etc.; así como algunas características no detectables a simple vista como lo es la alcalinidad o acidez. Para todo es razonable pensar que mientras mejor se conozcan las características físicas y químicas de un suelo mejor se puede emprender el estudio de la estabilización.

**2.1.6 Sub-base Granular.** Es la capa colocada sobre la subrasante y subyace a la base; esta constituida por materiales seleccionados cuya principal función es transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base, proporcionando resistencia adecuada a tales sollicitaciones; por la características granulométricas de sus materiales puedes servir como elemento de drenaje y de su propio peso contrarrestar cambio volumétricos en la subrasante asociados con la presencia en ella de materiales de naturaleza expansiva.

**Tabla 2.** Granulometría para bases granulares en los pavimentos flexibles

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	Gradación A	Gradación B	Gradación C
1 1/2"	100	100	100
1"	75-92	79-96	83-100
3/4"	60-80	65-85	70-90
3/8"	40-63	46-69	52-75
No. 4	30-50	35-55	40-60
No.10	20-37	24-41	28-45
No.40	10-23	13-27	17-30
No.200	5-12	7-12	8-12

Fuente: pavimentos, colección Universidad de Medellín.

**2.1.7 Base Granular.** Es una capa de materiales seleccionados colocados sobre la sub-base, “en algunas ocasiones se construye directamente sobre la subrasante, tiene como función principal transmitir las cargas recibidas del tránsito con intensidades adecuadas a los elementos subyacentes. Las bases granulares pueden constituir en material de origen aluvial o de cantera, triturados, y gravas arenosas en general. Sobre la base se construye las capas asfálticas de un pavimento flexible y por tal motivo debe cumplir estrictamente las especificaciones correspondientes.”<sup>13</sup>

**2.1.7.1 Requisitos.** Se deben tener en cuenta los siguientes elementos para la adecuada constitución de una base granular:

- Alta resistencia mecánica: la base es la encargada de absorber la mayor parte de los esfuerzos y transmitirlos con intensidades adecuadas a las capas

---

<sup>13</sup> GALLEGO ARIAS, Libardo. Pavimentos. Universidad de Medellín: División de Investigación y Asesorías. p.131

subyacentes. para cumplir esta función el material debe tener un CBR al 80% para el 100% de intensidad seca máxima del ensayo Proctor modificado.

- Deformabilidad adecuada: la base debe resistir adecuadamente el desplazamiento a causa de los esfuerzos producidos por la acción de las cargas, esta función esta asociada con la plasticidad de l material, la cual a su vez depende de la cantidad de finos; se exige un índice plástico menor que 4 y un limite liquido menor que 25.
- Granulometría adecuada: una buena gradación permite alcanzar una alta densidad durante la compactación; debido a la diversidad en el tamaño y forma de los agregados, se facilita el acomodamiento y entrecruzamiento entre ellos y por consiguiente se obtiene una alta resistencia mecánica. La gradación propuesta de los materiales deben encajar dentro de los límites especificados con una variación uniforme de tamaños y sin cambios bruscos en la curva.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

Se presentan significados en relación al tema de estabilización de suelos más usados en el desarrollo de la investigación, y los implementos necesarios para el estudio así como terminología de gran ayuda para la buena comprensión del tema el cual se amplia con fundamentos y planteamientos propuestos por el INV, Montejo y otros, los cuales se explican enseguida.

### 2.2.1 Capas granúlales:

- **Subrasante:** terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.
- **Dosificación:** determina las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes del hormigón, de manera de obtener las condiciones previstas para el material.
- **CBR:** el índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material seleccionado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.
- **Compacidad de un Suelo:** grado de compactación o densidad natural de un suelo no cohesivo, que depende del acomodo alcanzado por las partículas de éste.
- **Consistencia de un suelo:** grado de adherencia entre las partículas del suelo y su resistencia a fuerzas que tienden a deformarlo o romperlo. Se describe por medio de términos como: blanda, media, firme, muy firme y dura.
- **Estabilización de Suelos:** mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

- **Estabilizador de Suelos:** producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.
- **Índice de Plasticidad:** parámetro físico que se relaciona con la facilidad de manejo del suelo, por una parte, y con el contenido y tipo de arcilla presente en el suelo.
- **Zona lacustre:** zona donde su formación fue en terreno pantanoso como lagos.
- **Capacidad portante:** capacidad del terreno para soportar cargas aplicadas sobre el.
- **Riegos de Imprimación:** se Aplican sobre capas granulares cuando sobre ellas se va extender capas estabilizantes con emulsión o de capa asfáltica, con el fin de buscar que ambas trabajen solidariamente.
- **Riegos de liga:** se aplican sobre capas tratadas con estabilizantes antes de extender sobre ellas una mezcla asfáltica. Su propósito es buscar el trabajo solidario de las dos capas.

## 2.3 MARCO NORMATIVO

La siguiente tabla hace relación a la normatividad existente para la estabilización de suelos con cemento y, según el Instituto Nacional de Vías para la realización de los ensayos de laboratorio de suelos, y se describen a continuación:

**Tabla 3.** Normatividad para realización de los ensayos para suelos

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBJETO
I.N.V.E - 121	Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición	Este ensayo se aplica en aquellos materiales identificados como turbas, lodos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como el carbón, para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporcionan una estimación válida del contenido orgánico.
I.N.V.E - 122	Determinación en el laboratorio del Contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	Este ensayo tiene por objetivo determinar el contenido de agua (humedad) de de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Donde el contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.
I.N.V.E. 123	Análisis Granulométrico del suelo por tamizado	El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.
I.N.V.E. 125	Límite líquido de los suelos	El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y el plástico.
I.N.V.E. 126	Determinación índice de plasticidad de suelos	En este ensayo se determina el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.
I.N.V.E.133	Equivalente de arena de suelos y agregados finos	Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos.
I.N.V.E. 142	Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado	Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4,54m (10lb) que cae desde una altura de 457 mm (18 "). Se ha utilizado el método C, molde de diámetro 102mm (4"), material de suelo que pasa tamiz de 19 mm (3/4").

I.N.V.E. 148	Relación del soporte del suelo en el laboratorio (CBR)	Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y las capas de base, subbase y de afirmado, él ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.
I.N.V.E. 806	Relación humedad – peso unitario, de mezclas probetas suelo cemento	Este ensayo permite determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo-cemento cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.
I.N.V.E. 807	Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento, compactadas	El ensayo se refiere a procedimientos para determinar las pérdidas del suelo-cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secamiento repetido de especímenes endurecidos de suelo-cemento, hasta peso unitario máximo con el contenido óptimo de humedad, empleando los procedimientos de compactación descritos en el ensayo para la determinación de las relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento.
I.N.V.E. 808	Preparación en el laboratorio de probetas suelo-cemento	Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales
I.N.V.E. 809	Resistencia a la compresión de cilindros preparados suelo-cemento	Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión del suelo-cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo; se llevo acabo el procedimiento B empleando un cilindro de ensayo de 71.1mm (2.8”) de diámetro y de 142.2mm (5.6”) de altura. La relación de altura al diámetro es de 2.0.
Artículo I.N.V.E. 330-96	Base granular	Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de material de base granular aprobado sobre una subbase, afirmado o subrasante, en una o varias capas, conforme con las dimensiones, alineamientos y pendientes señalados en los planos del proyecto u ordenados por el Interventor.
Artículo I.N.V.E. 341-96	Base estabilizada con cemento	El objeto consiste en la construcción de una capa de base, constituida por material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos, estabilizándolos con cemento Pórtland,
Artículo I.N.V.E 342	Base estabilizada con compuestos Multienzimaticos orgánicos	Este trabajo consiste en la construcción de una capa constituida por material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos, estabilizándolos con compuestos multienzimáticos orgánicos, de acuerdo con los alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el Interventor.
Manual técnico	Estabilizador de suelo perma zyme 11x	Perma Zyme 11X es una formulación patentada, multienzimática, concentrada y líquida, diseñada para maximizar la densidad e incrementar las propiedades naturales de los suelos a los niveles y condiciones más óptimas
AFNOR P118-592	Ensayo Azul de Metileno	El objeto es describir el método de la mancha, donde se determina el valor de azul contenido en una arena o grava.

Fuente: Instituto Nacional de Vías tomos- I-II-III

## **2.4 MARCO CONTEXTUAL**

El subsuelo de Bogotá corresponde a una gran cuenca sedimentaria de origen fluvial y lacustre que fue llenada por depósitos de suelos a lo largo del último millón de años. Los depósitos presentan una transición desde los bordes donde se encuentran suelos aluviales y coluviales predominantemente granulares formando abanicos y conos, hacia la parte central del antiguo lago donde predominan limos, arcillas muy blandos.

El desarrollo de esta investigación estará ubicado en la localidad 11 mas exactamente en la dirección calle 133B con transversal 40. Donde se tiene un subsuelo que presenta una zona plana y en algunos sectores suavemente inclinada, constituida por la llanura cuaternaria de origen fluviolacustre y una zona montañosa aislada o separada, conformada por sedimentos de rocas arenosas, duras y resistentes a la erosión, y por rocas arcillosas blandas, con edades del cretáceo superior al terciario superior. La llanura aluviolacustre está constituida por limos y arcillas orgánicas superficiales, es decir, por suelos blandos en proceso de consolidación.

Debido a que se tienen bajas características de resistencia, humedad y alta consolidación se ha eligió este sitio, y debido a esto se tienen que realizar procesos de estabilización para mejoras propiedades mecánicas del suelo presentes en la diferentes vías de esta localidad.



**Tabla 4.** Estado del arte

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Nacionalidad y año</b>	<b>Institución</b>	<b>Comentario</b>
Ingeniero de suelos en las vías terrestres Capitulo 16	Alfonso Rico Rodríguez Emilio del Castillo	México 1986	Universidad Nacional Autónoma México	En este texto hace referencia a los problemas de estabilización de suelos.
Base estabilizada con emulsión asfáltica modificada utilizando los agregados de la cantera de vista hermosa	Lucy González Carolina Osorio Gloria Ramos	Colombia 2005	Universidad de la Salle	Adición de cal, Cemento. De acuerdo con esta investigación se tiene que tener en cuenta el espesor de la grava equivalente que debe colocarse sobre la arcilla estudiada, y resulta sustancialmente menor a la adicionada con cal a la arcilla.
Estabilización de un suelo Calcáreo arena con emulsión cationica	Fransecio Carlos A.	México 1987	Universidad Autónoma	Describe el uso de la arena modificada con emulsión para estabilizar un determinado suelo.
Mejoramiento y estabilización de suelos	Carlos Fernández Loaiza	México 1989	Universidad de Guanajuato	Se busca enfatizar en la clasificación de suelos con fines de estabilización y en el diseño de esta con base en la utilización de los aditivos ya sea en forma individual o combinados.
Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso de Bogota al ser modificado con poliéster líquido	Luís Carlos Garzón Pastor Villamil Guillermo Alexander Velandia	Colombia 2005	Universidad de la Salle	Se busca particularmente mejorar las propiedades mecánicas de un suelo mediante el poliéster líquido a diferentes concentraciones del mismo.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación en que se clasifica el presente proyecto de grado es investigación experimental según Tamayo (1955) “Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin redescubrir de que modo o porque causa se produce una situación o acontecimiento particular. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. En el experimento, el investigador maneja de manera deliberada la variable experimental y luego observa lo que ocurre en condiciones controladas”<sup>1</sup>. Este tipo de investigaciones presentan las siguientes fases:

Las fases en las que se desarrolló el presente proyecto de investigación fueron:  
Condiciones controladas. Este tipo de investigaciones presentan las siguientes fases:

---

<sup>1</sup> TAMAYO, Luís. Diseño de la Investigación. México: Limusa, 1955.p.40.

## **FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **FASE 1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

- Adquisición de información de textos sobre productos estabilizantes y a través de visita a empresas productoras.
- Normatividad establecida para la ejecución de los ensayos propuestos.

### **FASE 2 SELECCIÓN DEL ESTABILIZANTE A UTILIZAR**

- Aplicación de dos estabilizantes químicos ( Perma zyme 11X y cemento)
- Reconocimiento pertinente de estos estabilizantes.

### **FASE 3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS**

- Definición del sitio para la obtención de muestras.
- Traslado de las muestras al laboratorio de la universidad de la Salle.
- Realización de los ensayos pertinentes con y sin estabilizantes.
- Ensayo del contenido de materia orgánica del material de base granular.
- Ensayo de Azul de metileno.
- Ensayo del análisis Granulométrico por tamizado.
- Ensayo de límites de Atterberg.
- Ensayo de proctor modificado.
- Ensayo de capacidad portante, “CBR” para cada una de las muestras.
- Ensayos de resistencia a la compresión inconfiada.

### **FASE 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Paralelos entre el material estabilizado y sin estabilizar con los productos Perma Zyme, Cemento Pórtland.

- Comentarios, sugerencias e hipótesis del estabilizante que arrojo mejores resultados al ser utilizado en una base granular de la localidad de Suba.

### **3.2 OBJETO DE ESTUDIO**

Esta investigación tuvo como objeto analizar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas arrojadas por las estabilizaciones realizadas entre el multienzemático (Perma Zyme) y el Cemento en una base granular, estableciendo sus efectos estabilizantes mediante ensayos de laboratorio.

### **3.3 INSTRUMENTOS**

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron tablas de registro de los datos tomados en el laboratorio y para los resultados calculados posteriormente.

El registro de datos se realizó mediante el empleo de formatos específicos para cada ensayo, los cuales se especifican a continuación:

- Un Ensayo del contenido de materia orgánica del material de base granular.  
Anexo 1
- Uno ensayos del análisis Granulométrico por tamizado. Anexo 5
- Cuatro ensayos de límites de Atterberg. Anexo 2,11,17,23
- Cuatro ensayos de relación de peso unitario-humedad en los suelos.  
(Proctor Equipo modificado – método C). Anexo 6, 12, 18,24
- Tres ensayos de capacidad portante, “CBR”. Anexo 7,13,26

- Seis ensayos de Resistencia para muestras de suelo cemento y muestras de Perma Zyme 11x, Anexo 8,14,20,27
- Doce ensayos equivalente de arena, Anexo 3,10,16,22
- Seis ensayos de Azul de Metileno. Anexo 4,9,15,21
- Cuatro ensayos de humedecimiento y desgaste. Anexo 19,25

### 3.4 VARIABLES

**Tabla 5.** Variables del objeto de estudio

<b>Categoría de análisis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
Caracterización	Material de Base Granular	Contenido de Materia orgánica Límite líquido Límite plástico e índice de elasticidad Azul de metileno (Método de la Mancha) Análisis granulométrico por tamizado. Relación de peso unitario- (Proct. Equipo modificado – método C). Relación de soporte del suelo (CBR) en el laboratorio. Resistencia inconfiada para cilindros.
Caracterización	Estabilizantes Perma Zyme	Producto formulado con base de enzimas orgánicas que se utilizan con el agua como medio de aplicación
Caracterización	Cemento Pórtland	Producto Químico como estabilizador de una base granular

### 3.5 HIPÓTESIS

¿La utilización de los productos Perma Zyme y el cemento como agentes estabilizantes en una base granular permitirán reducir algunos de los problemas de resistencia y durabilidad presentes en dicha base al ser analizados a partir de ensayos de laboratorio?

### 3.6 COSTOS

Los costos de la presente investigación fue de \$ 1`917.048 se relacionan en el (Anexo 1).

## 4. TRABAJO INGENIERIL

### 4.1 DESARROLLO

El proyecto de grado tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre un suelo estabilizado con cemento y el multienzimático (Perma Zyme 11x).

El suelo seleccionado para el desarrollo de esta investigación fue tomado a partir de la construcción de una vía ubicada en la calle 134 con AV. Ciudad de Cali a nivel de base (0.20 m – 0.30 m), este material corresponde a un suelo granular con arcilla limosa y arena de color oscuro con trazados de grava.

**Figura 2.** Lugar de extracción material de estudio



#### **4.1.1 Caracterización de los materiales**

Para la caracterización del material se tuvieron en cuenta ensayos establecidos por el Instituto de Desarrollo Urbano (I.D.U) y el Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E); los ensayos que se tuvieron en cuenta se relacionan a continuación:

##### **4.1.1.1 Procedimiento para la preparación de muestras de suelo por cuarteo**

###### **I.N.V.E – 104**

Este ensayo tiene como objetivo determinar muestras representativas con tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se van a realizar. Para la realización del cuarteo se mezcló todo el material homogéneamente sobre una superficie limpia, dura, lisa y nivelada, el cual se agrupó de forma cónica y se dividió en cuatro partes iguales, tomado de este las dos partes opuestas y pasándolas a otro lado, de esta manera se hizo varias veces hasta obtener la muestra representativa para la realización de los ensayos.

##### **4.1.1.2 Determinación en el laboratorio del Contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado I.N.V.E – 122**

Este ensayo tiene por objetivo determinar el contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso, donde el contenido de agua del material se define como la relación expresada en porcentaje, entre

la masa de agua que llena los poros o "agua libre" en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Para el desarrollo de este ensayo se tomo una muestra representativa de 7346 gr el cual estaba almacenado herméticamente, dicha muestra se llevo al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, luego se tomo el peso seco del material; y la diferencia entre el peso seco y el peso húmedo es el contenido de agua que tiene el suelo, arrojando una humedad del 10,43 %.

**Tabla 6.** Contenido de humedad para suelo en estado natural - Anexo 2

Recipiente N°	Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
G - 10	337	7346	6684	10,43

**Figura 3.** Toma de humedades



#### 4.1.1.3 Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición I.N.V.E – 121

Este ensayo tiene por objetivo determinar el contenido orgánico, el cual es aplicable a suelos con contenidos de materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales Carbo-naceos como lignito, carbón, etc.

Para determinar el contenido de materia orgánica, se tomo una muestra representativa de suelo de 400 gr el cual se llevo al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas, luego se extrajo del horno y se trituro en un mortero, simultáneamente se tomo una muestra de 201.88 gr, llevándolo a la mufla a una temperatura de 450 °C durante 6 horas; al cabo de este tiempo se extrajo el material y se tomo el peso del material calcinado; la diferencia entre el peso del material seco a 110°C y el peso del material calcinado da el contenido de materia orgánico el cual es de 4.66%.

**Tabla 7.** Contenido de materia orgánica del suelo en estado natural - Anexo 2

Recipiente N°	Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra seca inicial (gr)	Peso del recip. + muestra calcinada (gr)	% Mat. orgánica
# 15	37,98	239,86	230,88	4,66

**Figura 4.** Proceso de ignición de la muestra a una temperatura de 600°C



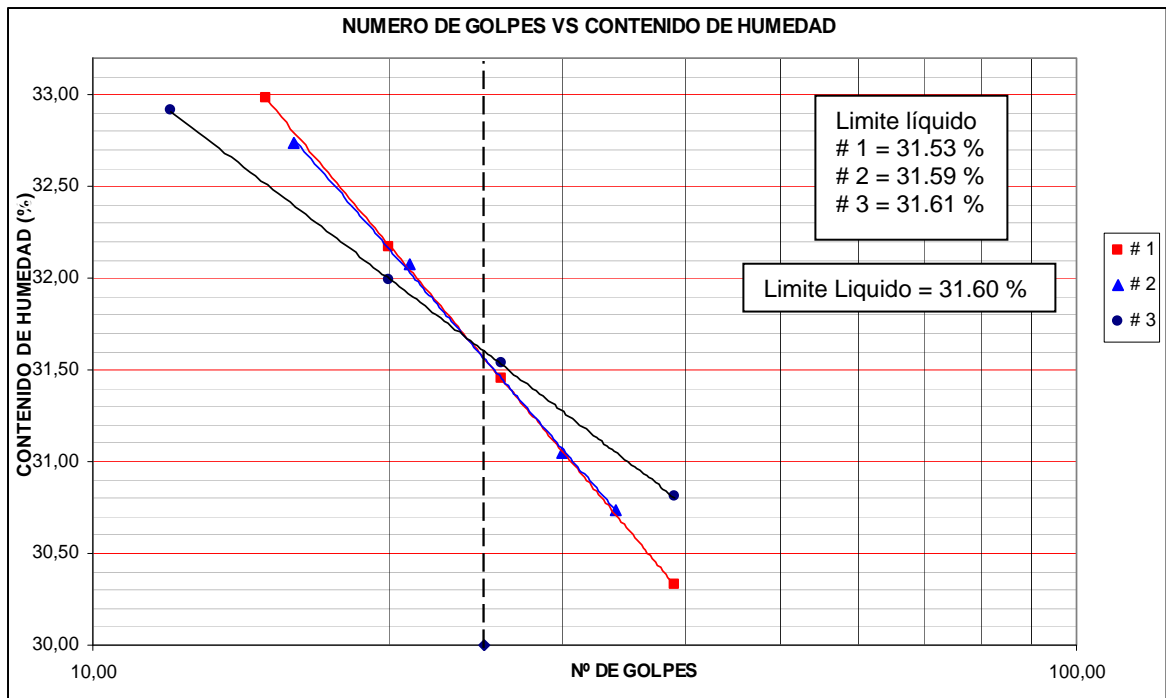
#### **4.1.1.4 Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V.E – 125**

Por medio de este ensayo se determina el límite líquido de un suelo que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno. Para la realización de este ensayo se tomaron 100 gr para cada una de las muestras ensayadas, en este caso el ensayo se hizo tres veces y se promedió el valor de los tres ensayos. El material seleccionado de suelo fue aquel que paso el tamiz No 40, se amaso con agua y se coloco en la casuela de casa grande, formando en el centro una ranura de dimensiones específicas el cual tenia que cerrarse a una cantidad de golpes, arrojando un limite liquido promedio a los 25 golpes de 31.60 %.

**Tabla 8.** Determinación de los límites líquidos del suelo en estado natural - Anexo 3

Recipiente Nº		Peso Del recipiente (gr)	Nº golpes	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	5	6,81	39	19,70	16,70	30,33
	7	6,49	26	19,11	16,09	31,46
	11	6,57	20	23,95	19,72	32,17
	15	6,42	15	20,49	17,00	32,99
2	15	6,70	34	22,65	18,90	30,74
	24	6,41	30	21,90	18,23	31,05
	83	6,51	21	15,94	13,65	32,07
	92	6,88	16	15,80	13,60	32,74
3	38	6,64	39	24,77	20,50	30,81
	45	6,61	26	20,50	17,17	31,53
	18	6,91	20	19,70	16,60	31,99
	1	6,47	12	20,20	16,80	32,91

**Grafica 1.** Determinación de los límites líquidos del suelo en estado natural - Anexo 3



**Figura 5.** Limite líquido material natural



#### **4.1.1.5 Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad I.N.V.E -126**

El objeto de este ensayo es determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.

Se tomo 100g de muestra de suelo que paso por el tamiz No 4, el ensayo se hizo tres veces y los resultados obtenidos se promediaron, el material utilizado en cada ensayo se amazo con agua potable, luego se tomo una porción de 6g, la cual se rodaron entre las palmas de las manos formando un cilindro, el suelo esta en limite plástico si el desmoronamiento ocurre cuando el cilindro alcanza 3mm de diámetro. Dando como resultado un valor promedio de limite plástico de 20.09% y un Índice de plasticidad de 11.51%.

**Tabla 9.** Determinación del límite plástico e índice de plasticidad - Anexo 3

Recipiente N°		Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	22	6,86	14,78	12,40	19,19
2	29	6,78	13,70	11,50	19,13
	24	6,7	14,70	12,20	20,49
3	66	6,54	16,53	13,50	22,44
	17	6,56	16,45	13,80	19,20

Límite plástico	20,09%
Índice de plasticidad	11,51%

**Figura 6.** Límite plástico material natural



#### **4.1.1.6 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133**

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Se preparo una muestra de suelo y se alisto al menos 1500g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Se separaron por cuarteo 1500g de muestra adecuada para cuatro especimenes; estas muestras se prepararon

en sus respectivas probetas, con una solución normalizada de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), cuyo objeto es dispersar las partículas del suelo, después de este tiempo se agitaron manualmente 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, usando un movimiento de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ " ). Un ciclo está definido como movimiento completo hacia adelante y hacia atrás, después de agitarlos se dejó reposar el conjunto, formándose rápidamente un depósito sólido en el fondo. Al cabo de un tiempo, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

**Tabla 10.** Determinación del equivalente de arena del suelo en estado natural - Anexo 4

Nº pesos	Peso (gr)	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de Arena %
1	103	34	3,8	<b>11,18</b>
2	103	33,6	4,0	<b>11,90</b>
3	103	32,6	4,2	<b>12,88</b>
Promedio	103			
Promedio			Equivalente De Arena %	11.99
			<b>Equivalente de arena %</b>	<b>12.00</b>

**Figura 7.** Equivalente de arena material natural



#### **4.1.1.7 Ensayo de Azul de Metileno. AFNOR P18-592**

El objetivo de este ensayo es describir el método de la mancha donde se determina el valor de azul de los finos contenidos en una arena o una grava. Para el ensayo se tomo una cantidad de material que pasa por el tamiz No 10, esta cantidad depende de la humedad inicial del material. Se lava este material por el Tamiz No 200 en un beaker de 2L, con una cantidad de 500mL de agua, el material que queda retenido se coloca en un recipiente y se deja secar en un horno a temperatura constante por un día para determinar su peso. El material lavado se le adiciona 30g de caolinita, este material es agitado con un equipo magnético durante 5 minutos y seguidamente se agrega una cantidad de azul de metileno hasta que se forme una aureola azul brillante, se pesa el recipiente con el material y se anota la cantidad de azul en milímetros agregada, el ensayo en el material natural se hizo dos veces por tal razón los valores obtenidos se promediaron, en ese momento se da por concluido el ensayo.

**Tabla 11-** valore de azul de metileno material natural - Anexo 5

Índice de azul de metilino (g/100g)	1,31	1,41
<b>Promedio (g/100g)</b>	<b>1,36</b>	

**Figura 8.** Valor de azul material natural



#### **4.1.1.8 Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V.E - 123**

Este ensayo tiene por objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Para la realización de este ensayo se tomo una muestra representativa de 6974 gr de material el cual se llevo al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas hasta obtener un peso seco de 6347 gr. Simultáneamente el material se lavo por el tamiz No 200, el cual se llevo al horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas de secado, obteniendo un peso seco del material lavado de 4749 gr, luego fue pasado por una serie de tamices (de mayor a menos abertura), donde se obtiene el peso retenido en cada tamiz para luego obtener la respectiva curva granulométrica.

**Tabla 12.** Análisis granulométrico - Anexo 6

Malla Nº	Abertura (mm)	Peso suelo retenido (gr)	Peso suelo que pasa (gr)	% Retenido	% Pasa material a estabilizar	Banda Granulométrica	
						Limite inferior Perma Zyme 11x	Limite superior Perma Zyme 11x
1 1/2"	37,50	104	6243	1,6	98,36		
1"	25,00	360	5883	5,7	92,69	100,00	
3/4"	19,00	218	5665	3,4	89,25	92,00	96,0
1/2"	12,50	403	5262	6,3	82,91	81,00	89,0
3/8"	9,50	216	5046	3,4	79,50	75,00	83,0
Nº 4	4,75	458	4588	7,2	72,29	58,00	66,0
Nº 8	2,360	294	4294	4,6	67,65	49,00	57,0
Nº 10	2,000	85	4209	1,3	66,31	44,00	52,0
Nº 20	0,850	207	4002	3,3	63,05	34,00	44,0
Nº 40	0,425	564	3438	8,9	54,17	18,00	30,0
Nº 80	0,180	732	2706	11,5	42,63		
Nº 100	0,150	141	2565	2,2	40,41		
Nº 200	0,075	519	2046	8,2	32,24		
Fondo		45	2001	0,7	31,53		
<b>Total</b>		<b>4346</b>					

**Grafica 2. Curva granulométrica - Anexo 6**

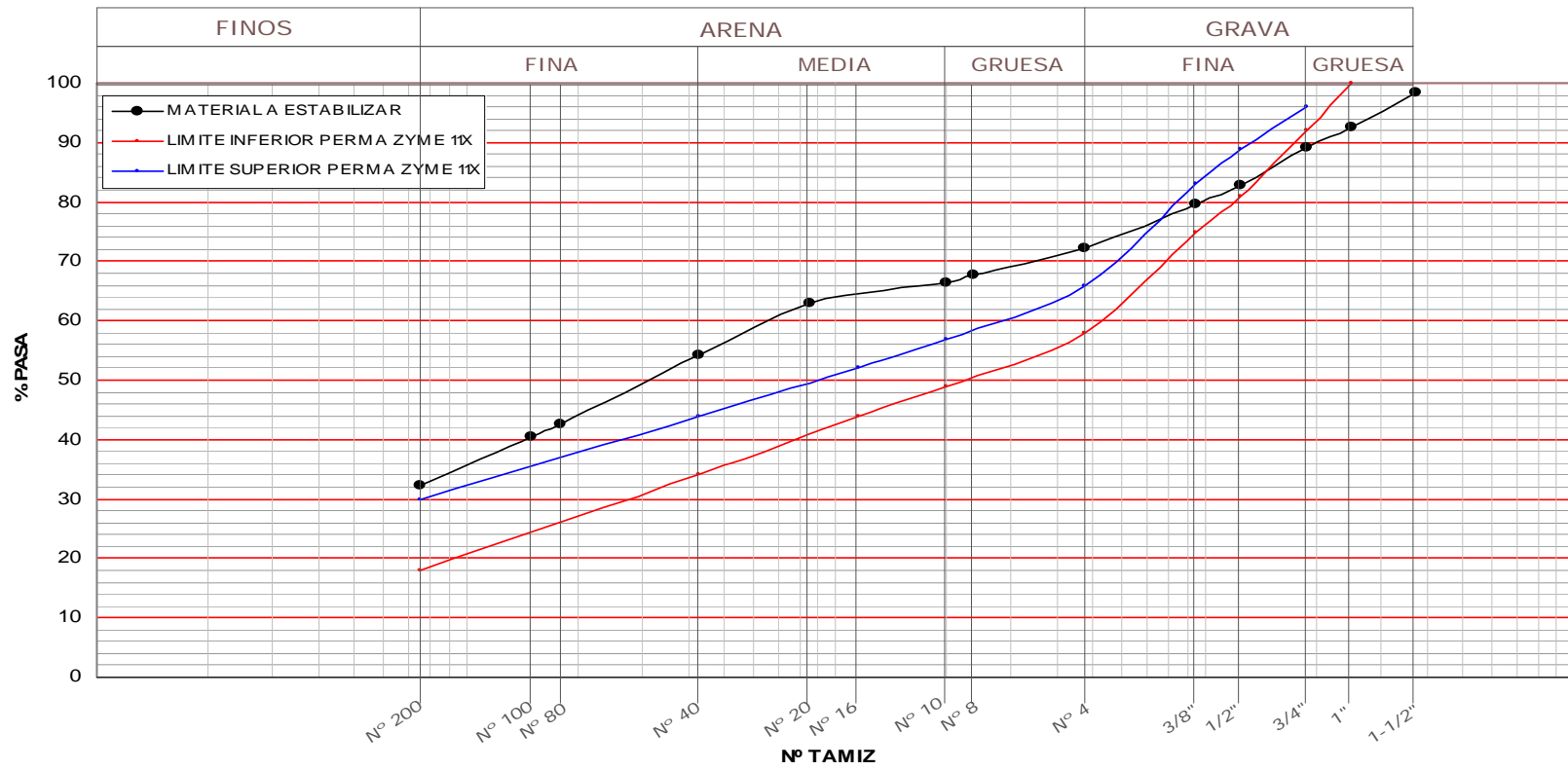


Figura 9. Análisis granulométrico por tamizado



#### 4.1.1.9 Clasificación del suelo sistema AASHTO

Tabla 13. Características del material de acuerdo a la granulometría

Limite liquido	31.60
Limite Plástico	20.09%
Índice de Plasticidad	11.51%
% que Pasa Tamiz No 200	31.53%

Tabla 14. Clasificación sistema AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% ó menos del total pasa tamiz 200)						Materiales limo arcillosos ( mas del 35% pasa tamiz 200)			
	A-1	A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de Grupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/ A-7-6
% de material que pasa el tamiz.										
No 10	50 máx.									
No 40	30 máx.- 50max	51max								
No 200	15max- 25max	10max	35max	35max	35max	35max	36min	36min	36min	36min
Características de la fracción que pasa el tamiz No 40										
Limite Liquido	6 máx.									
Índice de Plástico IP		Np	40max x 10max	41min	40max 11min	41min 11min	40max 10max	41min	40max 11min	41min 11min

Podemos ver claramente que  $IP = 11.51 > 10$  por consiguiente, el valor  $IP >$  el mínimo de 11 controla, como el 31.565 pasa a través del tamiz 200, el suelo pertenece al grupo A, cuyo sub.-grupo debe ser determinado a partir de IP y LL

- $LL = 31.60 < 40$   
 $IP = 11.51 > 11$

De aquí podemos ver según la tabla, que el primer suelo que satisface dicho criterio es el A-2-6. Se determina el índice de IG, el cual no debe ser superior a 4 para ningún suelo A2, para lo siguiente se utilizó la siguiente ecuación.

$$GI = 0.2a + 0.05ac + 0.01bd$$

$a = 0$  pues menos del 35% del material pasa a través del tamiz N°200

$$b = 31.60 - 15.0 = 16.53$$

$c = 0$ , ya que LL es  $< 40$

Reemplazando estos valores en la ecuación tenemos.

$$IG = 0.2(0) + 0.005(0) * (16.53) + 0.01(16.53)(11.51) = 2.08$$

El valor resultante de la ecuación se redondea al entero más cercano  $IG = 2.0$  y vemos que la clasificación del suelo en estudio es a-2-6(2), que es un material granular, con arcilla limosa y arena color oscuro con trazados de grava.

#### **4.1.1.10 Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V.E - 142**

Este ensayo tiene como objeto determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado, con un martillo de 4.54 Kg (10 lb.) que cae desde una altura de 457 mm (18"). El método utilizado para este ensayo fue método C el cual consta de un molde de diámetro 102 mm (4"), un juego de tamices de 2",  $\frac{3}{4}$ " y No 4, descartando el material retenido en el tamiz No 2 y pesando el material retenido en el tamiz No  $\frac{3}{4}$ " para hacer un reemplazo en peso de material que pasaba  $\frac{3}{4}$  y queda retenido en el tamiz No 4.

Como el material utilizado presentaba un contenido de humedad inicial, se hizo necesario secar la muestra a temperatura ambiente, después de tener la muestra seca se procedió al desarrollo del ensayo, donde se tomo una cantidad material aproximado de 5000g.

Después de haber tomado la muestra de 5000g se procede a adicionar el contenido de agua para determinar el primer punto de la grafica. Luego se mezcla bien el material con el fin de que quede homogéneo, al tener el material totalmente mezclado se procede a hacer la muestra con cinco capas distribuidas uniformemente y compactadas con 25 golpes cada una,

al final de cada capa se escarifica la superficie con el fin de que la capa siguiente se adhiera, al haber terminado las cinco capas se enraza la muestra para que quede totalmente igual y poder pesar la muestra con el cilindro, al pesar la muestra se extrae del cilindro una muestra representativa de material no menor de 500g y se introducen al horno por un tiempo 24 horas y luego se pesan con el fin de determinar la humedad.

Al terminar de compactar, enrazar, y pesar la primera muestra se extrae, se vuelve a pesar 5000g de material y se le adicionan dos puntos de humedad, este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra se disminuya repitiendo los mismos pasos para las siguiente 6 muestras. Para la determinación de la humedad optima del suelo en estudio se prepararon 6 muestras en la cual se iba variando su humedad dos puntos por encima de la anterior hasta que el peso disminuía, se utilizaron los siguientes datos.

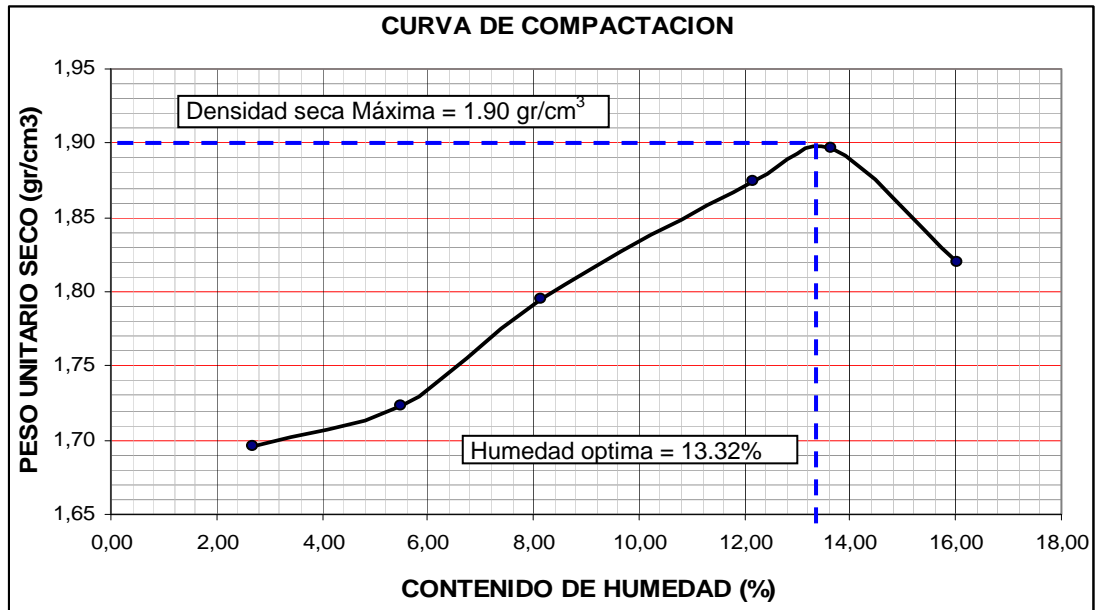
**Tabla 15.** Determinación de la humedad optima suelo natural - Anexo 7

<b>Prueba</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Nº golpes</b>	25	25	25	25	25	25
<b>Nº capas</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Contenido de humedad (%)</b>	2,68	5,49	8,15	12,15	13,65	16,03
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,70	1,72	1,80	1,87	1,90	1,82

Con los datos obtenidos de las densidades y humedades en las 6 muestras ensayadas se procede hacer una grafica de humedad vs densidad, en

donde al interpretar los picos de la curva nos da la humedad optima y la densidad de compactación optima.

**Grafica 3.** Curva de humedad vs. Densidad – Anexo 7



De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la grafica de compactación fueron los siguientes:

- Densidad seca máxima 1.90 Kg./cm<sup>3</sup>
- Contenido de humedad Optima 13.32%

**Figura 10.** Proctor modificado material natural



#### **4.1.1.11 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V. E - 148**

Este ensayo tiene por objeto la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). Este ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad óptimas; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del

terreno, donde el índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

Para la realización de este ensayo se tuvo en cuenta que la muestra a emplear pasa por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ ", el retenido en dicho tamiz se descarta y se reemplazaba en peso por material que pasaba por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " y quedaba retenido en el tamiz N° 4. Seguidamente se tomaron tres muestras representativas cada una de 6000 gr, donde se les adicionaba 13.32% de agua según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V. E – 142. Después se mezclaba hasta que el material quedara humedecido homogéneamente, luego se procedía a la compactación de la muestra en un molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm  $\pm$  0.66 mm (6  $\pm$ 0.026") de diámetro interior y de 177,8  $\pm$  0.66 mm ( 7  $\pm$  0.026") de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor. Además se insertaba un disco espaciador, circular de metal, de 150.8 mm de diámetro y de 50.8 mm (2") de espesor, como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

Se procedía a la preparación de las probetas, cada una correspondiente a 5 capas iguales (12,26 y 55 golpes) compactadas con un martillo de 4.54 Kg. (10 lb.) a una altura de 457 mm (18").

Posteriormente se penetraban las probetas en la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de penetración y esfuerzo. Consecutivamente se sumergían en un tanque de agua durante 3 días, con una sobrecarga metálica, una anular y la restante ranurada, con peso de 2,27 Kg. (5 lb.) cada una; tomándose lecturas de expansión.

Finalmente se lleva acabo la penetración de las probetas; se aplica una sobrecarga que sea suficiente para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm$  2.27 Kg. de aproximación) pero no menor de 4.54 Kg. (10 lb.), obteniendo lecturas de penetración y esfuerzo. Se desmonta el molde y se toma de su parte superior en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

**Tabla 16.** Ensayo CBR suelo en estado natural - Anexo 8

<b>Nº golpes</b>	12	26	55
<b>Expansión (%)</b>	0,36	0,52	0,5
<b>CBR (sin inmersión)</b>	19,62	26,67	49,00
<b>Peso unitario húmedo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,9	2	2,1
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,0	2,1	2,2
<b>Humedad (%)</b>	12,45	12,45	13,33
<b>CBR (sumergido)</b>	7.36	18.26	24.56
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,67	1,8	1,9
<b>Humedad (%)</b>	17,28	16,06	14,13

**Figura 11.** Ensayo de CBR (capacidad portante) material natural



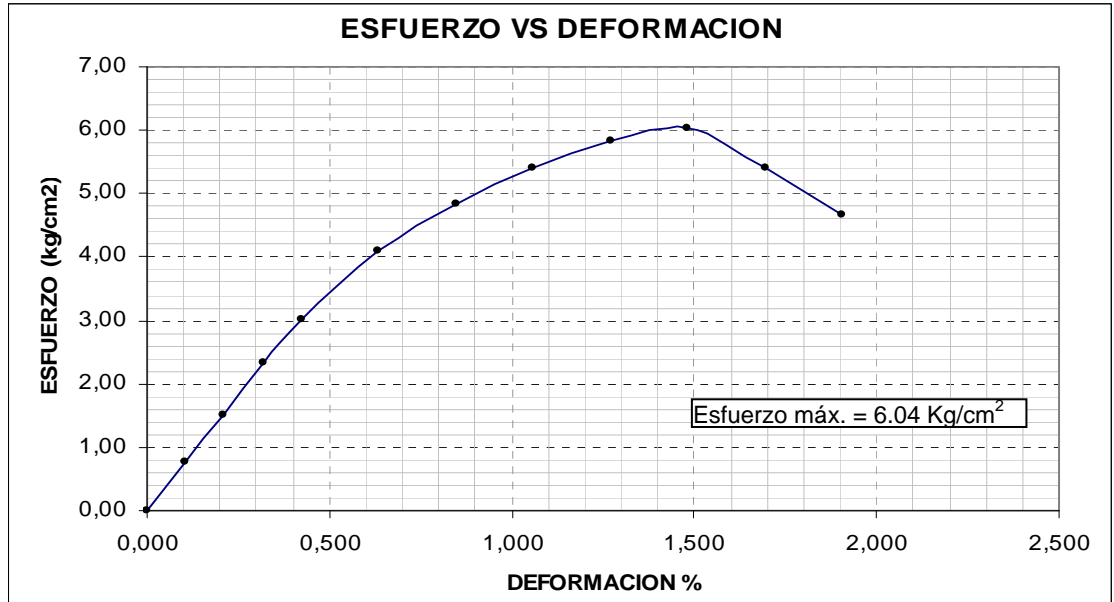
#### 4.1.1.12 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo natural I.N.V.E – 809

Este ensayo tiene por objeto la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo a los 7 días. Para la ejecución de este ensayo se tuvo en cuenta el método B, el cual trabaja con una relación de diámetro: altura 1:2, de esta forma se prepararon las muestra de suelo agrego la cantidad optima de agua, según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V. E – 142; luego se homogenizo la mezcla, y se procedió al moldeo de las probetas, e llevándolas durante 7 días a curado húmedo; al final de este período de curado, se sumergen por 4 horas en agua, finalmente se llevaron a la prensa de ensayos de compresión para obtener estos valores de deformación y esfuerzo.

**Tabla 17.** Resistencia a la compresión inconfínada de probetas material natural - Anexo 9

Anillo	Carga (Kg)	Deformación $10^{-3}$ pulg.	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Kg./cm <sup>2</sup> )
0,00	0,0	0,0	0,00	23,76	0,00
3,30	18,3	5,0	0,11	23,78	0,77
6,40	35,6	10,0	0,21	23,81	1,49
10,00	55,6	15,0	0,32	23,83	2,33
12,90	71,7	20,0	0,42	23,86	3,01
17,60	97,9	30,0	0,64	23,91	4,09
20,80	115,6	40,0	0,85	23,96	4,83
23,40	130,1	50,0	1,06	24,01	5,42
25,30	140,7	60,0	1,27	24,06	5,85
26,20	145,7	70,0	1,48	24,12	6,04
23,50	130,7	80,0	1,69	24,17	5,41
20,30	112,9	90,0	1,91	24,22	4,66

**Grafica 4.** Determinación del esfuerzo máximo material natural- Anexo 9



**Figura 12.** Ensayo de compresión inconfiada Material Natural



## **4.1.2 Ensayos realizados para la muestra estabilizada con el multienzemático perma zyme 11X**

### **4.1.2.1 Ensayo de Azul de Metileno. AFNOR P18-592**

El objetivo de este ensayo es describir el método de la mancha donde se determina el valor de azul, de los finos contenidos en una arena o una grava. Para el ensayo se tomó una cantidad de material que pasa por el tamiz No 10, esta cantidad depende de la humedad inicial del material, se lava este material por el Tamiz No 200 en un beaker de 2L, con una cantidad de 500mL de agua mezclada con perma zyme 11x a una dosificación de 2.4ml por cada litro de agua, esta dosificación según el manual técnico de perma zyme 11x , el material que queda retenido se coloca en un recipiente y se deja secar en un horno a temperatura constante por un día para determinar su peso. El material lavado se le adiciona 30g de caolinita, este material es agitado con un equipo magnético durante 5 minutos y seguidamente se agrega una cantidad de azul de metileno hasta que se forme una aureola azul brillante, se pesa el recipiente con el material y se anota la cantidad de azul en milímetros agregada, el ensayo en el material natural se hizo dos veces por tal razón los valores obtenidos se promediaron, en ese momento se da por concluido el ensayo.

**Tabla 18.** Valores de azul de metileno para material con perma zyme 11x - Anexo 10

Índice de azul de metileno (g/100g)	1,35	1,32
<b>PROMEDIO (g/100g)</b>	<b>1.34</b>	

**Figura 13.** Valor de azul material con perma zyme 11X



#### **4.1.2.2 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133**

Este se hace de la misma forma como se hizo con el material natural la diferencia radica en que en lugar de humedecer el material con agua se hace con la mezcla de perma zyme 11x. El objeto del ensayo básicamente es el mismo, determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Se preparo una muestra de suelo, y se alisto al menos 1500g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Se separaron por cuarteo 1500g de muestra adecuada para cuatro especimenes; estas muestras se prepararon en sus respectivas probetas, con una solución normalizada de cloruro de

calcio( $\text{CaCl}_2$ ) cuyo objeto es dispersar las partículas del suelo, después de este tiempo se agitaron manualmente 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, usando un movimiento de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ " ). Un ciclo está definido como movimiento completo hacia adelante y hacia atrás, después de agitarlos se dejó reposar el conjunto, formándose rápidamente un depósito sólido en el fondo. Al cabo de un tiempo, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

**Tabla 19.** Determinación del equivalente de arena del suelo con perma zyme 11 - Anexo 11

Nº pesos	Peso (gr)	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena
1	107	34,4	3,9	<b>11,34</b>
2	107	35,8	4,0	<b>11,17</b>
3	107	35,1	4,2	<b>11,97</b>
Promedio	107			
Promedio			Equivalente De Arena %	11,49
			<b>Equivalente de arena %</b>	<b>12,00</b>

**Figura 14.** Equivalente de arena perma zyme



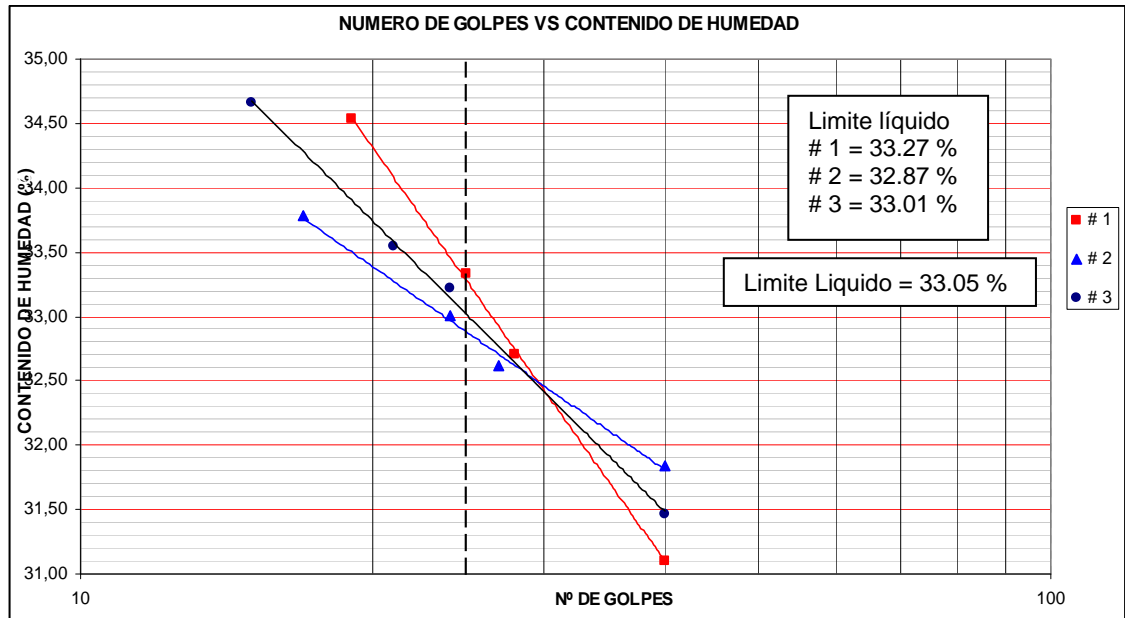
#### 4.1.2.3 Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V.E – 125

En este ensayo el procedimiento seguido fue el mismo utilizado para el material natural, la diferencia radica en que se le adiciona perma zyme 11x al material con una dosificación de 2.6ml por cada litro de agua, el objetivo este ensayo es determinar el límite líquido de un suelo que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno. Para la realización de este ensayo se tomaron 100 gr para cada una de las muestras ensayadas, en este caso el ensayo se hizo tres veces y se promedió el valor de los tres ensayos. El material seleccionado de suelo fue aquel que paso el tamiz No 40, se amaso con agua y se coloco en la casuela de casa grande, formando en el centro una ranura de dimensiones especificas el cual tenia que cerrarse a una cantidad de golpes, arrojando un limite liquido promedio a los 25 golpes de 33.05 %.

**Tabla 20.** Determinación de los límites líquidos del suelo con Perma Zyme 11X - Anexo 12

Recipiente Nº	Peso del recipiente (GR)	Nº Golpes	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %	
1	68	6,11	40	11,21	10,00	31,11
	65	6,43	28	12,76	11,20	32,70
	9	6,48	25	11,44	10,20	33,33
	16	6,92	19	12,14	10,80	34,54
2	12	6,54	40	10,97	9,90	31,85
	27	6,85	27	11,16	10,10	32,62
	30	6,38	24	22,50	18,50	33,00
	31	6,88	17	15,87	13,60	33,78
3	28	6,8	40	18,50	15,70	31,46
	54	6,71	24	18,42	15,50	33,22
	57	6,69	21	18,99	15,90	33,55
	49	6,58	15	19,40	16,10	34,66

**Grafica 5.** Determinación de los límites líquidos del suelo con Perma Zyme – Anexo No 12



#### 4.1.2.4 Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad. I.N.V.E -126

El objeto de este ensayo es determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo.

Se tomo 100g de muestra de suelo que paso por el tamiz No 4, el ensayo se hizo tres veces y los resultados obtenidos se promediaron, el material utilizado en cada ensayo se amazo con agua potable mezclada con la dosificación de perma zyme 11x, luego se tomo una porción de 6g la cual se rodaron entre las palmas de las manos formando un cilindro, el suelo esta en limite plástico si el desmoronamiento ocurre cuando el cilindro

alcanza 3mm de diámetro. Dando como resultado un valor promedio de limite plástico de 21.33% y un Índice de plasticidad de 11.38%.

**Tabla 21.** Determinación del límite plástico e IP material perma zyme 11x - Anexo 12

Recipiente Nº		Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	88	6,67	14,78	12,20	23.17
	78	6,7	15,20	12,50	21,60
2	77	6,61	14,93	12,30	21,38
3	84	6,69	17,35	14,30	20.07
	20	6,53	15,51	12,80	23.13

<b>Limite plástico</b>	<b>21,67</b>
<b>Índice de plasticidad</b>	<b>11,38</b>

#### **4.1.2.5 Relaciones De Peso Unitario-Humedad en los Suelos Equipo Modificado I N.V.E 142**

Este ensayo tiene como objeto determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4.54 Kg. (10 lb.) que cae desde una altura de 457 mm (18"). El método utilizado para este ensayo fue Método C la cual consta de un molde de diámetro 102 mm (4"), un juego de tamices de 2", ¾" y No 4, descartando el material retenido en el tamiz No 2 y pesando el material retenido en el tamiz No ¾" para hacer un reemplazo en peso de material que pasaba ¾" y queda retenido en el tamiz No 4.

Como el material utilizado presentaba un contenido de humedad inicial se hizo necesario secar la muestra a temperatura ambiente, después de tener la muestra seca se procedió al desarrollo del ensayo, donde se tomo una cantidad material aproximado de 5000g.

Después de haber tomado la muestra de 5000g se procede a adicionar el contenido de agua con la mezcla de perma zyme 11x, que es un compuesto multienzimático el cual es disuelto en agua a una proporción según el manual técnico de perma zyme 11x, el cual dice que por cada 26 ml del producto se deben adicionar 20 litros de agua, la preparación que se hizo en el laboratorio fue de 2 litros de agua por cada 2.6 ml de perma zyme 11x, ya listo el estabilizante se media la cantidad necesaria en una probeta para adicionarle la cantidad de agua teniendo en cuenta que la humedad debería estar dos o cuatro puntos por debajo de la humedad optima natural y que a partir del primer punto se empezaría a subir de dos en dos hasta que el peso del espécimen empezara a disminuir, luego se mezcla bien el material con el fin de que quede homogéneo, al tener el material totalmente mezclado se procede a hacer la muestra con cinco capas distribuidas uniformemente y compactadas con 25 golpes cada una, al final de cada capa se escarifica la superficie con el fin de que la capa siguiente se adhiera, al haber terminado las cinco capas se enraza la muestra para que quede totalmente igual y poder pesar la muestra con el

cilindro, al pesar la muestra se extrae del cilindro una muestra representativa de material no menor de 500g y se introducen al horno por un tiempo 24 horas y luego se pesan con el fin de determinar la humedad.

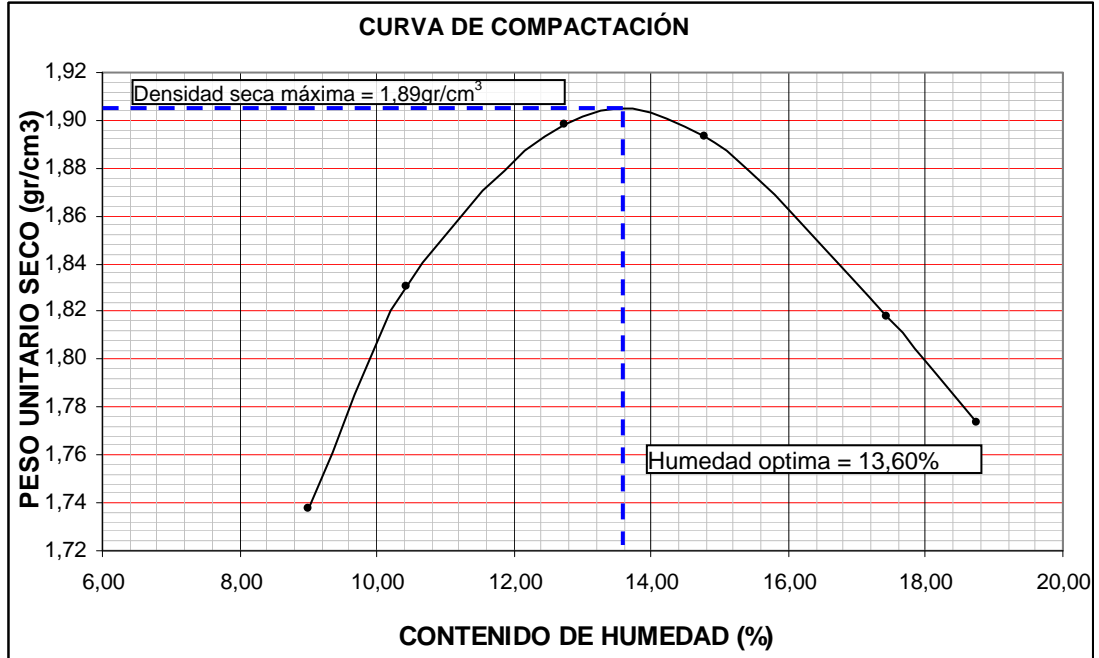
Al terminar de compactar, enrazar, y pesar la primera muestra se extrae, se vuelve a pesar 5000g de material y se le adicionan dos puntos a la humedad anterior, este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra se disminuya repitiendo los mismos pasos para las siguientes 7 muestras. Para la determinación de la humedad óptima del suelo en estudio se prepararon 7 especímenes en la cual se iba variando su humedad dos puntos por encima de la anterior hasta que el peso disminuía, se utilizaron los siguientes datos.

**Tabla 22.** Determinación de la humedad Óptima Perma Zyme 11X - Anexo 13

<b>Prueba</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Nº golpes</b>	25	25	25	25	25	25	25
<b>Nº capas</b>	5	5	5	5	5	5	5
<b>Contenido de humedad (%)</b>	6,86	9,01	10,43	12,72	14,77	17,43	18,75
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,66	1,74	1,83	1,90	1,89	1,82	1,77

Con los datos obtenidos de las densidades y humedades en las 7 muestras ensayadas se procede hacer una grafica de humedad vs. Densidad, en donde al interpretar los picos de la curva nos dará la humedad óptima y la densidad de compactación óptima.

**Grafica 6.** Curva de humedad vs Densidad Perma Zyme 11X - Anexo 13



De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la grafica de compactación fueron los siguientes:

- Densidad seca máxima 1,91 Kg./cm<sup>3</sup>
- Contenido de humedad Optima 13,60%

**Figura 15.** Proctor modificado material Natural con Perma Zyme 11X



#### **4.1.2.6 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V. E - 148**

Para la realización de este ensayo se siguió el mismo procedimiento descrito en el ensayo de CBR para el suelo en estado natural, a diferencia que este lleva un compuesto multienzimático el cual es disuelto en agua a una proporción según el manual técnico de perma zyme 11x, el cual dice de 26 ml por cada 20 litros, preparamos 2 litros de agua y se le adicionaba 2.6ml de perma zyme 11x, ya listo el estabilizante se media la cantidad necesaria en una probeta

para obtener la humedad óptima según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V. E – 142, de esta forma se procedía a realizar la mezcla hasta que el material quedara humedecido homogéneamente, luego se dejaba en curado en una bolsa sellada durante 24 horas, con la mezcla de material de perma zyme 11x ;se elaboraron las probetas de acuerdo al procedimiento que se tuvo para el material en estado natural ,después de elaborar las probetas se les aplicaba en cada una de ellas las precargas durante 72 horas para su curado, colocándolas en un lugar fresco donde no se alterara las condiciones de humedad de las muestras; posteriormente se penetraban en la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de penetración y esfuerzo , posteriormente se llevan las probetas a saturación en agua durante 3 días con una sobrecarga metálica, una anular y la restante ranurada, con peso de 2,27 Kg. (5 lb.) cada una; tomándose lecturas de expansión.

Finalmente se lleva acabo la penetración de las probetas; como el perma zyme 11x es un producto multienzemático se debe tener en cuenta que los primeros 5 milímetros del material se reactivan, por lo tanto no son validos, y se debe penetrar a esta profundidad para así empezar tomar lecturas; además se aplica una sobrecarga que sea lo suficiente para producir una

intensidad de carga igual al peso del pavimento (con  $\pm$  2.27 Kg. de aproximación) pero no menor de 4.54 Kg. (10 lb.), obteniendo lecturas de penetración y esfuerzo. Se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

**Tabla 23.** Ensayo CBR Para Especímenes de Perma Zyme 11x - Anexo 14

<b>Nº golpes</b>	12	26	55
<b>Expansión (%)</b>	0,56	0,50	0,60
<b>CBR (sin inmersión)</b>	19,07	31,33	65,39
<b>Peso unitario húmedo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,9	2,0	2,0
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,0	2,1	2,1
<b>Humedad (%)</b>	13,37	13,27	13,27
<b>CBR (sumergido)</b>	8,17	26,15	50,13
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,7	1,8	1,8
<b>Humedad (%)</b>	16,93	14,86	14,49

**Figura 16.** Ensayo de CBR para suelos con Perma Zyme 11x





#### **4.1.2.7 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo y multienzemático. I.N.V.E - 809**

Esta prueba tiene por objeto la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo a los 7 días.

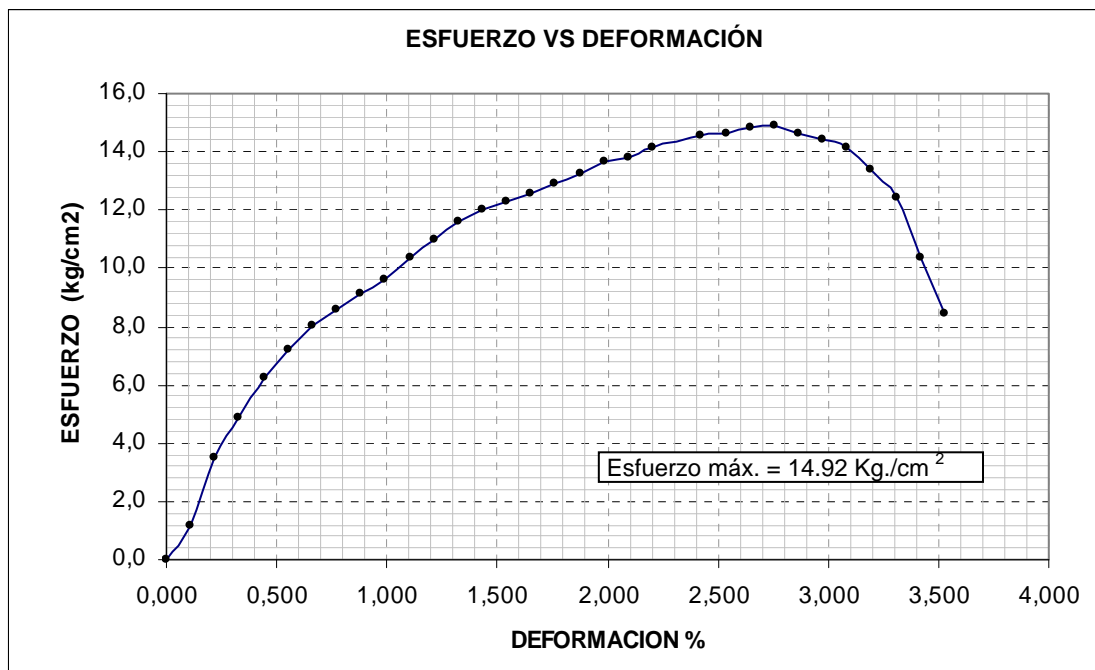
Para la elaboración de este ensayo se tuvo en cuenta el método B, el cual trabaja con una relación de diámetro: altura 1:2, de esta forma se prepararon las muestras de suelo con el multienzemático perma zyme 11x agregando la cantidad óptima según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V.E – 142, luego se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea, posteriormente se dejó en curado durante 24 horas, luego se procedió al moldeo de las probetas, se llevaron durante 7 días a

curado húmedo; luego se sumergieron por 4 horas dichas probetas en agua, finalmente se llevaron a la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de deformación y esfuerzo.

**Tabla 24.** Resistencia a la compresión inconfiada de probetas (1) - Anexo 15

Anillo	Carga (Kg)	Deformación $10^{-3}$ pulg.	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
70,8	393,6	90,00	1,98	28,85	13,65
71,6	398,1	95,00	2,09	28,88	13,79
73,7	409,8	100,00	2,20	28,91	14,17
75,8	421,4	110,00	2,43	28,98	14,54
76,2	423,7	115,00	2,54	29,01	14,60
77,5	430,9	120,00	2,65	29,04	14,84
78	433,7	125,00	2,76	29,07	<b>14,92</b>
76,5	425,3	130,00	2,87	29,11	14,61
75,6	420,3	135,00	2,98	29,14	14,42
74,1	412,0	140,00	3,09	29,17	14,12
70,4	391,4	145,00	3,20	29,21	13,40
65,5	364,2	150,00	3,31	29,24	12,45
54,5	303,0	155,00	3,42	29,27	10,35
44,5	247,4	160,00	3,53	29,31	8,44

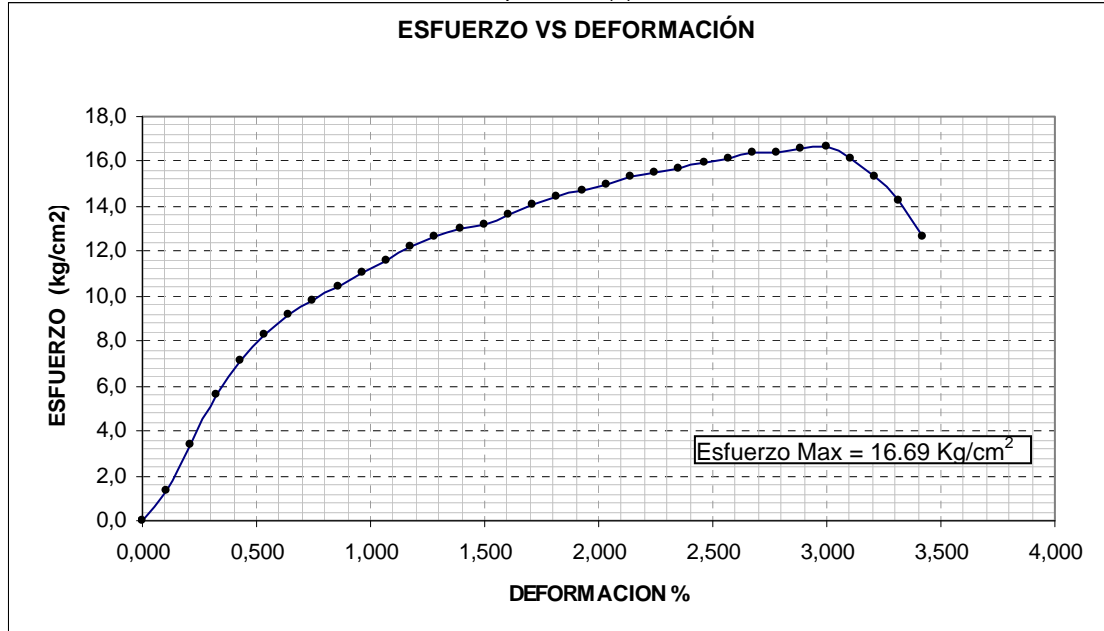
**Grafica 7.** Determinación del esfuerzo máximo probetas (1) perma zyme - Anexo 15



**Tabla 25.** Resistencia a la compresión inconfiada de probetas Perma Zyme (2) - Anexo 15

Anillo	Carga (Kg.)	Deformación 10-3 pulg.	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Kg./cm <sup>2</sup> )
66,5	369,7	90,00	1,93	25,20	14,67
68,0	378,1	95,00	2,03	25,23	14,99
69,7	387,5	100,00	2,14	25,26	15,34
70,5	392,0	105,00	2,25	25,29	15,50
71,5	397,5	110,00	2,35	25,31	15,70
72,5	403,1	115,00	2,46	25,34	15,91
73,5	408,7	120,00	2,57	25,37	16,11
75,0	417,0	125,00	2,67	25,40	16,42
75,1	417,6	130,00	2,78	25,42	16,42
76,0	422,6	135,00	2,89	25,45	16,60
76,5	425,3	140,00	3,00	25,48	<b>16,69</b>
74,0	411,4	145,00	3,10	25,51	16,13
70,2	390,3	150,00	3,21	25,54	15,28
65,5	364,2	155,00	3,32	25,57	14,24
58,4	324,7	160,00	3,42	25,59	12,69

**Grafica 8.** Determinación del esfuerzo máximo probetas (2) - Anexo 15



### 4.1.3 Ensayos realizados para la muestra estabilizada con Cemento Pórtland Tipo 1 del 6%

#### 4.1.3.1 Ensayo de Azul de Metileno AFNOR P18-592

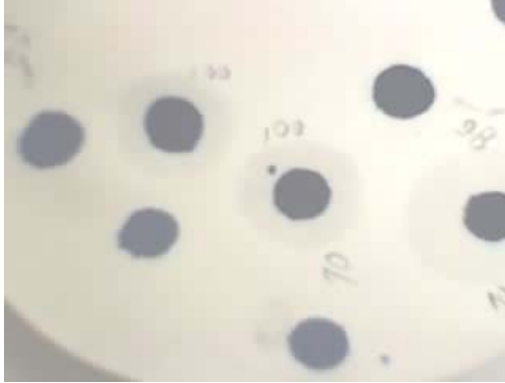
Este ensayo se hace de la misma forma en que se realizó el ensayo de material natural, la única diferencia radica en que el material utilizado para el ensayo se le adiciona el 6% de cemento en peso y el objeto sigue siendo el de describir el método de la mancha donde se determina el valor de azul para material mezclado con cemento de los finos contenidos en una arena o una grava. Para el ensayo se tomó una cantidad de material que pasa por el tamiz No 10, esta cantidad depende de la humedad inicial del material,

se lava este material por el Tamiz No 200 en un beaker de 2L, con una cantidad de 500mL de agua, el material que queda retenido se coloca en un recipiente y se deja secar en un horno a temperatura constante por un día para determinar su peso. El material lavado se le adiciona 30g de caolinita, este material es agitado con un equipo magnético durante 5 minutos y seguidamente se agrega una cantidad de azul de metileno hasta que se forme una aureola azul brillante, se pesa el recipiente con el material y se anota la cantidad de azul en milímetros agregada, el ensayo en el material natural se hizo dos veces por tal razón los valores obtenidos se promediaron, en ese momento se da por concluido el ensayo.

**Tabla 26.** Valores de azul de metileno para material con el 6% cemento - Anexo 16

Índice de azul de metileno (g/100g)	1,16	1,18
<b>PROMEDIO (g/100g)</b>	<b>1.17</b>	

**Figura 17.** Valor de azul material con 6% de Cemento



#### **4.1.3.2 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133**

Este se hace de la misma forma como se hizo con el material natural la diferencia radica en que al material seleccionado se le adiciona el 6% de cemento en peso, el objeto del ensayo básicamente es el mismo, determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Se preparo una muestra de suelo, y se alisto al menos 1500g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Se separaron por cuarteo 1500g de muestra adecuada para cuatro especimenes; estas muestras se prepararon en sus respectivas probetas, con una solución normalizada de cloruro de calcio( $\text{CaCl}_2$ ) cuyo objeto es dispersar las partículas del suelo, después de este tiempo se agitaron manualmente 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, usando un movimiento de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ "). Un ciclo está definido como movimiento completo hacia adelante y hacia atrás, después de agitarlos se

dejo reposar el conjunto, formándose rápidamente un depósito sólido en el fondo. Al cabo de un tiempo, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

**Tabla 27.** Determinación del equivalente de arena del suelo con cemento 6%.- Anexo 17

Nº pesos	Peso (gr)	Lectura de arcilla	Lectura de arena	Equivalente de arena
1	105	33,5	3,6	<b>10,75</b>
2	105	32,9	3,8	<b>11,55</b>
3	105	33,6	3,4	<b>10,12</b>
Promedio	105			
Promedio			Equivalente De Arena %	10,81
			<b>Equivalente de arena %</b>	<b>11,00</b>

#### **4.1.3.3 Determinación del límite líquido de los suelos. I.N.V.E - 125**

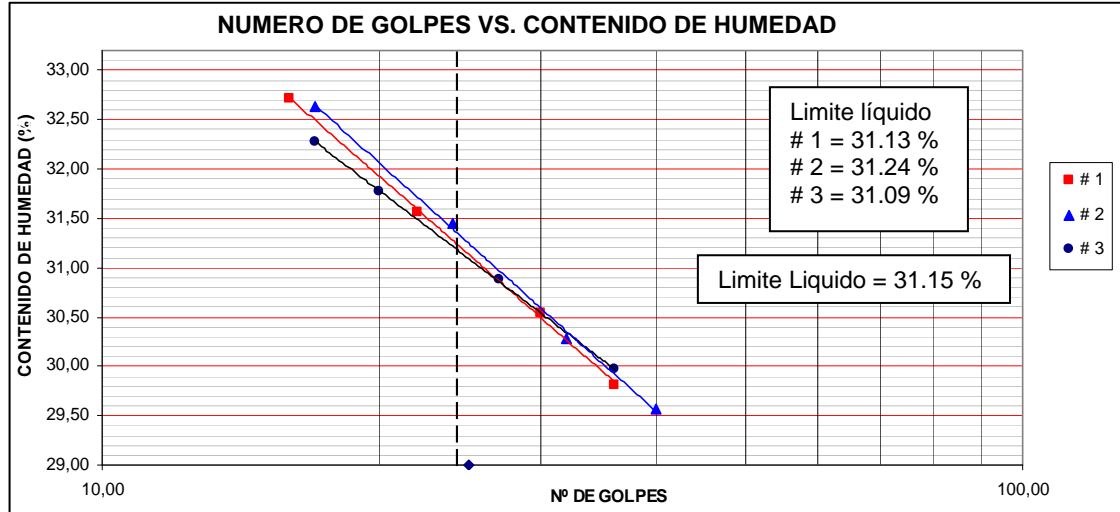
En este ensayo el procedimiento seguido fue el mismo utilizado para el material natural, diferencia radica en que al material seleccionado se le adiciona el 6% de cemento en peso, el objetivo este ensayo es determinar el límite líquido de un suelo mezclado con el 6% de cemento que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno. Para la realización de este ensayo se tomaron 100 gr para cada una de las muestras ensayadas, en este caso el ensayo se hizo tres veces y se promedió el valor de los tres ensayos. El material seleccionado de suelo fue aquel que paso el tamiz No 40, se amaso con agua y se coloco en la

casuela de casa grande, formando en el centro una ranura de dimensiones específicas el cual tenía que cerrarse a una cantidad de golpes, arrojando un límite líquido promedio a los 25 golpes de 31.15 %.

**Tabla 28.** Determinación de los límites líquidos del suelo con el 6% de Cemento - Anexo 18

Recipiente Nº	Peso del recipiente (gr)	Nº Golpes	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	85	36	15,99	13,70	29,82
	64	30	11,70	10,50	30,53
	6	22	11,45	10,20	31,57
	86	16	13,50	11,90	32,72
2	80	40	12,81	11,40	29,56
	23	32	11,36	10,30	30,29
	60	24	20,18	17,00	31,45
	4	17	20,80	17,20	32,64
3	3	36	18,63	15,90	29,97
	33	27	22,59	18,70	30,87
	55	20	21,63	17,90	31,77
	78	17	23,98	19,80	32,28

**Grafica 9.** Determinación de los límites líquidos del suelo con 6% Cemento – Anexo 18



#### 4.1.3.4 Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad. I.N.V.E -126

El objeto de este ensayo es determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo, al material seleccionado para este ensayo se le adiciono el 6% de cemento en peso.

Se tomo 100g de muestra de suelo que paso por el tamiz No 4, se le adiciono el 6% de cemento el ensayo se hizo tres veces y los resultados obtenidos se promediaron, el material utilizado en cada ensayo se amazo con agua potable, luego se tomo una porción de 6g la cual se rodaron entre las palmas de las manos formando un cilindro, el suelo esta en limite plástico si el desmoronamiento ocurre cuando el cilindro alcanza 3mm de

diámetro. Dando como resultado un valor promedio de límite plástico de 20.22% y un Índice de plasticidad de 10.93%.

**Tabla 29.** Determinación del límite plástico e índice de plasticidad material 6% Cemento - Anexo 18

Recipiente N°		Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	35	6,66	15,52	13,00	19,38
	32	6,51	14,94	12,50	19,52
2	36	6,8	15,00	12,30	21,95
	43	6,97	15,45	12,90	19,77
3	82	6,77	14,41	12,00	20,08
	79	6,36	13,51	11,20	20,63

Límite plástico	20,22%
Índice de plasticidad	10,93%

#### **4.1.3.5 Relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento I.N.V.E-806**

Este ensayo permite determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo-cemento cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.

Para la compactación de mezclas de suelo cemento se emplean los mismos elementos utilizados para el proctor modificado, es decir el mismo molde, el mismo martillo, y el procedimiento básicamente es el mismo.

El método utilizado para este ensayo fue el método B, debido a que la muestra utilizada pasaba el tamiz  $\frac{3}{4}$ " y parte de la misma quedaba retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4).

Se pesaron 7500g de material y después se agregó un contenido de cemento de 360gr es decir el 6% del peso total de la muestra al contenido de la muestra de suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), se mezcló completamente hasta llegar a un color uniforme. Después de esta preparación se adicionó el agregado saturado con superficie seca a la mezcla de suelo cemento y se mezcló completamente, luego se le adicionó el contenido de agua necesaria de acuerdo a la humedad. Para este ensayo se tuvo en cuenta la humedad resultante del proctor modificado para el material en estado natural, esta humedad dio un valor de 13.32%; inicialmente se le agregó un contenido de agua, 4 puntos por debajo de la humedad óptima del suelo natural y se fueron variando estos valores cada dos puntos hasta que el peso de la muestra compactada con suelo cemento se disminuyera, estas muestras se hicieron en cinco capas y compactadas con una energía de compactación de 25 golpes escarificándose entre capa y capa. Una vez terminadas las cinco capas se enraza la muestra se continúa con los mismos procedimientos del proctor modificado I.N.V.E 142.

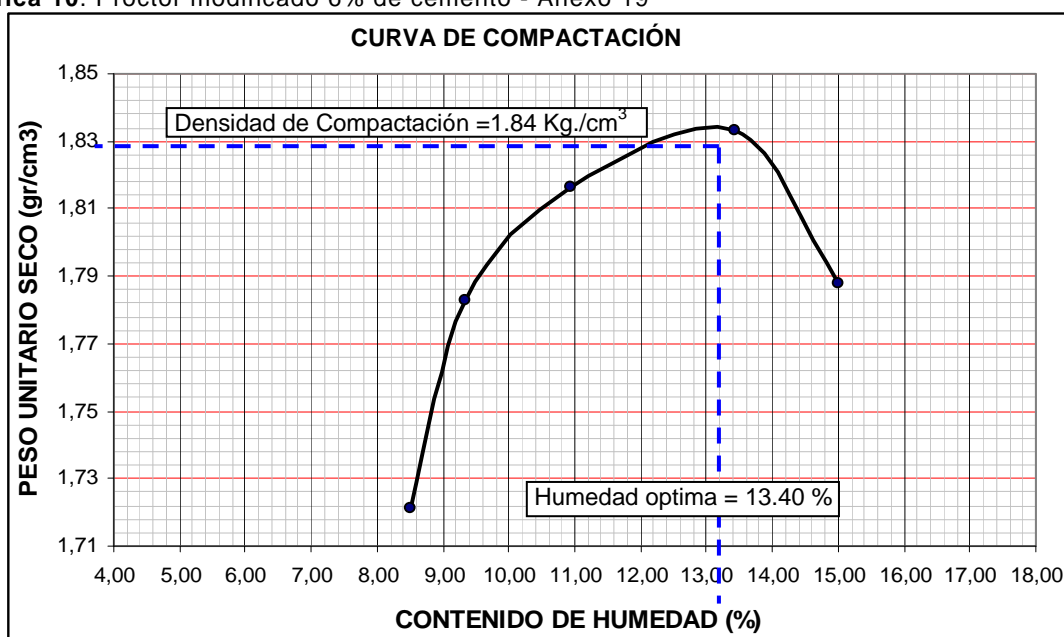
Para la determinación de la humedad y la energía de compactación óptimas para suelo cemento, se hicieron seis mezclas de suelo cemento utilizando los valores relacionados en la siguiente tabla.

**Tabla 30.** Determinación humedad Óptima. Contenido de cemento 6% - Anexo 19

Prueba	1	2	3	4	5	6
Nº golpes	25	25	25	25	25	25
Nº capas	5	5	5	5	5	5
Contenido de humedad (%)	8,50	9,35	10,95	13,42	15,00	13,32
Peso unitario seco ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,72	1,78	1,82	1,83	1,79	1,78

Con los datos obtenidos de las densidades y humedades en las 6 muestras ensayadas de mezclas de suelos cemento para el 6%, se procede hacer una grafica de humedad vs. Densidad, en donde al interpretar los picos de la curva da la humedad optima y la densidad de compactación optima de la mezcla de suelo cemento.

**Grafica 10.** Proctor modificado 6% de cemento - Anexo 19



De esta forma vemos que los resultados obtenidos a partir de la grafica de compactación fueron los siguientes:

- Densidad seca máxima 1.84 Kg./cm<sup>3</sup>
- Contenido de humedad Optima 13.40%

#### **4.1.3.6 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas con 6% I.N.V. E- 807**

Estos métodos de ensayo se refieren a procedimientos para determinar las pérdidas del suelo cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secado repetido de especímenes endurecidos de suelo cemento. Los especímenes son compactados en un molde, antes de la hidratación del cemento, hasta obtener un peso unitario máximo con el contenido óptimo de humedad. Empleando los procedimientos de compactación descritos en el ensayo para la determinación de las relaciones humedad peso unitario de mezclas de suelo cemento, Norma INV E-806 y normas establecidas por el IDU.

Una vez compactado el espécimen se pesa y se extrae del molde, se identifica el espécimen con un membrete metálico (u otro dispositivo adecuado) como No.1, este espécimen se emplea para obtener datos sobre cambios de humedad y de volumen durante el ensayo, una vez marcado el

espécimen No 1, se forma un segundo espécimen tan rápido como sea posible y se determina el porcentaje de humedad y el peso unitario secado al horno. Se Identifica este espécimen como el No.2, conjuntamente con otras marcas de identificación necesarias y se emplea para obtener datos sobre las pérdidas del suelo cemento durante el ensayo.

Una vez marcados y seleccionados los especimenes se determina el diámetro y la altura promedio del espécimen No. 1 y se calcula su volumen, luego se colocan las probetas en cámara húmeda durante un período de 7 días. Se peso y se midió el espécimen No.1, al final del periodo de almacenamiento se procedió a obtener datos para el cálculo de contenido de humedad y del volumen.

Después de los 7 días se sumergieron los especimenes en agua, a temperatura ambiente durante un período de 5 horas. Luego, se mide y se pesa el espécimen No.1 (cambio de volumen y humedad del espécimen), luego se coloca los especimenes en un horno a  $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $160 \pm 5^{\circ}\text{F}$ ) durante 42 horas. Completadas las 42 horas se vuelve a medir y a pesar el espécimen No 1 y se le dan dos pasadas en firme al espécimen No2 con un cepillo de acero para las perdidas de suelo cemento, sobre toda su área con el cepillo de alambre.

Los procedimientos descritos constituyen un ciclo (48 horas), es decir 5 horas en agua y 42 en el horno de humedecimiento y secado. Luego se sumergen de nuevo los especímenes en agua y se continúa el procedimiento durante 12 ciclos.

Para este ensayo se trabajaron muestras con contenidos de cemento del 6%, 7%; con estas muestras se pretende obtener unas pérdidas de cemento no superior al 10% con el fin de poder determinar el contenido óptimo de cemento y poder hacer ensayos de resistencia.

Para los cilindros de 6% del contenido de cemento, estas fueron las características.

- Peso de la muestra antes de la cámara húmeda 4226gr
- Diámetro de la muestra después de la cámara húmeda 15.28cm
- Altura de la muestra antes de la cámara húmeda 12.11
- Muestra representativa de suelo cemento no < a 500g 634g
- Peso de la muestra seca mas platón después de 12 horas 565g
- Peso del platón 38gr
- Contenido de humedad 13.09%

Una vez tomadas estas lecturas iniciales se procede a tomar las lecturas durante los ciclos de 48 horas de secado y humedecimiento.

**Tabla 31.** Lecturas especímenes suelo cemento 6% - Anexo 20

LECTURAS MEZCLA DE SUELO CEMENTO - 6%									
Probeta	Ciclos	Secado Al Horno				Cepillado	Humedecimiento		
		Fecha	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Peso (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)
1	Después De Curado		15,28	12,15	4185		15,29	12,16	4212
2			15,25	11,74	4165		15,22	11,77	4168
1	1	JUL. 09	15,25	11,76	3876		15,26	12,02	4311
2			15,20	11,72	3922	3749	15,22	11,7	4175
1	2	JUL. 11	15,28	12,01	3869		15,75	12,05	4321
2			15,24	11,78	3672	3611	15,26	11,67	4081
1	3	JUL. 13	15,25	11,96	3852		15,21	11,95	4264
2			15,20	11,7	3653	3594	15,2	11,6	3980
1	4	JUL. 16	15,24	11,85	3852		15,23	12,04	4271
2			15,19	11,69	3570	3494	15,19	11,75	4320
1	5	JUL. 18	15,21	12,01	3850		15,2	12,01	4239
2			15,10	11,60	3435	3368	15,1	11,54	3813
1	6	JUL. 23	15,26	12,00	3848		15,3	12,00	4309
2			15,07	11,66	3403	3366	14,79	11,5	3772
1	7	JUL. 25	15,22	11,78	3839		15,2	12	4289
2			15,01	11,42	3380	3304	14,65	11,35	3680
1	8	JUL. 27	15,25	11,97	3862		15,2	12,1	4300
2			15,06	11,58	3396	3352	15,1	11,17	4256
1	9	JUL. 30	15,24	11,92	3881		15,26	11,8	4312
2			15,08	11,24	3316	3307	14,82	10,87	3557
1	10	Ago. 01	15,20	12,07	3815		15,2	11,98	4261
2			14,93	11	3199	3150	14,55	10,69	3552
1	11	Ago. 03	15,21	11,98	3829		15,19	11,86	4275
2			14,75	10,56	3155	3098	14,42	10,6	3550
1	12	Ago. 06	15,18	11,9	3835		15,17	11,92	4263
2			14,72	10,5	3099	3055	14,22	10	3557

PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 1	<b>3469</b>
PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 2	<b>2955</b>

Una vez culminado el periodo de los 12 ciclos se dejan las muestras hasta peso constante donde podemos ver que el peso constante para cada una de las muestras se encuentra en la parte inferior de la tabla anterior.

**Tabla 32.** Variación de Volúmenes especímenes suelo cemento 6% - Anexo 20

<b>CALCULO DE LA DIFERENCIA ENTRE EL VOLUMEN DEL ESPECIMEN # 1 Y LOS VOLUMENES SUBSIGUIENTES</b>										
<b>Antes de sumergir</b>						<b>Después de sumergir</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Diam (cm)</b>	<b>Alt. (cm)</b>	<b>Vol. (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dif. con muestra # 1 (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>Diam (cm)</b>	<b>Alt. (cm)</b>	<b>Vol. (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dif. con la muestra # 1 (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>%</b>
Muestra antes	15,28	12,11	2220,6					2220,60		
<b>ANTES DE SUMERGIR</b>	15,28	12,15	2227,93	7,33	0,33	15,29	12,16	2232,69	12,09	0,54
	15,25	11,76	2147,96	72,64	3,27	15,26	12,02	2198,33	22,27	1,00
	15,28	12,01	2202,26	18,34	0,83	15,75	12,05	2347,62	127,02	5,72
	15,25	11,96	2184,49	36,11	1,63	15,21	11,95	2171,23	49,37	2,22
	15,24	11,85	2161,56	59,04	2,66	15,23	12,04	2193,34	27,26	1,23
	15,21	12,01	2182,13	38,47	1,73	15,20	12,01	2179,26	41,34	1,86
	15,26	12,00	2194,67	25,93	1,17	15,30	12,00	2206,19	14,41	0,65
	15,22	11,78	2143,16	77,44	3,49	15,2	12	2177,45	43,15	1,94
	15,25	11,97	2186,32	34,28	1,54	15,2	12,1	2195,59	25,01	1,13
	15,24	11,92	2174,33	46,27	2,08	15,26	11,8	2158,09	62,50	2,81
	15,20	12,07	2190,15	30,45	1,37	15,2	11,98	2173,82	46,78	2,11
	15,21	11,98	2176,68	43,92	1,98	15,19	11,86	2149,21	71,39	3,21
15,18	11,9	2153,62	66,98	3,02	15,17	11,92	2154,40	66,20	2,98	

En esta tabla notamos como va variando el volumen de las muestras de suelo cemento para las muestras No 1, esta variación se toma con respecto al volumen inicial y se expresa en porcentaje

**Tabla 33.** Calculo contenido de humedad y desgaste 6% cemento - Anexo 20

<b>CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL ESPECIMEN # 1 EN EL MOMENTO DEL MOLDEO Y LOS SUBSIGUIENTES</b>				
<b>Peso des. Sumergido (gr)</b>	<b>Peso secado al horno (gr)</b>	<b>% humedad respecto peso seco al horno</b>	<b>Diferencia humedad muestra inicial</b>	<b>% humedad muestra inicial y subsiguiente</b>
4311	3876	11,22	1,87	85,7
4321	3869	11,68	1,41	89,2
4264	3852	10,70	2,40	81,7
4271	3852	10,88	2,22	83,1
4239	3850	10,10	2,99	77,2
4309	3848	11,98	1,11	91,5
4289	3839	11,72	1,37	89,5
4300	3862	11,34	1,75	86,6
4312	3881	11,11	1,99	84,8
4261	3815	11,69	1,40	89,3
4275	3829	11,65	1,45	89,0
4263	3835	11,16	1,93	85,2
<b>Peso seco al horno de la muestra después de los 12 ciclos</b>	3469		PROMEDIO	
			1,82	
<b>Corrección del peso seco al horno del espécimen N° 2</b>				
<b>Peso seco al horno (a) (kg)</b>	<b>% de agua retenida en el espécimen (b)</b>		<b>Corrección (a/b) kg</b>	
2955	1,82		2902,1	
<b>Perdida de suelo cemento</b>				
<b>Peso seco inicial</b>	<b>Peso final seco corregido</b>	<b>Perdidas suelo cemento %</b>		
3922,0	2902,1	25,0		

En estas tablas se resumen los cálculos para el contenido de humedad y el % que varía cada una. De la misma forma se calcula el desgaste que tubo la muestra 2 a medida que se le iban completando los ciclos, este desgaste dio del 26%, lo que quiere decir que esta muestra tubo un desgaste muy alto y por lo tanto es poco recomendable para la estabilización puesto que

el desgaste mínimo para el tipo de suelo que se esta trabajando debe ser inferior al 10% según el I.N.V.E y el IDU.

**Figura 18.** Extracción especímenes 6% Cemento y pasadas con el cepillo de alambre



#### **4.1.3.7 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento I.N.V.E – 809**

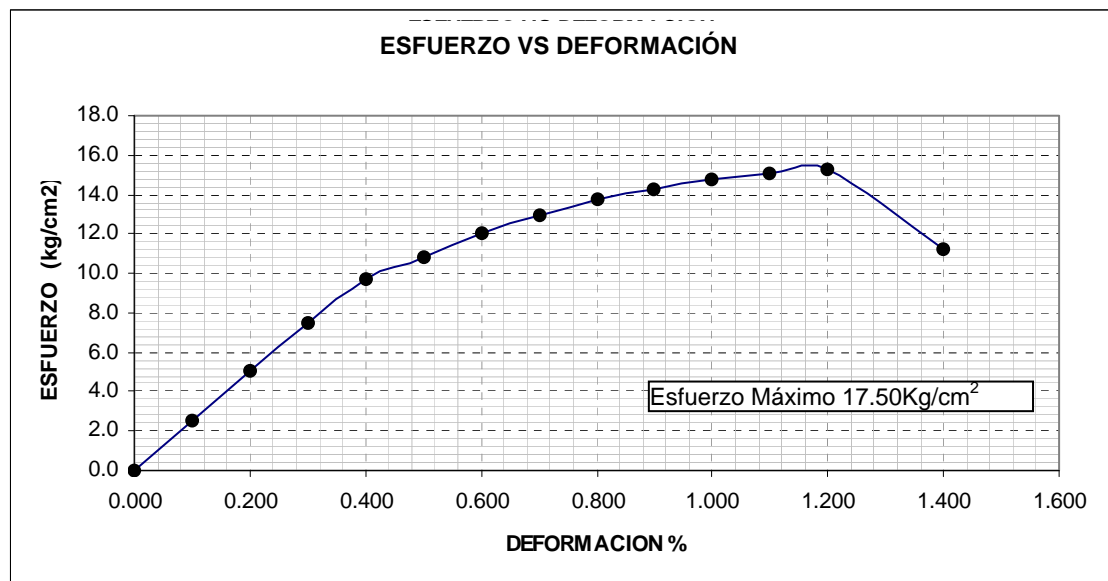
Este ensayo tiene por objeto la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo a los 7 días.

En la ejecución de este ensayo se tuvo en cuenta el método B, el cual trabaja con una relación de diámetro: altura 1:2, de esta forma se prepararon las muestra de suelo cemento con (6 por ciento), se le agrego la cantidad optima agua según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V. E – 142, luego se mezclo hasta obtener una mezcla homogénea, posteriormente se procedió al moldeo de las probetas, y se llevaron durante 7 días a curado húmedo; al final del período húmedo de curado, se sumergieron los especímenes por 4 horas en agua, después se llevaron a la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de deformación y esfuerzo, dando como resultado un esfuerzo máximo de 15.23 Kg./cm<sup>2</sup> para los primeros cilindros, a continuación en la tabla y grafica se presentan los datos obtenidos para el primer cilindro.

**Tabla 34.** Compresión inconfiada para probetas de cemento del 6% - cilindro 1- Anexo 21

Anillo	Carga (Kg.)	Deformación 10 <sup>-3</sup> pulg	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Kg./cm <sup>2</sup> )
0,00	0,0	0,0	0,00	33,18	0,00
15,00	83,4	5,0	0,10	33,22	2,51
30,00	166,8	10,0	0,20	33,25	5,02
45,00	250,2	15,0	0,30	33,28	7,52
58,00	322,5	20,0	0,40	33,32	9,68
65,00	361,4	25,0	0,50	33,35	10,84
72,00	400,3	30,0	0,60	33,38	11,99
78,00	433,7	35,0	0,70	33,42	12,98
83,00	461,5	40,0	0,80	33,45	13,80
86,00	478,2	45,0	0,90	33,48	14,28
89,00	494,8	50,0	1,00	33,52	14,76
91,00	506,0	55,0	1,10	33,55	15,08
92,00	511,5	60,0	1,20	33,59	17,50
68,00	378,1	70,0	1,40	33,65	11,23
68,00	378,1	75,0	1,50	33,69	11,22
68,50	380,9	80,0	1,60	33,72	11,29
69,00	383,6	85,0	1,70	33,76	11,37
69,50	386,4	90,0	1,80	33,79	11,44

**Grafica11.** Determinación del esfuerzo máximo para probetas de suelo cemento 6% - Anexo 21



#### **4.1.4 Ensayos realizados para la muestra estabilizada con cemento Pórtland tipo 1 del 7%**

##### **4.1.4.1 Ensayo de azul de metileno AFNOR P18-592**

Este ensayo se hace de la misma forma en que se realizó el ensayo de material natural, la única diferencia radica en que el material utilizado para el ensayo se le adiciona el 7% de cemento en peso y el objeto sigue siendo el de describir el método de la mancha donde se determina el valor de azul para material mezclado con 7%, cemento de los finos contenidos en una arena o una grava. Para el ensayo se tomó una cantidad de material que pasa por el tamiz No 10, esta cantidad depende de la humedad inicial del material, se lava este material por el Tamiz No 200 en un beaker de 2L, con una cantidad de 500mL de agua, el material que queda retenido se coloca en un recipiente y se deja secar en un horno a temperatura constante por un día para determinar su peso. El material lavado se le adiciona 30g de caolinita, este material es agitado con un equipo magnético durante 5 minutos y seguidamente se agrega una cantidad de azul de metileno hasta que se forme una aureola azul brillante, se pesa el recipiente con el material y se anota la cantidad de azul en milímetros agregada, el ensayo en el material natural se hizo dos veces por tal razón los valores obtenidos se promediaron, en ese momento se da por concluido el ensayo.

**Tabla 35.** Valor de azul de metileno para material con el 7% Cemento - Anexo 22

Índice de azul de metileno (g/100g)	0,99	1,09
<b>PROMEDIO (g/100g)</b>	<b>1.04</b>	

#### **4.1.4.2 Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E - 133**

Este se hace de la misma forma como se hizo con el material natural la diferencia radica en que al material seleccionado se le adiciona el 7% de cemento en peso, el objeto del ensayo básicamente es el mismo, determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Se preparo una muestra de suelo, y se alisto al menos 1500g de material que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4). Se separaron por cuarteo 1500g de muestra adecuada para cuatro especimenes; estas muestras se prepararon en sus respectivas probetas, con una solución normalizada de cloruro de calcio( $\text{CaCl}_2$ ) cuyo objeto es dispersar las partículas del suelo, después de este tiempo se agitaron manualmente 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos, usando un movimiento de  $229 \pm 25$  mm ( $9 \pm 1$ " ). Un ciclo está definido como movimiento completo hacia adelante y hacia atrás, después de agitarlos se dejo reposar el conjunto, formándose rápidamente un depósito sólido en el fondo. Al cabo de un tiempo, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la

relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

**Tabla 36.** Determinación del equivalente de arena del suelo con 7% Cemento - Anexo 23

Nº pesos	peso (gr)	lectura de arcilla	lectura de arena	equivalente de arena %
1	106	32,2	3,4	10,56
2	106	33,8	3,5	10,36
3	106	32,0	3,8	11,88
Promedio	106			
Promedio		Equivalente De Arena %		10,93
		<b>Equivalente de arena %</b>		<b>11,00</b>

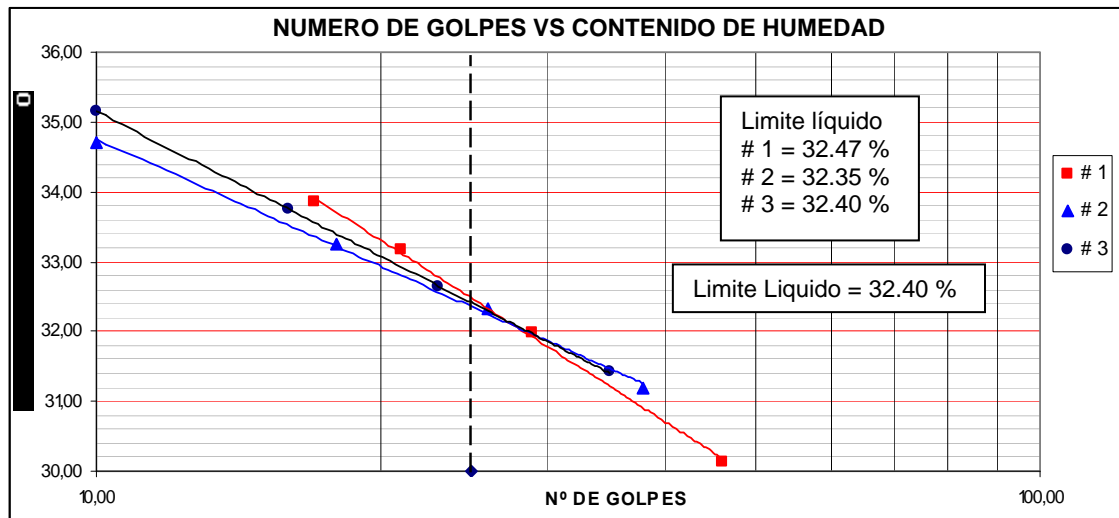
#### **4.1.4.3 Determinación del límite líquido de los suelos. I.N.V.E - 125**

En este ensayo el procedimiento seguido fue el mismo utilizado para el material natural, diferencia radica en que al material seleccionado se le adiciona el 7% de cemento en peso, el objetivo de este ensayo es determinar el límite líquido de un suelo mezclado con el 7% de cemento, que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno. Para la realización de este ensayo se tomaron 100 gr para cada una de las muestras ensayadas, en este caso el ensayo se hizo tres veces y se promedió el valor de los tres ensayos. El material seleccionado de suelo fue aquel que paso el tamiz No 40, se amaso con agua y se coloco en la casuela de casa grande, formando en el centro una ranura de dimensiones especificas el cual tenia que cerrarse a una cantidad de golpes, arrojando un limite liquido promedio a los 25 golpes de 32.40 %.

**Tabla 37.** Determinación de los límites líquidos del suelo con el 7% de Cemento - Anexo 24

Recipiente N°	Peso del recipiente (gr)	N° golpes	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %
1	75	46	11,37	10,30	30,14
	61	29	11,59	10,40	31,99
	41	21	12,50	11,10	33,18
	39	17	13,76	12,00	33,85
2	2	38	20,45	17,10	31,19
	50	26	20,38	17,00	32,31
	93	18	21,01	17,40	33,24
	78	10	23,55	19,20	34,72
3	42	35	23,55	19,50	31,42
	81	23	20,97	17,40	32,63
	56	16	24,84	20,20	33,75
	78	10	24,85	20,10	35,16

**Gráfica 12.** Determinación de los límites líquidos del suelo con 7% Cemento - Anexo 24



#### 4.1.4.4 Determinación del límite Plástico e índice de plasticidad. I.N.V.E - 126

El objeto de este ensayo es determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite líquido del mismo suelo, al material seleccionado para este ensayo se le adiciono el 7% de cemento en peso.

Se tomo 100g de muestra de suelo que paso por el tamiz No 4, se le adiciono el 7% de cemento el ensayo se hizo tres veces y los resultados obtenidos se promediaron, el material utilizado en cada ensayo se amazo con agua potable, luego se tomo una porción de 6g la cual se rodaron entre las palmas de las manos formando un cilindro, el suelo esta en limite plástico si el desmoronamiento ocurre cuando el cilindro alcanza 3mm de diámetro. Dando como resultado un valor promedio de limite plástico de 23.37% y un Índice de plasticidad de 9.03%.

**Tabla 38.** Determinación del límite plástico- índice de plasticidad 7% cemento - Anexo 24

Recipiente N°	Peso del recipiente (gr)	Peso del recip + muestra húmeda (gr)	Peso del recip. + muestra seca (gr)	Humedad %	
1	87	6,47	11,35	9,10	24,73
	19	6,69	12,56	10,10	24,36
2	52	6,82	13,54	11,00	23,09
	62	7,01	14,39	11,70	22,99
3	63	6,8	14,65	12,00	22,08
	25	6,75	12,91	10,50	22,95

Limite plástico	23,37%
Índice de plasticidad	9,03%

#### 4.1.4.5 Relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento I.N.V.E-806

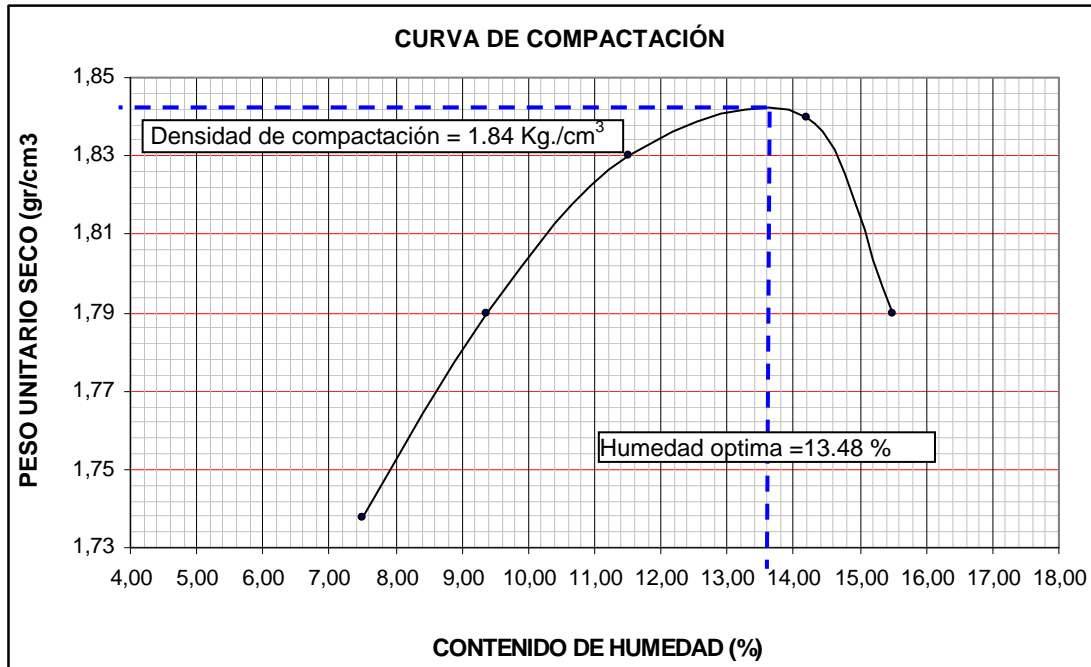
El procedimiento para la elaboración de especímenes del 7% de cemento es el mismo establecido para los especímenes de 6%, lo único que varía es que se le adiciona a la mezcla el 7% de cemento en peso, Para la determinación de la humedad y la energía de compactación óptimas para suelo cemento, se hicieron seis especímenes de suelo cemento utilizando los valores relacionados en la siguiente tabla.

**Tabla 39.** Determinación de la humedad Óptima Contenido cemento del 7% - Anexo 25

Prueba	1	2	3	4	5	6
Nº golpes	25	25	25	25	25	25
Nº capas	5	5	5	5	5	5
Contenido de humedad (%)	8.62	9,37	11.02	13,62	18.05	13,32
Peso unitario seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,72	1,79	1,82	1,84	1,82	1,79

Con los datos obtenidos de las densidades y humedades en las 6 muestras ensayadas de mezclas de suelos cemento para el 7%, se procede hacer una gráfica de humedad vs. Densidad, en donde al interpretar los picos de la curva nos dará la humedad óptima y la densidad de compactación óptima de la mezcla de suelo cemento.

**Grafica 13.** Proctor modificado 7% de Cemento - Anexo 25



Una vez terminado el ensayo de suelo cemento de 6% se procede a hacer el mismo ensayo para una muestra con el 7% de cemento, este ensayo arroja como resultado:

- Densidad seca máxima 1.84 Kg./cm<sup>3</sup>
- Contenido de humedad Óptima 13.48%

#### **4.1.4.6 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo cemento compactadas con 7% I.N.V. E- 807**

Este espécimen se hizo de la misma forma que los pasos planteados por la I.N.V.E. 807 y por el IDU.

El procedimiento seguido esta descrito para muestras de suelo cemento con un contenido de 6%.

Para esta muestra lo único que se ha cambiado es el contenido de humedad optima pues esta dio una humedad optima del 13.48% lo que indica que a mayor contenido de cemento tiende haber mayor contenido de agua en la muestra. Se compactaron en cinco capas y cada capa de 55 golpes como lo establece la Norma IDU.

Las características de los especimenes de suelo cemento del 7% al momento de compactados fueron las siguientes.

- Peso de la Muestra antes de la Cámara húmeda 4463 gr.
- Diámetro de la muestra antes de la cámara húmeda 15,25 cm
- Altura de la muestra antes de la cámara Húmeda 11,28 cm
- Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g es de 573 gr.
- Peso de la muestra seca más platón después de 12 horas 510 gr.
- Peso del platón 40 gr.
- Contenido de Humedad 13,48%

**Tabla 40.** Lecturas especímenes suelo cemento 7% - Anexo 26

LECTURAS MEZCLA DE SUELO CEMENTO - 7%									
Probeta	Ciclos	Secado al horno				Cepillado	Sumergidas		
		Fecha	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)		Peso (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	Después de curado	Jul. 09	15,28	11,28	4463		15,29	11,89	4512
2			15,26	11,75	4451		15,22	11,77	4625
1	1	Jul. 11	15,26	11,84	4075		15,26	12,02	4475
2			15,24	11,74	4090	4062	15,24	11,74	4389
1	2	Jul. 13	15,22	11,94	4021		15,29	11,96	4478
2			15,21	11,76	3975	3973	15,23	11,72	4378
1	3	Jul. 16	15,23	11,89	4051		15,21	11,74	4462
2			15,18	11,74	4009	3994	15,17	11,73	4361
1	4	Jul. 18	15,21	11,91	4033		15,24	11,74	4439
2			15,17	11,78	3978	3974	15,19	11,7	4360
1	5	Jul. 23	15,19	11,89	4043		15,21	11,7	4449
2			15,20	11,79	3979	3972	15,2	11,71	4372
1	6	Jul. 25	15,17	11,79	4041		15,22	11,76	4473
2			15,18	11,74	3998	3979	15,2	11,71	4352
1	7	Jul. 27	15,24	11,81	4037		15,28	11,74	4452
2			15,21	11,7	4001	3982	15,23	11,71	4369
1	8	Jul. 30	15,25	11,76	4012		15,27	11,72	4433
2			15,11	11,63	3989	3980	15,21	11,69	3371
1	9	Ago. 01	15,20	11,68	4007		15,2	11,65	4420
2			15,07	11,52	3985	3981	15,15	11,52	3350
1	10	Ago. 03	15,19	11,72	3985		15,17	11,71	4389
2			15,08	11,49	3981	3979	15,12	11,54	3344
1	11	Ago. 06	15,13	11,74	3953		15,11	11,73	4395
2			15,05	11,39	3972	3960	15,09	11,43	3346
1	12	Ago. 09	15,17	11,66	3933		15,13	11,61	4371
2			15,07	11,34	3965	3953	15,07	11,32	3342

PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 1	<b>3962</b>
PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 2	<b>3813</b>

Una vez culminado el periodo de los 12 ciclos se dejan las muestras hasta peso constante donde podemos ver que el peso constante para cada una de las muestras se encuentra en la parte inferior de la tabla anterior.

**Tabla 41.** Variación de Volúmenes especímenes suelo cemento 7% - Anexo 26

<b>CALCULO DE LA DIFERENCIA ENTRE EL VOLUMEN DEL ESPECIMEN # 1 Y LOS VOLUMENES SUBSIGUIENTES</b>										
<b>Antes de sumergir</b>						<b>Después de sumergir</b>				
<b>Muestra</b>	<b>diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Difer. con la muestra # 1 (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>altura (cm)</b>	<b>Vol. (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dif. con la muestra # 1 (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>%</b>
Muestra antes	15,25	11,28	2060,29					2060,29		
A N T E S  D E  S U M E R G I R	15,28	11,28	2068,40	8,11	0,39	15,29	11,89	2183,11	122,82	5,96
	15,26	11,84	2165,41	105,12	5,10	15,26	12,02	2198,33	138,04	6,70
	15,22	11,94	2172,27	111,98	5,44	15,29	11,96	2195,97	135,68	6,59
	15,23	11,89	2166,01	105,72	5,13	15,21	11,74	2133,07	72,78	3,53
	15,21	11,91	2163,96	103,67	5,03	15,24	11,74	2141,50	81,21	3,94
	15,19	11,89	2154,65	94,36	4,58	15,21	11,7	2125,81	65,52	3,18
	15,17	11,79	2130,91	70,62	3,43	15,22	11,76	2139,52	79,23	3,85
	15,24	11,81	2154,26	93,98	4,56	15,28	11,74	2152,75	92,46	4,49
	15,25	11,76	2147,96	87,67	4,26	15,27	11,72	2146,27	85,98	4,17
	15,20	11,68	2119,38	59,09	2,87	15,2	11,65	2113,94	53,65	2,60
	15,19	11,72	2123,84	63,55	3,08	15,17	11,71	2116,45	56,16	2,73
	15,13	11,74	2110,69	50,41	2,45	15,11	11,73	2103,32	43,04	2,09
	15,17	11,66	2107,41	47,12	2,29	15,13	11,61	2087,32	27,03	1,31

En esta tabla vemos como va variando el volumen de las muestras de suelo cemento para las muestras No 1, esta variación se toma con respecto al volumen inicial y se expresa en porcentaje con se muestra en la tabla.

**Tabla 42.** Calculo contenido de humedad 7% Cemento y desgaste - Anexo 26

<b>CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL ESPECIMEN # 1 EN EL MOMENTO DEL MOLDEO Y LOS SUBSIGUIENTES</b>				
<b>Peso des. Sumergido (gr)</b>	<b>Peso secado al horno (gr)</b>	<b>% humedad respecto peso seco al horno</b>	<b>Diferencia humedad muestra inicial</b>	<b>% humedad muestra inicial y subsiguiente</b>
4475	4075	9,82	3,59	73,2
4478	4021	11,37	2,04	84,8
4462	4051	10,15	3,26	75,7
4439	4033	10,07	3,34	75,1
4449	4043	10,04	3,36	74,9
4473	4041	10,69	2,71	79,8
4452	4037	10,28	3,12	76,7
4433	4012	10,49	2,91	78,3
4420	4007	10,31	3,10	76,9
4389	3985	10,14	3,27	75,6
4395	3953	11,18	2,22	83,4
4371	3933	11,14	2,27	83,1
<b>Peso seco al horno de la muestra después de los 12 ciclos</b>	3962		PROMEDIO	
			2,9	

<b>CORRECCION DEL PESO SECO AL HORNO DEL ESPECIMEN Nº 2</b>		
<b>Peso seco al horno (a) (Kg)</b>	<b>% de agua retenida en el espécimen (b)</b>	<b>Corrección (a/b) Kg.</b>
3813	2,93	3704,4

<b>PERDIDA DE SUELO CEMENTO</b>		
<b>Peso seco inicial</b>	<b>Peso final seco corregido</b>	<b>Perdidas suelo cemento %</b>
4090,0	3704,4	9,4

En estas tablas se resumen los cálculos para el contenido de humedad y el % que varía cada una. De la misma forma se calcula el desgaste que tubo la muestra 2 a medida que se le iban completando los ciclos, este desgaste dio del 9.4%, lo que quiere decir que esta muestra tubo un

desgaste menor que las muestras de suelo cemento del 6% y por lo tanto esta muestra es la utilizada para la estabilización pues es el contenido óptimo para nuestro ensayo, de la misma forma el contenido de 7% de cemento es el utilizado para hacer los especímenes de CBR y de resistencia in confinada.

**Figura 19.** Extracción especímenes y preparación cámara húmeda



#### 4.1.4.7 Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) I.N.V.E – 148 para la muestra del 7% de contenido de cemento

Para la elaboración de este ensayo, se siguió el mismo procedimiento descrito en el ensayo de CBR para el suelo en estado natural; a diferencia que se les adiciono un contenido de cemento , el cual se mezclo hasta obtener una mezcla homogénea, inmediatamente se le agrego cierta cantidad de agua según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V.E – 142, de esta forma se procedía a realizar la mezcla hasta que el material quedara humedecido homogéneamente con la mezcla ya preparada , se elaboraban las probetas de acuerdo al procedimiento que se tuvo para el material en estado natural obteniendo valores demasiado altos.

**Tabla 43.** Ensayo CBR 7% de Cemento - Anexo 27

<b>Nº golpes</b>	12	26	55
<b>Expansión (%)</b>	0,20	0,34	0,18
<b>CBR (sin inmersión)</b>	13,08	31,33	55,85
<b>Peso unitario húmedo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,86	2,01	2,09
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,64	1,77	1,84
<b>Humedad (%)</b>	13,51	13,51	13,51
<b>CBR (sumergido)</b>	17,33	74,92	102,71
<b>Peso unitario seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,95	2,07	2,11
<b>Humedad (%)</b>	18,35	15,09	13,79

#### **4.1.4.8 Resistencia a la compresión de cilindros preparados de suelo cemento I.N.V.E – 809**

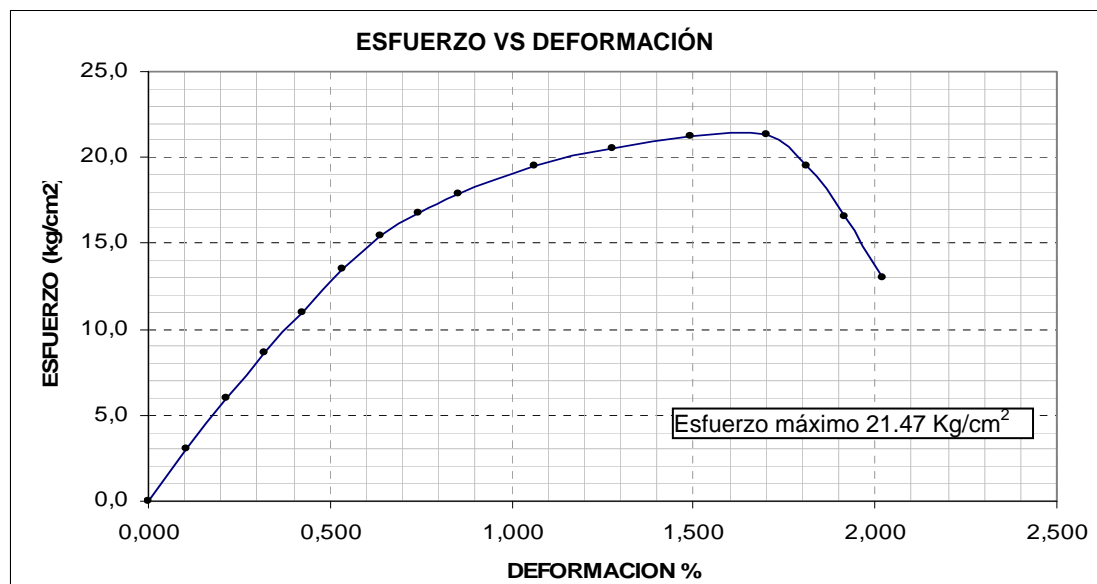
Este ensayo tiene por objeto la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo a los 7 días.

En la ejecución de este ensayo se tuvo en cuenta el método B, el cual trabaja con una relación de diámetro: altura 1:2, de esta forma se prepararon las muestra de suelo cemento con (6 y 7 por ciento), se le agrego la cantidad optima agua según el ensayo de relaciones de peso unitario-humedad en los suelos equipo modificado I.N.V. E – 142, luego se mezclo hasta obtener una mezcla homogénea, posteriormente se procedió al moldeo de las probetas, y se llevaron durante 7 días a curado húmedo; al final del período húmedo de curado, se sumergieron los especímenes por 4 horas en agua, después se llevaron a la prensa de ensayos de compresión para obtener valores de deformación y esfuerzo, dando como resultado un esfuerzo máximo de 21.37 Kg./cm<sup>3</sup> para los primeros cilindros, a continuación se relacionan los datos obtenidos para el primer cilindro.

**Tabla 44.** Compresión inconfiada para probetas de cemento del 7% - cilindro 1 - Anexo 28

Anillo	Carga (Kg.)	Deformación 10 <sup>-3</sup> pulg	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (Kg./cm <sup>2</sup> )
0,00	0,0	0,0	0,00	27,62	0,00
15,00	83,4	5,0	0,11	27,65	3,02
30,00	166,8	10,0	0,21	27,68	6,03
43,00	239,1	15,0	0,32	27,71	8,63
55,00	305,8	20,0	0,43	27,74	11,03
67,50	375,3	25,0	0,53	27,77	13,52
77,00	428,1	30,0	0,64	27,80	15,40
84,00	467,0	35,0	0,75	27,83	16,78
89,50	497,6	40,0	0,85	27,85	17,86
98,00	544,9	50,0	1,06	27,91	19,52
103,50	575,5	60,0	1,28	27,98	20,57
107,20	596,0	70,0	1,49	28,04	21,26
108,00	600,5	80,0	1,70	28,10	<b>21,37</b>
98,50	547,7	85,0	1,81	28,13	19,47
84,00	467,0	90,0	1,92	28,16	16,59
66,00	367,0	95,0	2,02	28,19	13,02
48,90	271,9	100,0	2,13	28,22	9,63
48,50	269,7	110,0	2,34	28,28	9,54

**Grafica 14.** Determinación del esfuerzo máximo para probetas de suelo cemento del 7% Cilindro 1 - Anexo 28

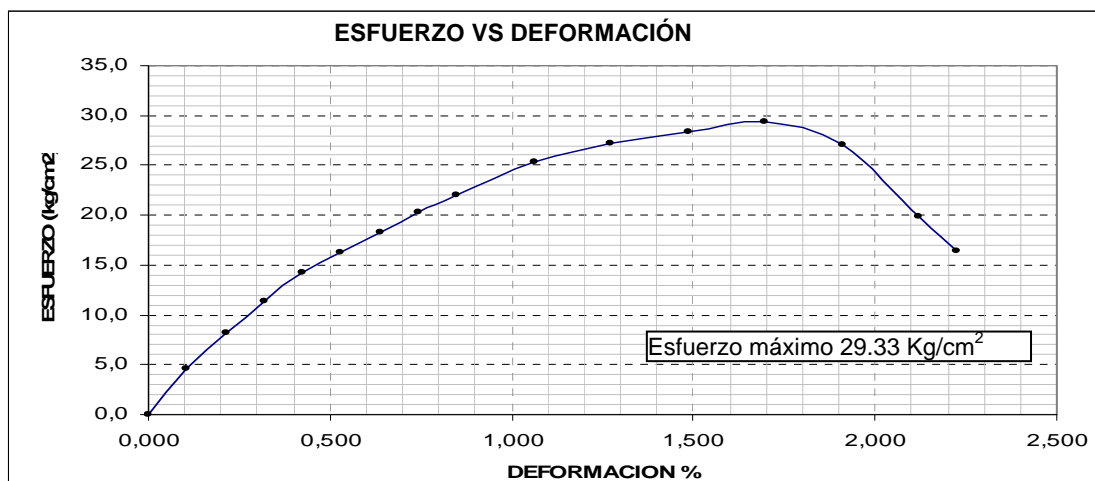


De la misma forma se hace la prueba de resistencia para el segundo cilindro y los datos obtenidos fueron los siguientes.

**Tabla 45.** Compresión in confinada para probetas de cemento del 7% - cilindro 2 - Anexo 28

Anillo	Carga (kg)	Deformación 10 <sup>-3</sup> pulg	Deformación %	Área Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
25,00	139,0	5,0	0,11	30,22	4,60
45,00	250,2	10,0	0,21	30,25	8,27
62,00	344,7	15,0	0,32	30,29	11,38
77,50	430,9	20,0	0,42	30,32	14,21
88,50	492,1	25,0	0,53	30,35	16,21
99,60	553,8	30,0	0,64	30,38	18,23
110,80	616,0	35,0	0,74	30,42	20,25
120,50	670,0	40,0	0,85	30,45	22,00
139,00	772,8	50,0	1,06	30,51	25,33
150,00	834,0	60,0	1,27	30,58	27,27
156,50	870,1	70,0	1,48	30,64	28,39
162,00	900,7	80,0	1,70	30,71	<b>29,33</b>
150,00	834,0	90,0	1,91	30,78	27,10
110,00	611,6	100,0	2,12	30,84	19,83
91,00	506,0	105,0	2,23	30,88	16,39
50,00	278,0	115,0	2,44	30,94	8,98
30,00	166,8	120,0	2,54	30,98	5,38

**Gráfica 15.** Determinación del esfuerzo máximo para probetas de suelo cemento del 7% Cilindro 2 - Anexo 28



## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

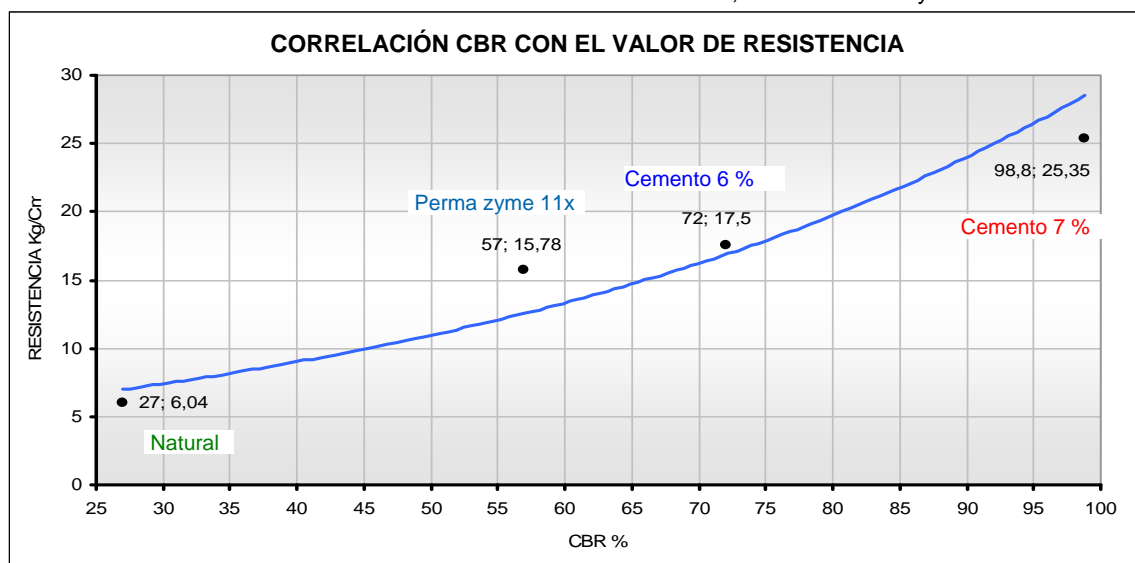
- Se realizaron ensayos de límites de Atterberg y granulometría para clasificar el suelo, según el sistema AASHTO el material clasifica en el grupo (A-2-6), que corresponde a un suelo granular de arcilla limosa con arena de color oscuro. En el sistema de clasificación SUCS la muestra pertenece al grupo CL; que presenta características arcillosas de baja comprensibilidad y expansión media; los resultados obtenidos para la clasificación fueron los siguientes: LL 31.60%, LP 20.09%, IP 11.51, porcentaje de finos 32.24%.
- El contenido de materia orgánica hallado en el material en estado natural mediante el ensayo de pérdida por ignición (I.N.V.E-121) fue del 4.66%, lo que indica un bajo contenido de materia orgánica.
- Los materiales estabilizados presentan un incremento considerado tanto en el valor de CBR como en su resistencia con respecto al material en estado natural. Al hacer un análisis de los valores obtenidos de resistencia y de CBR del material natural con respecto a los valores de las dos estabilizaciones ( perma zyme 11X y cemento ); el material natural arrojó un valor de 27% CBR y de 6.04Kg/Cm<sup>2</sup> en su resistencia; para el perma zyme 11X el incremento fue del 30% CBR y del 62% en resistencia, para el caso del material estabilizado con el 6% de cemento el

incremento fue de 45% para el valor de CBR y del 65.5% del valor de la resistencia, y con respecto al 7% de cemento el incremento fue 71.8% para el valor de CBR y del 76.17% en el valor de la resistencia, es decir que a medida que se aumenta la dosificación del perma Zyme 11X y cemento al material, su resistencia (Kg/Cm<sup>2</sup>) y CBR (%) aumentan proporcionalmente, como se ve en la siguiente grafica.

**Tabla 46.** Correlación valor de CBR con el Valor de la resistencia - material natural y estabilizantes

ESTADO	Natural	Perma Zyme 11X	Cemento 6%	Cemento 7%
Resistencia (Kg/Cm <sup>2</sup> )	6,04	15,78	17,5	25,35
CBR (%)	27	57	72	98,8

**Grafica 16.** Correlación valor de CBR con el Valor de la resistencia, material natural y estabilizantes



- Según los resultado de los ensayos de compresión inconfiada para las estabilizaciones con cemento (6% y 7%) y perma zyme 11X, el valor de

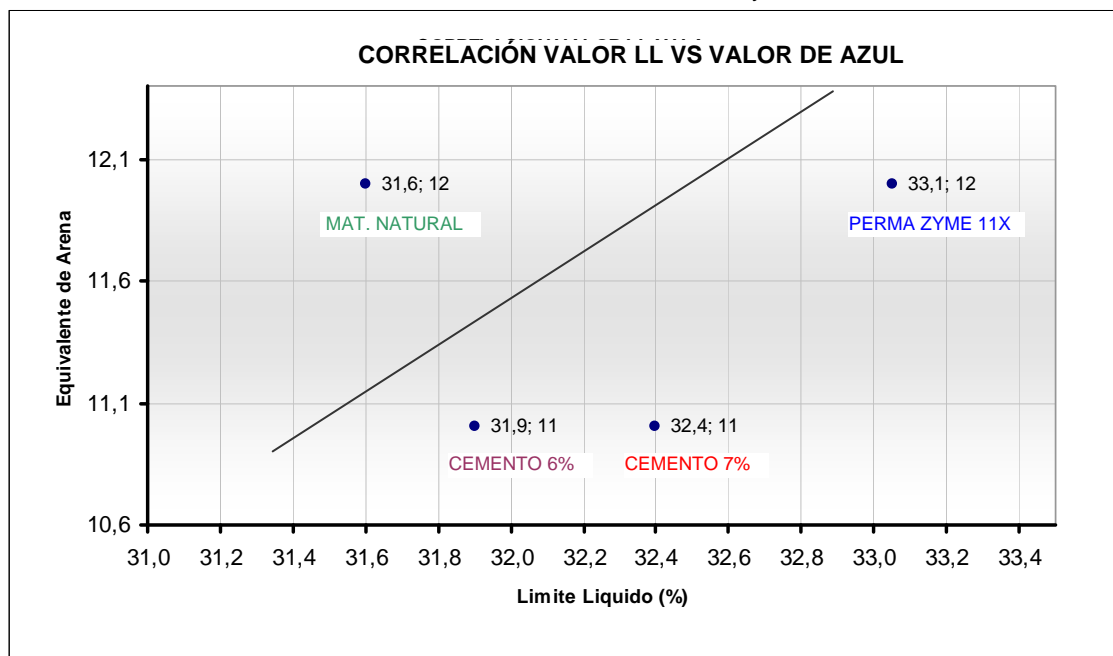
resistencia que se ajusto a los parámetros exigidos, de 21kg/cm<sup>2</sup> para el INVIAS y de 25 kg/cm<sup>2</sup> para IDU, fue el material estabilizado con el 7% de cemento, el cual arrojó un valor de 25.35 Kg./cm<sup>2</sup>.

- Los valores obtenidos en los ensayos de EA del material en estado natural y el material estabilizado; están variando entre 11 y 12% con Perma Zyme 11x y cemento (6% y 7%); para LL la diferencia esta comprendida entre el 31.9% y el 33.1%, lo que quiere decir que estas propiedades físicas no varían considerablemente con la aplicación del Perma Zyme 11x y el cemento (6 y 7%), como lo muestra la grafica.

**Tabla 47.** Correlación valor de EA con el Valor de LL Material natural y estabilizado

<b>ESTADO</b>	<b>Natural</b>	<b>Perma Zyme 11x</b>	<b>Cemento 6%</b>	<b>Cemento 7%</b>
<b>E.A (%)</b>	12	12	11	11
<b>L.L %</b>	31,6	33,1	31,9	32,4

**Grafica 17.** Correlación valor EA con el Valor de LL, material natural y estabilizantes

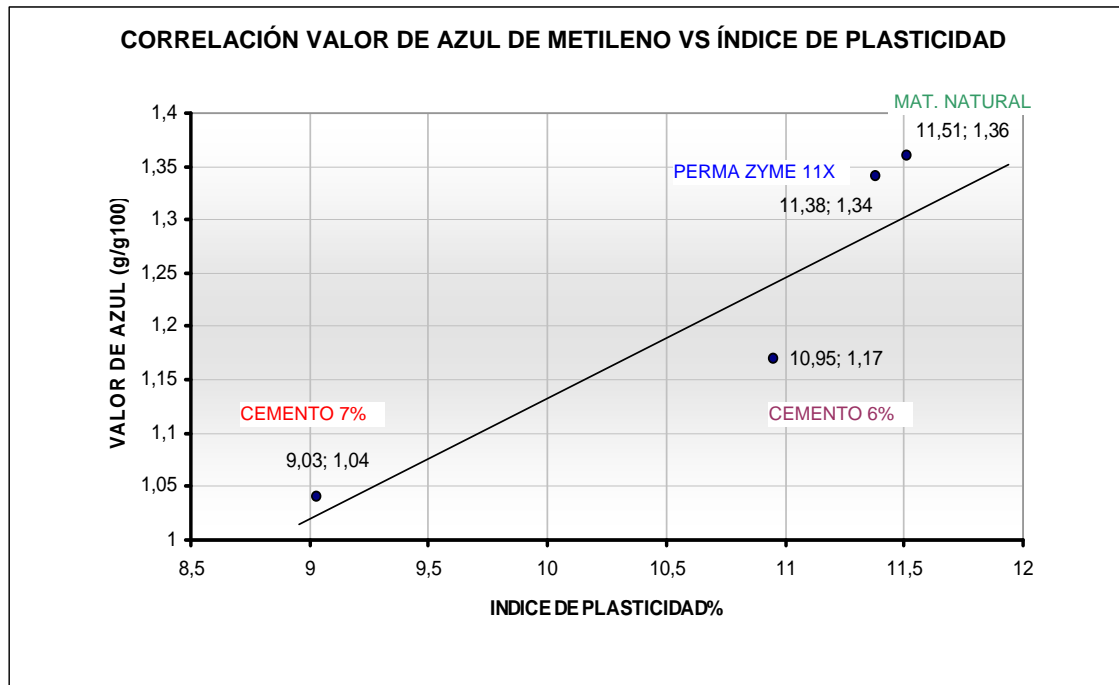


- Al correlacionar el IP con el VA disminuyen a medida que el material es tratado. Lo que quiere decir que el crecimiento es directamente proporcional al contenido de cemento y al contenido de perma zyme 11X, como lo muestra la grafica.

**Tabla 48.** Correlación VA con el IP, material natural y estabilizantes

ESTADO	Natural	Perma Zyme 11X	Cemento 6%	Cemento 7%
IP %	11,51	11,38	10,95	9,03
VA (g/100g)	1,36	1,34	1,17	1,04

**Grafica18.** Correlación valor VA con el Valor de IP, material natural y estabilizantes

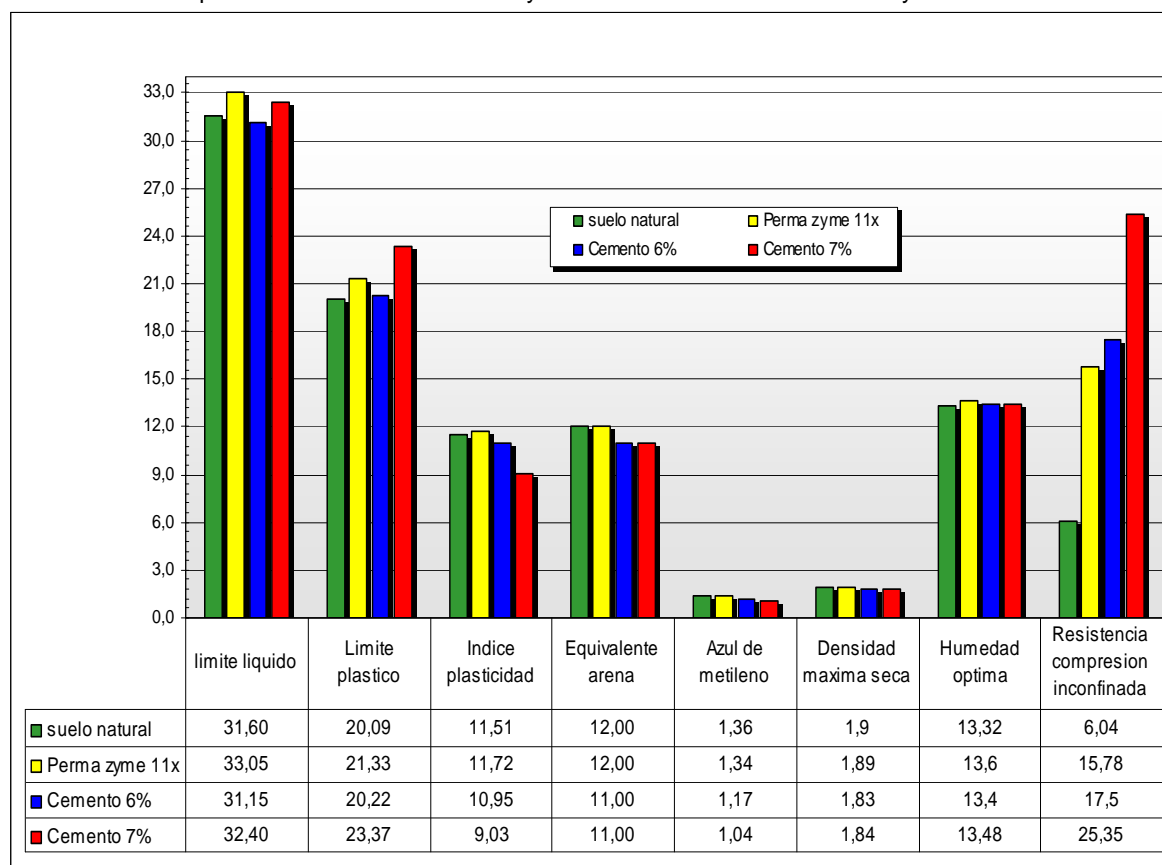


- Para visualizar los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la presente investigación, a través de dicha grafica se muestra la variación del suelo tanto en estado natural como estabilizado.

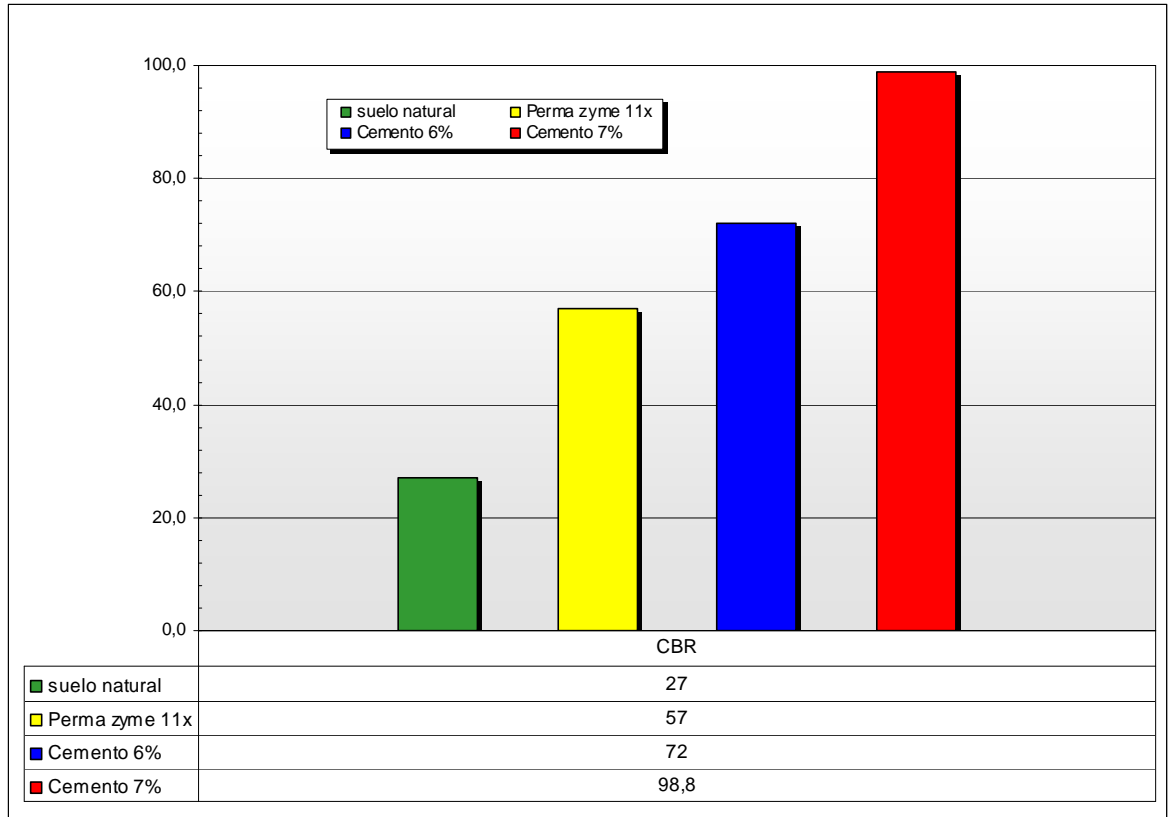
Además podemos decir que dichas propiedades mecánicas si fueron modificadas al ser estabilizadas con cemento (6% y 7%) y perma Zyme 11x. Las variaciones entre la resistencia a la compresión inconfiada del suelo natural de 6.04 Kg/cm<sup>2</sup> paso a un 25.35 Kg/cm<sup>2</sup> al ser modificado con el 7% de cemento; este material presenta un cambio considerable en su comportamiento mecánico y suele basarse en criterios de resistencia y durabilidad para el buen desempeño en el trabajo de base granular.

Lo mismo sucede con la capacidad portante (CBR), de estar de un 27.00 % sin estabilizar, paso a un 98.8 % al ser modificado con el 7% de cemento. Sin embargo el producto Perma Zyme 11x dio un 57.0 %, lo que quiere decir que mejoro en un 30 % la capacidad de soporte del suelo en su estado natural.

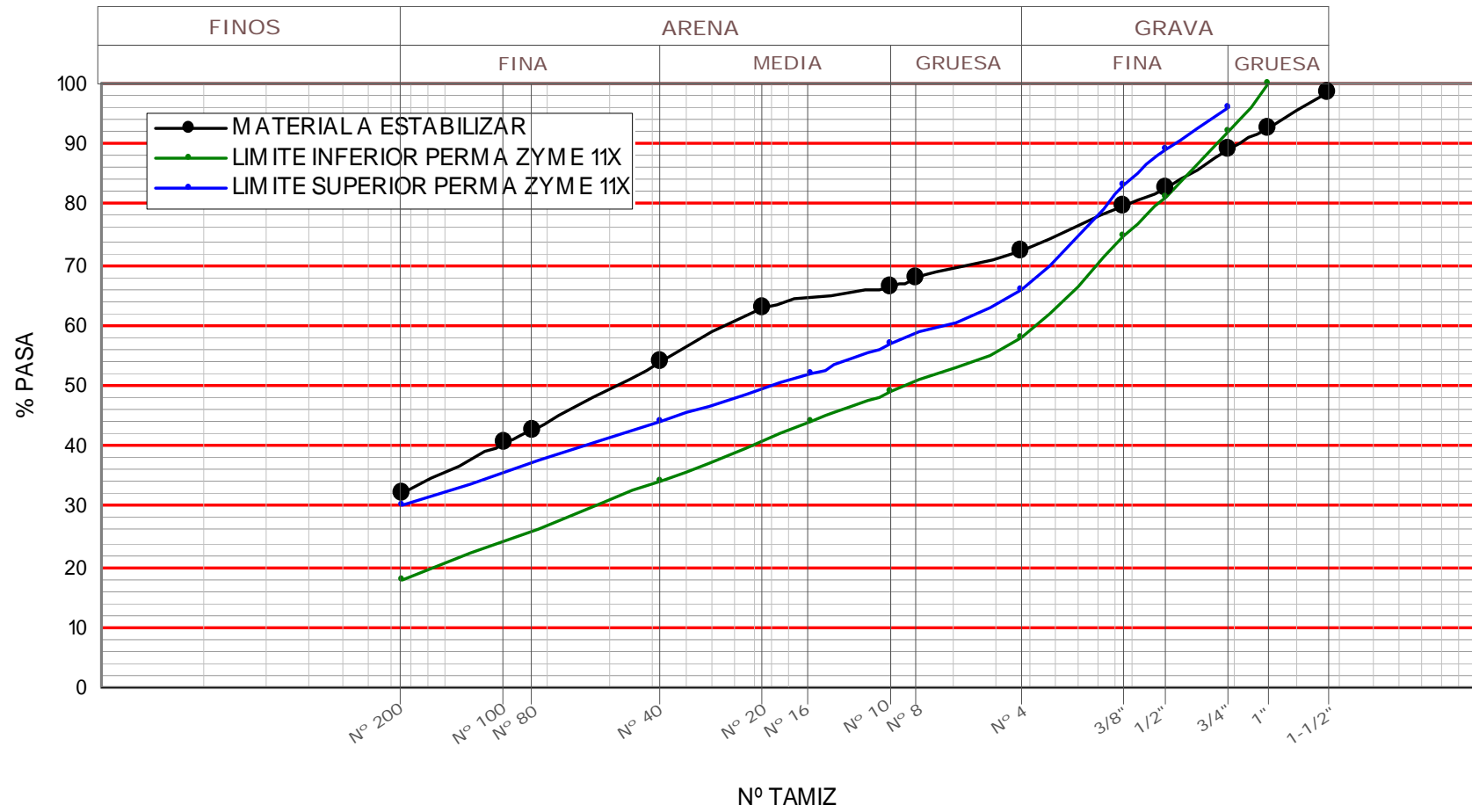
**Grafica 19.** Comparativa de los diferentes ensayos a la muestra en estado natural y estabilizada



**Grafica 20.** Comparativa resultados de CBR estado natural y estabilizada



**Grafica 21.** Curva granulométrica



**Tabla 49.** Resumen de los diferentes ensayos presentes en las estabilizaciones

Ensayos	Suelo natural	Suelo con Perma Zyme 11x	Suelo - Cemento 6%	Suelo - cemento 7%
Humedad natural (%) (I.N.V – 122)	10,43	x	x	x
Contenido de materia orgánica (%) (I.N.V – 121)	4,66	4,66	4,66	4,66
Limite liquido (%) (I.N.V – 125)	31,60	33,05	31,15	32,40
Limite plástico (%) Índice de plasticidad (%) (I.N.V – 126)	20,09 11,56	21,33 11,38	20,22 10,93	23,37 9,03
Equivalente de arena (%) (I.N.V – 133)	12,00	12,00	11	11
Proctor modificado (I.N.V – 142)	Humedad =13,32 % Dens máx Seca = 1,90 gr/cm <sup>3</sup>	13,60 % 1,89 gr/cm <sup>3</sup>		13,48 % 1,84 gr/cm <sup>3</sup>
CBR (%) (I.N.V – 148)	27,0	57,00	72	98,8
Resistencia a la compresión inconfiada (gr/cm <sup>3</sup> ) (I.N.V – 809)	6,04	15,78	17,50	25,35

**Tabla 50.** Cualidades de los suelos a estabilizar según el proceso. IDU

Producto/Cualidad	Adiciones a Suelo - Cemento	Multienzemático
Material	1.Gravas 2.Arenas 3.Limos 4.Arcillas	1. Arcillas y Limos 2. Gravas y Arenas Arcillosas
Contenido de Materia Orgánica	< 2%*	NO aplica restricción a este ítem
% pasa tamiz N°200	< 50%	(18% - 30 %)
Índice de Plasticidad	< 15	1. (6% < IP < 20%) 2. (15% < IP < 40%)
Resistencia a la compresión	> 2.5 Mpa	> 1.2 Mpa
Subbase CBR	> 50%	> 50%
Base CBR	> 80%	> 80%

**Tabla 51.** Requisitos de los materiales para afirmados, subbases y base granular<sup>1</sup>

Capa	Partículas Fracturadas mecánicamente (agr. Grueso)	Desgaste Los Ángeles	Perdidas en ensayo de solidez en:		Índices de aplanamiento y alargamiento	C.B.R	I.P	Equiv. De Arena
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio				
Norma I.N.V	E-227	E-218 y E-219	E-220	E-230	E-230	E-148	E-125 y E-126	E-133
Afirmado		50 % máx.	12 % máx.	18 % máx.			4 – 9 %	
Subbase granular		50 % máx.	12 % máx.	18% máx.		20, 30 ó 40% min. <sup>2</sup>	< = 6 %	25 % mín.
Base Granular	50 % mín.	40 % máx.	12 % máx.	18 % máx.	35 % máx.	80 35% mín. <sup>3</sup>	< = 3 %	30 % mín.

<sup>1</sup> Especificaciones generales de construcción de carreteras, INVIAS, Op. cit. Artículo 300

<sup>2</sup> Al 95% de compactación referido al ensayo de proctor modificado (INVE – 142). El valor mínimo de resistencia por aplicar, se indica en los documentos del proyecto

<sup>3</sup> Al 100% de compactación referido al ensayo de proctor modificado (INVE – 142)

## 5. CONCLUSIONES

- En la presente investigación al incluir el cemento y perma zyme 11X como agentes estabilizantes y al analizar cada una de sus propiedades físico mecánicas mediante los respectivos ensayos de laboratorio hechos a una base granular, el material estabilizado con el 7% de cemento alcanza una resistencia de  $25.35\text{kg/cm}^2$  y con perma zyme 11X de  $15.78\text{kg/cm}^2$ , viendo claramente que es mucho mayor la resistencia del material estabilizado con el 7% de cemento, lo que indica que es mejor estabilizar con cemento que con perma zyme 11X dicha base granular, sin embargo la resistencia adquirida con perma zyme 11X es mayor que la resistencia del material natural.
- El material para el proyecto se tomo de tal forma que no se le hizo ningún cambio, es decir que no se modifico por material de mejores características y por tal razón los resultados obtenidos se reflejaron en los ensayos realizados, es razonable que se hubiese hecho alguna modificación al material y que las características al ser estabilizadas hallan mejorado un 100% con el reemplazo de un nuevo material , sin embargo se tomaron sin ningún cambio para su posterior análisis, de eso se trató la realización de este proyecto, estudiándolo en condiciones naturales.

- En los resultados de relación de soporte (CBR), obtenidos en los especímenes del material natural, con Perma Zyme 11x, suelo cemento (6 y 7%), se pudo ver claramente una diferencia entre los valores. El material natural dio un CBR de 27%, y al ser modificado con perma Zyme 11x presentó un valor de CBR de 57% y para las muestras de suelo -cemento (6% Y 7%) arrojó un CBR de 72.0% Y 98.8% respectivamente, lo que quiere decir que tuvo un incremento del 30%, 45% Y 71.8 % al ser modificado con perma zyme 11x y cemento (6% y 7%). Igualmente se puede comentar que para el perma Zyme 11x y cemento de 6% el valor de CBR no se encuentra dentro de los parámetros que se deben tener en cuenta en una base, el cual debe estar entre el 80 y el 100% del proctor modificado según las especificaciones del INVIAS.
- El contenido de cemento se determinó con un análisis a cada uno de los ensayos realizados mediante el desgaste y humedecimiento que consiste en el sometimiento de probetas de suelo cemento a 12 ciclos de humedecimiento y secado; Entre los cuales se hace un cepillado para remover las pérdidas admisibles en el ensayo de durabilidad por mojado y secado. Como resultados de estos ensayos el porcentaje de cemento que cumplió con las especificaciones de 10% máximo de pérdida para un suelo perteneciente al grupo A2-6 y con una resistencia  $21 \text{ Kg./cm}^2$  fue de 7% de cemento, obteniendo pérdidas de suelo de 9.4% y una resistencia a la

compresión a los 7 días de 25.35kg/cm<sup>2</sup>, valores que se ajustan a las exigidas por el INVIAS y el IDU.

- Con el porcentaje de cemento optimo (7%), se hace una comparación entre las densidades seca máxima del material en estado natural, perma zyme 11X y cemento, mostrando como resultados lo siguiente: la densidad máxima del material natural fue de 1.90Kg/cm<sup>3</sup> y su humedad optima de 13.32%, para las mezclas de perma zyme 11x estos valores fueron de 1.89kg/cm<sup>3</sup> y una humedad de 13.60%, y por ultimo las mezclas de suelo cemento (7%) su densidad máxima fue de 1.84kg/cm<sup>3</sup> y la humedad de 13.48%, viendo una diferencia muy corta entre el uno y el otro. .
- La utilización del multienzemático Perma Zyme 11x permite la conservación del medio ambiente, reacciona bien con un suelo orgánico reduciendo la demanda de los materiales típicos de una base granular, tales como: agregados y cemento; los cuales requieren de una cierta cantidad de energía para producirse, aumentando el costo en la obra.
- Podemos ver claramente que el costo del cemento es mucho más alto que el perma zyme 11 x, debido a que la dosificación del perma zyme según su manual técnico dice que se debe usar un litro perma zyme 11x para tratar 33m<sup>3</sup> de material; lo cual tiene un costo de \$ 370.000. Mientras que el

cemento la dosificación la dan los ensayos de humedecimiento y secado para determinar el valor optimo de diseño, para esta investigación se utilizo el 7% de cemento generando costos mas elevados; debido a que para los mismos  $33\text{m}^3$  de material se necesitan  $2.31\text{m}^3$  que corresponden 70 bultos de cemento, que se ve claramente que el costo es de \$1.039.500, lo cual indica que es mas económico estabilizar con perma zyme 11x por las condiciones anteriormente mencionadas.

## 6. RECOMENDACIONES

- Es necesario tener en cuenta, para la elaboración de proyectos de investigación sobre estabilizaciones en capas granulares donde incluyan productos innovadores, que mejoren su comportamiento como material constitutivo de un pavimento, se establezca una investigación previa referente al tema, con el fin de evitar inconsistencias en el continuo desarrollo del proyecto.
- Se pide realizar un muestreo mucho más amplio en el cual intervengan, no solo los parámetros que se variaron en este trabajo sino también las fuentes y los diferentes tipos de materiales.
- Nuestros compañeros que deseen adelantar investigaciones al respecto, deben enfocar sus ideas a la consecución del desarrollo de este tema, implementando nuevos productos innovadores por ser de gran utilidad al adelanto ingenieril en cuanto a estabilizaciones se refiere para bases, sub-bases.

- Se recomienda establecer parámetros comparativos de costos entre los diferentes tipos de agentes estabilizantes disponibles en el mercado y el Perma Zyme 11x utilizado en la presente investigación, para determinar que tan viable es económicamente el producto.
- En la realización de esta investigación al utilizar los dos productos como son el multienzemático Perma Zyme 11x y el Cemento Pórtland en la estabilización de dicha capa granular, el Perma Zyme no actuó el 100% de mejoramiento en la capacidad de soporte; por el contrario la implementación del cemento obtuvo un 98.8% en la capacidad de soporte, pero a la hora de manejar costos en la rehabilitación de la vía, se recomienda la implementación del Perma Zyme, porque reduce costos en condiciones de reparación y mantenimiento vial; ya que se puede aprovechar la reutilización del material existente y ambientalmente es mas seguro que el cemento porque no es tóxico, no es inflamable, tampoco es dañino para la salud .

## BIBLIOGRAFIA

ACERO ACERO, Efrén. Los informes científicos. Colombia: Educativa, 1995.

BERNAL, César Augusto. Metodología de la investigación. Bogotá. Prentice Hall. 2000.

CASTELLANOS ACEROS, Horacio y TORRES SOLER, Luís Carlos. Investigación en Ingeniería. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2003.

CERDA GUTIERREZ, Hugo. Los elementos de la investigación “como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. Editorial El Búho. 2da impresión 2000.

GRECH MAYOR, Pablo. Introducción a la Ingeniería, primera edición. Colombia: Prentice Hall.2001.

HERNANDEZ LOAIZA, Carlos. Mejoramiento Y Estabilización de Suelos. México: Limusa, 1991.149-255 p.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos. BATISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la Investigación, segunda edición. México: Mc Graw-Hill. 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CETIFICACIÓN. Tesis y otros programas de grado (QUINTA ACTUALIZACIÓN). Bogotá: ICONTEC. 2002.

MEJÍA MAYA, Técnicas para leer, estudiar e investigar. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (INVIAS). Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Transito. Bogotá, Colombia. 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (INVIAS). Normas INVIAS. Tomo 1,2 y 3. Bogota, Colombia: Instituto Nacional de Vías .1998.

JUÁREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos. México: Limusa. Tomo 1. 1998.

RICO RODRÍGUEZ, Alfonso y del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Carreteras, ferrocarriles y Aeropistas. México: Mc Graw Hill.2003.

SUPERFICIES ECOLÓGICAS Y CAMINOS. (SECSA). Manual Técnico Estabilizador de Suelos Perma Zyme 11 X. Bogotá, Colombia. 2006.

RUIZ SARAY, Rosa Amparo. Estructura para la presentación escrita de los informes del Proyecto Integrador en: Asesoría metodológica (1º: 2003: Bogotá D.C.) Proyecto Integrador. Bogotá D.C. U.S.B. p.15.

SABINO, Carlos. El proceso de la investigación. Bogotá: Panamericana. 1997.

SUÁREZ RUIZ, Pedro Alejandro. Metodología de la Investigación diseños y técnicas. Bogotá: Orión Editores LTDA.2001.

## ANEXO 1. COSTOS TOTALES DE LA INVESTIGACIÓN

### RECURSOS MATERIALES

Los recursos materiales necesarios para la ejecución del proyecto de investigación fueron:

Recursos materiales

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cemento Pórtland tipo 1	Un	1	\$16.000,00	\$16.000,00
Perma Zyme 11X -estabilizante	Gl	0.06	\$150.000,00	\$150.000,00
Bata de Laboratorio	Un	3	\$20.000,00	\$60.000,00
Bolsa Plástica Negra	Un	10	\$1.000,00	\$10.000,00
Fotocopia	Un	500	\$50,00	\$25.000,00
Tinta de Impresora	Un	1	\$5.000,00	\$5.000,00
Guantes	Un	9	\$2.000,00	\$18.000,00
Lona (Costal)	Un	10	\$1000,00	\$10.000,00
Otros	Gl	2	\$3.000,00	\$6.000,00
Resma de Papel	Un	3	\$10.000,00	\$30.000,00
<b>Total</b>				<b>\$330.000,00</b>

### RECURSOS INSTITUCIONALES

Los recursos institucionales necesarios para el desarrollo del proyecto fueron:

Recursos institucionales

Institución
Universidad de La Salle
Instituto de desarrollo Urbano (IDU)

## RECURSOS TECNOLÓGICOS

Los recursos tecnológicos necesarios para el desarrollo del proyecto fueron:

Recursos tecnológicos

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cámara digital fotográfica	Global	1	\$ 100.000,00	\$100.000,00
Computador	Global	1	\$ 400.000,00	\$400.000,00
Impresora	Global	1	\$ 150.000,00	\$150.000,00
Memoria USB de 1G	Un	1	\$40.000,00	\$40.000,00
<b>TOTAL RECURSOS TECNOLÓGICOS</b>				<b>\$ 690.00,00</b>

## RECURSOS HUMANOS

Los recursos humanos que formaron parte del desarrollo del proyecto fueron:

Recursos humanos

Cargo	Encargados	No. Horas	Valor total
Investigadores principales	Estudiantes de proyecto de grado	180	-----
Coinvestigadores	Director temático*	20	\$ 121.000
	Asesor metodológico**	64	\$ 148.148
Colaborador	Laboratorista**	120	\$ 545.400
<b>TOTAL RECURSOS HUMANOS</b>			<b>\$ 814.548</b>

## OTROS RECURSOS

Otros tipos de recursos necesarios para la ejecución del proyecto fueron:

Presupuesto de transporte

Concepto	No. De pasaje	Vr. Pasaje	Vr. Total
Transporte de material	3	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
<b>TOTAL PRESUPUESTO TRANSPORTE</b>			<b>\$ 30.000,00</b>

## RECURSOS FINANCIEROS

\* Valor asumido por la Universidad de La Salle, según acuerdo 129 de noviembre 24 de 2006.

\*\* Valor asumido por la Universidad de La Salle, según contrato laboral.

El total de recursos financieros invertidos en el desarrollo de la investigación fueron:

Presupuesto recursos financieros.

Rubros	Fuentes de financiación		
	Universidad de la salle facultad de ingeniería civil	Estudiantes	Total
Recursos humanos	\$808.648,00		\$ 814.548,00
Recursos materiales		\$ 330.000,00	\$ 330.000,00
Transporte de material		\$30.000,00	\$30.000,00
Recursos tecnológicos		\$ 690000,00	\$ 690.00,00
Subtotal	\$808.648,00	\$ 1'050.000,00	\$1'858.648,00
Imprevistos (5%)		\$ 52.500,00	\$ 52.500,00
TOTAL	\$808.648,00	\$1'102.000,00	\$ 1'911.148,00
<b>TOTAL RECURSOS FINANCIEROS</b>			<b>\$ 1'917.048,00</b>

## ANEXO 2



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Natural PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELOS I.N.V.E - 122

RECIPIENTE Nº	PESO DEL RECIPIENTE (gr)	PESO DEL RECIP + MUESTRA HUMEDA (gr)	PESO DEL RECIP. + MUESTRA SECA (gr)	HUMEDAD %
G - 10	337	7346	6684	10.43

### CONTENIDO ORGANICO EN SUELOS MEDIANTE PERDIDA POR IGNICION I.N.V. E - 121

RECIPIENTE Nº	PESO DEL RECIPIENTE (gr)	PESO DEL RECIP + MUESTRA SECA INICIAL (gr)	PESO DEL RECIP. + MUESTRA CALCINADA (gr)	% MAT. ORGANICA
# 15	37.98	239.86	230.88	4.66

### ANEXO 3



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA Nº</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Natural	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

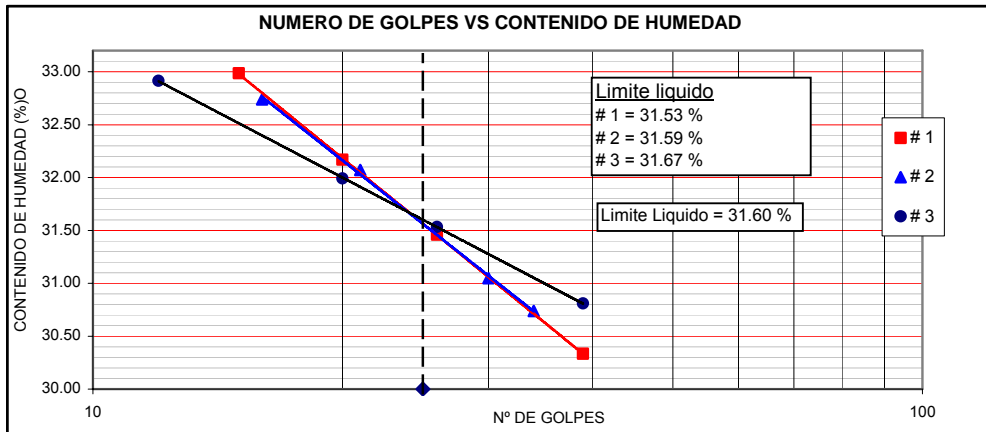
**LIMITE LIQUIDO I.N.V.E - 125**

	RECIPIENTE Nº	PESO DEL	Nº GOLPES	PESO DEL RECIPI +	PESO DEL RECIPI. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	5	6.81	39	19.70	16.70	30.33
	7	6.49	26	19.11	16.09	31.46
	11	6.57	20	23.95	19.72	32.17
	15	6.42	15	20.49	17.00	32.99
2	15	6.70	34	22.65	18.90	30.74
	24	6.41	30	21.90	18.23	31.05
	83	6.51	21	15.94	13.65	32.07
	92	6.88	16	15.80	13.60	32.74
3	38	6.64	39	24.77	20.50	30.81
	45	6.61	26	20.50	17.17	31.53
	18	6.91	20	19.70	16.60	31.99
	1	6.47	12	20.20	16.80	32.91

**LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD I.N.V.E - 126**

	RECIPIENTE	PESO DEL RECIPIENTE	PESO DEL RECIPI + MUESTRA	PESO DEL RECIPI. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	22	6.86	14.78	12.40	19.19
	29	6.78	13.70	11.50	19.13
2	24	6.7	14.70	12.20	20.49
	66	6.54	16.53	13.50	22.44
3	17	6.56	16.45	13.80	19.20

Limite plastico	20.09	%
Indice de plasticidad	11.51	%





## ANEXO 5



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Natural	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO - NORMA TECNICA DE REFERENCIA ANFNOR P18-592**  
**MUESTRAS ENSAYADAS CON MATERIAL NATURAL**

Muestra	1	2
Humedad de la fraccion 0-2mm (W%)	3.3	3.3
Porcentaje que pasa tamiz No 200( f )%	31.53	31.53
Cantidad de caolinita (f) g	30	30
Peso del recipiente (g)	38.14	36.54
Peso del Material retenido en el tamiz No 200 mas recipiente. (g)	147.81	256.6
Peso del material retenido en el tamiz No 200 seco mas recipiente (g)	95.1	89.2
Cantidad de muestra humeda (Mh) g	98.29	98.29
Peso seco del material retenido Tamiz No 200 (M) g	56.96	52.66
Cantidad Real finos sometida al ensayo (q) g	38.19	42.49
Volumen de azul adicionado a la muestra (V1) ml	108	118
Volumen de azul adicionado a la caolinita (V2) ml	58	58
Indice de azul de metilino (g/100g)	1.31	1.41
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.36</b>	

## ANEXO 6



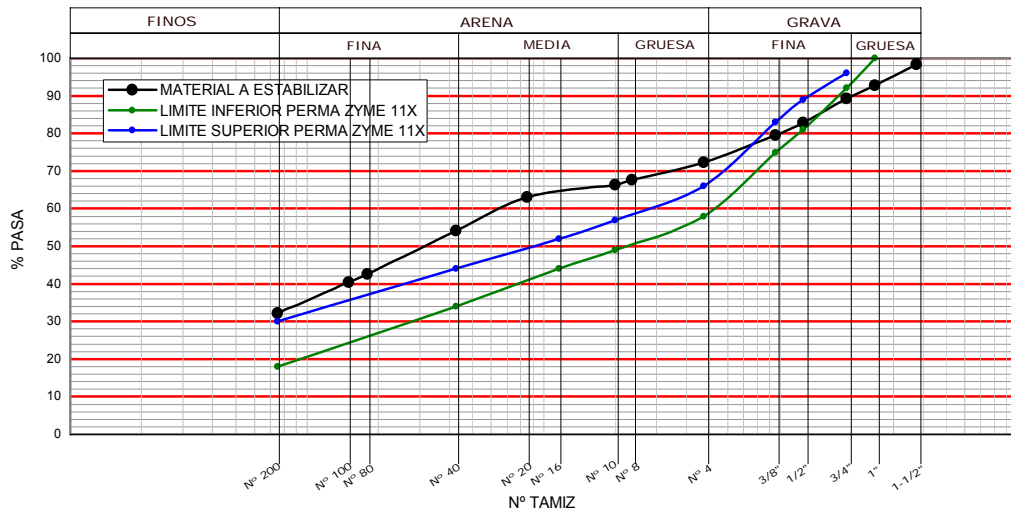
**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

**MUESTRA N°** 1 **FECHA DE RECEPCION** \_\_\_\_\_  
**LOCALIZACION** Calle 133B con transversal 40 **FECHA DE DE ENSAYO** \_\_\_\_\_  
**ESTADO** Natural **PROFUNDIDAD** 0,20 m - 0,30 m  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA** Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO I.N.V.E. - 123

PESO MUESTRA SECA (gr) 6347 PESO MUESTRA SECA LAVADA (gr) 4371  
 PESO MUESTRA SECA LAVADA + RECIPIENTE (gr) 4749 PERDIDA DE LAVADO (gr) 1976  
 PESO DEL RECIPIENTE (gr) 378

MAILLA N°	ABERTURA (mm)	PESO SUELO RETENIDO (gr)	PESO SUELO QUE PASA (gr)	%RETENIDO	%PASA	BANDA 1 PERMA ZYME 11X	BANDA 2 PERMA ZYME 11X
1 1/2"	37,50	104	6243	1,6	98,36		
1"	25,00	360	5883	5,7	92,69	100,00	
3/4"	19,00	218	5665	3,4	89,25	92,00	96,0
1/2"	12,50	403	5262	6,3	82,91	81,00	89,0
3/8"	9,50	216	5046	3,4	79,50	75,00	83,0
N° 4	4,75	458	4588	7,2	72,29	58,00	66,0
N° 8	2,360	294	4294	4,6	67,65	49,00	57,0
N° 10	2,000	85	4209	1,3	66,31	44,00	52,0
N° 20	0,850	207	4002	3,3	63,05	34,00	44,0
N° 40	0,425	564	3438	8,9	54,17	18,00	30,0
N° 80	0,180	732	2706	11,5	42,63		
N° 100	0,150	141	2565	2,2	40,41		
N° 200	0,075	519	2046	8,2	32,24		
FONDO		45	2001	0,7	31,53		
<b>TOTAL</b>		<b>4346</b>					



SUCS CL  
 A.A.S.T.H.O A2-6 (2)

## ANEXO 7



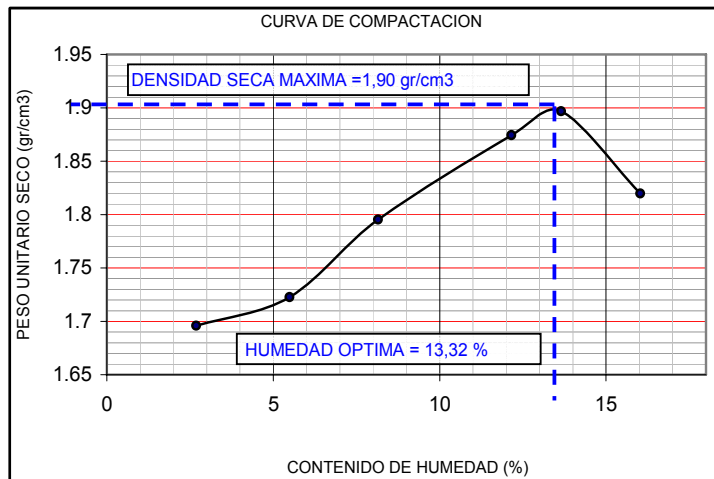
**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N°	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

### RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS EQUIPO MODIFICADO I.N.V. E - 142

Método de Ensayo : Proct. Modificado

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
N° GOLPES	25	25	25	25	25	25
N° CAPAS	5	5	5	5	5	5
MOLDE N°	2	2	2	2	2	2
VOLUMEN MOLDE, V, (cm <sup>3</sup> )	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL MUESTRA, W <sub>i</sub> , (%)	4	4	4	4	4	4
CONTENIDO DE HUMEDAD ADICIONAL, WAD, (%)	4	7	10	13	15	18
PESO MUESTRA HUMEDA, W <sub>mh</sub> , (gr)	3539	3693	3946	4272	4381	4291
PESO MUESTRA SECA, W <sub>ms</sub> , (gr)	3446.54	3500.89	3648.51	3809.02	3854.98	3698.27
VOLUMEN AGUA ADICIONAR ΔW <sub>w</sub> , (cm <sup>3</sup> )	0	144.23	288.46	432.69	528.85	673.08
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE, W <sub>mh+m</sub> , (gr)	7019	7173	7426	7752	7861	7771
PESO MOLDE, W <sub>m</sub> , (gr)	3480	3480	3480	3480	3480	3480
PESO MUESTRA HUMEDA, W <sub>mh</sub> , (gr)	3539	3693	3946	4272	4381	4291
CONTENIDO DE HUMEDAD, W, (%)	2.68	5.49	8.15	12.15	13.65	16.03
PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE, W <sub>mh+r</sub> , (gr)	288	324	394	445	475	552
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE, W <sub>ms+r</sub> , (gr)	281.39	309.07	367.01	401.0	422.29	481.0
PESO RECIPIENTE, W <sub>r</sub> , (gr)	35	37	36	39	36	38
PESO UNITARIO SECO, (gr/cm <sup>3</sup> )	1.70	1.72	1.80	1.87	1.90	1.82
PESO UNITARIO SECO, (lb/pie <sup>3</sup> )	3.55E-05	3.61E-05	3.76E-05	3.92E-05	3.97E-05	3.81E-05



γ <sub>d</sub> optimo (kg/m <sup>3</sup> ) =	1900.00
γ <sub>d</sub> optimo (gr/ cm <sup>3</sup> ) =	1.90
γ <sub>d</sub> optimo (lb/pie <sup>3</sup> ) =	3.98E-05
W <sub>optima</sub> (%) =	13.32

## ANEXO 8



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Natural PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 6.00 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6.97 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 196.8 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 12

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0.265	0	0.0
		0.272	0.0014	0.14
		0.277	0.0024	0.24
		0.283	0.0036	0.36

**PENETRACION**

SIN SUMERGIR				
Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	1	4.09	
0.025	-	11	44.95	
0.050	-	19	77.65	
0.075	-	29	118.51	
0.100	1000	37	151.21	15.12
0.150	-	57	232.94	
0.200	1500	72	294.24	19.62
0.250	-	88	359.63	
0.300	1900	102	416.84	
0.400	2300	121	494.49	
0.500	2600	137	559.87	

Molde N° 1 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12.26

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	2	8.17	
0.025	-	8	32.69	
0.050	-	13	53.13	
0.075	-	16	65.39	
0.100	1000	18	73.56	7.36
0.150	-	22	89.91	
0.200	1500	24	98.08	6.54
0.250	-	26	106.25	
0.300	1900	27	110.34	
0.400	2300	29	118.51	
0.500	2600	30	122.60	

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

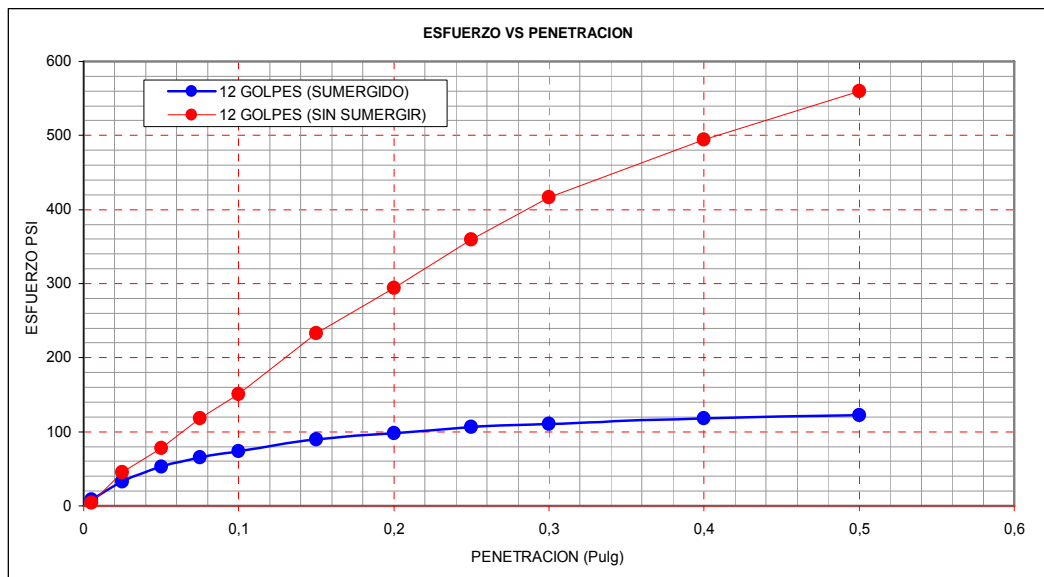
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	212	244	1	1	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	326	225	8416	8710	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	294	197	-	-	
Peso del agua (gr)	32	28	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	37	35	4066	4066	
Peso Suelo Humedo (gr)	289	190	4350	4644	
Peso Suelo Seco (gr)	257	162	-	-	
Humedad %	12.45	17.28	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm³)			1.9	2.0	
Peso Unitario Seco			1.67		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA N°	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Natural PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,96 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,97 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 194,2 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 26

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,056	0	0,0
		0,066	0,002	0,2
		0,077	0,0042	0,42
		0,082	0,0052	0,52

**PENETRACION**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	SUMERGIDO		
		Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	4	16,35	
0,025	-	14	57,21	
0,050	-	24	98,08	
0,075	-	34	138,95	
0,100	1000	42	171,64	17,16
0,150	-	57	232,94	
0,200	1500	67	273,81	18,25
0,250	-	77	314,67	
0,300	1900	83	339,19	
0,400	2300	88	359,63	
0,500	2600	94	384,15	

Molde N° 2 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

**SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR	CBR CORREGIDO
0,005	-	3	12,26		
0,025	-	12	49,04		
0,050	-	17	69,47		
0,075	-	25	102,17		
0,100	1000	37	151,21	15,12	20,00
0,150	-	61	249,29		
0,200	1500	85	347,37	23,16	26,67
0,250	-	108	441,36		
0,300	1900	137	559,87		
0,400	2300	209	854,11		
0,500	2600	262	1070,71		

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

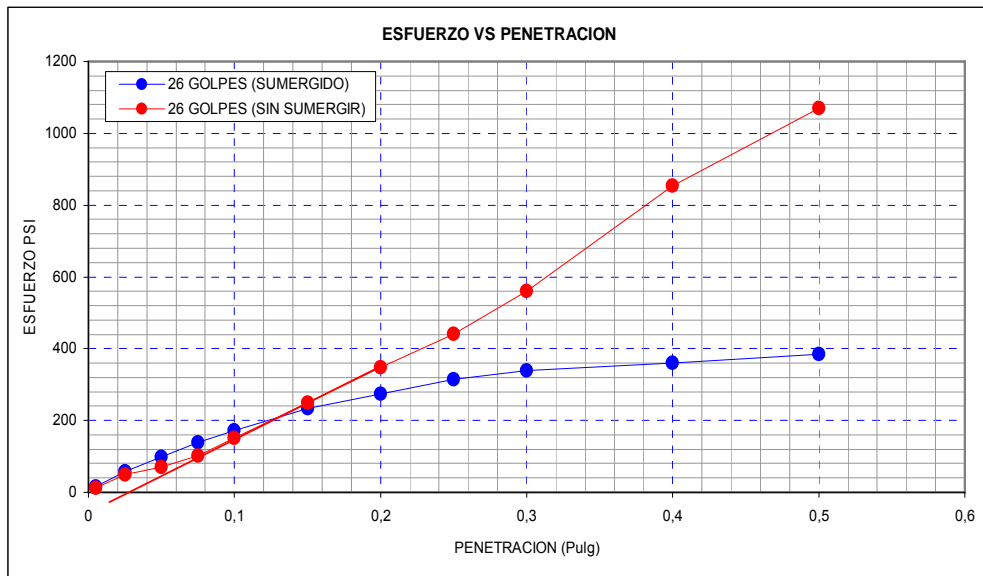
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	3	230	2	2	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	343	262	9532	9832	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	309	231	-	-	
Peso del agua (gr)	34	31	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	36	38	4979	4979	
Peso Suelo Humedo (gr)	307	224	4553	4853	
Peso Suelo Seco (gr)	273	193	-	-	
Humedad %	12,45	16,06	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,0	2,1	
Peso Unitario Seco			1,80		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Natural PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,98 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,97 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 195,7 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 55

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,008	0	0,0
		0,015	0,0014	0,14
		0,026	0,0036	0,36
		0,033	0,005	0,50

**PENETRACION**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	1	4,09	
0,025	-	10	40,87	
0,050	-	22	89,91	
0,075	-	34	138,95	
0,100	1000	45	183,90	18,39
0,150	-	68	277,89	
0,200	1500	90	367,80	24,52
0,250	-	110	449,53	
0,300	1900	128	523,09	
0,400	2300	152	621,17	
0,500	2600	170	694,73	

Molde N° 3 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

**SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR	CBR CORREGIDO
0,005	-	1	4,09		
0,025	-	15	61,30		
0,050	-	30	122,60		
0,075	-	48	196,16		
0,100	1000	65	265,63	25,56	36,00
0,150	-	105	429,10		
0,200	1500	145	592,57	39,5	49,00
0,250	-	191	780,55		
0,300	1900	240	980,80		
0,400	2300	330	1348,60		
0,500	2600	402	1642,84		

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

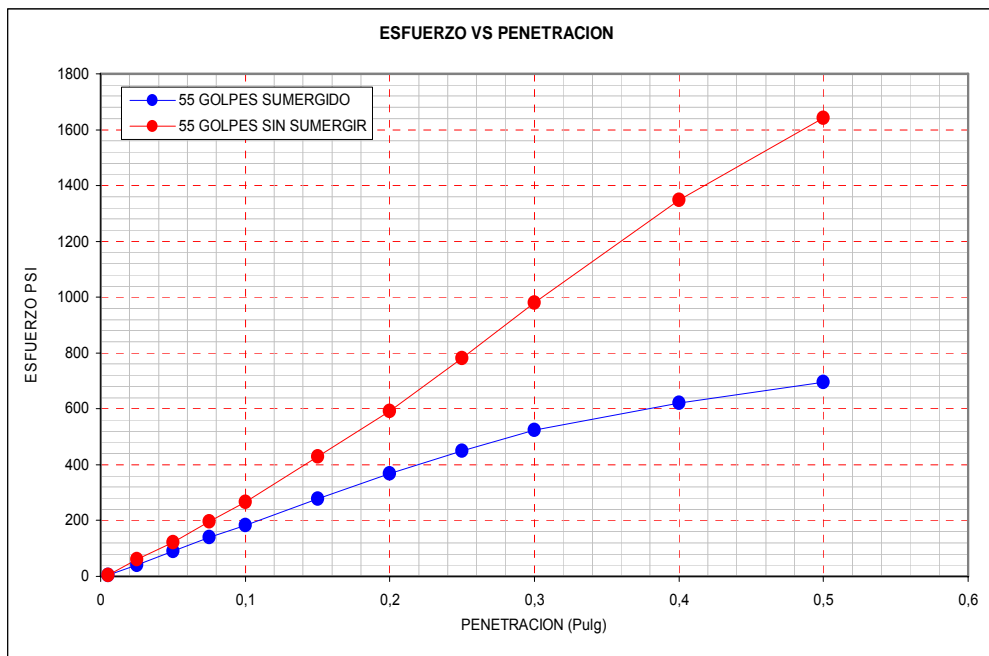
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	202	0	3	3	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	318	248	9954	10154	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	284	222	-	-	
Peso del agua (gr)	34	41	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	29	38	5068	5068	
Peso Suelo Humedo (gr)	289	210	4886	5086	
Peso Suelo Seco (gr)	255	184	-	-	
Humedad %	13,33	14,13	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,1	2,2	
Peso Unitario Seco			1,90		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148

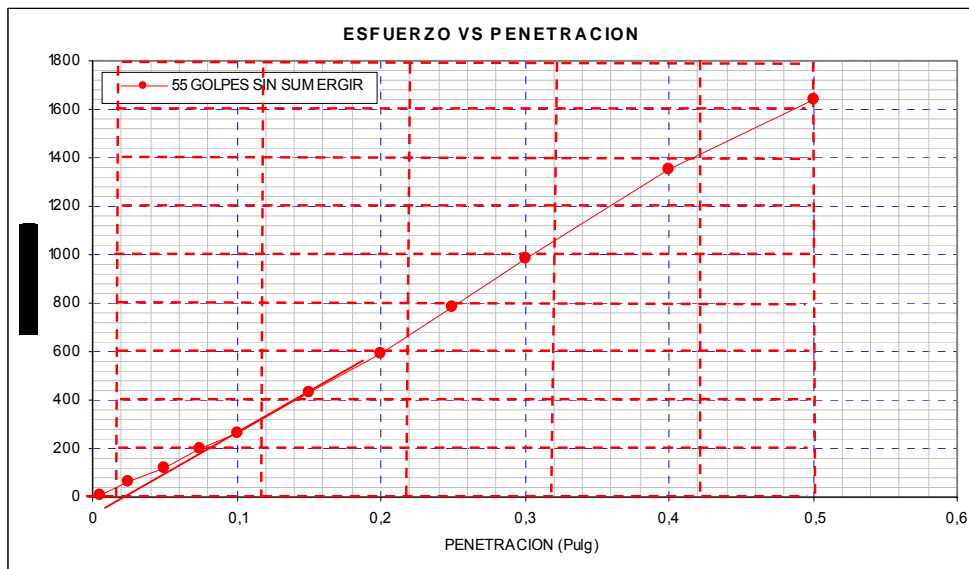




UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA N°	1	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148  
CBR CORREGIDOS

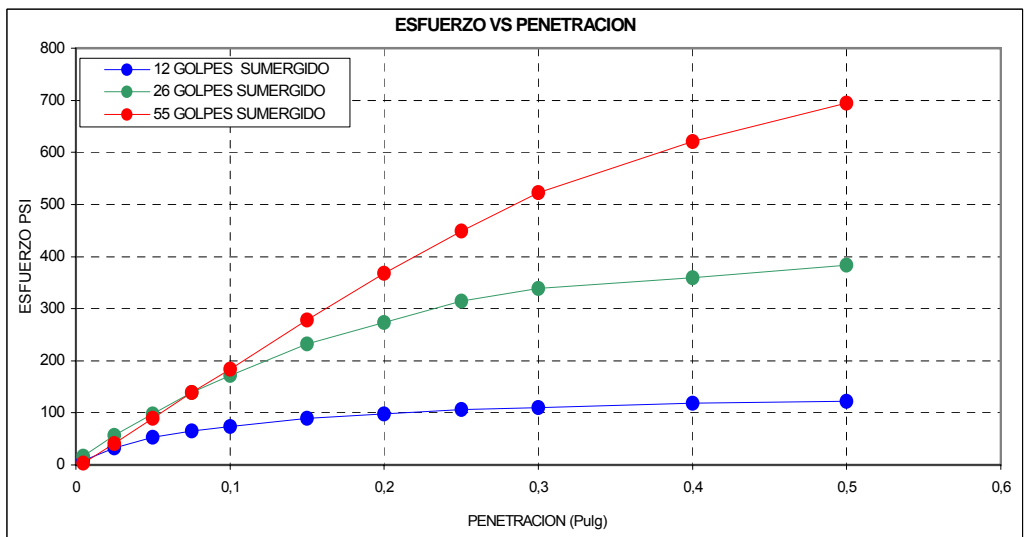
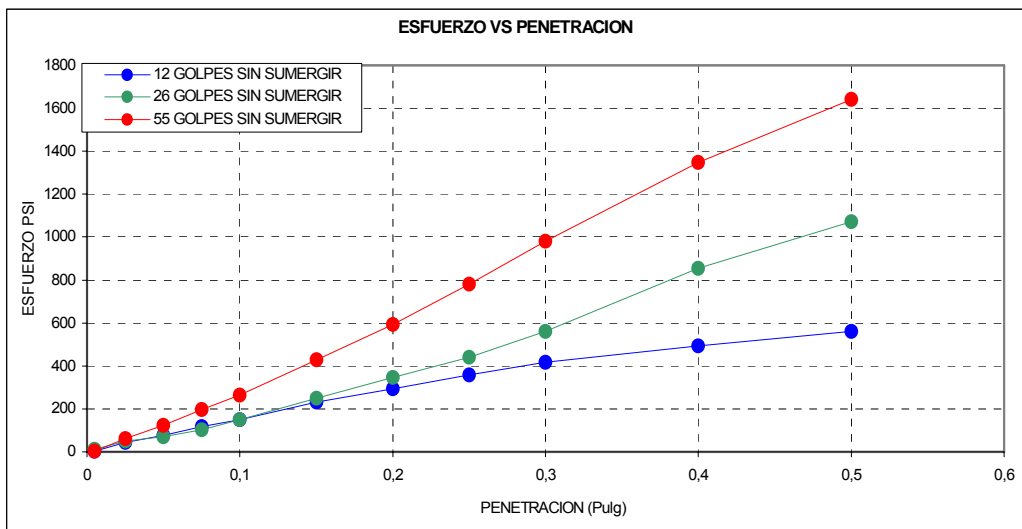




UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Natural	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148

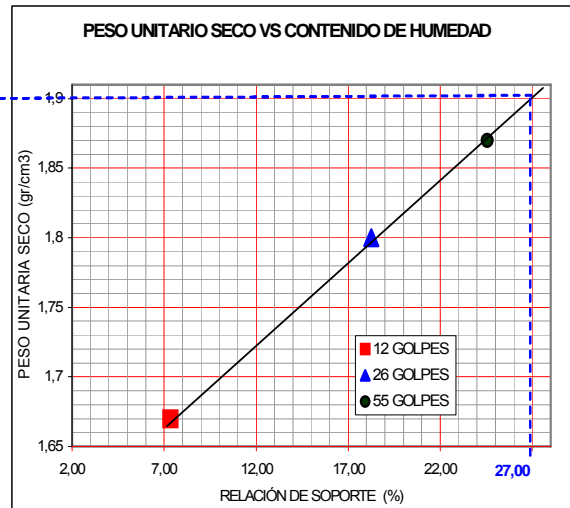
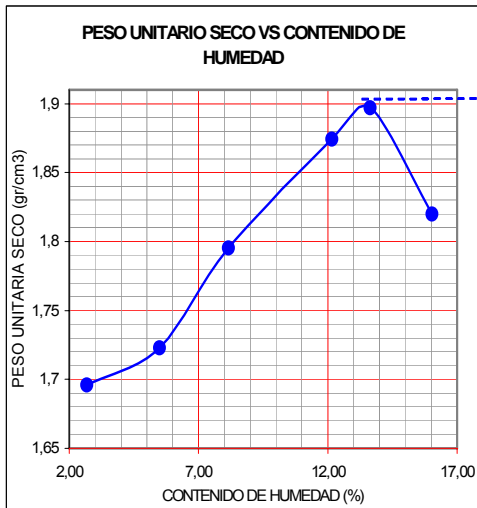




**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº	<u>1</u>	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	<u>Calle 133B con transversal 40</u>	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	<u>Natural</u>	PROFUNDIDAD	<u>0,20 m - 0,30 m</u>
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	<u>Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava</u>		

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**



Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 55 Golpes	<u>24,56</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 26 Golpes	<u>18,25</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 12 Golpes	<u>7,36</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R)	<u>27,00</u>

LL	<u>31,6</u> %	LP	<u>20,09</u> %	IP	<u>11,51</u> %
Clasificación	AASHTO <u>A2-6 (2)</u>				
	USC <u>CL</u>				
Densidad máxima	<u>1,90</u> (g/cm³)				
Humedad Óptima	<u>13,32</u> %				

## ANEXO 9



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

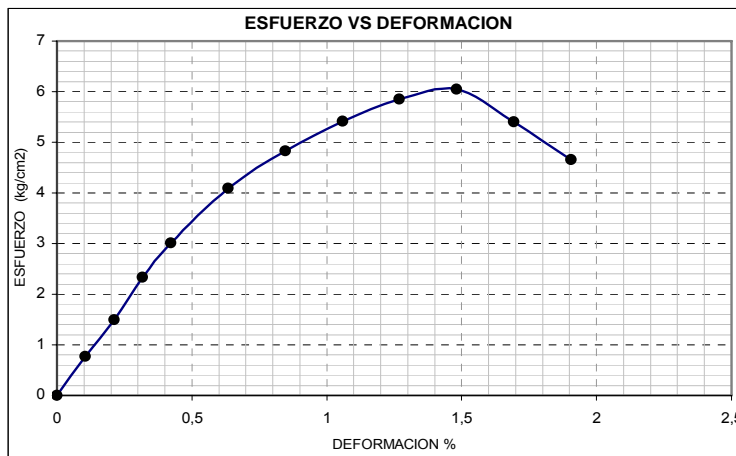
MUESTRA N° 1  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40  
 ESTADO Natural 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO NATURAL I.N.V 809

#### DATOS DE LA MUESTRA

Altura	<u>12,00</u>	cm	Densidad Humeda	<u>1,71</u>	gr/cm <sup>3</sup>
Diametro	<u>5,50</u>	cm	Peso Total	<u>488</u>	gr
Area	<u>23,76</u>	cm <sup>2</sup>			
Volumen	<u>285,09</u>	cm <sup>3</sup>			

Anillo	Carga (kg)	Deformacion 10 3 pulg	Deformacion %	Area Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,0	0,0	0,00	23,76	0,00
3,30	18,3	5,0	0,11	23,78	0,77
6,40	35,6	10,0	0,21	23,81	1,49
10,00	55,6	15,0	0,32	23,83	2,33
12,90	71,7	20,0	0,42	23,86	3,01
17,60	97,9	30,0	0,64	23,91	4,09
20,80	115,6	40,0	0,85	23,96	4,83
23,40	130,1	50,0	1,06	24,01	5,42
25,30	140,7	60,0	1,27	24,06	5,85
26,20	145,7	70,0	1,48	24,12	6,04
23,50	130,7	80,0	1,69	24,17	5,41
20,30	112,9	90,0	1,91	24,22	4,66



Esfuerzo Max, 6,04 Kg/cm<sup>2</sup>

## ANEXO 10



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Modificado con perma zyme 11x	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO - NORMA TECNICA DE REFERENCIA ANFNOR P18-592**  
**MUESTRAS ENSAYADAS MATERIAL PERMA ZYME 11X**

Muestra	1	2
Humedad de la fraccion 0-2mm (W%)	3.3	3.3
Porcentaje que pasa tamiz No 200( f )%	31.53	31.53
Cantidad de caolinita (f) g	30	30
Peso del recipiente (g)	34.26	37.12
Peso del Material retenido en el tamiz No 200 mas recipiente. (g)	145.98	158.9
Peso del material retenido en el tamiz No 200 seco mas recipiente (g)	94.5	96.9
Cantidad de muestra humeda (Mh) g	98.29	102.30
Peso seco del material retenido Tamiz No 200 (M) g	60.24	59.78
Cantidad Real finos sometida al ensayo (q) g	34.91	39.25
Volumen de azul adicionado a la muestra (V1) ml	105	110
Volumen de azul adicionado a la caolinita (V2) ml	58	58
Indice de azul de metilino (g/100g)	1.35	1.32
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.34</b>	

## ANEXO 11



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Modificado con perma zyme 11x	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS I.N.V.E - 133**

N° PESOS	PESO (gr)	LECTURA DE ARCILLA	LECTURA DE ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA %
1	107	34.4	3.9	11.34
2	107	35.8	4.0	11.17
3	107	35.1	4.2	11.97

PROMEDIO	EQUIVALENTE DE ARENA %	11.49
	<b>EQUIVALENTE DE ARENA %</b>	<b>12.00</b>

## ANEXO 12



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA Nº</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Modificado con perma zyme 11x	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

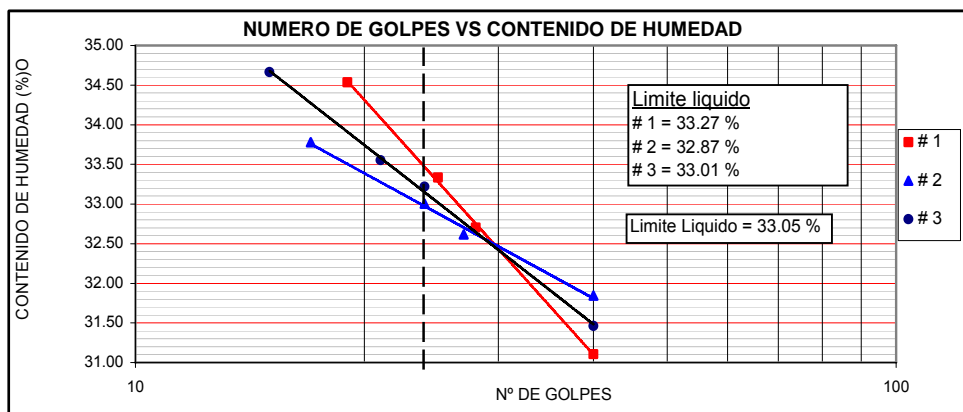
### LIMITE LIQUIDO I.N.V.E - 125

	RECIPIENTE Nº	PESO DEL	Nº GOLPES	PESO DEL RECIPI +	PESO DEL RECIPI. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	68	6.11	40	11.21	10.00	31.11
	65	6.43	28	12.76	11.20	32.70
	9	6.48	25	12.44	10.20	60.22
	16	6.92	19	12.14	10.80	34.54
2	12	6.34	40	10.97	9.90	31.83
	27	6.85	27	11.16	10.10	32.62
	30	6.38	24	22.50	18.50	33.00
	31	6.88	17	15.87	13.60	33.78
3	28	6.8	40	18.50	15.70	31.46
	54	6.71	24	18.42	15.50	33.22
	57	6.69	21	18.99	15.90	33.55
	49	6.58	15	19.40	16.10	34.66

### LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD I.N.V.E - 126

	RECIPIENT	PESO DEL RECIPIENTE	PESO DEL RECIPI + MUESTRA	PESO DEL RECIPI. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	88	6.67	14.78	12.00	23.17
	78	6.7	15.20	12.50	21.60
2	77	6.6	14.93	12.30	21.38
	84	6.55	17.35	14.45	20.07
3	20	6.53	15.51	12.70	22.13

Limite plastico	21.67	%
Indice de plasticidad	11.38	%



## ANEXO 13



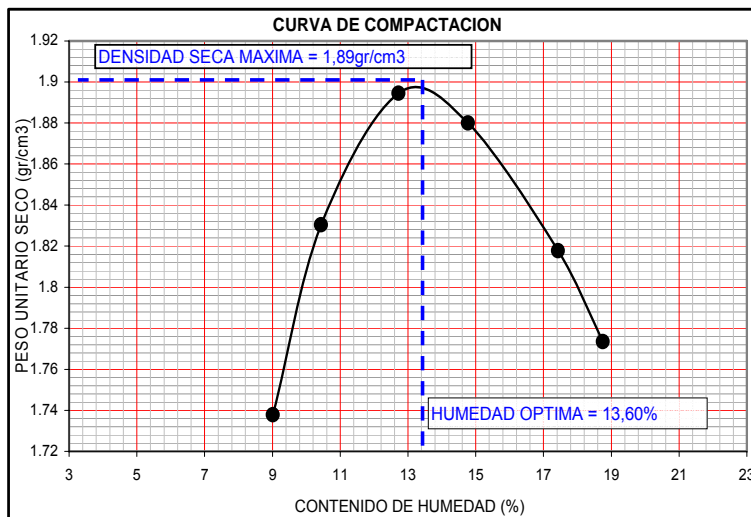
**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Modificado con Perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

### RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS EQUIPO MODIFICADO I.N.V. E - 142

Método de Ensayo : Proct. Modificado

PRUEBA	1	2	3	4	5	6	7
Nº GOLPES	25	25	25	25	25	25	25
Nº CAPAS	5	5	5	5	5	5	5
MOLDE Nº	2	2	2	2	2	2	2
VOLUMEN MOLDE, V, (cm3)	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21	2032.21	2032.2
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL MUESTRA, Wi, (%)	3	3	3	3	3	3	3
CONTENIDO DE HUMEDAD ADICIONAL, WAD, (%)	7.32	9.32	11.32	13.32	15.32	17.32	19.32
PESO MUESTRA HUMEDA, Wmh, (gr)	3603	3850	4108	4340	4385	4338	4280
PESO MUESTRA SECA, Wms, (gr)	3371.68	3531.63	3719.84	3850.14	3820.59	3694.08	3604.2
VOLUMEN AGUA ADICIONAR ΔWw, (cm3)	293.59	429.51	565.44	701.36	837.28	973.20	1109.1
PESO MUESTRA HUMEDA + MOLDE, Wmh+m, (gr)	7068	7315	7573	7805	7850	7803	7745
PESO MOLDE, Wm, (gr)	3465	3465	3465	3465	3465	3465	3465
PESO MUESTRA HUMEDA, Wmh, (gr)	3603	3850	4108	4340	4385	4338	4280
CONTENIDO DE HUMEDAD, W, (%)	6.86	9.01	10.43	12.72	14.77	17.43	18.75
PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE, Wmh+r, (gr)	552	552	544	542	544	550	550
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE, Wms+r, (gr)	519	509	496	485	479.0	474.0	469
PESO RECIPIENTE, Wr, (gr)	38	32	36	37	39	38	37
PESO UNITARIO SECO, (gr/cm3)	1.66	1.74	1.83	1.89	1.88	1.82	1.77
PESO UNITARIO SECO, (lb/pie3)	3.47E-05	3.6E-05	3.83E-05	3.97E-05	3.94E-05	3.81E-05	3.7E-05



γd optimo (kg/m3) =	1890.00
γd optimo (g/ cm3) =	1.89
γd optimo (lb/pie3) =	3.96E-05
Woptima (%) =	13.60

## ANEXO 14



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Modificado con perma zyme 11x PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5.98 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6.97 Pulg.  
 Nº Capas 5 Volumen de la Muestra 196.0 Pulg3  
 Nº Golpes por Capa 12

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0.132	0	0.0
		0.150	0.0036	0.36
		0.153	0.0042	0.42
		0.160	0.0056	0.56

Molde Nº 1 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12.26

**PENETRACION SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	1	4.09	
0.025	-	8	32.69	
0.050	-	17	69.47	
0.075	-	27	110.34	
0.100	1000	36	147.12	14.71
0.150	-	54	220.68	
0.200	1500	70	286.07	19.07
0.250	-	86	351.45	
0.300	1900	99	404.58	
0.400	2300	127	519.01	
0.500	2600	152	621.17	

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	0	0.00	
0.025	-	6	24.52	
0.050	-	14	57.21	
0.075	-	19	77.65	
0.100	1000	22	89.91	8.99
0.150	-	26	106.25	
0.200	1500	30	122.60	8.17
0.250	-	34	138.95	
0.300	1900	36	147.12	
0.400	2300	41	167.55	
0.500	2600	46	187.99	

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

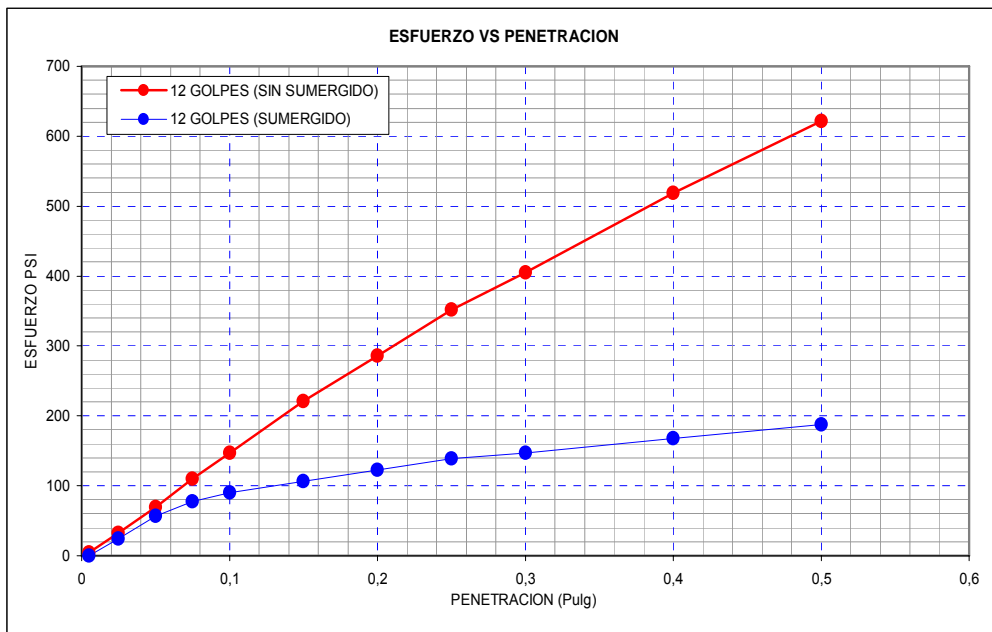
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) Nº	219	119	1	1	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	550	337	8527	8694	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	490	294	-	-	
Peso del agua (gr)	60	43	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	38	40	4068	4068	
Peso Suelo Humedo (gr)	512	297	4459	4626	
Peso Suelo Seco (gr)	452	254	-	-	
Humedad %	13.27	16.93	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			1.9	2.0	
Peso Unitario Seco			1.70		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA N°	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Modificado con perma zyme 11x PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,98 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,97 Pulg.  
 Nº Capas 5 Volumen de la Muestra 196,0 Pulg3  
 Nº Golpes por Capa 26

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,008	0,0000	0,00
		0,015	0,0014	0,14
		0,026	0,0036	0,36
		0,033	0,0050	0,50

**PENETRACION SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	8	32,69	
0,025	-	24	98,08	
0,050	-	40	163,47	
0,075	-	56	228,85	
0,100	1000	70	286,07	28,61
0,150	-	94	384,15	
0,200	1500	115	469,97	31,33
0,250	-	132	539,44	
0,300	1900	148	604,83	
0,400	2300	170	694,73	
0,500	2600	187	764,21	

Molde Nº 2 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	5	20,43	
0,025	-	19	77,65	
0,050	-	35	143,03	
0,075	-	49	200,25	
0,100	1000	63	257,46	25,75
0,150	-	82	335,11	
0,200	1500	96	392,32	26,15
0,250	-	105	429,10	
0,300	1900	109	445,45	
0,400	2300	115	469,97	
0,500	2600	120	490,40	

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

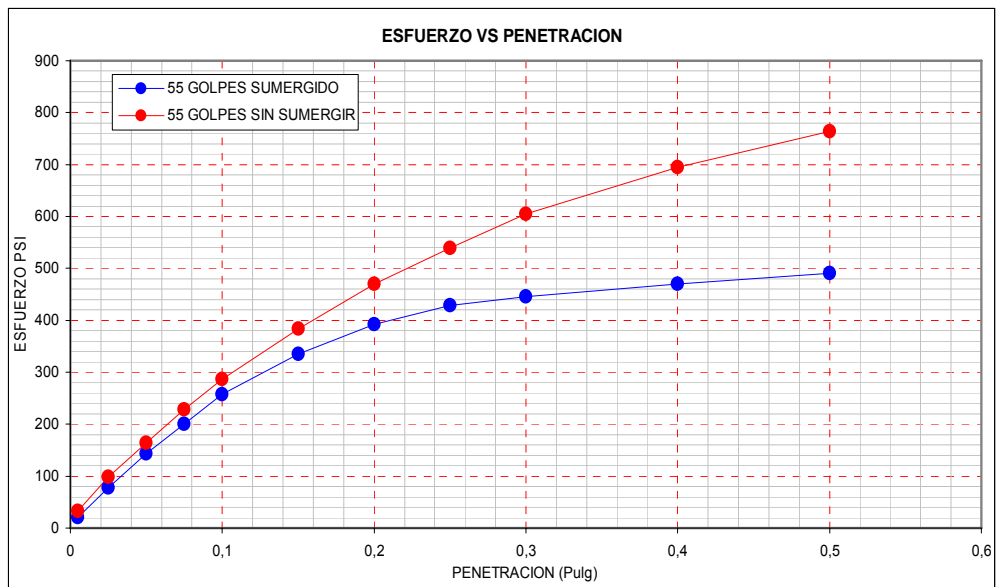
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) Nº	219	251	2	2	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	550	376	9640	9718	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	490	332	-	-	
Peso del agua (gr)	60	41	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	38	36	4981	4981	
Peso Suelo Humedo (gr)	512	340	4659	4737	
Peso Suelo Seco (gr)	452	296	-	-	
Humedad %	13,27	14,86	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,0	2,1	
Peso Unitario Seco			1,80		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Modificado con perma zyme 11x PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,98 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,97 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 196,0 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 55

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,119	0	0,0
		0,124	0,001	0,1
		0,143	0,0048	0,48
		0,149	0,006	0,60

**PENETRACION SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	10	40,87	
0,025	-	45	183,90	
0,050	-	85	347,37	
0,075	-	120	490,40	
0,100	1000	155	633,43	63,34
0,150	-	206	841,85	
0,200	1500	240	980,80	65,39
0,250	-	270	1103,40	
0,300	1900	290	1185,13	
0,400	2300	310	1266,87	
0,500	2600	319	1303,65	

Molde N° 4 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	10	40,87	
0,025	-	45	183,90	
0,050	-	75	306,50	
0,075	-	98	400,49	
0,100	1000	120	490,40	49,04
0,150	-	155	633,43	
0,200	1500	184	751,95	50,13
0,250	-	210	858,20	
0,300	1900	231	944,02	
0,400	2300	260	1062,53	
0,500	2600	280	1144,27	

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

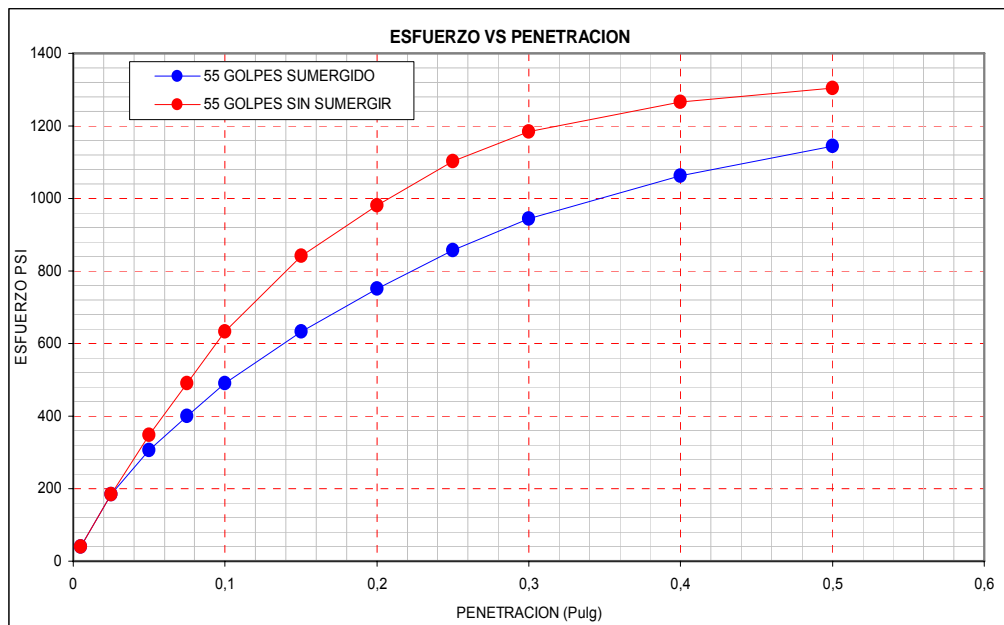
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	219	213	4	4	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	550	281	9696	9711	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	490	250	-	-	
Peso del agua (gr)	60	41	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	38	36	4976	4976	
Peso Suelo Humedo (gr)	512	245	4720	4735	
Peso Suelo Seco (gr)	452	214	-	-	
Humedad %	13,27	14,49	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,0	2,1	
Peso Unitario Seco			1,80		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148

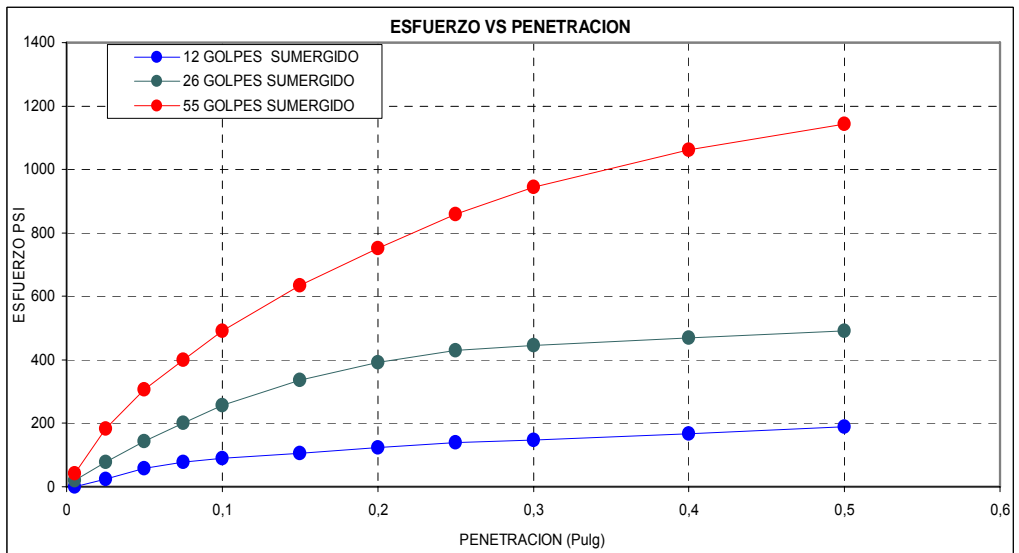
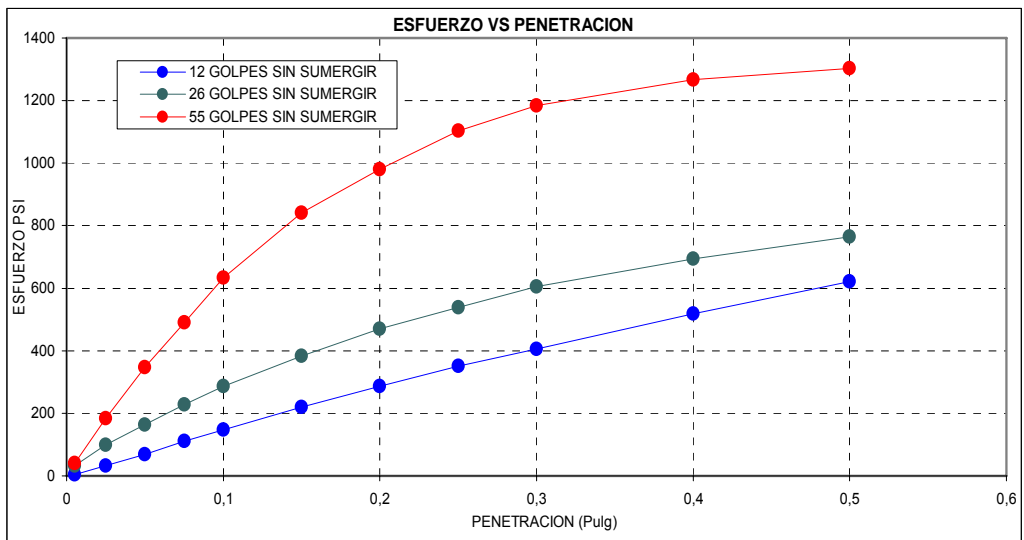




UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148

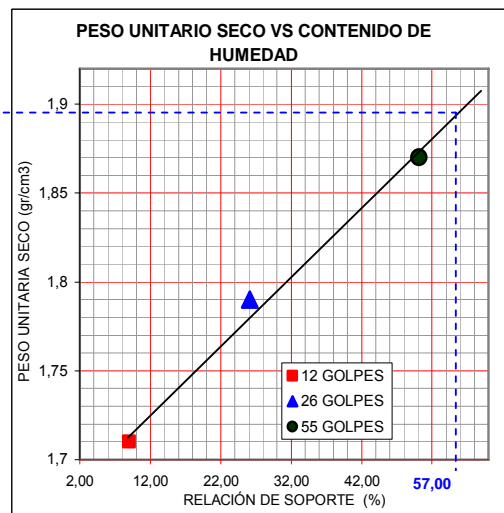
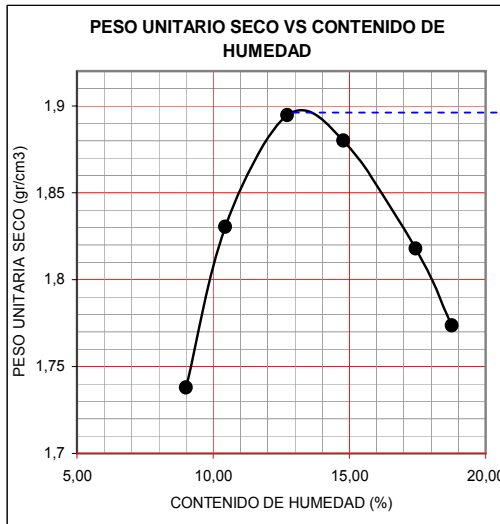




**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**



Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 55 Golpes	<u>50,13</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 26 Golpes	<u>26,15</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) 12 Golpes	<u>8,99</u>
Valor Relación de Soporte (índice C.B.R) Laboratorio	<u>57,00</u>

Clasificación	AASHTO	<u>A2-6 (2)</u>
	USC	<u>CL</u>
Densidad máxima	<u>1,89</u>	<u>(g/ cm³)</u>
Humedad Optima	<u>13,60</u>	<u>%</u>

## ANEXO 15



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N°	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Modificado con perma zyme 11x	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

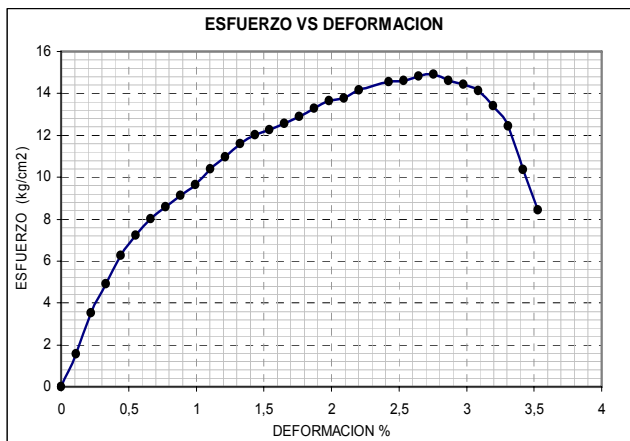
### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS PREPARADOS CON PERMA ZYME 11X I.N.V 809

#### DATOS DE LA MUESTRA

Altura	11,52	cm	Densidad Humeda	1,88	gr/cm3
Diametro	6,00	cm	Peso Total	611	gr
Area	28,27	cm2			
Volumen	325,71	cm3			

Anillo	Carga (kg)	Def. 10-3 pulg	Def. %	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (kg/cm2)
0,00	0,0	0,0	0,00	28,27	0,00
8,00	44,5	5,0	0,11	28,30	1,57
18,00	100,1	10,0	0,22	28,34	3,53
25,00	139,0	15,0	0,33	28,37	4,90
32,00	177,9	20,0	0,44	28,40	6,27
37,00	205,7	25,0	0,55	28,43	7,24
41,00	228,0	30,0	0,66	28,46	8,01
44,00	244,6	35,0	0,77	28,49	8,59
46,80	260,2	40,0	0,88	28,53	9,12
49,50	275,2	45,0	0,99	28,56	9,64
53,40	296,9	50,0	1,10	28,59	10,39
56,50	314,1	55,0	1,21	28,62	10,98
59,80	332,5	60,0	1,32	28,65	11,60
62,10	345,3	65,0	1,43	28,68	12,04
63,40	352,5	70,0	1,54	28,72	12,28
64,90	360,8	75,0	1,65	28,75	12,55
66,70	370,9	80,0	1,76	28,78	12,89
68,80	382,5	85,0	1,87	28,81	13,28

Anillo	Carga (kg)	Def. 10-3 pulg	Def. %	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (kg/cm2)
70,8	393,6	90,00	1,98	28,85	13,65
71,6	398,1	95,00	2,09	28,88	13,79
73,7	409,8	100,00	2,20	28,91	14,17
75,8	421,4	110,00	2,43	28,98	14,54
76,2	423,7	115,00	2,54	29,01	14,60
77,5	430,9	120,00	2,65	29,04	14,84
78	433,7	125,00	2,76	29,07	14,92
76,5	425,3	130,00	2,87	29,11	14,61
75,6	420,3	135,00	2,98	29,14	14,42
74,1	412,0	140,00	3,09	29,17	14,12
70,4	391,4	145,00	3,20	29,21	13,40
65,5	364,2	150,00	3,31	29,24	12,45
54,5	303,0	155,00	3,42	29,27	10,35
44,5	247,4	160,00	3,53	29,31	8,44



Esfuerzo Max 14,92 kg/cm2



## ANEXO 16



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	suelo- cemento 6%	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO - NORMA TECNICA DE REFERENCIA ANFNOR P18-592**  
**MUESTRAS ENSAYADAS MATERIAL 6% DE CEMENTO**

Muestra	1	2
Humedad de la fraccion 0-2mm (W%)	3.3	3.3
Porcentaje que pasa tamiz No 200( f )%	31.53	31.53
Cantidad de caolinita (f) g	30	30
Peso del recipiente (g)	30.1	29.3
Peso del Material retenido en el tamiz No 200 mas recipiente. (g)	150.23	165.3
Peso del material retenido en el tamiz No 200 seco mas recipiente (g)	82.3	89.5
Cantidad de muestra humeda (Mh) g	98.29	102.30
Peso seco del material retenido Tamiz No 200 (M) g	52.2	60.2
Cantidad Real finos sometida al ensayo (q) g	42.95	38.83
Volumen de azul adicionado a la muestra (V1) ml	110	106
Volumen de azul adicionado a la caolinita (V2) ml	60	60
Indice de azul de metilino (g/100g)	1.16	1.18
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.17</b>	

## ANEXO 17



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 6% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS I.N.V.E - 133**

N° PESOS	PESO (gr)	LECTURA DE ARCILLA	LECTURA DE ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA %
1	105	33.5	3.6	<b>10.75</b>
2	105	32.9	3.8	<b>11.55</b>
3	105	33.6	3.4	<b>10.12</b>

PROMEDIO EQUIVALENTE DE ARENA %      10.81  
 EQUIVALENTE DE ARENA %                      **11.00**

## ANEXO 18



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	Suelo - cemento 6%	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

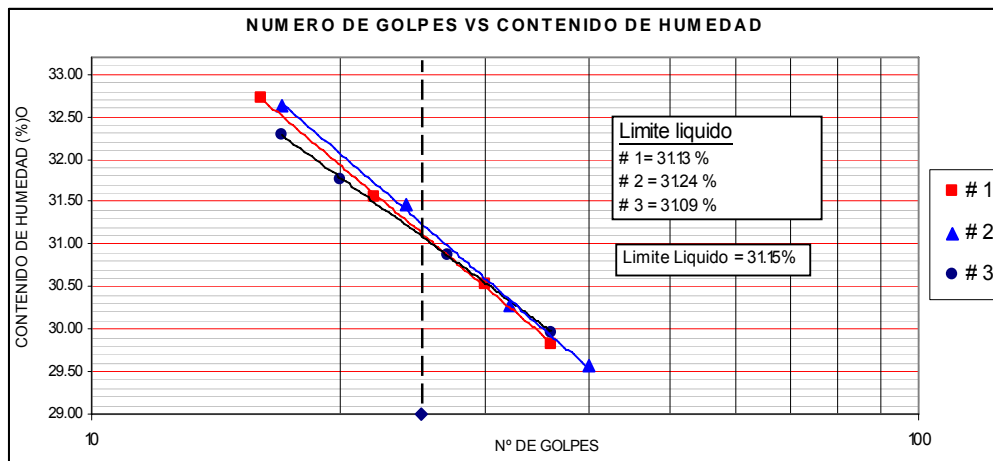
### LIMITE LIQUIDO I.N.V.E - 125

	RECIPIENTE	PESO DEL	N° GOLPES	PESO DEL	PESO DEL RECIP. +	HUMEDAD
1	85	6.02	36	15.99	13.70	29.82
	64	6.57	30	11.70	10.50	30.53
	6	6.24	22	11.45	10.20	31.57
2	86	7.01	16	13.50	11.90	32.72
	80	6.63	40	12.81	11.40	29.36
	23	6.8	32	11.36	10.30	30.29
3	60	6.89	24	20.18	17.00	31.45
	4	6.17	17	20.80	17.20	32.64
	3	6.79	36	18.63	15.90	29.97
3	33	6.10	27	22.59	18.70	30.87
	55	6.16	20	21.63	17.90	31.77
	78	6.85	17	23.98	19.80	32.28

### LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD I.N.V.E - 126

	RECIPIE	PESO DEL	PESO DEL RECIP +	PESO DEL RECIP. +	HUMEDAD
1	35	6.66	15.52	13.00	19.38
	32	6.51	14.94	12.50	19.52
2	36	6.8	15.00	12.30	21.95
	43	6.97	15.45	12.90	19.77
3	82	6.77	14.41	12.00	20.08
	79	6.36	13.51	11.20	20.63

<b>Limite plastico</b>	20.22	%
<b>Indice de plasticidad</b>	10.93	%





## ANEXO 20



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 6% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS I.N.V. E - 807**

**ESPECIMEN Nº 1 DE SUELO CEMENTO - 6%**

Peso de la Muestra antes de la Camara humeda 4226 gr  
 Diametro de la muestra antes dela camara humeda 15.28 cm  
 Altura de la muestra antes de la camara Humeda 12.11 cm

Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g 634 gr  
 Peso de la muestra seca mas platon despues de 12 horas 565 gr  
 Peso del platon 38 gr  
 Contenido de Humedad 13.09 %

LECTURAS MEZCLA DE SUELO CEMENTO - 6%												
PROBETA	CICLOS	SECADO AL HORNO				CEPILLADO			DESPUES DE SUMERGIDO			
		FECHA	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)	PESO (gr)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)
1	DESPUES DE CURADO	Jul-17	15.28	12.15	4185					15.29	12.16	4212
2			15.25	11.74	4165					15.22	11.77	4168
1	1	Jul-19	15.25	11.76	3876					15.26	12.02	4311
2			15.20	11.72	3922				3749	15.22	11.7	4175
1	2	Jul-23	15.28	12.01	3869					15.75	12.05	4321
2			15.24	11.78	3672				3611	15.26	11.67	4081
1	3	Jul-25	15.25	11.96	3852					15.21	11.95	4264
2			15.20	11.7	3653				3594	15.2	11.6	3980
1	4	Jul-27	15.24	11.85	3852					15.23	12.04	4271
2			15.19	11.69	3570				3494	15.19	11.75	4320
1	5	Jul-30	15.21	12.01	3850					15.2	12.01	4239
2			15.10	11.60	3435				3368	15.1	11.54	3813
1	6	Ago-01	15.26	12.00	3848					15.3	12.00	4309
2			15.07	11.66	3403				3366	14.79	11.5	3772
1	7	Ago-03	15.22	11.78	3839					15.2	12	4289
2			15.01	11.42	3380				3304	14.65	11.35	3680
1	8	Ago-06	15.25	11.97	3862					15.2	12.1	4300
2			15.06	11.58	3396				3352	15.1	11.17	4256
1	9	Ago-10	15.24	11.92	3881					15.26	11.8	4312
2			15.08	11.24	3316				3307	14.82	10.87	3557
1	10		15.20	12.07	3815					15.2	11.98	4261
2			14.93	11	3199				3150	14.55	10.69	3552
1	11		15.21	11.98	3829					15.19	11.86	4275
2			14.75	10.56	3155				3098	14.42	10.6	3550
1	12		15.18	11.9	3835					15.17	11.92	4263
2			14.72	10.5	3099				3055	14.22	10	3557

PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 1	<b>3469</b>
PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 2	<b>2955</b>



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 6% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS I.N.V. E - 807**

**ESPECIMEN Nº 1 DE SUELO CEMENTO - 6%**

Peso de la Muestra antes de la Camara humeda 4226 gr  
 Diámetro de la muestra antes de la cámara humeda 15,3 cm  
 Altura de la muestra antes de la cámara Humeda 12,11 cm  
 Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g 634 gr  
 Peso de la muestra seca mas platon despues de 12 horas 565 gr  
 Peso del platon 38 gr  
 Contenido de Humedad 13,09 %

CALCULO DE LA DIFERENCIA ENTRE EL VOLUMEN DEL ESPECIMEN # 1 Y LOS VOLUMENES SUBSIGUIENTES										
ANTES DE SUMERGIR						DESPUES DE SUMERGIR				
MUESTRA	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	VOL. (cm3)	DIF. CON LA MUESTRA # 1 (cm3)	%	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	VOL. (cm3)	DIF. CON LA MUESTRA # 1 (cm3)	%
MUESTRA ANTES	15,28	12,11	2220,6					2220,60		
ANTES DE SUMERGIR	15,28	12,15	2227,9	-7,33	-0,33	15,29	12,16	2232,69	-12,09	-0,54
	15,25	11,76	2148,0	72,64	3,27	15,26	12,02	2198,33	22,27	1,00
	15,28	12,01	2202,3	18,34	0,83	15,75	12,05	2347,62	-127,02	-5,72
	15,25	11,96	2184,5	36,11	1,63	15,21	11,95	2171,23	49,37	2,22
	15,24	11,85	2161,6	59,04	2,66	15,23	12,04	2193,34	27,26	1,23
	15,21	12,01	2182,1	38,47	1,73	15,20	12,01	2179,26	41,34	1,86
	15,26	12,00	2194,7	25,93	1,17	15,30	12,00	2206,19	14,41	0,65
	15,22	11,78	2143,2	77,44	3,49	15,2	12	2177,45	43,15	1,94
	15,25	11,97	2186,3	34,28	1,54	15,2	12,1	2195,59	25,01	1,13
	15,24	11,92	2174,3	46,27	2,08	15,26	11,8	2158,09	62,50	2,81
	15,20	12,07	2190,1	30,45	1,37	15,2	11,98	2173,82	46,78	2,11
	15,21	11,98	2176,7	43,92	1,98	15,19	11,86	2149,21	71,39	3,21
15,18	11,9	2153,6	66,98	3,02	15,17	11,92	2154,40	66,20	2,98	



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 6% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS I.N.V. E - 807**

**ESPECIMEN Nº 1 DE SUELO CEMENTO - 6%**

Peso de la Muestra antes de la Camara humeda 4226 gr  
 Diametro de la muestra antes dela camara humeda 15,3 cm  
 Altura de la muestra antes de la camara Humeda 12,11 cm  
 Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g 634 gr  
 Peso de la muestra seca mas platon despues de 12 horas 565 gr  
 Peso del platon 38 gr  
 Contenido de Humedad 13,09 %

CALCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL ESPECIMEN # 1 EN EL MOMENTO DEL MOLDEO Y LOS SUBSIGUIENTES				
PESO DES. SUMERGIDO (gr)	PESO SECADO AL HORNO (gr)	% HUM RESPECTO PESO SECO AL HORNO	DIFERENCIA HUMEDAD MUESTRA INICIAL	% HUMEDAD MUESTRA INICIAL Y SUBCIGUNETES
4311	3876	11,22	1,87	85,7
4321	3869	11,68	1,41	89,2
4264	3852	10,70	2,40	81,7
4271	3852	10,88	2,22	83,1
4239	3850	10,10	2,99	77,2
4309	3848	11,98	1,11	91,5
4289	3839	11,72	1,37	89,5
4300	3862	11,34	1,75	86,6
4312	3881	11,11	1,99	84,8
4261	3815	11,69	1,40	89,3
4275	3829	11,65	1,45	89,0
4263	3835	11,16	1,93	85,2
PESO SECO AL HORNO DE LA MUESTRA DESPUES DE LOS 12 CICLOS	3469		PROMEDIO	
			1,82	

CORRECCION DEL PESO SECO AL HORNO DEL ESPECIMEN Nº 2		
PESO SECO AL HORNO (A) kg	% DE AGUA RETENEDIDA EN EL ESPECIMEN (B)	CORRECCION (A/B) Kg
2955	1,82	2902,1

PERDIDA DE SUELO CEMENTO		
PESO SECO INICIAL	PESO FINAL SECO CORREGIDO	PERDIDAS SUELO CEMENTO %
3922,0	2902,1	26,0

## ANEXO 21



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

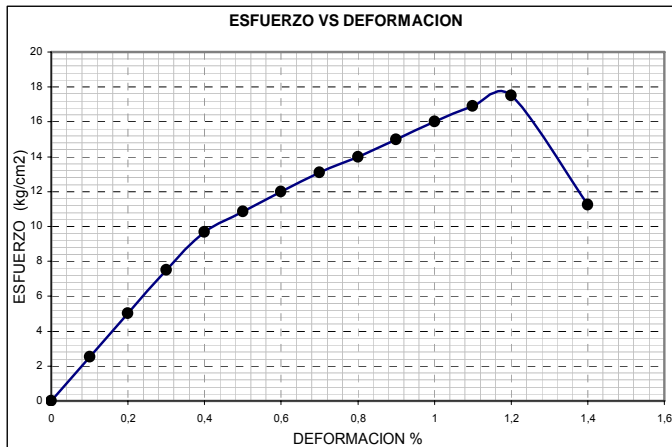
MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 6% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS PREPARADOS CON SUELO-CEMENTO 6% I.N.V 809

#### DATOS DE LA MUESTRA

Altura	<u>12,7</u>	cm	Densidad Humeda	<u>1,77</u>	gr/cm <sup>3</sup>
Diametro	<u>6,5</u>	cm	Peso Total	<u>744</u>	gr
Area	<u>33,18</u>	cm <sup>2</sup>			
Volumen	<u>421,41</u>	cm <sup>3</sup>			

Anillo	Carga (kg)	Def. 10-3 pulg	Def. %	Area Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0,00	0,0	0,0	0,00	33,18	0,00
15,00	83,4	5,0	0,10	33,22	2,51
30,00	166,8	10,0	0,20	33,25	5,02
45,00	250,2	15,0	0,30	33,28	7,52
58,00	322,5	20,0	0,40	33,32	9,68
65,00	361,4	25,0	0,50	33,35	10,84
72,00	400,3	30,0	0,60	33,38	11,99
78,00	433,7	35,0	0,70	33,42	13,10
83,00	461,5	40,0	0,80	33,45	14,00
86,00	478,2	45,0	0,90	33,48	15,00
89,00	494,8	50,0	1,00	33,52	16,00
91,00	506,0	55,0	1,10	33,55	16,90
92,00	511,5	60,0	1,20	33,59	17,50
68,00	378,1	70,0	1,40	33,65	11,23
68,00	378,1	75,0	1,50	33,69	11,22
68,50	380,9	80,0	1,60	33,72	11,29
69,00	383,6	85,0	1,70	33,76	11,33
69,50	386,4	90,0	1,80	33,79	11,44



Esfuerzo Max 17,50 kg/cm<sup>2</sup>

## ANEXO 22



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>FECHA DE RECEPCION</b>	
<b>LOCALIZACION</b>	Calle 133B con transversal 40	<b>FECHA DE DE ENSAYO</b>	
<b>ESTADO</b>	suelo- cemento 7%	<b>PROFUNDIDAD</b>	0,20 m - 0,30 m
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA</b>	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

**ENSAYO DE AZUL DE METILENO - NORMA TECNICA DE REFERENCIA ANFNOR P18-592**  
**MUESTRAS ENSAYADAS CON EL 7% DE CEMENTO**

Muestra	1	2
Humedad de la fraccion 0-2mm (W%)	3.3	3.3
Porcentaje que pasa tamiz No 200( f )%	31.53	31.53
Cantidad de caolinita (f) g	30	30
Peso del recipiente (g)	36	32.22
Peso del Material retenido en el tamiz No 200 mas recipiente. (g)	218	201
Peso del material retenido en el tamiz No 200 seco mas recipiente (g)	90.84	96.2
Cantidad de muestra humeda (Mh) g	98.29	98.29
Peso seco del material retenido Tamiz No 200 (M) g	54.84	63.98
Cantidad Real finos sometida al ensayo (q) g	40.31	31.17
Volumen de azul adicionado a la muestra (V1) ml	104	98
Volumen de azul adicionado a la caolinita (V2) ml	64	64
Indice de azul de metilino (g/100g)	0.99	1.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.04</b>	

## ANEXO 23



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS I.N.V.E - 133**

N° PESOS	PESO (gr)	LECTURA DE ARCILLA	LECTURA DE ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA %
1	106	32.2	3.4	<b>10.56</b>
2	106	33.8	3.5	<b>10.36</b>
3	106	32.0	3.8	<b>11.88</b>

PROMEDIO EQUIVALENTE DE ARENA % 10.93  
**EQUIVALENTE DE ARENA % 11.00**

## ANEXO 24



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	
ESTADO	Suelo - cemento 7%	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

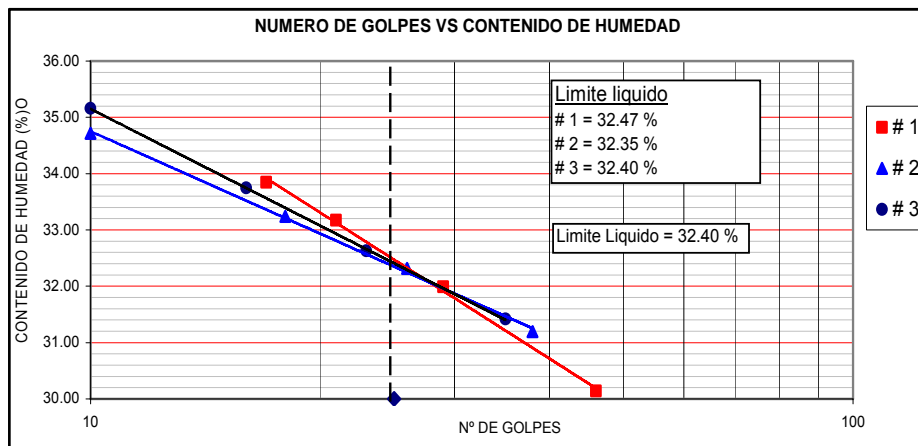
### LIMITE LIQUIDO I.N.V.E - 125

	RECIPIENTE Nº	PESO DEL	Nº GOLPES	PESO DEL RECIP +	PESO DEL RECIP. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	75	6.75	46	11.37	10.30	30.14
	61	6.68	29	11.59	10.40	31.99
	41	6.88	21	12.50	11.10	33.18
	39	6.8	17	13.76	12.00	33.85
2	2	6.36	38	20.45	17.10	31.19
	50	6.54	26	20.38	17.00	32.31
	93	6.54	18	21.01	17.40	33.24
	78	6.67	10	23.55	19.20	34.72
3	42	6.61	35	23.55	19.50	31.42
	81	6.46	23	20.97	17.40	32.63
	56	6.45	16	24.84	20.20	33.75
	13	6.59	10	24.85	20.10	35.16

### LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD I.N.V.E - 126

	RECIPIENT	PESO DEL RECIPIENTE	PESO DEL RECIP + MUESTRA	PESO DEL RECIP. + MUESTRA	HUMEDAD %
1	87	6.47	11.35	9.10	24.73
	19	6.69	12.56	10.10	24.36
2	52	6.82	13.54	11.00	23.09
	62	7.01	14.39	11.70	22.99
3	63	6.8	14.65	12.00	22.08
	25	6.75	12.91	10.50	22.95

Limite plastico 23.37 %  
 Indice de plasticidad 9.03 %





## ANEXO 26



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS I.N.V. E - 807

#### ESPECIMEN N° 1 DE SUELO CEMENTO - 7%

Peso de la Muestra antes de la Camara humeda 4226 gr  
 Diametro de la muestra antes dela camara humeda 15.25 cm  
 Altura de la muestra antes de la camara Humeda 11.28 cm

Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g 573 gr  
 Peso de la muestra seca mas platon despues de 12 horas 510 gr  
 Peso del platon 40 gr  
 Contenido de Humedad 13.40 %

#### LECTURAS MEZCLA DE SUELO CEMENTO - 6%

PROBETA	CICLOS	SECADO AL HORNO				CEPILLADO			DESPUES DE SUMERGIDO			
		FECHA	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)	PESO (gr)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	PESO (gr)
1	DESPUES DE CURADO	Jul-17	15.28	11.28	4463					15.29	11.89	4512
2			15.26	11.75	4451					15.22	11.77	4625
1	1	Jul-19	15.26	11.84	4075					15.26	12.02	4475
2			15.24	11.74	4090				4062	15.24	11.74	4389
1	2	Jul-23	15.22	11.94	4021					15.29	11.96	4478
2			15.21	11.76	3975				3973	15.23	11.72	4378
1	3	Jul-25	15.23	11.89	4051					15.21	11.74	4462
2			15.18	11.74	4009				3994	15.17	11.73	4361
1	4	Jul-27	15.21	11.91	4033					15.24	11.74	4439
2			15.17	11.78	3978				3974	15.19	11.7	4360
1	5	Jul-30	15.19	11.89	4043					15.21	11.7	4449
2			15.20	11.79	3979				3972	15.2	11.71	4372
1	6	Ago-01	15.17	11.79	4041					15.22	11.76	4473
2			15.18	11.74	3998				3979	15.2	11.71	4352
1	7	Ago-03	15.24	11.81	4037					15.28	11.74	4452
2			15.21	11.7	4001				3982	15.23	11.71	4369
1	8	Ago-06	15.25	11.76	4012					15.27	11.72	4433
2			15.11	11.63	3989				3980	15.21	11.69	3371
1	9	Ago-10	15.20	11.68	4007					15.2	11.65	4420
2			15.07	11.52	3985				3981	15.15	11.52	3350
1	10		15.19	11.72	3985					15.17	11.71	4389
2			15.08	11.49	3981				3979	15.12	11.54	3344
1	11		15.13	11.74	3953					15.11	11.73	4395
2			15.05	11.39	3972				3960	15.09	11.43	3346
1	12		15.17	11.66	3933					15.13	11.61	4371
2			15.07	11.34	3965				3953	15.07	11.32	3342

PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 1	<b>3962</b>
PESO SECO AL HORNO ESPECIMEN 2	<b>3813</b>



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS I.N.V. E - 807**

**ESPECIMEN Nº 1 DE SUELO CEMENTO - 7%**

Peso de la Muestra antes de la Camara humeda 4226 gr  
 Diámetro de la muestra antes de la cámara humeda 15,3 cm  
 Altura de la muestra antes de la cámara Humeda 12,11 cm

Muestra Representativa de suelo Cemento no < a 500g 573 gr  
 Peso de la muestra seca mas platon despues de 12 horas 510 gr  
 Peso del platon 40 gr  
 Contenido de Humedad 13,40 %

CALCULO DE LA DIFERENCIA ENTRE EL VOLUMEN DEL ESPECIMEN # 1 Y LOS VOLUMENES SUBSIGUIENTES										
ANTES DE SUMERGIR						DESPUES DE SUMERGIR				
MUESTRA	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	VOL. (cm3)	DIF. CON LA MUESTRA # 1 (cm3)	%	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	VOL. (cm3)	DIF. CON LA MUESTRA # 1 (cm3)	%
MUESTRA ANTES	15,25	11,28	2060,29					2060,29		
ANTES DE SUMERGIR	15,28	11,28	2068,40	8,11	0,39	15,29	11,89	2183,11	122,82	5,96
	15,26	11,84	2165,41	105,12	5,10	15,26	12,02	2198,33	138,04	6,70
	15,22	11,94	2172,27	111,98	5,44	15,29	11,96	2195,97	135,68	6,59
	15,23	11,89	2166,01	105,72	5,13	15,21	11,74	2133,07	72,78	3,53
	15,21	11,91	2163,96	103,67	5,03	15,24	11,74	2141,50	81,21	3,94
	15,19	11,89	2154,65	94,36	4,58	15,21	11,7	2125,81	65,52	3,18
	15,17	11,79	2130,91	70,62	3,43	15,22	11,76	2139,52	79,23	3,85
	15,24	11,81	2154,26	93,98	4,56	15,28	11,74	2152,75	92,46	4,49
	15,25	11,76	2147,96	87,67	4,26	15,27	11,72	2146,27	85,98	4,17
	15,20	11,68	2119,38	59,09	2,87	15,2	11,65	2113,94	53,65	2,60
	15,19	11,72	2123,84	63,55	3,08	15,17	11,71	2116,45	56,16	2,73
	15,13	11,74	2110,69	50,41	2,45	15,11	11,73	2103,32	43,04	2,09
15,17	11,66	2107,41	47,12	2,29	15,13	11,61	2087,32	27,03	1,31	



## ANEXO 27



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5.99 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6.98 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 196.7 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 12

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0.182	0	0.0
		0.187	0.001	0.1
		0.189	0.0014	0.14
		0.192	0.002	0.20

**PENETRACION SIN SUMERGIR**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	1	4.09	
0.025	-	4	16.35	
0.050	-	7	28.61	
0.075	-	12	49.04	
0.100	1000	18	73.56	7.36
0.150	-	31	126.69	
0.200	1500	48	196.16	13.08
0.250	-	65	265.63	
0.300	1900	79	322.85	
0.400	2300	109	445.45	
0.500	2600			

Molde N° 6 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12.26

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0.005	-	1	4.09	
0.025	-	18	73.56	
0.050	-	39	159.38	
0.075	-	56	228.85	
0.100	1000	74	302.41	30.24
0.150	-	98	400.49	
0.200	1500	114	465.88	31.06
0.250	-	122	498.57	
0.300	1900			
0.400	2300			
0.500	2600			

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

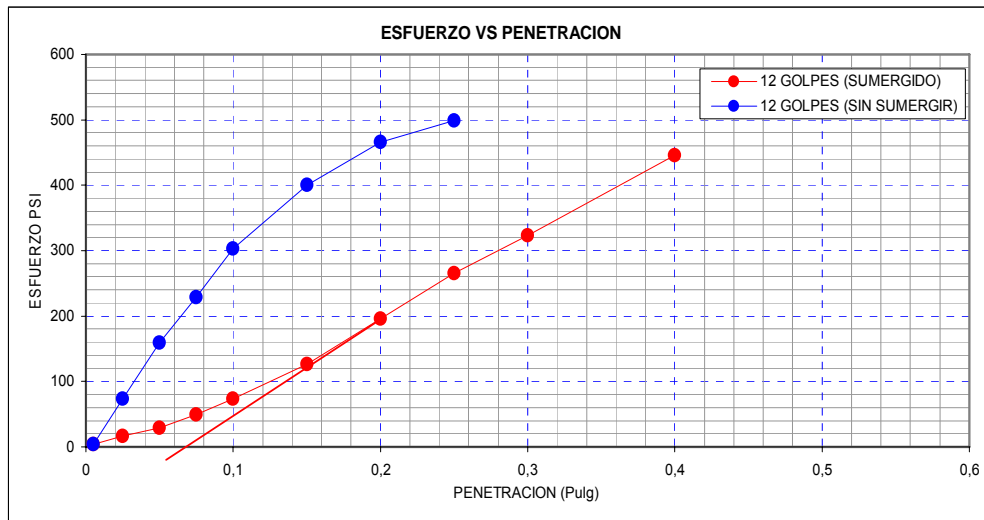
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersion
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	225	252	6	6	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	514	481	9125	9318	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	457	412	-	-	
Peso del agua (gr)	57	69	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	35	36	4808	4808	
Peso Suelo Humedo (gr)	479	445	4317	4510	
Peso Suelo Seco (gr)	422	376	-	-	
Humedad %	13.51	18.35	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm³)			1.86	1.95	
Peso Unitario Seco			1.64		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	Suelo - cemento 7%	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**  
 Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,99 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,98 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 196,7 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 26

EXPANSION				
Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,146	0	0,0
		0,150	0,0008	0,08
		0,158	0,0024	0,24
		0,163	0,0034	0,34

PENETRACION				
Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	SIN SUMERGIR		
		Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	1	4,09	
0,025	-	10	40,87	
0,050	-	18	73,56	
0,075	-	30	122,60	
0,100	1000	45	183,90	23,80
0,150	-	71	290,15	
0,200	1500	101	412,75	31,33
0,250	-	134	547,61	
0,300	1900	164	670,21	
0,400	2300	217	886,81	
0,500	2600	266	1087,05	

Molde N° 16 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

SUMERGIDO				
Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	SUMERGIDO		
		Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	1	4,09	
0,025	-	34	138,95	
0,050	-	79	322,85	
0,075	-	119	486,31	
0,100	1000	155	633,43	63,34
0,150	-	222	907,24	
0,200	1500	275	1123,83	74,92
0,250	-	315	1287,30	
0,300	1900	347	1418,07	
0,400	2300	393	1606,06	
0,500	2600			

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

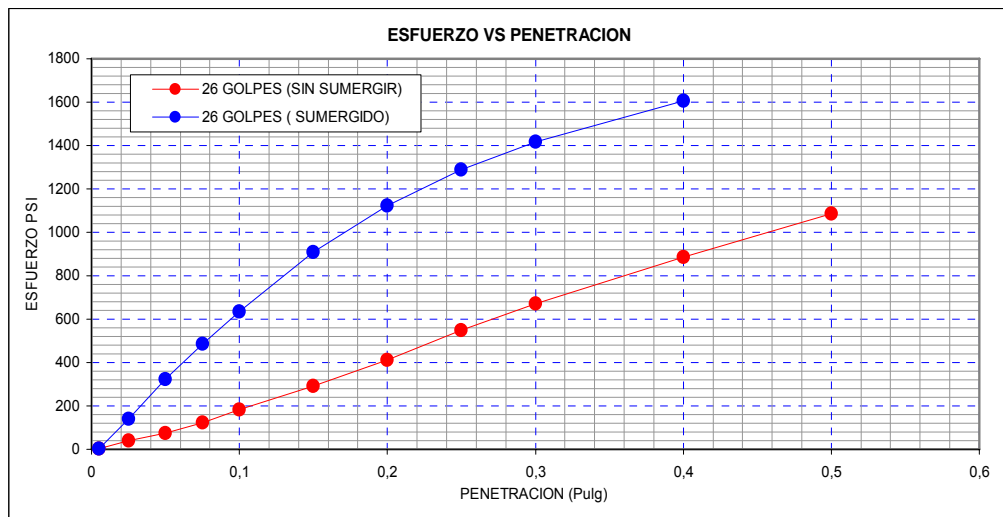
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	225	258	16	16	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	514	220	9454	9591	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	457	196	-	-	
Peso del agua (gr)	57	24	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	35	37	4788	4788	
Peso Suelo Humedo (gr)	479	183	4666	4803	
Peso Suelo Seco (gr)	422	159	-	-	
Humedad %	13,51	15,09	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,01	2,07	
Peso Unitario Seco			1,77		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA Nº	1	FECHA DE RECEPCION	_____
LOCALIZACION	Calle 133B con transversal 40	FECHA DE DE ENSAYO	_____
ESTADO	Suelo - cemento 7%	PROFUNDIDAD	0,20 m - 0,30 m
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava		

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148**

**COMPACTACION**

Peso del Martillo 10 Lb. Diametro de la Muestra 5,99 Pulg.  
 Altura de Caída 18 Pulg. Altura de la Muestra 6,98 Pulg.  
 N° Capas 5 Volumen de la Muestra 196,7 Pulg3  
 N° Golpes por Capa 55

**EXPANSION**

Fecha	Tiemp	Lectura Deformimetro (10-3 Pulg)	Expansión (Pulg)	Expansión (%)
		0,070	0	0,0
		0,072	0,0004	0,04
		0,074	0,0008	0,08
		0,079	0,0018	0,18

**PENETRACION**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	SIN SUMERGIR		
		Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	2	8,17	
0,025	-	19	77,65	
0,050	-	42	171,64	
0,075	-	68	277,89	
0,100	1000	96	392,32	39,23
0,150	-	153	625,26	
0,200	1500	205	837,77	55,85
0,250	-	258	1054,36	
0,300	1900	310	1266,87	
0,400	2300	420	1716,40	
0,500	2600			

Molde N° 8 Sobrecarga 10 Lb.

Constante del Anillo 12,26

**SUMERGIDO**

Penetración (Pulg)	Esfuerzo Estandar (Lb/Pulg^2)	SUMERGIDO		
		Lect. Anillo carga	Esfuerzo (Lb/pulg^2)	CBR
0,005	-	1	4,09	
0,025	-	38	155,29	
0,050	-	90	367,80	
0,075	-	146	596,65	
0,100	1000	194	792,81	79,28
0,150	-	286	1168,79	
0,200	1500	377	1540,67	102,71
0,250	-	455	1859,43	
0,300	1900			
0,400	2300			
0,500	2600			

**HUMEDAD Y PESO UNITARIO**

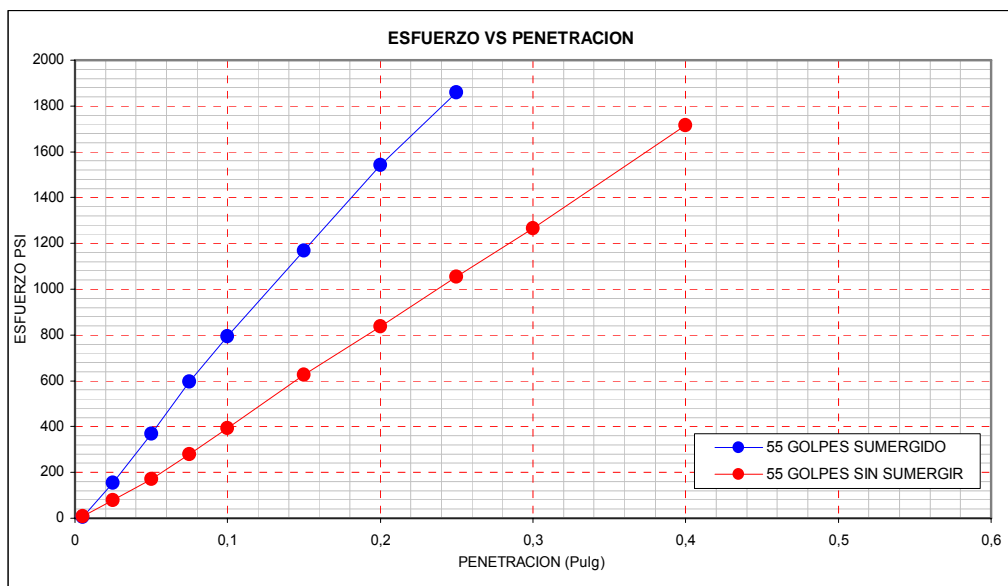
	Resid. Compactación		Muestra Total desp. Compactación	Muestra Total desp. de Inmersión	Pulgada Superior despues de Inmersión
	Base Inferior	Base Superior			
Recipiente (o Molde) N°	225	250	8	8	
Peso Suelo Humedo + Recipiente (gr)	514	204	9712	9766	
Peso Suelo Seco + Recipiente (gr)	457	184	-	-	
Peso del agua (gr)	57	41	-	-	
Peso Recipiente (o Molde) (gr)	35	39	4861	4861	
Peso Suelo Humedo (gr)	479	165	4851	4905	
Peso Suelo Seco (gr)	422	145	-	-	
Humedad %	13,51	13,79	-	-	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm^3)			2,09	2,11	
Peso Unitario Seco			1,84		



UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA N° 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148



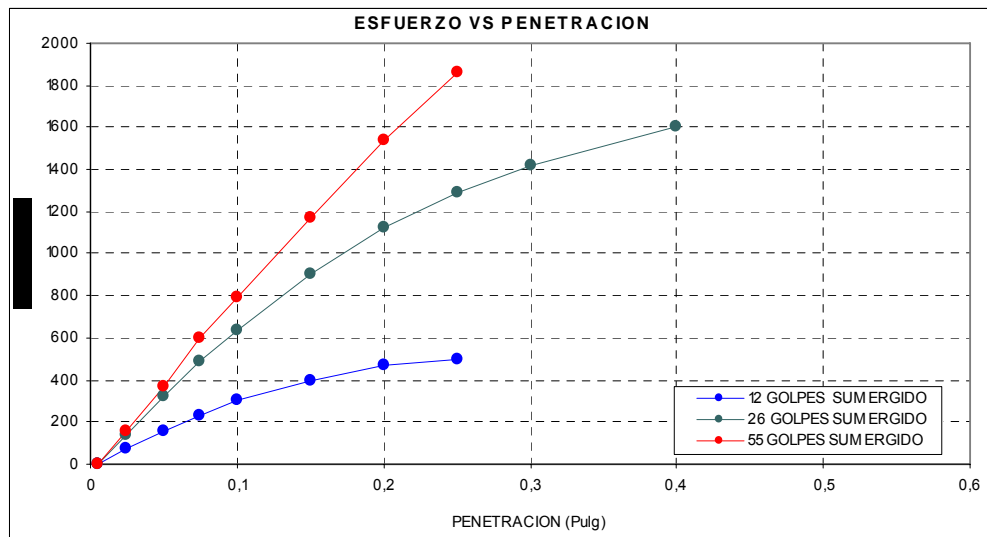
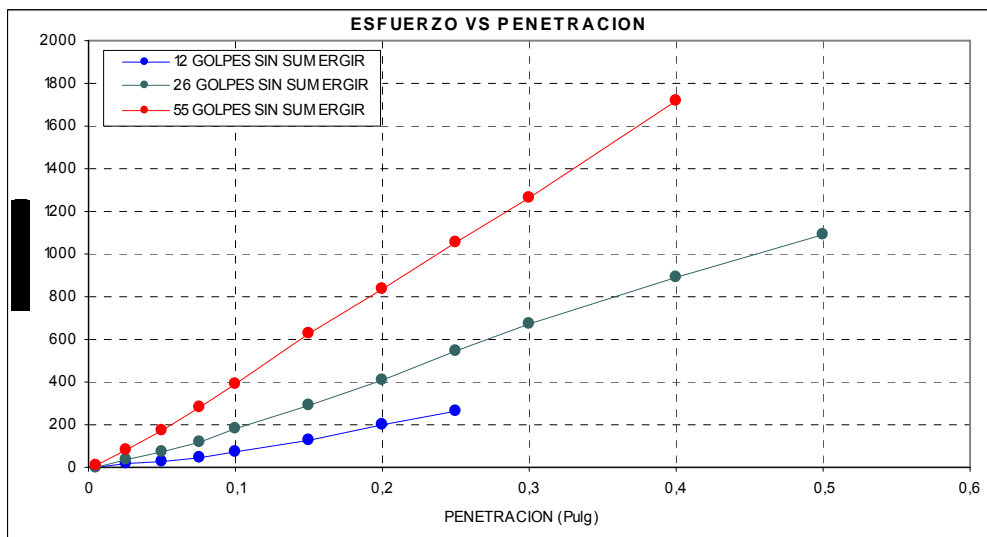


UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MUESTRA N° 1  
LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40  
ESTADO Suelo - cemento 7%  
DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m

RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E - 148





## ANEXO 28



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

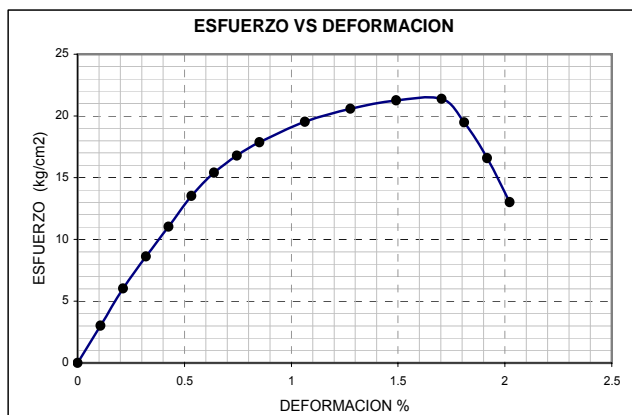
MUESTRA Nº 1 FECHA DE RECEPCION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Calle 133B con transversal 40 FECHA DE DE ENSAYO \_\_\_\_\_  
 ESTADO Suelo - cemento 7% PROFUNDIDAD 0,20 m - 0,30 m  
 DESCRIPCION DE LA MUESTRA Material granular, arcilla limosa y arena color oscuro con presencia de grava

### RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEMENTO I.N.V 809

#### DATOS DE LA MUESTRA

Altura	<u>11.93</u>	cm	Densidad Humeda	<u>2.04</u>	gr/cm3
Diametro	<u>5.93</u>	cm	Peso Total	<u>673</u>	gr
Area	<u>27.62</u>	cm2			
Volumen	<u>329.48</u>	cm3			

Anillo	Carga (kg)	Def. 10-3 pulg	Def. %	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo (kg/cm2)
0.00	0.0	0.0	0.00	27.62	0.00
15.00	83.4	5.0	0.11	27.65	3.02
30.00	166.8	10.0	0.21	27.68	6.03
43.00	239.1	15.0	0.32	27.71	8.63
55.00	305.8	20.0	0.43	27.74	11.03
67.50	375.3	25.0	0.53	27.77	13.52
77.00	428.1	30.0	0.64	27.80	15.40
84.00	467.0	35.0	0.75	27.83	16.78
89.50	497.6	40.0	0.85	27.85	17.86
98.00	544.9	50.0	1.06	27.91	19.52
103.50	575.5	60.0	1.28	27.98	20.57
107.20	596.0	70.0	1.49	28.04	21.26
108.00	600.5	80.0	1.70	28.10	21.37
98.50	547.7	85.0	1.81	28.13	19.47
84.00	467.0	90.0	1.92	28.16	16.59
66.00	367.0	95.0	2.02	28.19	13.02
48.90	271.9	100.0	2.13	28.22	9.63
48.50	269.7	110.0	2.34	28.28	9.54



Esfuerzo Max 21.37 kg/cm2

