

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SUELOS ESTABILIZADOS PARA VÍAS DE  
SEGUNDO ORDEN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**LEDHY JOHANA MARTINEZ ALBARRACIN  
CAROLINA RIVAS HOYOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2005**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SUELOS ESTABILIZADOS PARA VÍAS DE  
SEGUNDO ORDEN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

**LEDHY JOHANA MARTINEZ ALBARRACIN  
CAROLINA RIVAS HOYOS**

**Informe de la práctica para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director de Proyecto  
Ing. WILFREDO DEL TORO**

**Tutor  
Ing. SEGUNDO RAFAEL VALERO CETINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2005**

*A Dios, por sus bendiciones, quien sabiamente guía mis pasos y me hace sentir su presencia en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mi madre, por ser el mejor ejemplo de lucha, perseverancia, superación, sacrificio, trabajo y responsabilidad; porque es mi principal fuente de inspiración y con su amor me ha enseñado el significado de la dedicación.*

*A mi padre, por su apoyo y por creer en mis capacidades.*

*A mis hermanos Julio, Carlos y Jenny, por contribuir en sus formas propias en la construcción de este gran logro.*

*A mi nona Elsa, por sus oraciones y preocupaciones para mi bienestar.*

*A mi familia, por estar pendientes en este proceso y regalarme su amor.*

*A Carolina, por ser el elemento de calma, tranquilidad, solidaridad y amistad en esta balanza.*

*A Sandra, por escucharme y decir las palabras justas cuando estaba a punto de desfallecer... por su amistad.*

*A doña Francy, por brindarme su cariño y hacerme sentir como un miembro de su familia.*

*A Samuele, por sus motivantes palabras de ánimo, amor, confianza y comprensión, por resistir las inclemencias de la ausencia y la distancia.*

*A mis amigos, con los que compartí una etapa importante de mi vida.*

**Ledhy**

*Tengo un mañana que es mío,  
tengo un mañana que es de todos...”*

*Quiero dedicar este trabajo a todos los que junto conmigo lo han compartido...*

*A Dios, por hacer de mi vida una oportunidad de oportunidades y darme la fortuna de  
haber cumplido un sueño más.*

*A la mejor madre del mundo, forjadora de mi vida,  
...por sus incalculables esfuerzos en mi formación,  
...por su sacrificio e insistencia,  
...por enseñarme que los obstáculos no existen,  
...por aceptarme como soy,  
...por confiar y creer en mí,  
...por este gran regalo,  
...por ser mi mayor orgullo,  
...por su eterno amor...te quiero mucho.*

*A mi padre, por el regalo de vivir... por sus palabras.*

*A Hernán Alonso y Diego Armando, por su paciencia y apoyo.*

*A mi maravillosa familia, que me ha guiado por una senda de hermosos valores  
fraternales.*

*A Alex, por entrar a mi vida y transformarla, por su insistencia y compañía, por dibujar  
una sonrisa en mi rostro, por creer en mí,...por su amor.*

*A Ludy, mi comadre, mi amiga de siempre, por su cariño, sus palabras, su paciencia...  
por sus lágrimas... por su amistad.*

*A la señora María Eugenia y doña Amalia, por sus enseñanzas y consejos, por su  
formación integral, por su entrega... a ellas debo mis triunfos.*

*A mi otra familia, por acogerme en sus vidas, por su aceptación y enseñanzas.*

*A Ledhy, amiga y compañera de lucha, por confiar en mí y permitirme caminar con ella; a  
su madre, ejemplo de vida, por su constante apoyo... a su familia.*

*A mis amigos, por todo lo que han brindado y la alegría que aportan a mi vida.*

*A las personas que en algún momento me brindaron el aliento para poder realizar el gran  
sueño de ser profesional.*

**Carolina**

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras presentan sus agradecimientos a:

Dios, por otorgarnos su presencia y fortaleza en esta etapa de nuestras vidas.

La Universidad, por forjarnos como personas profesionales.

La Escuela de Ingeniería Civil, por su respaldo institucional, académico y logístico, esencial en el desarrollo de este trabajo.

Ingeniero German García, por sus consejos y su inmensa colaboración e interés en el desarrollo de este libro.

Al ingeniero Wilfredo del Toro, por sus aportes a la consecución de los objetivos.

La Gobernación de Santander y la Secretaría de Transporte e Infraestructura, por permitirnos participar en el proceso y acogernos en su grupo de trabajo.

Los ingenieros Claudia Yaneth Toledo Bermúdez y Segundo Rafael Valero Cetina, por confiar en nuestras capacidades, su valiosa orientación y su constante apoyo e interés para la realización y culminación de este proyecto.

Ingeniero John Wilson Correa, por brindarnos su colaboración y apoyo incondicional.

Nuestras familias, por su respaldo, motivación y amor.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA ENCINO – LA CANTERA KM 0+000 AL KM 3+200, MUNICIPIO DE ENCINO (VÍA ENCINO – CHARALÁ)	3
1.1.1 TOMA DE MUESTRAS Y RESULTADOS DE CAMPO	3
1.1.1.1 VIGA BENKELMAN	3
1.1.1.2 PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO	4
1.1.2 RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO	4
1.1.2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA INICIAL DEL SUELO	4
1.1.2.1.1 Procedimiento	5
1.1.2.1.2 Resultados	7
1.1.2.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO	7
1.1.2.2.1 Procedimientos	7
1.1.2.2.2 Resultados	10
1.1.3 FORMULACIÓN DE ADITIVOS	14
1.1.4 ESTABILIZACION QUIMICA DEL SUELO	15
1.1.4.1 EVALUACION CBR	24
1.1.5 DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	25
1.1.5.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO	25
1.1.6 PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESTABILIZACION CON CAL Y SILICATO	28

1.2	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA EN EL MUNICIPIO DE OCAMONTE, EMPLEANDO ESTABILIZACIÓN QUÍMICA PARA EL SUELO DE SUBRASANTE	32
1.2.1	RECONOCIMIENTO DE LA ZONA	32
1.2.2	TOMA DE MUESTRAS Y RESULTADOS DE CAMPO	34
1.2.2.1	VIGA BENKELMAN	34
1.2.2.2	PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO	35
1.2.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	37
1.2.3.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO	37
1.2.3.1.1	Procedimientos	37
1.2.3.1.2	Resultados	38
1.2.3.2	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO	38
1.2.3.2.1	Procedimientos	38
1.2.3.2.2	Resultados	41
1.2.4	FORMULACIÓN DE ADITIVOS	47
1.2.5	CARACTERIZACION DEL SUELO ESTABILIZADO	48
1.2.5.1	PH DEL SUELO ESTABILIZADO	48
1.2.5.2	ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO	48
1.2.5.3	ESTUDIO DE TRÁNSITO	50
1.2.6	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	53
2.	CONCLUSIONES	55
3.	BIBLIOGRAFÍA	57
4.	ANEXOS	58

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. PRUEBAS DE CAMPO VIGA BENKELMAN VÍA ENCINO –CHARALÁ	58
ANEXO B. PRUEBAS DE CAMPO PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO VÍA ENCINO – CHARALÁ	63
ANEXO C. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍA ENCINO – CHARALÁ	72
ANEXO D. REGISTROS PRUEBAS DE CAMPO VIGA BENKELMAN VÍA OCAMONTE	112
ANEXO E. PRUEBAS DE CAMPO PENETRACIÓN DINÁMICA DE VÍA OCAMONTE	115
ANEXO F. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO DE SUBRASANTE VÍA OCAMONTE	117
ANEXO G. REGISTROS LABORATORIO PROCESO DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA	123

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
Figura 1.	Variación plasticidad K0+120	16
Figura 2.	Variación plasticidad k0+680	17
Figura 3.	Variación plasticidad k1+080	18
Figura 4.	Variación plasticidad k2+400	19
Figura 5.	Variación resistencia compresión simple k0+120	20
Figura 6.	Variación resistencia compresión simple k0+680	21
Figura 7.	Variación resistencia compresión simple k1+080	22
Figura 8.	Variación resistencia compresión simple k2+400	23

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1.	Resultados Viga Benkelman	3
Tabla 2.	Resultados ensayo Cono Dinámico	4
Tabla 3.	Caracterización inicial del suelo de la vía	7
Tabla 4.	Identificación por DRX. Muestra original sin tratamiento	10
Tabla 5.	Porcentaje de minerales en la fracción arcillosa	11
Tabla 6.	Porcentaje de minerales en la fracción arcillosa que pasa tamiz No. 40	11
Tabla 7.	Resultados por absorción atómica	12
Tabla 8.	Análisis químicos complementarios	12
Tabla 9.	Contenidos de aditivos en los suelos	14
Tabla 10.	Variación de la plasticidad abscisa K0+120	16
Tabla 11.	Variación de la plasticidad abscisa K0+680	17
Tabla 12.	Variación de la plasticidad abscisa K1+080	18
Tabla 13.	Variación de la plasticidad abscisa K2+400	19
Tabla 14.	Variación Resistencia a la Compresión Simple K0+120	20
Tabla 15.	Variación Resistencia a la Compresión Simple K0+680	21
Tabla 16.	Variación Resistencia a la Compresión Simple K1+080	22
Tabla 17.	Variación Resistencia a la Compresión Simple K2+400	23
Tabla 18.	Evolución CBR estabilizado	24
Tabla 19.	Pesos Específicos suelo de subrasante	25
Tabla 20.	Factores de Equivalencia por Vehículo	26

Tabla 21.	Alternativas de diseño	27
Tabla 22.	Valores de deformación admisibles en subrasante según tránsito	27
Tabla 23.	Espesores de diseño capa subrasante estabilizada	28
Tabla 24.	Tabla 24. Resultados Viga Benkelman	35
Tabla 25.	Estrato de materiales en los apiques	35
Tabla 26.	Resultados ensayo Cono Dinámico	36
Tabla 27.	Caracterización inicial física del suelo de la vía. Límites de plasticidad	38
Tabla 28.	Caracterización inicial física del suelo de la vía. Granulometría	38
Tabla 29.	Caracterización inicial física del suelo de la vía. Resistencia a la compresión simple	38
Tabla 30.	Análisis cuantitativo de minerales en el suelo	42
Tabla 31.	Análisis elemental del suelo	43
Tabla 32.	Materia orgánica total	45
Tabla 33.	Materia Orgánica fácilmente oxidable	45
Tabla 34.	Aditivos recomendados para estabilización	47
Tabla 35.	PH del suelo estabilizado	48
Tabla 36.	Compresión simple para el suelo estabilizado con 7 días de curado	49
Tabla 37.	Límites de plasticidad para el suelo estabilizado con 7 días de curado	49
Tabla 38.	CBR de laboratorio de suelo estabilizado con 14 días de curado	50
Tabla 39.	Serie histórica de tránsito	51
Tabla 40.	Factores de Equivalencia por vehículo	51

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Se observa la Viga Benkelman, antes de registrar las deflexiones	3
Fotografía 2. Se muestra la realización del ensayo de penetración dinámica de cono	4
Fotografía 3. Motoniveladora mezclando la cal con el suelo	14
Fotografía 4. Base estabilizada	15
Fotografía 5. Material de préstamo de cantera	28
Fotografía 6. Material extendido con la motoniveladora	29
Fotografía 7. Ubicación de los sacos de cal	29
Fotografía 8 Mezcla del suelo con cal	29
Fotografía 9 Material extendido con motoniveladora	29
Fotografía 10. Adición de silicato	30
Fotografía 11. Mezcla del silicato	30
Fotografía 12. Compactación del suelo	30
Fotografía 13. Densímetro nuclear	30
Fotografía 14. Levantamiento topográfico	31
Fotografía 15. Aplicación del riego de imprimación	31
Fotografía 16. Colocación de la capa de Slurry	31
Fotografía 17. K0+000 - K0+050: Necesidad de filtro	32
Fotografía 18. Necesidad de filtro sector comprendido entre K0+080 a K0+160	33
Fotografía 19. Necesidad de filtro sector comprendido entre K0+080 a K0+160	33

Fotografía 20. Necesidad de filtro sector comprendido entre K0+300 a K0+400	33
Fotografía 21. Algunos sectores de la margen derecha que requieren filtro	33
Fotografía 22. Panorámica del inicio de la vía Ocamonte – Charalá	34
Fotografía 23. Panorámica del inicio de la vía Ocamonte – Charalá	34
Fotografía 24. Medida de deflexiones Benkelman	34
Fotografía 25. Medida de deflexiones Benkelman	34
Fotografía 26. Toma de muestras abscisas K0+320 y K0+180	36
Fotografía 27. Toma de muestras abscisas K0+320 y K0+180	36
Fotografía 28. Ensayo Penetración Dinámica de Cono abscisas K0+320 y K0+180	36
Fotografía 29. Ensayo Penetración Dinámica de Cono abscisas K0+320 y K0+180	36

# **D**ISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SUELOS ESTABILIZADOS PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER



## INTRODUCCIÓN

El Convenio de Cooperación entre la Gobernación de Santander y la Universidad Industrial de Santander tiene como objetivo principal unificar esfuerzos tendientes a establecer una relación que facilite a las dos entidades el desarrollo de sus programas educativos y sociales a través de la vinculación de estudiantes de Ingeniería Civil.

Mediante esta práctica Empresarial se busca involucrar al estudiante con la realidad nacional y motivarlo para que desde su conocimiento plantee y ejecute acciones que contribuyan al mejoramiento de su entorno.

La Secretaría de Transporte e Infraestructura de la Gobernación de Santander tiene como misión fomentar y coordinar actividades con los municipios y el Gobierno Nacional para la conservación y construcción de la infraestructura vial y proporcionar a los habitantes del Departamento de Santander el derecho a un mejoramiento de su calidad de vida.

Las Vías de Comunicación facilitan el transporte entre diferentes regiones, proporcionando el desarrollo político, social y económico de la zona.

La inestabilidad de los suelos y como consecuencia su baja capacidad portante junto con la falta de recursos son algunos de los principales problemas que dificultan el mejoramiento y/o construcción de vías terrestres, lo cual incide directamente con el desarrollo de cualquier región.

Una alternativa de solución técnica y económicamente viable, es la Estabilización de bases, afirmados o suelos. En el Departamento de Santander se han realizado algunas obras mediante esta técnica empleando cal y algunos aditivos, pues su tratamiento en suelos arcillosos disminuye su plasticidad y aumenta su resistencia.

Para proteger la capa estabilizada de los efectos degradantes del medio ambiente, es necesario sobreponer una capa impermeable para protegerla de los efectos degradantes del medio ambiente la cual cumple con diferentes funciones como cubrir y darle adherencia a las partículas sueltas de la superficie de la base, endurecerla e impermeabilizarla, sellar los vacíos capilares y proveer adherencia entre la base y la capa siguiente. Finalmente de acuerdo a la disponibilidad de recursos, se puede realizar la aplicación de un tratamiento superficial o capa de sello con crudo o emulsión asfáltica, con el fin de proveer una superficie de bajo costo para toda condición del tiempo atmosférico, en caminos de categoría ligera y mediana, proporcionar una superficie resistente al deslizamiento con el objeto de ofrecer mayor comodidad y seguridad al usuario al desplazarse por la vía.

El presente proyecto contempla los estudios y diseños referentes a la caracterización de 3200 metros de la vía que comunica al municipio de Encino con la Cantera (vía Encino – Charalá) y 400 metros de la Vía Ocamonte – Charalá; contempla los estudios y diseños referentes a la Caracterización del Reconocimiento de la vía, Estudio geotécnico, Caracterización física inicial del suelo, Resultados de laboratorio, Estudio de tránsito y Procedimiento constructivo.

Como aporte técnico al proyecto descrito, surge la necesidad de elaborar un Video Institucional y una Metodología acerca del Proceso Constructivo de Base Estabilizada, Pavimentación con Asfalto en Caliente y Pavimento Rígido, dirigido a los profesionales, profesores y estudiantes de Ingeniería Civil para complementar las actividades académicas y de investigación.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA ENCINO – LA CANTERA KM 0+000 AL KM 3+200, MUNICIPIO DE ENCINO (VÍA ENCINO – CHARALÁ)

#### 1.1.1 TOMA DE MUESTRAS Y RESULTADOS DE CAMPO

El desarrollo del estudio se plantea en fases que definen las características de los materiales constituyentes de la vía, así:

##### 1.1.1.1 VIGA BENKELMAN



**Fotografía 1.** Se observa la Viga Benkelman, antes de registrar las deflexiones

El proceso de caracterización de las vías se inicia determinando las deflexiones del suelo de subrasante mediante la viga Benkelman, abscisando cada 40 metros de la vía que comunica al municipio de Encino con la Cantera, vía Encino – Charalá. (Ver anexo A).

De acuerdo con las deflexiones obtenidas y considerando una distribución normal, la cuantificación de la confiabilidad de los datos se considera como el rango definido por (media + desviación estándar) que abarcará aproximadamente el 87.5% del número total de datos. Obteniéndose los siguientes valores característicos:

**Tabla 1. Resultados Viga Benkelman**

TRAMO	DESV ESTD. (mm)	MEDIA (mm)	DEFLEX. CARACT. (mm)
K0+000 – K1+000	1.28	1.34	2.62
K1+000 – K2+000	0.69	1.02	1.71
K2+000 – K3+000	0.67	1.01	1.68
K3+000 – K4+000	0.63	0.91	1.54

### 1.1.1.2 PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO



Esta prueba permite conocer la resistencia del suelo al efecto de corte (ver anexo B).

Los valores reportados como CBR y módulo de subrasante obedecen a relaciones empíricas suelos finos y podrían dar una aproximación al resultado de una prueba

**Fotografía 2.** Se muestra la realización del ensayo de penetración dinámica de cono.

estándar de laboratorio, los valores medios encontrados en cada uno de los apiques realizados fueron:

**Tabla 2. Resultados ensayo Cono Dinámico**

ABSCISA	CBR (%)	MÓDULO SUBRASANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
K0+120	1.5	391
K0+680	0.9	317
K1+080	2.3	438
K1+760	11.4	774
K2+400	2.8	474
K2+840	2.0	424
K3+000	15.2	861
K3+520	6.6	586

### 1.1.3 RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 1.1.2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA INICIAL DEL SUELO

La caracterización física del suelo se realiza con el fin de determinar las propiedades y características de las muestras representativas de la capa sobre la que se construirá la vía. Los ensayos representativos corresponden a Humedad Natural, Granulometría, Límites de Atterberg, Próctor Modificado, Capacidad de Soporte CBR y Compresión simple, los cuales reportaron los siguientes valores (los registros de laboratorio de todas las pruebas se pueden ver en el Anexo C).

#### 1.1.2.1.1 Procedimiento

◆ ***Procedimiento la preparación de muestras de suelos por cuarteo***

Norma: INV E-104, AASHTO T-248

Divide las muestras de suelos obtenidas en el campo, en porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados los ensayos a desarrollar.

◆ ***Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad)***

Norma: INV E-122, ASTM D-2216

Mediante diferencias de pesos se determina la cantidad de agua removida luego de someter la muestra a temperatura del  $10 \pm 5^{\circ}\text{C}$  en un horno.

◆ ***Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos***

Norma: INV E-213, ASTM C-136

Se determinan los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura penetrar la muestra 0.1 y 0.2 pulgadas con cargas patrones. Dicha relación refleja la capacidad de soporte de la subrasante.

◆ ***Determinación del límite líquido de los suelos***

Norma: INV E-125, AASHTO T-89

El suelo corresponde a una muestra tamizada sobre el tamiz No. 40 al cual se le adiciona agua con el fin de colocarlos obre la cazuela de Casagrande, con rotaciones de la azuela o golpes superiores o inferiores a 25, el punto de humedad en el cual se considere que el suelo está entre estado líquido y plástico.

◆ ***Límite plástico e índice de plasticidad***

Norma: INV E-126, AASHTO T-90

Consiste en determinar la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3 mm de diámetro, sin que dichos cilindros se desmorone. El índice de plasticidad corresponderá a la diferencia entre el límite líquido plástico.

◆ ***Determinación del peso específico***

Norma: INV E-128, AASHTO T-100

La determinación se realiza por medio de un picnómetro o frasco volumétrico calibrado mediante aplicación de vacío al frasco que contiene la muestra, hasta que se eliminan todos los vacíos contenidos en la muestra. Se usará relacionar la dosificación del aditivo en laboratorio y en campo.

◆ ***Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos (equipo modificado)***

Norma: INV E-142M, AASHTO T-180

Este método se emplea determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 102 o 152 mm de diámetro y altura de 116 mm, con collar de extensión de 60 mm de altura (el uso del tipo de molde depende del tamaño de partícula de la muestra). Las capas de suelo se compactan con un martillo de 10 Lb y una energía de 55 golpes/capa. El procedimiento se repite contenidos de humedad diferentes, estableciendo la cantidad de agua necesaria que el suelo alcance un valor máximo de compactación o densidad, con la cual se deberá trabajar en campo.

◆ ***Resistencia a la compresión simple (RCS)***

Norma: INV E-152

Esta prueba se emplea determinar la resistencia a la compresión axial de una muestra de suelo cilíndrica compactada en el laboratorio en su contenido de humedad óptimo. El ensayo consiste en aplicar carga axial a una velocidad de 1 mm/min hasta la falla. La relación entre el valor máximo de carga resistido y el área de contacto será la resistencia a compresión simple.

◆ ***Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)***

Norma: INV E-148

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado laboratorio con condiciones óptimas de humedad y densidad. El procedimiento consiste en la preparación de especímenes cilíndricos en moldes de 152 mm de diámetro y 177 mm de altura, provisto de un collar suplementario y una placa de base inferior. El material preparado se va colocando en capas y se compacta con el martillo de Próctor modificado, con energías de 12, 26 y 55 golpes por capa. finalizada la compactación se sobreponen pesas de 4 kilos, simulando el

efecto de las capas soportadas en el pavimento. Para evaluar el efecto de saturación en campo, los moldes se someten a inmersión durante 4 días. Transcurrido este periodo, se falla cada molde a una velocidad de 1.27 mm/min, comparando la carga necesitada para penetrar la muestra 0.1 y 0.2 pulgadas con cargas patrones. Dicha relación refleja la capacidad de soporte de la subrasante.

### 1.1.2.1.2 Resultados

**Tabla.3 Caracterización inicial del suelo de la vía**

Abscisa	Humedad natural	Clasif. SUCS	Índice de Plastic.	Humedad óptima (%)	Densidad máx. seca (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%) 95% DMS	Compresión simple (Kpa)
K0+120	56	MH	16	25	1.51	18	20.1
K0+680	21.6	SC	13	13	1.955	6	198.3
K1+080	39.4	CH	41	19.3	1.69	1.5	190.1
K1+760	19.6	CL	18	15.5	1.825	6.6	195.4
K2+400	33.5	CL	16	14.5	1.86	3	168.9
K2+840	23.7	GC	7	21.8	1.63	14.5	202.4
K3+000	13.4	CL	NP	11	1.95	10	98.6
K3+520	19.5	CL	5	12	1.96	10.5	195.2

### 1.1.2.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO

Es importante realizar un análisis químico que permita detectar la presencia de componentes mineralógicos y elementos químicos que reflejen una mejor identificación de su comportamiento. Con base en estos análisis se puede detectar si el suelo es susceptible a cambios volumétricos o a la concentración de iones, fuente de altos índices de expansión.

Las abscisas escogidas para el desarrollo de esta caracterización química son las K0+120, K0+680, K1+080 y K1+760, por presentar clasificación, índice de plasticidad y resistencia diferentes.

#### 1.1.2.2.1 Procedimientos

##### ◆ *Análisis por difracción de rayos x*

Procedimiento según Centro Internacional Datos de Difracción ICDD

Equipo: Difractómetro de Rayos-X marca RIGAKU modelo D/MAX III B

El procedimiento consiste en la maceración de una muestra de agregado mineral, lo cual se realiza en un mortero de ágata seleccionando previamente el material que pasa por la malla de 38  $\mu\text{m}$ .

Ese material es colocado en el porta muestras del equipo, mediante la técnica de llenado lateral, con el cual se obtiene la identificación cualitativa de las

fases presentes en las muestras y por compactación de las reflexiones del perfil observado con las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD), utilizando el software respectivo.

◆ **Absorción atómica**

Equipo: Espectrofotómetro Absorción Atómica, marca Perkin Elmer

A una muestra pulverizada (<100 mallas) se le practica una fusión con tetraborato - metaborato de litio y posteriormente se disuelve con solución de ácido nítrico. Los elementos se cuantifican a partir de las soluciones ácidas obtenidos, utilizando la técnica de ICP-MS (Plasma Acoplado Inductivamente – Espectrometría de Masas), la cual consiste en hacer aspirar las muestras por el equipo utilizando una antorcha de plasma que permite la atomización y el proceso de emisión característico de los átomos presentes en la muestra. Las lecturas de las muestras son comparadas con las obtenidas de patrones de calibración para determinar la concentración del elemento en la muestra.

◆ **Determinación del grado de acidez del suelo**

Norma: INV E-131, Análisis Suelos JACKSON M.

Se basa en la preparación del tanto por ciento de saturación en agua de la muestra de suelo y posterior medida del PH con un electrodo calibrado a tres rangos de PH.

◆ **Contenidos de cloruros**

Norma: Procedimiento del Stándard Methods

Se determinan en solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato potásico indica el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata; precipitándose el cloruro de plata cuantitativamente antes de tomarse el cromato de plata rojo.

◆ **Determinación capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Norma: Manual de procedimientos suelos IGAG.

Se determina mediante saturación y posterior lavado de la muestra de suelo con una solución de acetato de amonio ( $\text{ACONH}_4$ ). El amonio retenido o fijado en el suelo se extrae mediante lixiviación y posteriormente se titula el ácido clorhídrico formado por la adición de formaldehído neutralizado a la solución.

◆ **Contenido de fosfatos**

Norma: Procedimiento del Standard Methods.

La extracción de fósforo en los suelos emplea una solución de HCL 0.1 N Y  $\text{NH}_4\text{F}$  0.03N en la cual se puede obtener fosfato libre para su determinación reflectométrica.

◆ **Contenido de sulfatos**

Norma: Procedimiento del Standard Methods.

El sulfato presente en los extractos, se establece convencionalmente por gravimetría mediante la determinación cuantitativa de los iones sulfato en forma de sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) por precipitación con cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ). A bajas concentraciones en las cuales la cantidad de sulfato no se precipita, se titula el exceso de ión bario (Ba) añadido, mediante un agente acomplejante (EDTA); la valoración se realiza por retroceso.

◆ **Contenido de carbono orgánico**

Norma: Manual de procedimientos suelos IGAG.

La materia orgánica es oxidada mediante ácido crómico en presencia de un exceso de ácido sulfúrico, valorando el exceso de ácido crómico con una disolución de sal ferrosa.

◆ **Aluminio intercambiable (o extractable)**

Norma: Manual de procedimientos suelos IGAG.

En el suelo tratado con solución de cloruro de potasio (KCl), el ión potasio ( $\text{K}^+$ ) reemplaza iones hidronio ( $\text{H}^+$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), formándose en solución ácido, clorhídrico (HCl) y cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ), titulados con solución estandarizada de NaOH.

◆ **Carbonatos**

Norma: Anál. Suelos JACKSON M.

La valoración en extractos de suelos se realiza mediante titulación con ácidos inorgánicos fuertes, en presencia de indicadores ácido – base.

### 1.1.2.2.2 Resultados

#### ♦ **Análisis cualitativo**

Mediante el análisis cualitativo realizado por Difracción de rayos X (DRX) se determinaron los minerales: Illita y Moscovita.

**Tabla 4. Identificación por DRX. Muestra original sin tratamiento**

Fase	Absc. K0+120	Absc. K0+680	Absc. K1+080	Absc. K2+400
Si O <sub>2</sub>	Cuarzo	Cuarzo	Cuarzo	Cuarzo
Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	Caolinita 1A*		Caolinita 1Md*	
K-Mg-Fe-Al-Si-O- H <sub>2</sub> O	Mica			
(K,H <sub>3</sub> O)Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>		Illita*		
(K,Na)(Al,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>3.1</sub> Al <sub>0.9</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>		Moscovita 3T		
K Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>				Moscovita 2M1
FeO(OH)		Goethita	Goethita	Goethita
FeCO <sub>3</sub>		Siderita		
Cu <sub>6</sub> Al(SO <sub>4</sub> )(OH) <sub>12</sub> Cl (H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub>		Espangolita		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O		Lepidogrocita		

\*Minerales arcillosos

**Disgregación y sección de las arcillas.** Este proceso involucró la sección de los materiales por tamaños de partículas. Los minerales arcillosos (aprox. 2μ) se disgregaron, se orientan y se montan en un portamuestras adecuado. Esta muestra se denomina NORMAL.

**Saturación con iones K<sup>+</sup>.** Mediante el análisis por Difracción de rayos X de las muestras, se identifican los minerales arcillosos, caolinita e illita.

**Saturación con iones Mg<sup>+</sup>.** Mediante este tratamiento se corroboran la presencia de vermiculita e illita.

#### ♦ **Análisis cuantitativo**

La muestra denominada NORMAL, se analiza en las mismas condiciones utilizadas el análisis cualitativo, salvo por la preparación de la muestra, la cual es mezclada con una cantidad conocida de patrón interno (Corundum) con la arcilla normal. Los resultados obtenidos los minerales arcillosos son los siguientes:

**Tabla 5. Porcentaje de minerales en la fracción arcillosa**

	<b>K0+120</b>	<b>K0+680</b>	<b>K1+080</b>	<b>K2+400</b>
Illita	48.67	59.0	67.18	61.47
Caolinita	13.39	11.35	22.59	10.81
Vermiculita	37.94	19.32	10.24	27.72
Palygorskita		10.33		
% de arcilla/100g muestra	2.21	3.22	9.55	8.38

Correlacionando estos datos con la fracción que pasa el tamiz No. 40 (base de material, sobre el cual se realiza el análisis por DRX) se obtiene:

**Tabla 6. Porcentaje de minerales en la fracción arcillosa que pasa tamiz No. 40**

	<b>K0+120</b>	<b>K0+680</b>	<b>K1+080</b>	<b>K2+400</b>
Illita	1.0	1.2	6.3	4.0
Caolinita	0.3	0.2	2.1	0.7
Vermiculita	0.8	0.4	1.0	1.8
Palygorskita		0.2		
% de arcilla/100g muestra	2.02	2.01	9.43	6.59
% pasa No. 40	91.6	62.5	98.7	78.6

Las vermiculitas son arcillas cuyos efectos de expansión y contracción son representativos; de igual manera, la presencia de arcillas tipo illita le confieren al suelo características de media a alta plasticidad, sin embargo si la proporción de sus minerales arcillosos es alta y los procesos de expansión y contracción son significativos.

De esta forma, los efectos más importantes en expansión y contracción que registran estos suelos, corresponden a las abscisas K1+080 y K2+400, puesto que posee los mayores contenidos de minerales arcillosos expansivos, tales como la illita.

La presencia de illitas es característica de suelos pobremente drenados en regiones áridas. La acción de las caolinitas no establece cambios físicos notorios, al ser estables químicamente, con propiedades tales como bajo límite líquido, plasticidad, cohesión, dilatación y contracción, ya que el agua penetra en muy baja proporción expandir o contraer celdas unitarias.

♦ **Análisis por absorción atómica**

**Tabla 7. Resultados por absorción atómica**

Muestra	ELEMENTO %						
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
K0+120	60.43	7.00	15.97	1.18	1.91	3.88	5.70
K0+680	71.05	7.50	14.10	0.17	0.12	1.87	0.54
K1+080	61.78	8.47	14.69	3.12	4.18	1.47	3.69
K2+400	65.95	7.63	13.97	0.86	0.89	3.85	2.35

Los resultados obtenidos por absorción atómica confirman y/o descartan la presencia de ciertos minerales para el análisis por rayos X.

Las vermiculitas cálcicas generalmente asocian el ión calcio en solución como hidrocarbonato de calcio, lo cual las hace más hábiles de hidratarse y en consecuencia expandirse.

La existencia de iones de sodio (Na), permiten a la arcilla expandirse de 3 a 10 veces su volumen seco. Como las fuerzas que retienen agua en el suelo, son fuerzas de atracción superficial, entre más superficie (arcilla expansiva y materia orgánica) tenga el suelo, mayor es la cantidad de agua absorbida. Sin embargo, estas características se ven disminuidas por la presencia de los otros componentes del suelo.

Los contenidos de sílice (Si) y aluminio (Al) se hallan generalmente asociados a los óxidos en la conformación de las capas de arcillas, sin embargo una parte del aluminio (Al<sup>3+</sup>), es intercambiable en el suelo por el desbalance de cargas, que hacen inestables a los suelos arcillosos.

♦ **Análisis complementarios**

**Tabla 8. Análisis químicos complementarios**

ANÁLISIS	K0+120	K0+680	K1+080	K2+400
pH saturación	5.0	4.6	4.6	5.2
Materia Orgánica (%)	0.5	0.6	0.6	0.2
Cl – mg/kg	5.4	84.6	8.6	55.2
CIC me/100g	26	20	56	23
PO <sub>4</sub> mg/kg	1.0	0.5	1.0	0.6
SO <sub>4</sub> soluble (%)	ND	ND	ND	ND
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> – mg/kg	386	420	356	363
Acidez intercambiable meq/100g	0.7	2.8	7.4	1.4
Al <sup>3+</sup> intercambiable meq/100g	0.0	0.0	3.0	0.0

ND: No Detectable

El calcio (Ca), magnesio (Mg) y aluminio (Al), pueden alterar la acción del aditivo, puesto que estos cationes multivalentes enlazantes en las intercapas de arcilla pueden ser firmemente retenidos, estableciendo cantidades relativamente mayores de un estabilizante específico, sin embargo su proporción en los suelos K0+120, K0+680, K2+400 no ofrece inconvenientes para la estabilización, a diferencia del suelo K1+080.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está directamente asociada con la proporción de la fracción arcillosa de carácter expansiva y a la presencia de altos contenidos de materia orgánica, sin embargo, esta última se encuentra en una proporción muy baja. La CIC altera el valor ácido o base de los suelos así como el grado de permeabilidad, siendo mayor a altos valores, fácilmente penetrable por el agua.

En la Tabla 8, se observan bajos contenidos de sulfatos, fosfatos y cloruros asociados a cationes tales como sodio (Na), potasio (K) y aluminio (Al), formando las respectivas sales, lo cual establece suelos pobres en sales solubles (la presencia de los cationes se confirma por Absorción Atómica). Sin embargo, los contenidos de potasio (K) se asocian generalmente a la fracción de illitas, las cuales retienen este ión en particular y la poca cantidad de catión sodio (Na+) se encuentra repartido en los minerales arcillosos y micas principalmente.

No se detectan iones sulfato por los métodos utilizados. Ello establece la ausencia de componentes tipo sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ , yeso) que alteran las propiedades físicas de estos suelos, dando mayor resistencia al mismo.

El pH ácido del suelo, puede presentarse por cuatro causas:

1. Ácidos orgánicos.
2. Complejos orgánicos con ( $\text{Al}^{3+}$ ) aluminio.
3. Intercambio de  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$  desplazados por intercambio catiónico e hidrólisis en la superficie de las arcillas (acidez activa).
4. Formas de no intercambio sobre minerales. La acidez activa, altera la interacción de los estabilizadores sobre el suelo, estableciendo dosificaciones mayores de estabilizantes a fin de contrarrestar este efecto.

Altos valores de acidez intercambiable, capacidad de intercambio, así como bajos valores de pH de saturación, establecen cantidades relativamente mayores de los aditivos estabilizadores de suelos, especialmente aquellos con base en ión calcio, variables que junto con la caracterización del tipo de arcillas expansivas (DRX) presentes, no pueden desconocerse al momento de llevar a cabo la formulación de aditivos estabilizadores de suelos.

### 1.1.3 FORMULACIÓN DE ADITIVOS



**Fotografía 3.** Motoniveladora mezclando la cal con el suelo

Concentraciones altas de sales aumentan fuerzas de succión, reteniendo el agua en suelos plásticos. Este efecto de retención de iones está directamente relacionado con la estructura.

La acción de un estabilizante es disminuir el efecto de retención de iones, reduciendo la plasticidad del suelo, ya que éstos no pueden ubicarse en los sitios de intercambio catiónico que provoca el hinchamiento, lo cual permite a su vez el incremento en resistencia del suelo.

De acuerdo a la información química anteriormente presentada y de acuerdo a registros históricos de suelos estabilizados, los porcentajes mínimos de aditivo calculado requerido por estos suelos para su proceso de estabilización son:

**Tabla 9. Contenidos de aditivos en los suelos**

	<b>K0+120</b>	<b>K0+680</b>	<b>K1+080</b>	<b>K2+400</b>
Aditivo cal viva	2%*, 3%	2%*, 3%	2%, 3%*	2%*, 3%
Aditivo Silicato	1.5%*, 2%	1.5%*, 2%	1.5%, 2%*	1.5%*, 2%

\* Porcentaje de aditivo recomendado

Como los suelos tienen un pH notoriamente ácido, los contenidos de cal viva y silicato deben ser altos, con el fin de neutralizar ciertos componentes, mejorando no solo sus propiedades físicas como resistencia y plasticidad sino también sus propiedades químicas, provocando, de esta manera, que las arcillas pierden propiedades nocivas como expansión y baja resistencia ante cargas en estado de saturación de agua.

El suelo K1+800 al poseer las mayores propiedades plásticas establece cantidades recomendadas de 3% de cal y 2% de silicato. Sin embargo, los ensayos con una mezcla menor (similar a los otros suelos) permiten establecer la realización de mezclas de estos dos aditivos con el fin de evaluar un efecto sinérgico.

Dosificaciones mayores a las recomendadas en los otros suelos, se llevan a cabo con el fin de establecer cambios significativos no solo en sus propiedades plásticas, sino además en sus características de resistencia.

#### 1.1.4 ESTABILIZACION QUIMICA DEL SUELO



**Fotografía 4.** Base estabilizada

Los parámetros para evaluar la efectividad de los aditivos sobre el suelo en el proceso de estabilización, son el índice de plasticidad y la capacidad portante del mismo. La metodología empleada es la siguiente:

- Cuarteado y tamizado del suelo por tamiz No. 40.
- Adaptación y homogenización del suelo en su humedad natural.
- Mezcla de aditivo con el suelo en la condición anterior como porcentaje en peso seco.
- Cada mezcla se guarda en frascos sellados para iniciar su proceso de curado.
- Evaluación de Límites de Atteberg y resistencia a la compresión simple cada 7 días hasta cumplir 28 días.
- Selección del aditivo final.
- Verificación del mejoramiento de la subrasante mediante CBR.

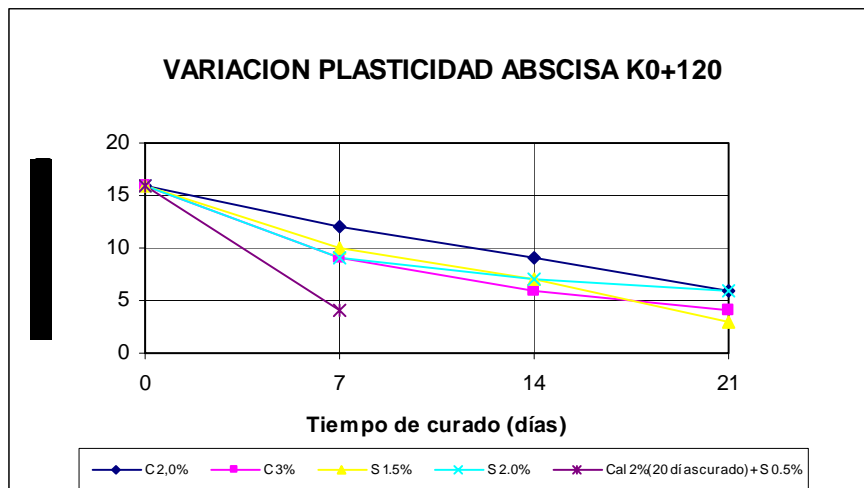
En la evaluación de la capacidad portante, se compactan probetas de 8 cm de altura por 3 cm de diámetro con mezcla de suelo – aditivo antes de iniciar el proceso de curado, debido a que el suelo estabilizado y curado durante varios días, presenta dificultad de compactación por los efectos del aditivo.

Los resultados del proceso de mejoramiento del suelo se presentan a continuación:

**Tabla 10. Variación de la plasticidad abscisa K0+120**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	C	2.0%	0	56	40	16
			7	46	34	12
			14	46	37	9
			21	45	39	6
1	C	3.0%	0	56	40	16
			7	45	36	9
			14	45	39	6
			21	45	41	4
1	C	1.5%	0	56	40	16
			7	44	34	10
			14	43	36	7
			21	42	39	3
1	C	2.0%	0	56	40	16
			7	43	34	9
			14	42	35	7
			21	43	37	6
1	Cal 2%(20 días curado + S0.5%)	C2% - S0.5%	0	56	40	16
			7	42	16	4

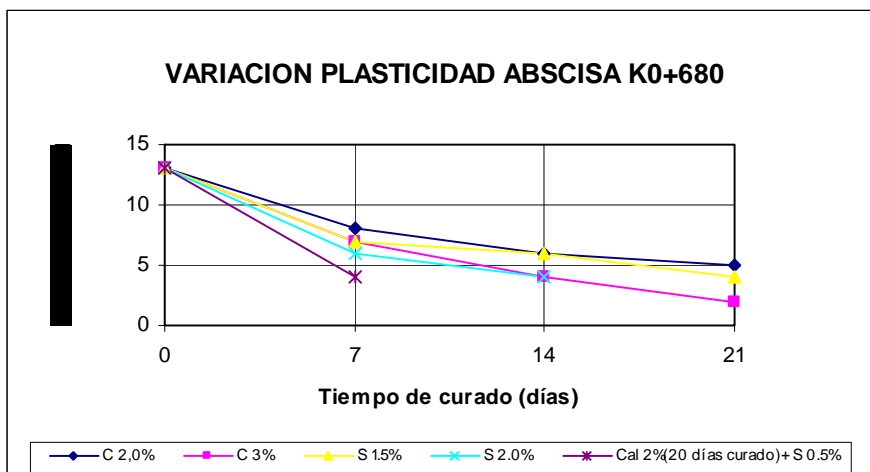
**Figura 1. Variación plasticidad K0+120**



**Tabla 11. Variación de la plasticidad abscisa K0+680**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
2	C	2.0%	0	35	22	13
			7	32	24	8
			14	31	25	6
			21	31	26	5
2	C	3.0%	0	35	22	13
			7	33	26	7
			14	31	27	4
			21	30	28	2
2	S	1.5%	0	35	22	13
			7	27	20	7
			14	27	21	6
			21	26	22	4
2	S	2.0%	0	35	22	13
			7	27	21	6
			14	26	22	4
2	Cal 2%(20 días curado + S0.5%)	C2% - S0.5%	0	35	22	13
			7	27	23	4

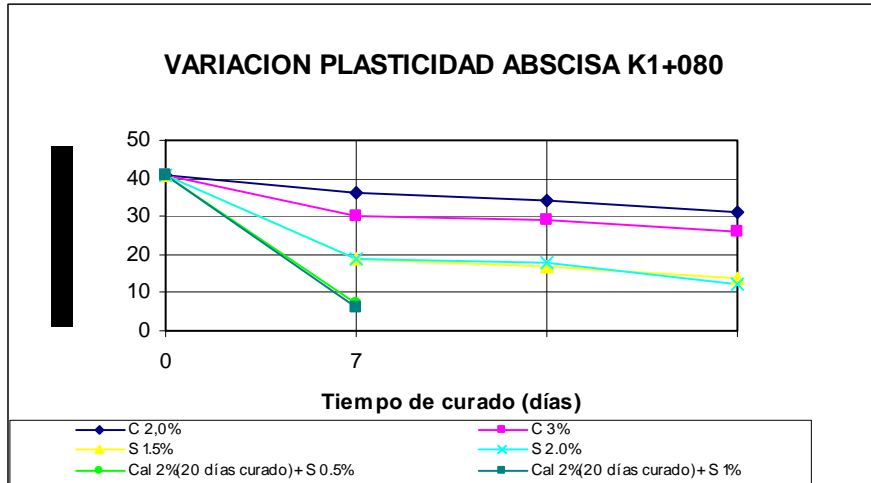
**Figura 2. Variación plasticidad k0+680**



**Tabla 12. Variación de la plasticidad abscisa K1+080**

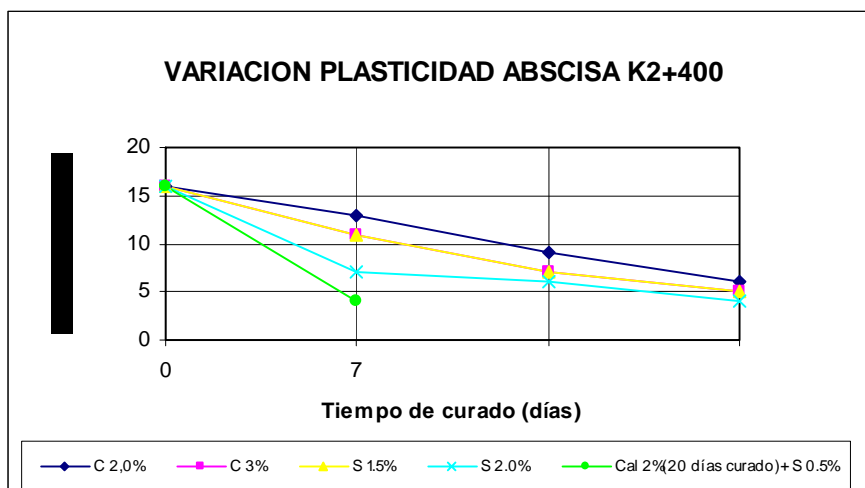
MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
3	C	2.0%	0	72	31	41
			7	68	32	36
			14	67	33	34
			21	66	35	31
3	C	3.0%	0	72	31	41
			7	66	36	30
			14	66	37	29
			21	65	39	26
3	S	1.5%	0	72	31	41
			7	45	26	19
			14	44	27	17
			21	43	29	14
3	S	2.0%	0	72	31	41
			7	46	27	19
			14	46	28	18
			21	44	32	12
3	Cal 2%(20 días curado + S0.5%)	C2% - S0.5%	0	72	31	41
			7	34	27	7
3	Cal 2%(20 días curado + S0.5%)	C2% - S1%	0	72	31	41
			7	35	29	6

**Figura 3. Variación plasticidad k1+080**



**Tabla 13. Variación de la plasticidad abscisa K2+400**

**Figura 4. Variación plasticidad k2+400**



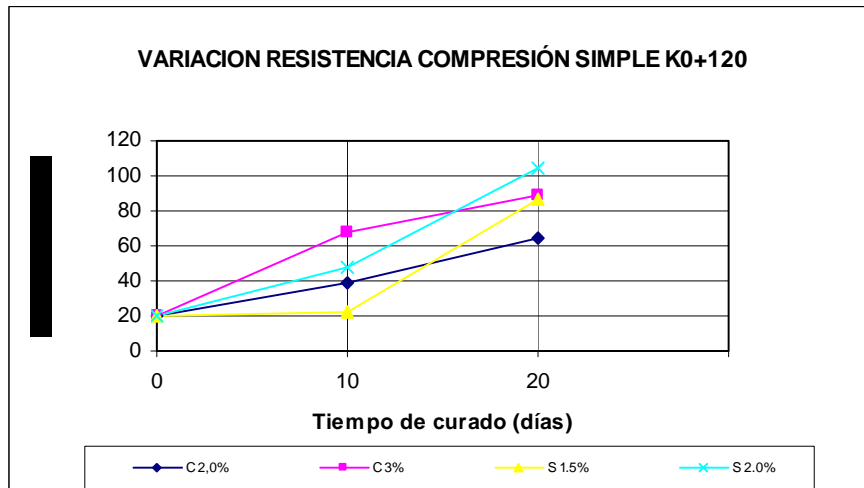
Con base en las tablas y figuras anteriores, se puede observar que las abscisas K0+120, K0+680 y K2+400, todos los aditivos empleados en cada una de sus dosificaciones, logran bajar el índice de plasticidad en un rango de 10 a 12 puntos (%). Sin embargo, la abscisa K1+080, correspondiente al sector más plástico del tramo, el aditivo más efectivo es la mezcla de cal al 2% con 20 días de curado y silicato en dosificaciones de 0.5% y 1 %, logrando obtener una disminución promedio de 30 puntos (%) en el IP.

Los resultados finales del comportamiento de las muestras de suelo referente a la resistencia a la compresión simple se presentan a continuación:

**Tabla 14. Variación Resistencia a la Compresión Simple K0+120**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE (KPa)
1	C	2.0%	0	20.1
1	C	2.0%	10	38.4
1	C	2.0%	20	64.2
1	C	3.0%	0	20.1
1	C	3.0%	10	67.3
1	C	3.0%	20	89.1
1	S	1.5%	0	20.1
1	S	1.5%	10	22
1	S	1.5%	20	86.2
1	S	2.0%	0	20.1
1	S	2.0%	10	47.4
1	S	2.0%	20	104

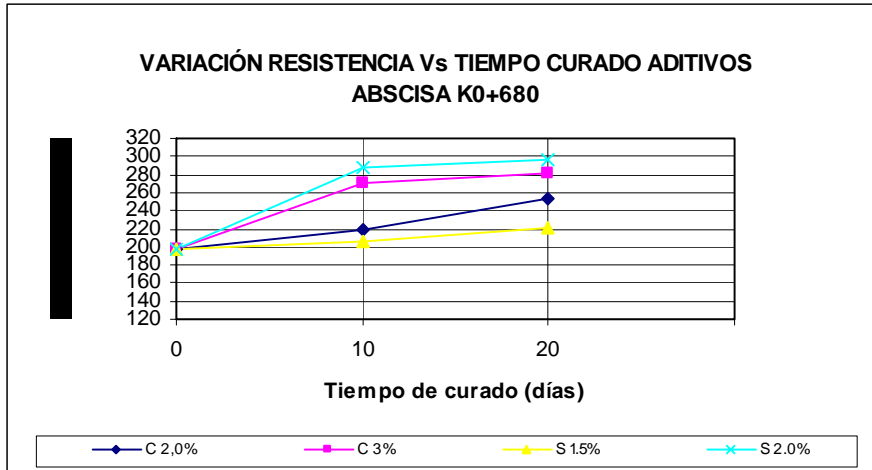
**Figura 5. Variación resistencia compresión simple k0+120**



**Tabla 15. Variación Resistencia a la Compresión Simple K0+680**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE (KPa)
2	C	2.0%	0	198.3
2	C	2.0%	10	220
2	C	2.0%	20	253.8
2	C	3.0%	0	198.3
2	C	3.0%	10	270.8
2	C	3.0%	20	282.1
2	S	1.5%	0	198.3
2	S	1.5%	10	205.9
2	S	1.5%	20	220.3
2	S	2.0%	0	198.3
2	S	2.0%	10	288.4
2	S	2.0%	20	296.1

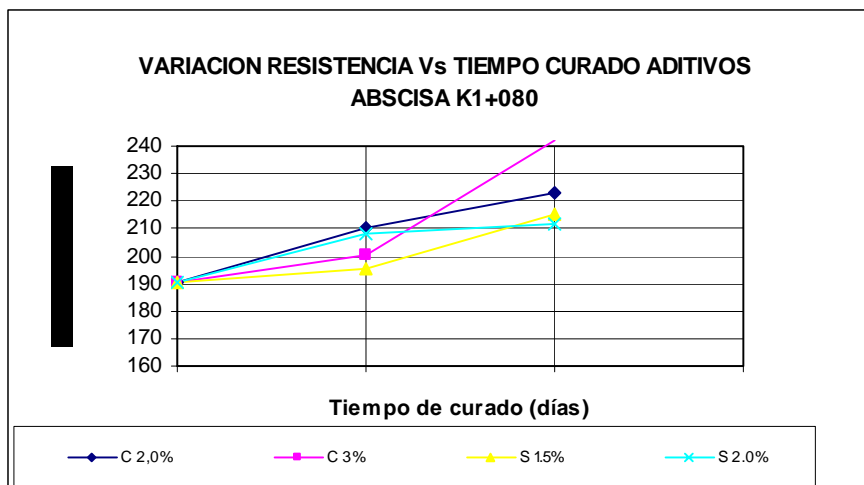
**Figura 6. Variación resistencia compresión simple k0+680**



**Tabla 16. Variación Resistencia a la Compresión Simple K1+080**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE (KPa)
3	C	2.0%	0	190.1
3	C	2.0%	10	210
3	C	2.0%	20	223.1
3	C	3.0%	0	190.1
3	C	3.0%	10	200.3
3	C	3.0%	20	242.1
3	S	1.5%	0	190.1
3	S	1.5%	10	195.3
3	S	1.5%	20	215.1
3	S	2.0%	0	190.1
3	S	2.0%	10	208.4
3	S	2.0%	20	211.6

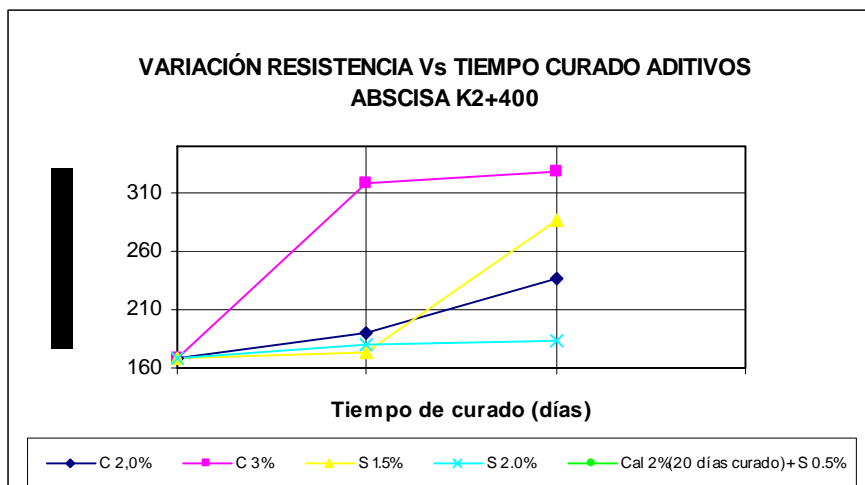
**Figura 7. Variación resistencia compresión simple k1+080**



**Tabla 17. Variación Resistencia a la Compresión Simple K2+400**

MUESTRA	PRODUCTO	DOSIFICACION	TIEMPO CURADO (días)	RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE (KPa)
5	C	2.0%	0	168.9
5	C	2.0%	10	189.3
5	C	2.0%	20	236.1
5	C	3.0%	0	168.9
5	C	3.0%	10	318.2
5	C	3.0%	20	328.3
5	S	1.5%	0	168.9
5	S	1.5%	10	172.7
5	S	1.5%	20	285.9
5	S	2.0%	0	168.9
5	S	2.0%	10	179.6
5	S	2.0%	20	183.1

**Figura 8. Variación resistencia compresión simple k2+400**



Observando las tablas y figuras anteriores se puede observar que el mejor comportamiento en cuanto al aumento de la resistencia a compresión (soporte) del suelo, se encuentra dividido por abscisas K0+120 y K0+180, el aditivo más efectivo es el silicato al 2%, logrando un aumento promedio de resistencia de 85Kpa, lo cual representa un aumento promedio de consistencia de terreno de blando a mediano y de firme a muy firme respectivamente. En las abscisas K1+080 y K2+400, el aditivo más efectivo es la cal al 3%, logrando un aumento promedio de resistencia de 100 Kpa, lo cual representa un mejoramiento de consistencia de terreno de firme a muy firme y de firme a dura, respectivamente.

En conclusión, teniendo en cuenta el comportamiento de la plasticidad y la resistencia a la compresión simple del material de subrasante del tramo en general, se encuentra que la mejor relación obtenida durante el proceso de estabilización química, es la combinación de CAL VIVA en una concentración del 2% en peso permitiendo curado de un día y posteriormente mezcla con SILICATO en una concentración de 0.5% en peso. El análisis de posibles interferencias y reacciones, no presenta ninguna alteración significativa.

Con base en esta dosificación única final, se evalúa el mejoramiento de la capacidad portante del suelo como futura subbase en la vía. Esta comprobación se encuentra en proceso de curado con el ensayo CBR del suelo estabilizado.

#### 1.1.4.1 EVALUACION CBR

Con base en el proceso de estabilización química del material de subrasante, se obtuvieron los siguientes resultados:

El agente estabilizante más efectivo, teniendo en cuenta su acción desde el punto de vista de disminución de plasticidad y aumento de resistencia fue cal viva en una dosificación del 2% en peso, permitiendo curado durante un día, posteriormente mezclada con silicato en una dosificación del 0.5% en peso.

Con base en este resultado final del proceso, se planteó la evaluación del aumento de la capacidad portante del suelo, con la realización del ensayo CBR de cada una de las abscisas analizadas en el estudio y estabilizadas con el aditivo y la dosificación óptima encontrada.

**Tabla 18. Evolución CBR estabilizado**

Abscisa	CBR inicial (%)	CBR final (%) 12 días de curado	Aumento (%)
K0+120	18	45	27
K0+680	6	34	28
K1+080	1.5	20	18.5
K2+400	3	30	27

Con base en la tabla anterior se puede observar que, se obtiene un aumento de capacidad portante en la subrasante de 25 puntos en promedio. Con este aumento se logra trabajar con una capa de subrasante estabilizada que realiza un aporte de capacidad portante análogo a la presencia de una base granular.

Para encontrar la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente, y conocer con exactitud, la cantidad de agente estabilizante a aplicar durante el proceso constructivo en el tramo de vía estudiado, se determina el peso específico del suelo presente en cada una de las abscisas analizadas.

**Tabla 19. Pesos Específicos suelo de subrasante**

Abscisa	Peso material (gr)	Peso matraz + agua (gr)	Peso matraz + material + agua (gr)	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )
K0+120	150	1964.5	2041.8	2.063
K0+680	150	1963.4	2050.9	2.4
K1+080	150	1964.58	2053.7	2.464
K2+400	150.1	1964.62	2055.7	2.543

### 1.1.5 DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Para cuantificar el espesor de subrasante de la vía que requiere se sometido al proceso de estabilización, con el fin de aumentar su capacidad portante, son

evaluadas varias alternativas de diseño con base en diversas hipótesis de tránsito aplicables al tipo de vía en estudio.

### 1.2.5.1 Estudio de tránsito

Teniendo en cuenta el Manual de Volúmenes de Tránsito del INVÍAS y los diferentes factores socioeconómicos que afectan el volumen vehicular en el tramo de análisis, se asume la siguiente distribución vehicular:

Tránsito Promedio Diario Inicial	=	300 vehículos / día
% Autos	=	37%
% Buses	=	12%
% Camiones	=	51%

Distribución de Camiones:

C-2	=	64%
C-3	=	25%
C2 – S1	=	5%
C2 – S2	=	3%
C3 – S2	=	3%

Para el cálculo del Factor Camión, son asumidos los factores de equivalencia propuestos por MOPT –Universidad del Cauca, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 20. Factores de Equivalencia por Vehículo**

Vehículos Comerciales	Factor Equivalencia
Buses	1
C-2	1.4
C3	2.4
C2 – S1	3.37
C2 – S2	3.42
C3 – S2	4.67

$$\text{Factor Camión (camiones)} = ((64*1.4)+(25*2.4)+(5*3.37)+(3*3.42)+(3*4.67)) / 100 = 1.9$$

$$\text{Factor Camión total} = ((1.9*51)+(12*1)) / 63 = 1.73$$

Con el fin de obtener el número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton (N), que transitarán en la vía en el carril de diseño durante el periodo de diseño, se asumen los siguientes parámetros:

$$N = \text{TPDi} * (A/100) * (B/100) * 365 * [((1+r)^{n-1}) - (\ln(1+r))] * \text{FC}$$

TPD inicial = 300 vehículos / día

A = Porcentaje estimado de vehículos ciales. (Buses+Camiones) = 63%

B = Porcentaje de vehículos ciales. que usan el carril de diseño = 50%  
 (para dos carriles)  
 r = rata anual de crecimiento del tránsito = 4%  
 FC = Factor Camión = 1.73  
 N = 10 años  
  
 N = 730,664

Teniendo en cuenta que la zona de influencia del proyecto se caracteriza por ser agrícola, ganadera y turística, se asume un porcentaje de aumento del 20% del N, por tránsito atraído y generado.

N = 876,797

Con base en este valor de tránsito, se realiza el diseño para diferentes alternativas de carga:

**Tabla 21. Alternativas de diseño**

Alternativa	N
1	500,000
2	700,000
3	900,000

### 1.1.5.3 Diseño Estructura en Software DEPAV

La estructura del pavimento estará conformada por una capa de subrasante en su estado natural, una capa de subrasante estabilizada y una capa de protección que no aporta ninguna función estructural.

Además se asumen las características del material de subrasante más desfavorable presente en la vía (CBR = 1.5%).

$$Mr \text{ subrasante natural} = 100 * CBR = 100 * 1.5 = 150 \text{ Kg/cm}^2$$

Para obtener el valor de Mr de la subrasante estabilizada, se tiene en cuenta el valor del CBR estabilizado. Para la abscisa que presenta un CBR original de 1.5% (más bajo), se logra obtener un aumento hasta del 20% con 12 días de curado en contacto con el aditivo estabilizante. Sin embargo, según la tendencia del comportamiento del material durante todo el estudio, se puede concluir que la capacidad de soporte puede llegar hasta un valor de 34% a los 21 días de curado.

$$M_r \text{ subrasante estabilizada} = 100 * CBR = 100 * 34 = 3,400 \text{ Kg/cm}^2$$

Según el método Shell para diseño de pavimentos flexibles, la deformación a compresión admisible para un 95% de confiabilidad en la parte inferior de la capa de subrasante estabilizada es:

$$\epsilon_v \text{ admisible} = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25}$$

**Tabla 22. Valores de deformación admisibles en subrasante según tránsito**

N	$\epsilon_v$
500,000	0.00067691
700,000	0.0006223
900,000	0.0005844

Según el cálculo realizado en el programa DEPAV, se obtienen los siguientes espesores de subrasante estabilizada que cumplen con los rangos admisibles según el tránsito:

**Tabla 23. Espesores de diseño capa subrasante estabilizada**

N	$\epsilon_v$	Espesor (cm)
500,000	0.000600	40
700,000	0.000600	40
900,000	0.000559	42

Estos valores se pueden ajustar con mayor exactitud, si se realiza el diseño con base en el estudio de tránsito real

### 1.2.6 PROCESO CONSTRUCTIVO DE ESTABILIZACION CON CAL Y SILICATO

Este trabajo consiste en la construcción de una capa de base, constituida por material resultante de la escarificación de la capa superficial existente, estabilizándolo con cal viva en una dosificación del 2% en peso permitiendo curado durante un día, posteriormente mezclada con silicato en una dosificación del 0.5% en peso.

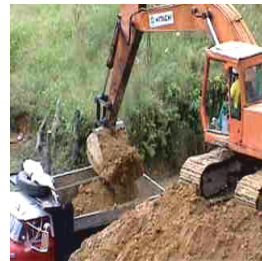
El material por estabilizar con cal y silicato proviene de la escarificación de la capa superficial existente, libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar el material. La dosificación de cal viva para la estabilización es de 2% en peso, permitiendo el curado durante un día; el aditivo a utilizar es el silicato de sodio líquido en una dosificación del 0.5% en peso; el agua debe

ser limpia y estar libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas.

El equipo necesario está constituido por elementos para la compactación como motoniveladora, carrotanque para aplicar el aditivo, elementos de transporte y herramientas menores.

El procedimiento para realizar la Estabilización con cal y silicato comprende las siguientes etapas:

- 1) Definir los parámetros de control de estudios y diseños (densidades máximas, humedades óptimas, porcentaje de dosificación de aditivo).
- 2) Colocar el material de préstamo sobre la subrasante natural.



**Fotografía 5.** Material de préstamo de cantera

- 3) Extender el material en la vía con la motoniveladora, para iniciar la aplicación del aditivo.



**Fotografía 6.** Material extendido con la motoniveladora

- 4) Ubicar y aplicar el aditivo estabilizador (cal viva), empleando mano de obra. Esta etapa se lleva a cabo, ubicando cada saco de cal a lado y lado de la banca, con igual distancia de espaciamiento dependiendo de la longitud del tramo que se trabaje. Se debe garantizar una distribución, tal que la dosificación sea uniforme, abriendo cada saco y extendiendo manualmente el material, de tal forma que se cubra toda la superficie del suelo.



**Fotografía 7.** Ubicación de los sacos de cal

- 5) Mezclar el suelo con el aditivo previamente extendido, empleando motoniveladora, permitiendo la homogenización del material.



**Fotografía 8.** Mezcla del suelo con cal

- 6) Extender el suelo mezclado y homogenizado con el aditivo (cal viva), para acondicionarlo a su humedad óptima de compactación. (Motoniveladora).



**Fotografía 9.** Material extendido con motoniveladora

- 7) Adicionar el aditivo liquido (silicato) distribuido de una manera uniforme.



**Fotografía 10.** Adición de silicato

- 8) Agregar el contenido de agua necesario para adecuar el suelo en su humedad óptima, empleando carrotanque irrigador.
- 9) Mezclar el material con el contenido de humedad óptima empleando motoniveladora y perfilado para preparar la compactación.



**Fotografía 11.** Mezcla del silicato



Compactar la capa del material preparado mediante la aplicación de energía con Vibrocompactador, hasta obtener un 95% de la máxima densidad seca.

**Fotografía 12.** Compactación del suelo

- 10) Controlar el proceso mediante medición de densidades con ensayos de campo.



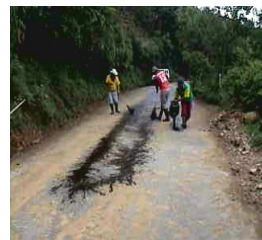
**Fotografía 13.** Densímetro nuclear

- 11) Además del proceso en general, se debe disponer de comisión topográfica para definir bombeo, niveles de rasante, peraltes y alineamientos geométricos.



**Fotografía 14.** Levantamiento topográfico

- 12) Imprimación.



**Fotografía 15.** Aplicación del riego de imprimación

- 13) Aplicación de Slurry con asfalto modificado.



**Fotografía 16.** Colocación de la capa de Slurry

### **1.3 ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA EN EL MUNICIPIO DE OCAMONTE, EMPLEANDO ESTABILIZACIÓN QUÍMICA PARA EL SUELO DE SUBRASANTE**

#### **1.2.3 RECONOCIMIENTO DE LA ZONA**

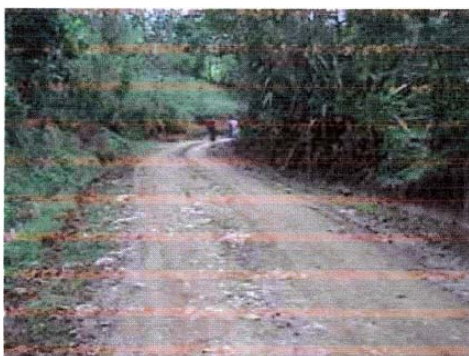
Se realiza a lo largo de la vía encontrándose un deficiente manejo de aguas superficiales, siendo necesaria la construcción de un filtro (geodren con geomembrana de mínimo dos pulgadas de diámetro o dren francés a todo lo largo del costado derecho de la vía en el sentido Ocamonte – Charalá excluyendo el tramo K0+000 a K0+080). En la margen izquierda, se observa la necesidad de construir un filtro para el tramo comprendido entre las abscisas K0+000 a K0+050, K0+050, K0+080 a K0+160 y K0+300 a K0+400, y una alcantarilla o estructura de control para la escorrentía de la cañada comprendida entre las abscisas K0+050 y K0+060 de esta margen.

Finalmente, es importante la construcción de cunetas a lo largo de la vía, que permitan un adecuado manejo de aguas superficiales y eviten el deterioro de la capa de suelo mejorada.

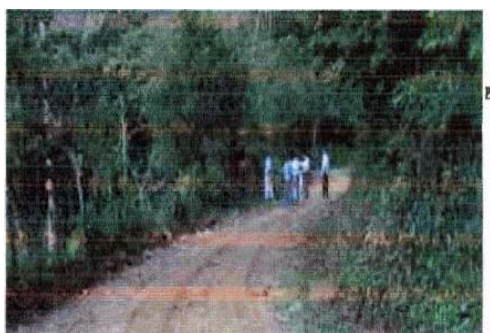
Nota: Estas apreciaciones obedecen a una simple inspección visual y su optimización es realizada con el estudio hidráulico e hidrológico de la vía en estudio.



**Fotografía 17.** K0+000 - K0+050: Necesidad de filtro



**Fotografías 18 y 19.** Necesidad de filtro sector comprendido entre K0+080 a K0+160.



**Fotografías 20.** Necesidad de filtro sector comprendido entre K0+300 a K0+400



**Fotografías 21.** Algunos sectores de la margen derecha que requieren filtro.

## **1.2.4 TOMA DE MUESTRAS Y RESULTADOS DE CAMPO**

### **1.2.2.1 VIGA BENKELMAN**

El proceso de caracterización de las vías se inicia determinando las deflexiones elásticas recuperables del suelo de subrasante mediante la viga Benkelman, abscisando cada 20 metros, con el fin de determinar el estado actual de respuesta del suelo ante carga patrón e identificar abscisas de análisis.

En el anexo D, se encuentran los registros de medición de deflexiones realizados en campo.

Las medidas de deflexión se realizan con el propósito de establecer homogeneidad de la superficie y la existencia de zonas débiles que requieren de tratamiento especial para aumentar su capacidad de soporte estructural.



**Fotografías 22 y 23.** Panorámica del inicio de la vía Ocamonte – Charalá



**Fotografías 24 y 25.** Medida de deflexiones Benkelman

De acuerdo con las deflexiones obtenidas y considerando una distribución normal, la cuantificación de la confiabilidad de los datos se considera como el rango definido por la media + 2 veces la desviación estándar. Este rango abarca aproximadamente el 95% del número total de datos, obteniéndose los siguientes valores característicos:

**Tabla 24. Resultados Viga Benkelman**

MEDIA (mm)	DES. ESTÁNDAR (mm)	DEFLEX. CARACT. (mm)
0.72	0.50	1.22

Ver Anexo D.

#### 1.2.2.2 PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

Los apiques, toma de muestras y la Prueba de Cono Dinámico se realizan en las abscisas K0+180 y K0+320. Estos puntos se seleccionan con base en los sectores homogéneos identificados en las deflexiones Benkelman, y su ubicación (abscisa) representativa para el perfil de suelos de subrasante.

En cada uno de los apiques se encontró la capa de suelo conformada por los siguientes materiales:

**Tabla 25. Estrato de materiales en los apiques**

Abscisa	Profundidad	Comentario
K0+180	0 a 5 cm	Material de arrastre con partículas de gravas
	Más de 5 cm	Suelo negro, completamente homogéneo

K0+320	0 a 7 cm	Material rojo arcillos de arrastre
	7 a 30 cm	Material negro con partículas de grava
	Más de 30 cm	Suelo negro completamente homogéneo

En cada sondeo se hace una descripción de los espesores de estratos de suelos encontrados, posición del nivel freático y características generales de los suelos, se toman muestras del suelo representativo, y se realizan ensayos de humedad natural, granulometría, límites líquido y plástico, densidad máxima de compactación, próctor modificado, peso específico.

Obtenido el perfil de suelos, se determina resistencia con penetrómetro de cono dinámico, efectuando dos determinaciones por kilómetro aproximadamente.

El ensayo de Cono Dinámico permite conocer la resistencia del suelo al efecto de corte y correlacionar su valor a un CBR y Módulo Resiliente. En el Anexo E, se encuentran los registros de medición de PDC realizados en el campo.

A cada material representativo del perfil se le realiza un ensayo de CBR y con ellos se calibra el cono dinámico.



**Fotografía 26 y 27.** Toma de muestras abscisas K0+320 y K0+180



**Fotografía 28 y 29.** Ensayo Penetración Dinámica de Cono abszis K0+320 y K0+180

Los valores reportados como CBR y Módulo resiliente de subrasante obedecen a relaciones empíricas para suelos finos y podrían dar una aproximación al resultado de una prueba estándar de laboratorio, los valores medios encontrados en cada uno de los apiques realizados fueron:

**Tabla 26. Resultados ensayo Cono Dinámico**

ABSCISA	CBR (%)	MÓDULO SUBRASANTE (Kg/cm2)
K0+180	2	435
K0+320	8	705

Con base en la clasificación geotécnica de los suelos, las medidas de deflexión, los valores de CBR medido y los extrapolados de medidas de cono, se seleccionan las unidades homogéneas de diseño.

### **1.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **1.2.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO**

La caracterización física del suelo se realiza con el fin de determinar las propiedades y características de las muestras representativas de la capa sobre la que se construirá la vía. Los ensayos representativos corresponden a Humedad Natural, Granulometría, Límites de Atterberg, Próctor Modificado y Capacidad de Soporte CBR, los cuales reportaron los siguientes valores.

##### **1.2.3.1.1 Procedimientos**

###### **◆ Procedimiento para la preparación de muestras de suelos por cuarteo**

Norma: INV E-104, AASHTO T-248

Divide las muestras de suelos obtenidas en el campo, en porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los ensayos a desarrollar.

###### **◆ Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad)**

Norma: INV E-122, ASTM D-2216

Mediante diferencias de pesos se determina la cantidad de agua removida luego de someter la muestra a temperatura del  $10 \pm 5^{\circ}\text{C}$  en un horno.

♦ **Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos**

Norma: INV E-213, ASTM C-136

Se determinan los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada dispuestos sucesivamente de mayor a menor abertura para penetrar la muestra 0.1 y 0.2 pulgadas con cargas patrones. Dicha relación refleja la capacidad de soporte de la subrasante.

**1.2.3.1.2 Resultados**

**Tabla 27. Caracterización inicial física del suelo de la vía. Límites de plasticidad**

Abscisa	Profundidad	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad
K0+320	< 7 cm	19	18	1
K0+320	7 a 30 cm	26	19	7
K0+320	> 30 cm	42	28	14
K0+180	0 a 5 cm	33	25	8
K0+180	> 5 cm	38	26	12

**Tabla 28. Caracterización inicial física del suelo de la vía. Granulometría**

Abscisa	Profundidad	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Clasificación
K0+320	< 7 cm	12.5	49.4	38.0	SC
K0+320	7 a 30 cm	19.5	31.2	49.3	SM – SC
K0+320	> 30 cm	5.5	30.9	63.6	ML
K0+180	0 a 5 cm	31.2	24.2	44.6	GM
K0+180	> 5 cm	4.9	32.5	62.5	ML

**Tabla 29. Caracterización inicial física del suelo de la vía. Resistencia a la compresión simple**

Abscisa	Profundidad	Deformación de rotura (%)	Humedad de rotura (%)	Resistencia (Kpa)
K0+320	> 30 cm	7.8	20	108

**1.2.3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO**

Es importante realizar un análisis químico que permita detectar la presencia de componentes mineralógicos y elementos químicos que reflejen una mejor identificación de su comportamiento. Con base en estos análisis se puede detectar si el suelo es susceptible a cambios volumétricos o a la concentración de iones, fuente de altos índices de expansión.

#### **1.2.3.2.1 Procedimientos**

##### **◆ *Análisis por difracción de rayos x***

Procedimiento según Centro Internacional Datos de Difracción ICDD  
Equipo: Difractómetro de Rayos-X marca RIGAKU modelo D/MAX III B

El procedimiento consiste en la maceración de una muestra de agregado mineral, lo cual se realiza en un mortero de ágata seleccionando previamente el material que pasa por la malla de 38  $\mu\text{m}$ .

El material es colocado en el porta muestras del equipo, mediante la técnica de llenado lateral, con el cual se obtiene la identificación cualitativa de las fases presentes en las muestras y por compactación de las reflexiones del perfil observado con las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del Centro Internacional de Datos de Difracción (ICDD), utilizando el software respectivo.

##### **◆ *Absorción atómica***

Equipo: Espectrofotómetro Absorción Atómica, marca Perkin Elmer

A una muestra pulverizada (<100 mallas) se le practica una fusión con tetraborato - metaborato de litio y posteriormente se disuelve con solución de ácido nítrico. Los elementos se cuantifican a partir de las soluciones ácidas obtenidos, utilizando la técnica de ICP-MS (Plasma Acoplado Inductivamente – Espectrometría de Masas), la cual consiste en hacer aspirar las muestras por el equipo utilizando una antorcha de plasma que permite la atomización y el proceso de emisión característico de los átomos presentes en la muestra. Las lecturas de las muestras son comparadas con las obtenidas de patrones de calibración para determinar la concentración del elemento en la muestra.

##### **◆ *Determinación del grado de acidez del suelo***

Norma: INV E-131, Análisis Suelos JACKSON M.

Se basa en la preparación del tanto por ciento de saturación en agua de la muestra de suelo y posterior medida del PH con un electrodo calibrado a tres rangos de PH.

◆ **Contenidos de cloruros**

Norma: Procedimiento del Standard Methods

Se determinan en solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato potásico indica el punto final de la titulación de cloruros con nitrato de plata; precipitándose el cloruro de plata cuantitativamente antes de tomarse el cromato de plata rojo.

◆ **Determinación capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Norma: Manual de procedimientos para suelos IGAG.

Se determina mediante saturación y posterior lavado de la muestra de suelo con una solución de acetato de amonio ( $\text{ACONH}_4$ ). El amonio retenido o fijado en el suelo se extrae mediante lixiviación y posteriormente se titula el ácido clorhídrico formado por la adición de formaldehído neutralizado a la solución.

◆ **Contenido de fosfatos**

Norma: Procedimiento del Standard Methods.

La extracción de fósforo en los suelos emplea una solución de HCL 0.1 N Y  $\text{NF}_4\text{F}$  0.03 N en la cual se puede obtener fosfato libre para su determinación reflectométrica.

◆ **Contenido de sulfatos**

Norma: Procedimiento del Standard Methods.

El sulfato presente en los extractos, se establece convencionalmente por gravimetría mediante la determinación cuantitativa de los iones sulfato en forma de sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) por precipitación con cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ). A bajas concentraciones en las cuales la cantidad de sulfato no precipita, se titula el exceso de ion bario (Ba) añadido, mediante un agente complejante (EDTA); la valoración se realiza por retroceso.

◆ **Contenido de carbono orgánico**

Norma: Manual de procedimientos para suelos IGAG.

La materia orgánica es oxidada mediante ácido crómico en presencia de un exceso de ácido sulfúrico, valorando el exceso de ácido crómico con una disolución de sal ferrosa.

◆ **Aluminio intercambiable (o extractable)**

Norma: Manual de procedimientos para suelos IGAG.

En el suelo tratado con solución de cloruro de potasio (KCl), el ión potasio ( $K^+$ ) reemplaza iones hidrónio ( $H^+$ ) y aluminio ( $Al^{3+}$ ), formándose en solución ácido, clorhídrico (HCl) y cloruro de aluminio ( $AlCl_3$ ), titulados con solución estandarizada de NaOH.

◆ **Carbonatos**

Norma: Anál. Suelos JACKSON M.

La valoración en extractos de suelos se realiza mediante titulación con ácidos inorgánicos fuertes, en presencia de indicadores ácido – base.

◆ **Exploración y caracterización de materiales “in situ”**

- *Medida de la deflexión y determinación de la curvatura empleando la viga benkelman*

Norma: INV E-795

Consiste en determinar simultáneamente con una viga Benkelman la deflexión recuperable y el radio de curvatura de una superficie, producidos por una carga estática. A tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de las llantas, espaciamiento entre ruedas duales, y presión de inflado están normalizados.

- *Relación de soporte del suelo en el terreno mediante la penetración dinámica de cono*

Norma: Sudafricana para PDC

A partir de este ensayo se determina la cantidad de centímetros que penetra una barra en un suelo para un número determinado de golpes. Con base en esta relación, se pueden obtener valores asociados de CBR y Módulos Resilientes de suelos.

**1.2.3.2.2 Resultados**

La caracterización química de los suelos finos arcillosos comprende el análisis de la composición de los minerales presentes, mediante la difracción de rayos X así como la determinación de los elementos detectables por espectrofotometría de absorción atómica.

#### ◆ **Análisis de difracción de rayos x**

Procedimiento según Centro Internacional de datos de Difracción ICDD  
Equipo: Difractómetro de rayos X marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB

El procedimiento consiste en la maceración de una muestra de agregado mineral, lo cual se realiza en un mortero de ágata seleccionando previamente el material que pasa por la malla de 38 $\mu$ m.

Ese material es colocado en el porta muestra del equipo, mediante la técnica de llenado lateral, con el cual se obtiene la identificación cualitativa de las fases presentes en las muestras y por comparación de las reflexiones del perfil observado por las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del Centro Internacional de datos de difracción (ICDD) utilizando el software respectivo.

#### ◆ **Análisis cuantitativo**

Para el análisis cuantitativo se mezcló una cantidad conocida de un patrón interno (Corundum) con la arcilla normal (minerales arcillosos). La medición se hizo dejando dos (2) segundos para muestreo en cada uno de los pasos. Las condiciones de medición fueron las mismas utilizadas para el análisis cualitativo.

Los resultados obtenidos para los minerales arcillosos en 100 g de fracción arcillosa fueron los siguientes:

**Tabla 30. Análisis cuantitativo de minerales en el suelo**

	<b>FASE</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>% CUANTITATIVO</b>
Cristalinos	TiO <sub>2</sub>	Anatasa	1.65
	SiO <sub>2</sub>	Cristobalita	3.93
	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	Kaolinita	2.63
	(K <sub>1</sub> H <sub>3</sub> O)Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub> AlO(OH) <sub>2</sub>	Litita	26.46
	SiO <sub>2</sub>	Cuarzo	57.50
Amorfos			7.83

La presencia de arcillas tipo illita, le confieren al suelo características de media a alta plasticidad, permitiendo el intercambio de iones por adsorción de moléculas de agua, sin embargo la proporción de minerales arcillosos es baja, con lo cual se ven minimizados estos efectos.

Al conocerse que los procesos evolutivos del suelo dan lugar a la presencia de minerales resistentes a procesos intemperantes drásticos en la fracción arena (cuarzo), se establece que estos suelos son meteorizados.

#### ◆ **Análisis de absorción atómica**

Equipo: Espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca Perkin Elmer

A una muestra pulverizada (< 100 mallas) se le practica una fusión con tetraborato – meta borato de litio y posteriormente se disuelve con solución de ácido nítrico. Los elementos se cuantifican a partir de las soluciones ácidas obtenidas, utilizando la técnica del ICP – MS (plasma acoplado inductivamente – Espectrometría de masas), la cual consiste en hacer aspirar las muestras por el equipo utilizando una antorcha de plasma que permite la atomización y el proceso de emisión característico de los átomos presentes en la muestra, las lecturas de las muestras son comparadas con las obtenidas de patrones de calibración para determinar la concentración del elemento en la muestra.

Los resultados de absorción atómica se presentan a continuación en porcentaje en peso (%) de cada metal cuantificado:

**Tabla 31. Análisis elemental del suelo**

MUESTRA	Si	Al	Fe	Mg	K	Na	Ca
Suelo K0+320 Profundidad > 30cm	32.95	6.78	2.42	1.18	0.92	1.81	1.14

El resumen del método utilizado es el siguiente: las muestras son sometidas a digestión ácida en vasos de teflón cerrados herméticamente y empleando calentamiento con microondas. En la disolución obtenida se determina Al, Fe, K, Na, Mg y Ca por espectrofotometría de Absorción atómica. Las determinaciones de silicio se hacen por gravimetría evaporando la sílice en crisoles de platino.

El análisis de absorción atómica es importante para descartar o confirmar tal presencia de ciertos minerales obtenidos por difracción de rayos X. Dentro del grupo de cationes de interés se encuentran los iones calcio (Ca) y magnesio (Mg).

El calcio (Ca) y aluminio ( $Al^{3+}$ ) pueden alterar la acción del aditivo, puesto que estos cationes multivalente enlazantes en las intercapas de arcilla pueden ser firmemente retenidos; sin embargo su proporción en los suelos analizados no ofrece inconvenientes para la estabilización.

◆ **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

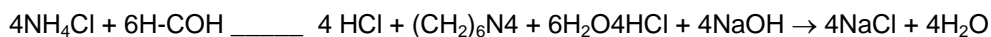
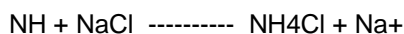
Norma: Manual de Procedimientos para suelos IGAG

Este método se basa en el reemplazo de cationes adsorbidos por tratamiento de la muestra de suelo con un exceso de una solución catiónica simple. Seguidamente se realiza una determinación cuantitativa de los cationes

intercambiados en una solución que contiene un exceso del ión que está siendo reemplazado.

En este caso, la capacidad de canje de cationes se determina mediante la saturación y posterior lavado de la muestra de suelo, con una solución de acetato de amonio (ACONH<sub>4</sub>) cuyo PH se mantiene constante de modo que la disolución sea neutra o ligeramente alcalina. El exceso de sal adicionada se elimina mediante lavado con alcohol. El amonio retenido o fijado en el suelo se extrae mediante lixiviación con cloruro de sodio y posteriormente se titula el ácido clorhídrico formado por la adición de formaldehído neutralizado a la solución.

Las siguientes son las reacciones que tienen lugar en el desarrollo de este procedimiento:



La capacidad de intercambio catiónico (CIC), está directamente asociada con la proporción de la fracción arcillosa de carácter expansiva. Esto altera moderadamente el grado de permeabilidad, siendo mayor a valores altos del mismo.

El valor obtenido en este ensayo es fundamental para determinar la concentración de aditivos estabilizadores en el suelo. El análisis determina que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), presentado por la muestra en estudio fue de 26.79 meq/100gr; este bajo valor coincide con el resultado obtenido en el difractograma en el cual se muestra poca evidencia de minerales arcillosos.

#### ◆ **Materia orgánica**

El carbono se encuentra en los suelos formando parte de cuatro tipos de materiales orgánicos y minerales: carbonates minerales; formas muy condensadas de composiciones próximas al carbono elemental (carbón vegetal, grafito, carbón de hulla); residuos de plantas, animales y microorganismos, alterados y bastante resistentes, denominados a veces "humus" y "humatos" y residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y de microorganismos vivos y muertos, que sufren descomposición bastante rápidas en los suelos.

El carbono total en los suelos, el cual incluye los cuatro tipos de materiales orgánicos citados anteriormente, se verifica por medio de combustión seca, utilizando la siguiente metodología:

♦ **Determinación de contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición**

Norma: INV E-121

Se toma una muestra representativa de una porción del material y se seca en un horno a 110°C hasta peso constante. Después de secada la muestra se pesa y se coloca en un crisol durante es secada la muestra se pesa y se coloca en un crisol durante 6 horas en una mufla a 445°C, obteniéndose el contenido de materia orgánica por diferencias de peso.

Por medio de este método se obtuvieron los siguientes resultados de materia orgánica total:

**Tabla 32. Materia orgánica total**

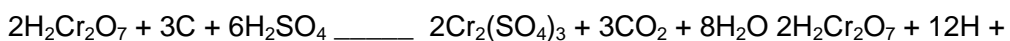
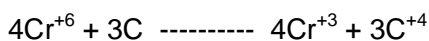
CODIGO DE LA MUESTRA	% MATERIA ORGÁNICA TOTAL
Suelo K0+320, profundidad >30 cm	13.21
Suelo K0+180, profundidad >5 cm	11.42

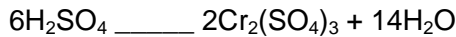
En las determinaciones realizadas por métodos de pérdida de peso pueden cometerse errores, como consecuencia del hecho que otros constituyentes tales como sales que contienen CO<sub>2</sub>, de los carbonates, H<sub>2</sub>O OH tienen también influencia sobre la pérdida de peso.

Se han desarrollado varios métodos aproximados para determinar materia orgánica de los suelos. Este método se basa en la oxidación de materia orgánica mediante un agente oxidante añadido en exceso de ácido sulfúrico, valorando el exceso de ácido crómico por retroceso con disolución de sal ferrosa.

En este método no interfiere el contenido de carbono en forma de carbonates, y también las distintas formas de carbono elemental (grafito, carbón vegetal, carbón de hulla, etc) son atacadas solamente en parte y por tanto son excluidas fundamentalmente de la medida.

Las reacciones del ácido dicrómico con la materia orgánica del suelo, pueden representarse separadamente para el carbono orgánico y para el hidrógeno orgánico como sigue:





El oxígeno existente en los grupos enlazados a un radical orgánico R, hace disminuir la cantidad de dicromato que necesitaría el carbono. Es posible también que parte del carbono no sea óxido.

Los resultados obtenidos por este método son los siguientes:

**Tabla 33. Materia Orgánica fácilmente oxidable**

CÓDIGO DE LA MUESTRA	% MATERIA ORGÁNICA FÁCILMENTE OXIDABLE
Suelo K0+320, profundidad >30 cm	5.77
Suelo K0+180, profundidad >5 cm	5.02

De acuerdo con estos resultados se puede observar que el índice de plasticidad obtenido es debido principalmente al porcentaje de materia orgánica tan alta que presenta la muestra; siendo mayor a altos valores de materia orgánica fácilmente penetrable por el agua.

◆ **Acidez intercambiable y aluminio extractable**

Norma: Manual de procedimientos para suelos IGAG

El contenido de aluminio se halla generalmente asociado al óxido de aluminio en la conformación de las capas de arcillas, sin embargo, una parte del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), es intercambiable en el suelo por el desbalance de cargas, que hacen inestable a los suelos arcillosos.

En el suelo tratado con solución de cloruro de potasio (KCl), el ión potasio ( $\text{K}^+$ ) reemplaza iones hidronio ( $\text{H}^+$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), formándose en solución ácido clorhídrico (HCl) y cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ), titulados con solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH).

En la muestra que fue analizada se obtuvieron 0.17 meq/100g de acidez intercambiable mas no se pudo detectar el aluminio extractable.

◆ **PH de saturación**

Norma: INV E-131

Los métodos eléctricos para la determinación del PH están basados en el principio de que las soluciones que se van a ensayar pueden considerarse como un electrolito de una celda voltaica. El electrodo de referencia se mantiene a un voltaje constante y no es afectado por los cambios de PH.

El otro electrodo es de tal naturaleza que el PH de la solución afecta su voltaje. La relación entre el pH el voltaje de la celda de las soluciones de ensayo pueden convertirse a valores de pH. El voltaje de soluciones de pH desconocido puede determinarse midiendo el voltaje de la celda y convirtiendo el voltaje a valores de pH.

El análisis se realiza tomando una cantidad determinada de muestra, se añaden sucesivas porciones de agua sin agitar el suelo hasta que queda completamente humedecida. Después se añaden unas cuantas gotas más de agua cuidadosamente hasta que la superficie brille ligeramente. Se agita el suelo con una varilla de vidrio y se toma la medida del pH.

- El pH de saturación obtenido de la muestra fue de 5.90 del suelo, puede presentarse por cuatro causas: ácidos orgánicos, el pH ácido del suelo, puede presentarse por cuatro causas: ácidos orgánicos, complejos orgánicos con  $(Al^{3+})$  aluminio. Intercambio de  $H^+$  y  $Al^{3+}$  desplazados por intercambio catiónico e hidrólisis en la superficie de las arcillas (acidez activa), "formas de no intercambio sobre minerales.

### 1.2.6 FORMULACIÓN DE ADITIVOS

Concentraciones altas de sales aumentan fuerzas de succión, reteniendo el agua en suelos plásticos. Este efecto de retención de iones está directamente relacionado con la estructura. La acción de un estabilizante es disminuir el efecto de retención de iones, reduciendo la plasticidad del suelo, ya que estos no podrán ubicarse en los sitios de intercambio catiónico que provoca el hinchamiento, lo cual permite a su vez el incremento en resistencia del suelo.

La acidez activa, altera la interacción de los estabilizadores sobre el suelo estableciendo dosificaciones mayores de estabilizantes a fin de contrarrestar este efecto.

Altos valores de CIC, materia orgánica, aluminio extractable, pH ácido, incrementan la concentración de aditivos estabilizadores en los suelos, variables que junto con la caracterización del tipo arcillas expansivas (DRX) presentes, no pueden desconocerse al momento de llevar a cabo la formulación de aditivos estabilizadores de suelos.

Con base en la información química anteriormente presentada y de acuerdo a registros históricos de suelos estabilizados, el porcentaje mínimo de aditivo calculado requerido por este suelo para su proceso de estabilización es:

**Tabla 34. Aditivos recomendados para estabilización**

Suelo	PH
-------	----

Cal Viva	1.0%, 2.0%, 3.0%
Silicato	1.0%
Cal Viva + Silicato	1:1% y 2:1%

Ya que el suelo tiene un pH notoriamente ácido, la adición de cal viva puede mejorar no solo sus propiedades físicas como resistencia y plasticidad, también sus propiedades químicas, provocando que la arcilla pierda propiedades nocivas como expansión debida al porcentaje de materia orgánica y baja resistencia ante cargas en estado de saturación de agua.

## 1.2.7 CARACTERIZACION DEL SUELO ESTABILIZADO

### 1.2.5.1 PH DEL SUELO ESTABILIZADO

En la tabla siguiente se presentan los resultados de pH de saturación para el suelo con los diferentes aditivos.

**Tabla 35. pH del suelo estabilizado**

Suelo	PH
Original	5.90
Cal Viva al 1%	8.53
Cal Viva al 2%	11.33
Cal Viva al 3%	11.81
Silicato 1%	6.82
Cal viva al 1%+S1%	9.20
Cal viva al 2%+S1%	11.05

### 1.2.5.2 ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL SUELO

Para que los resultados de este proceso de estabilización, alcancen un nivel óptimo de análisis, se realiza un estudio de dos mecanismos que se producen en el proceso de mezcla de sales estabilizantes – suelo fino y su mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo. Los parámetros para evaluar la efectividad de los aditivos sobre el suelo, son el índice de plasticidad y la capacidad portante del mismo. La metodología empleada es la siguiente:

- Cuarteado y tamizado del suelo por tamiz No. 40.
- Adaptación y homogenización del suelo en su humedad natural.

- Mezcla de aditivo con el suelo en la condición anterior como porcentaje en peso seco.
- Cada mezcla es guardada en frascos sellados para iniciar su proceso de curado a Evaluación de Límites de Atteberg cada 7 días hasta cumplir 14 días.
- Con base en la disminución de plasticidad a los 14 días de curado, se compactan moldes para la evaluación de CBR de material estabilizado con los dos mejores aditivos estabilizantes (los que mejor disminuyen su plasticidad).
- Selección del aditivo y la dosificación final.

Para la evaluación de la capacidad portante, se compactan moldes de 5 golpes, con el fin de simular el porcentaje máximo de compactación obtenido del ensayo del Próctor Modificado. Además, evaluando este parámetro se obtienen valores reales de resistencia reales, como dato de entrada al diseño estructural del pavimento.

Los resultados de seguimiento de la evolución de la evolución del proceso de mejoramiento del suelo se presentan a continuación:

#### ♦ **Resistencia a Compresión Simple y Humedad**

En la siguiente tabla se muestran los resultados del aumento en la resistencia, con la adición de los siguientes productos químicos:

Cal viva con 70.2% de CaO y Silicato de Calcio P-40.

**Tabla 36. Compresión simple para el suelo estabilizado con 7 días de curado**

Suelo	Resistencia (Kpa)	Fuerza (Kgf)	Deformación de rotura (%)	Humedad de rotura (%)
Original	108	10	7.8	19
Cal Viva al 1%**	447	39	1.88	19
Cal Viva al 2%*	390	35	1.8	19
Cal Viva al 3%*	333	29	1.75	18
Silicato 1%**	574	51	3.63	20

\* Muy firme

\*\*Dura

#### ♦ **Límites Líquido y Plástico**

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la disminución de la plasticidad, con la adición de los siguientes productos químicos:

**Tabla 37. Límites de plasticidad para el suelo estabilizado con 7 días de curado**

Suelo	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de plasticidad
Original	42	28	14
Cal viva al 1%	42	30	12
Cal viva al 2%	40	34	6
Cal viva al 3%	38	33	5
Silicato 1%	42	28	14
Cal viva al 1%+S1%	44	30	14
Cal viva al 2%+S1%	40	30	10

S: Silicato de calcio P-40

♦ **CBR de laboratorio**

De acuerdo con los resultados de la evaluación de plasticidad, se decide realizar CBR de laboratorio al suelo con la siguiente proporción y aditivo: Cal viva 2%. El resumen de resultados de resistencia CBR se presenta a continuación:

**Tabla 38. CBR de laboratorio de suelo estabilizado con 14 días de curado**

Suelo	Expansión (%)	% de CBR para el 100% de la Densidad Máxima
Original	1.2	20.6
Cal viva al 2%	0.0	63.0

Los resultados de la determinación del CBR estabilizado se presentan en el Anexo G.

Con base en las tablas anteriores, se puede observar que para las abscisas representativas estudiadas, el aditivo más efectivo es la cal viva en una dosificación de 2.0% en peso, logrando reducir el índice de plasticidad de 14% a 6%, convirtiendo el material de media plasticidad a uno de baja plasticidad con menor susceptibilidad a cambios volumétricos.

Este mejoramiento permite trabajar con parámetros estructurales semejantes y materiales de subbase granular (CBR mínimo 30% según especificaciones INVÍAS). Además la tendencia de aumento se puede generalizar para todo el tramo en estudio, donde los valores de CBR estabilizados tienen un cambio favorable.

En conclusión, teniendo en cuenta el comportamiento de disminución de la plasticidad y el aumento de la capacidad portante del material de subrasante de tramo en general, se encuentra que la mejor relación obtenida durante el

proceso de estabilización química, es la adición de CAL VIVA en una concentración del 2.0% en peso seco del material en estado natural.

### 1.2.6.3 ESTUDIO DE TRÁNSITO

Para cuantificar el espesor de subrasante de la vía que requiere ser sometido a proceso de mejoramiento por adición de productos químicos, con el fin de aumentar su capacidad portante, se realiza un diseño con base en la carga que deberá soportar la vía durante su período de diseño (10 años).

Teniendo en cuenta la información suministrada por el Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías, a través del Manual de Volúmenes de Tránsito, se establece la magnitud y clase de vehículos que circulan por el sector de carretera considerado en el estudio.

**Tabla 39. Serie histórica de tránsito**

AÑO	TPDS
1989	145
1990	175
1991	171
1992	139
1993	229
1994	141
1995	186
1996	197
1997	138
1998	236
1999	246

Para efectos de cuantificación de carga, se asume un crecimiento lineal con el fin de obtener el Tránsito Promedio Diario Inicial de entrada al diseño. La ecuación de crecimiento lineal obtenida es:  $y = 6.5727x - 12924$ .

Para el año 2004, se tiene un TPDS proyectado de 253 vehículos día distribuidos de la siguiente manera, según las condiciones de distribución más críticas establecidas en el registro histórico del Manual de Volúmenes de Tránsito:

Tránsito Promedio Diario Semanal = 253 vehículos / día

% Autos = 47%  
 %Buses = 12%  
 %Camiones = 41%

Distribución de camiones:

C-2 pequeño = 59.8%  
 C-2 grande = 39.5%

C-3 = 0.7%

Para el cálculo del factor camión, se asumen los factores de equivalencia propuestos por la Universidad del Cauca, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 40. Factores de Equivalencia por vehículo**

VEHÍCULOS COMERCIALES	FACTOR EQUIVALENCIA
Buses	1
C-2 pequeño	1.14
C-2 grande	3.44
C-3	3.76

$$\begin{aligned} \text{Factor camión (camiones)} &= ((59.8 * 1.14) + (39.5 * 3.44) + (0.7 * 3.76)) / 100 = 2.07 \\ \text{Factor camión total} &= ((41 * 2.07) + (12 * 1)) / 53 = 1.83 \end{aligned}$$

Con el fin de obtener el número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton (N), que transitarán en la vía en el carril de diseño durante el período de diseño, se asumen los siguientes parámetros:

$$N = \text{TPDI} * (A/100) * (B/100) * 365 * (((1+r)^n - 1) / r) * F.C.$$

TPD inicial = 253 vehículos / día

A = Porcentaje estimado de vehículos comerciales (Buses + Camiones) = 53%

B = Porcentaje de vehículos ciales. que usan el carril de diseño = 50% (para dos carriles)

R = Rata anual de crecimiento del tránsito = 3%

F.C. = Factor Camión = 1.83

N = 10 años

N = 521047

Teniendo en cuenta un porcentaje de aumento del 15% del N por tránsito atraído y generado, se tiene:

N diseño = 599204

La estructura del pavimento está conformada por una capa de subrasante en su estado natural, una capa de subrasante estabilizada cuyo espesor se calcula a continuación y una capa de protección que no aporta ninguna función estructural.

De los ensayos realizados se adopta como característico del material presente en la vía en estado natural el correspondiente al siguiente módulo resiliente:

Mr subrasante natural = 435 Kg / cm<sup>2</sup>

Para obtener el valor de Mr de la subrasante estabilizada, se tuvo en cuenta el valor de CBR estabilizado evaluado a los 14 días de curado con el aditivo estabilizador (por rapidez de curado). Se logró obtener un aumento de CBR hasta un valor de 55% (material estabilizado con el 95% de compactación).

Mr subrasante estabilizada = 100 \* CBR = 100 \* 55 = 5500 Kg / cm<sup>2</sup>

Según el método Shell para diseño de pavimentos flexibles, la deformación a compresión admisible para un 95% de confiabilidad en la superficie de la subrasante natural es:

$$\varepsilon_v \text{ admisible} = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25}$$

$$\varepsilon_v \text{ admisible} = 0.00065$$

Del cálculo realizado en el programa DEPAV, se obtiene una deformación de 0.00015 en este punto de la estructura, para un espesor estabilizado de 30 cm, construido en dos capas de 0.15 cm cada una. Con este análisis se verifica el cumplimiento del espesor propuesto, el cual soporta la distribución de esfuerzos generados por el tránsito.

### **1.2.7 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

Teniendo en cuenta el estudio de tránsito se determinan los ejes equivalentes que debe soportar la estructura de pavimento y con las características de los materiales caracterizados en laboratorio, se realiza el diseño del mejoramiento.

A continuación se presenta el procedimiento constructivo general aplicable al proceso de estabilización química.

- 1) Definición de los parámetros de control de acuerdo al presente informe de estudios y diseños (Densidades máximas, humedades óptimas, porcentaje de dosificación de aditivo).
- 2) Escarificación de material de subrasante natural (30 cm de acuerdo al espesor definido en el diseño de la estructura).
- 3) Extendido el material en la vía con motoniveladora, para iniciar la aplicación del aditivo.

- 4) Ubicación y aplicación del aditivo estabilizador (cal viva), empleando mano de obra. Esta etapa se lleva a cabo, ubicando cada saco de cal a lado y lado de la banca, con igual distancia de espaciamiento dependiendo de la longitud del tramo que se trabaje. Se debe garantizar una distribución, tal que la dosificación sea uniforme, abriendo cada saco y extendiendo manualmente el material, de tal forma que se cubra toda la superficie del suelo
- 5) Mezclado del suelo con el aditivo previamente extendido, empleando motoniveladora, permitiendo la homogenización del material.
- 6) Extendido del suelo mezclado y homogenizado con el aditivo (cal viva), para acondicionarlo a su humedad óptima de compactación. (Motoniveladora).
- 7) Adición del contenido de agua necesario para adecuar el suelo en su humedad óptima, empleando carrotanque irrigador.
- 8) Mezclado de material con el contenido de humedad óptima empleando motoniveladora y perfilado para preparar la compactación.
- 9) Compactación de la capa del material preparado mediante la aplicación de energía con Vibrocompactador, hasta obtener un 95% de la máxima densidad seca.
- 10) Control del proceso mediante medición de densidades con ensayos de campo.
- 11) Además del proceso en general, se debe disponer de comisión topográfica para definición de bombeo, niveles de rasante, peraltes y alineamientos geométricos.
- 12) Imprimación
- 13) Aplicación de Slurry con asfalto modificado.

## 2. CONCLUSIONES

Vía Ocamonte – Charalá:

- El reconocimiento de la vía mostró una deflexión Benkelman característica de 1.22 mm para una confiabilidad del 87.5%; además, se presentaron valores de CBR asociado comprendidos entre 2% y 8%. Las magnitudes de módulo resiliente encontradas oscilan entre 435 Kg/cm<sup>2</sup> y 705 Kg/cm<sup>2</sup>, parámetros determinados mediante el ensayo de cono dinámico que permite establecer la resistencia del suelo ante los efectos de corte.
- De la caracterización física inicial de suelos de subrasante, se determinó que predominan materiales arenas y limos. Estos suelos poseen índices de plasticidad que varían entre al 1% y el 14%. Además, el suelo de subrasante, presenta una capacidad portante buena CBR = 20%.
- De la caracterización química del material de subrasante se encontró que el suelo presenta PH de 5.90, un contenido de materia orgánica fácilmente oxidable comprendida entre 5.02 y 5.77%, materia orgánica total comprendida entre 11.42 y 13.21% y una capacidad de intercambio catiónico CIC de 26.79 me/100g.
- Los resultados obtenidos en la variación de la plasticidad, resistencia a la compresión simple y CBR, con diferentes productos químicos para un tiempo de curado de 14 días, mostraron que el ión calcio (comercialmente conocido como cal viva) con un contenido de Oxido de Calcio (CaO) del 70.2% en una concentración del 2.0% en peso seco del material, ha sido el aditivo más eficaz y económico presentando disminución de 8 puntos en el índice de plasticidad (14% y 6%) aumento de la resistencia a la compresión simple en 282 Kpa (108 Kpa a 390 Kpa y un aumento en la capacidad portante (CBR al 100%) de 20% a 63%.

- Se verificó la evaluación de la consideración del espesor propuesto, encontrando la necesidad de colocar una capa de 0.30 metros de suelo estabilizado, con el fin de brindar la capacidad estructural para la vía.

#### Vía en Encino – Charalá:

- La caracterización de campo mostró que la vía tiene una deflexión característica de 2.62 mm, 1.71 mm, 1.68mm y 1.54 mm el primer, segundo, tercer y cuarto kilómetro, respectivamente una confiabilidad del 87.5%, valores de C.B.R asociado comprendidos entre 0.9% y 15.2% y valores de módulo resiliente comprendidos entre 317.7 kg/cm<sup>2</sup> y 861.7 kg/cm<sup>2</sup>.
- A partir de la caracterización física inicial del suelo, la subrasante tiene una humedad natural en campo entre 13 y 56%. Los materiales se clasifican como arcillas de baja a media plasticidad (CL), Arcillas de alta plasticidad (CH), Limos de alta plasticidad (MH), y arenas y Gravas con un porcentaje bajo de arcillas (S Y GC). Esta última clasificación dentro del rango de suelos gruesos, se presenta solo en dos abscisas, predominando la presencia de arcillas tipo CL en las demás abscisas. Los suelos presentan un índice de plasticidad que varía entre un valor no plástico (NP) y altamente plástico (41%). La mayoría del material de subrasante analizando presenta un IP medio, es decir valores entre el 15% y el 20%. El contenido de humedad óptimo del suelo con mayor densidad corresponde al 10.5%, el cual se tiene una densidad seca máxima de 1.96g/cm<sup>3</sup>. Del ensayo de C.B.R se tiene que el 95% de la densidad máxima seca del suelo, la capacidad de soporte se encuentra entre 1.5% y 18%, lo cual representa una capacidad de soporte que varía de una magnitud baja a media un material constituyente de subrasante. Los valores de resistencias a la compresión simple de los suelos de subrasante analizados, se encuentran entre valores de 20Kpa a 190Kpa, con el cual se puede decir que el material presenta una consistencia mediana (entre blanda y firme). Y con base en la caracterización química del material de subrasante, se detectaron componentes mineralógicos que generan efectos expansivos y cambios volumétricos al entrar en contacto con agua. Haciéndose imperativo realizar una estabilización química con el objeto de aumentar la resistencia, disminuir al mínimo la plasticidad de los suelos evitando así un deterioro prematuro de alguna estructura vial que se coloque sobre la subrasante, permitir la escarificación de la capa y posterior recompactación sin detrimento de las calidades dadas inicialmente y obtener un ahorro significativo en la construcción comparativamente con el uso de materiales granulares.
- De la evaluación de los agentes estabilizadores, se ha determinado que los aditivos más eficaces y económicos corresponden al ión calcio

(comercialmente conocido como cal viva) con 75.8% de Oxido de Calcio (CaO) en una concentración del 2% en peso, curado durante un día e ión sílice, adicionando posteriormente, en forma de silicato en una concentración de 0.5% en peso. Que definieron el cambio de las características del suelo en disminución del índice de plasticidad comprendida entre 4% y 7% tiempo de curado comprendido entre siete y veinte días, aumento de la resistencia a la compresión simple comprendida entre 64 Kpa y 253.8Kpa a los veinte días de curado, y un aumento en la capacidad portante (CBR al 100%) de 21% a 68%.

### **3. BIBLIOGRAFÍA**

- ◆ NORMAS DE DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES DE MATERIALES PARA CARRETERAS, Ministerio de Obras Públicas, Tomo IV, Colombia, 1985.
- ◆ MANUAL DE LABORATORIO DE PAVIMENTOS, Quintero Velásquez Fernando, Bucaramanga, 1992.
- ◆ MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA, Bowles Joseph E, , Mc Graw Hill, Bogotá, 1991.
- ◆ PAVIMENTOS, TEORÍA, DISEÑO, GEOLOGÍA, ESTUDIO ECONÓMICO Y FALLAS, Sánchez Sabogal Fernando, Unigracon, Bogotá, 1996.
- ◆ ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN, Secretaría de Infraestructura vial, Santiago de Cali, 1999.

**ANEXO A. PRUEBAS DE CAMPO VIGA BENKELMAN  
VÍA ENCINO -CHARALÁ**

**DEFLEXIONES BENKELMAN VÍA ENCINO - CHARALA  
SECTOR ENCINO - LA CANTERA**

ABSC,	DEFLEXION		RADIO DE CURVATURA ( m)	OBSERVACIONES
	Centro (mm)	A 25 cm (mm)		
K0 + 000	1,14	1,02	244,14	
K0 + 040	1,46	0,22	25,20	
K0 + 080	1,23	0,97	118,37	
K0 + 120	3,92	2,1	17,13	
K0 + 160	0,92	0,74	177,56	
K0 + 200	1,26	0,55	44,39	
K0 + 240	0,80	0,37	72,34	
K0 + 280	6,49	3,1	9,23	
K0 + 320	0,70	0,69	3906,25	
K0 + 360	2,10	1,44	47,64	
K0 + 400	0,98	0,54	72,34	
K0 + 440	0,77	0,5	114,89	
K0 + 480	0,81	0,68	244,14	
K0 + 520	0,70	0,44	122,07	
K0 + 560	0,63	0,32	100,16	
K0 + 600	1,14	1,02	244,14	
K0 + 640	0,88	0,86	1302,08	
K0 + 680	2,20	1,38	38,30	
K0 + 720	0,79	0,38	76,59	
K0 + 760	0,48	0,26	144,68	
K0 + 800	0,62	0,51	300,48	
K0 + 840	0,08	0,05	976,56	
K0 + 880	1,82	1,55	114,89	
K0 + 920	1,18	0,94	130,21	
K0 + 960	0,86	0,29	55,02	
K1 + 000	0,88	0,34	58,30	
K1 + 040	1,08	0,93	205,59	

K1 + 080	2,40	2,12	111,61	
K1 + 120	1,20	1,02	177,56	
K1 + 160	1,92	0,54	22,71	
K1 + 200	0,80	0,32	65,10	
K1 + 240	1,30	0,92	81,38	
K1 + 280	0,47	0,19	111,61	
K1 + 320	0,64	0,56	390,63	
K1 + 360	0,51	0,43	390,63	
K1 + 400	0,62	0,32	102,80	
K1 + 440	0,40	0,2	156,25	
K1 + 480	0,44	0,36	390,63	
K1 + 520	0,12	0,04	390,63	

**DEFLEXIONES BENKELMAN VÍA ENCINO - CHARALA  
SECTOR ENCINO - LA CANTERA**

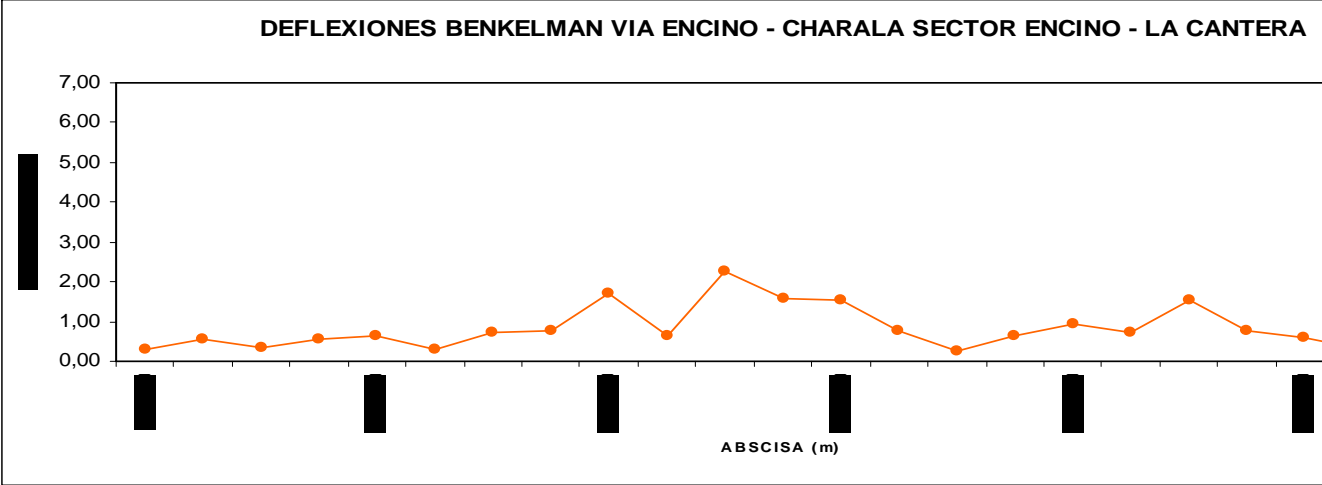
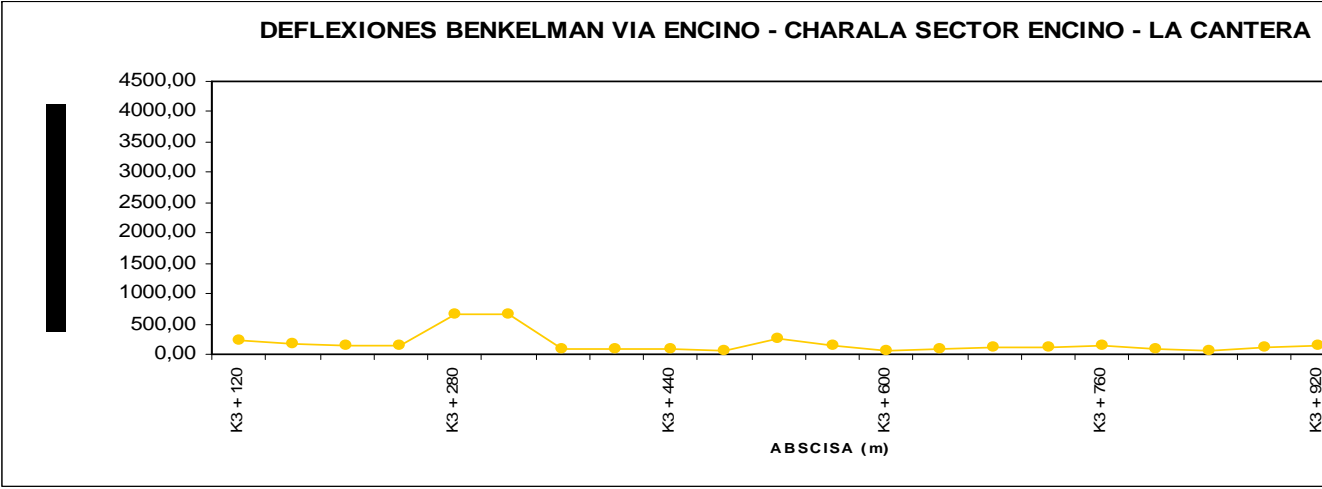
ABSC,	DEFLEXION		RADIO DE CURVATURA ( m)	OBSERVACIONES
	Centro (mm)	A 25 cm (mm)		
K1 + 560	1,62	1,2	73,70	
K1 + 600	0,32	0,24	390,63	
K1 + 640	0,74	0,54	150,24	
K1 + 680	0,48	0,36	260,42	
K1 + 720	1,48	0,8	45,96	
K1 + 760	3,18	1,26	16,28	
K1 + 800	0,86	0,2	47,64	
K1 + 840	1,12	0,86	118,37	
K1 + 880	1,10	0,98	260,42	
K1 + 920	0,44	0,36	390,63	
K1 + 960	1,25	1,03	144,68	
K2 + 000	1,14	0,9	134,70	
K2 + 040	0,43	0,28	205,59	
K2 + 080	0,60	0,44	195,31	
K2 + 120	0,76	0,58	169,84	
K2 + 160	0,69	0,42	114,89	
K2 + 200	0,80	0,44	86,81	
K2 + 240	0,24	0,10	217,01	Caída agua derecha
K2 + 280	0,54	0,51	976,56	
K2 + 320	1,07	0,46	51,40	
K2 + 360	0,40	0,15	126,01	
K2 + 400	2,40	2,11	108,51	Cerca ganado izq.
K2 + 440	0,87	0,72	205,59	
K2 + 480	1,16	0,88	111,61	
K2 + 520	0,43	0,4	976,56	
K2 + 560	1,62	1,41	150,24	
K2 + 600	0,96	0,72	130,21	

K2 + 640	0,48	0,35	244,14	
K2 + 680	0,72	0,44	111,61	
K2 + 720	0,64	0,32	97,66	
K2 + 760	0,96	0,36	52,08	
K2 + 800	0,97	0,69	111,61	
K2 + 840	2,83	1,38	21,58	
K2 + 880	2,36	1,63	42,93	
K2 + 920	0,68	0,40	111,61	
K2 + 960	0,60	0,40	156,25	
K3 + 000	1,94	1,67	114,89	Cantera a derecha
K3 + 040	0,28	0,20	390,63	
K3 + 080	0,33	0,24	355,11	

**DEFLEXIONES BENKELMAN VÍA ENCINO - CHARALA  
SECTOR ENCINO - LA CANTERA**

ABSC,	DEFLEXION		RADIO DE CURVATURA ( m)	OBSERVACIONES
	Centro (mm)	A 25 cm (mm)		
K3 + 120	0,28	0,14	217,01	
K3 + 160	0,56	0,38	177,56	
K3 + 200	0,36	0,12	130,21	
K3 + 240	0,56	0,33	134,70	
K3 + 280	0,62	0,57	651,04	
K3 + 320	0,32	0,27	651,04	
K3 + 360	0,71	0,34	84,92	
K3 + 400	0,76	0,36	78,13	
K3 + 440	1,70	1,34	86,81	
K3 + 480	0,64	0,19	69,75	
K3 + 520	2,28	2,16	260,42	
K3 + 560	1,56	1,36	156,25	
K3 + 600	1,52	0,87	48,23	
K3 + 640	0,78	0,44	93,01	
K3 + 680	0,25	0,25	105,57	
K3 + 720	0,64	0,36	111,61	
K3 + 760	0,96	0,72	130,21	
K3 + 800	0,72	0,30	75,12	
K3 + 840	1,52	1,00	60,10	
K3 + 880	0,76	0,50	122,07	
K3 + 920	0,60	0,38	144,68	
K3 + 960	0,32	0,20	260,42	
K4 + 000	2,36	1,56	39,06	





**ANEXO B. PRUEBAS DE CAMPO PENETRACIÓN DINÁMICA DE  
CONO VÍA ENCINO - CHARALÁ**

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 1 : K0 + 120**  
**PROFUNDIDAD : 0,8 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	3,50			
1	5,50	2,00	3,60	538,00
2	10,50	5,00	1,10	359,50
3	16,00	5,50	1,00	344,70
4	23,00	7,00	0,80	310,00
5	28,00	5,00	1,10	359,50
6	31,00	3,00	2,20	450,10
7	34,00	3,00	2,20	450,10
8	37,00	3,00	2,20	450,10
9	42,00	5,00	1,10	359,50
10	46,00	4,00	1,50	396,5
11	51,00	5,00	1,10	359,5
12	55,00	4,00	1,50	396,5
13	59,00	4,00	1,50	396,5
14	62,00	3,00	2,20	450,1
15	62,50	0,50	20,90	990
16	63,00	0,50	20,90	990
17	63,50	0,50	20,90	990
18	64,00	0,50	20,90	990
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 2 : K0 + 680**  
**PROFUNDIDAD : 0,50 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0				
1	3,50	3,50	1,80	420,50
2	10,00	6,50	0,80	320,30
3	20,00	10,00	0,50	265,00
4	30,00	10,00	0,50	265,00
5	31,00	1,00	8,70	729,80
6	31,50	0,50	20,90	990,00
7	32,00	0,50	20,90	990,00
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K1 + 080**

**PROFUNDIDAD : 0,8 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	1,50			
1	6,50	5,00	1,10	359,50
2	9,50	3,00	2,20	450,10
3	12,50	3,00	2,20	450,10
4	15,50	3,00	2,20	450,10
5	19,50	4,00	1,50	396,50
6	23,50	4,00	1,50	396,50
7	27,00	3,50	1,80	420,50
8	30,00	3,00	2,20	450,10
9	33,50	3,50	1,80	420,50
10	38,00	4,50	1,30	376,50
11	42,00	4,00	1,50	396,50
12	47,00	5,00	1,10	359,50
13	51,00	4,00	1,50	396,50
14	56,00	5,00	1,10	359,50
15	60,00	4,00	1,50	396,50
16	61,00	1,00	8,70	729,80
17	62,00	1,00	8,70	729,80
18	64,00	2,00	3,60	538,00
19	67,00	3,00	2,20	450,10
20	71,00	4,00	1,50	396,50
21	74,00	3,00	2,20	450,10
22	78,00	4,00	1,50	396,5
23	82,00	4,00	1,50	396,5
24	86,00	4,00	1,50	396,5
25	90,00	4,00	1,50	396,5
26	93	3,00	2,2	450,1
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K1 + 760**

**PROFUNDIDAD : 0,8 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	1,50			
1	3,50	2,00	3,60	538,00
2	5,00	1,50	5,20	610,50
3	6,50	1,50	5,20	610,50
4	7,50	1,00	8,70	729,80
5	8,50	1,00	8,70	729,80
6	9,00	0,50	20,90	990,00
7	9,50	0,50	20,90	990,00
8	10,50	1,00	8,70	729,80
9	11,00	0,50	20,90	990,00
10	12,00	1,00	8,70	729,80
11	12,50	0,50	20,90	990,00
12	13,50	1,00	8,70	729,80
13	14,50	1,00	8,70	729,80
14	16,00	1,50	5,20	610,50
15	17,00	1,00	8,70	729,80
16	17,50	0,50	20,90	990,00
17	18,50	1,00	8,70	729,80
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K2 + 400**  
**PROFUNDIDAD : 0,50 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	3,00			
1	10,00	7,00	0,80	310,00
2	18,00	8,00	0,60	292,30
3	23,00	5,00	1,10	359,50
4	27,00	4,00	1,50	396,50
5	32,00	5,00	1,10	359,50
6	36,50	4,50	1,30	376,50
7	40,00	3,50	1,80	420,50
8	43,00	3,00	2,20	450,10
9	45,00	2,00	3,60	538,00
10	46,50	1,50	5,20	610,50
11	48,00	1,50	5,20	610,50
12	49,50	1,50	5,20	610,50
13	51,00	1,50	5,20	610,50
14	54,00	3,00	2,20	450,10
15	56,50	2,50	2,70	487,60
16	59,00	2,50	2,70	487,60
17	61,00	2,00	3,60	538,00
18	63,00	2,00	3,60	538,00
19	65,00	2,00	3,60	538,00
20	68,00	3,00	2,20	450,10
21	70,00	2,00	3,60	538,00
22	71,00	1,00	8,70	729,8
23	72,00	1,00	8,70	729,8
24	73,00	1,00	8,70	729,8
25	74,00	1,00	8,70	729,8
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K2 + 840**  
**PROFUNDIDAD : 0,50 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	6,50			
1	16,00	9,50	0,50	271,00
2	21,00	5,00	1,10	359,50
3	24,00	3,00	2,20	450,10
4	27,00	3,00	2,20	450,10
5	30,00	3,00	2,20	450,10
6	33,00	3,00	2,20	450,10
7	35,00	2,00	3,60	538,00
8	36,00	1,00	8,70	729,80
9	37,00	1,00	8,70	729,80
10	37,50	0,50	20,90	990,00
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K3 + 000**  
**PROFUNDIDAD : 0,50 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	2,50			
1	3,50	1,00	8,70	729,80
2	5,00	1,50	5,20	610,50
3	6,00	1,00	8,70	729,80
4	7,00	1,00	8,70	729,80
5	8,50	1,50	5,20	610,50
6	9,00	0,50	20,90	990,00
7	9,50	0,50	20,90	990,00
8	10,00	0,50	20,90	990,00
9	10,50	0,50	20,90	990,00
10	11,00	0,50	20,90	990,00
11	11,50	0,50	20,90	990,00
12	12,00	0,50	20,90	990,00
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 3 : K3 + 520**  
**PROFUNDIDAD : 0,50 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION (cm)</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
2	14,00	5,00	1,10	359,50
3	19,00	5,00	1,10	359,50
4	20,50	1,50	5,20	610,50
5	21,00	0,50	20,90	990,00
6	22,00	1,00	8,70	729,80
7	22,50	0,50	20,90	990,00
8	23,00	0,50	20,90	990,00
9	23,50	0,50	20,90	990,00
10	24,50	1,00	8,70	729,80
11	25,50	1,00	8,70	729,80
12	26,50	1,00	8,70	729,80
13	28,50	2,00	3,60	538,00
14	30,00	1,50	5,20	610,50
15	32,00	2,00	3,60	538,00
16	35,00	3,00	2,20	450,10
17	37,00	2,00	3,60	538,00
18	40,00	3,00	2,20	450,10
19	42,00	2,00	3,60	538,00
20	46,00	4,00	1,50	396,50
21	50,00	4,00	1,50	396,50
22	55,00	5,00	1,10	359,5
23	60,00	5,00	1,10	359,5
24	65,00	5,00	1,10	359,5
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ANEXO C. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL  
SUELO DE SUBRASANTE VÍA ENCINO - CHARALÁ**

**DETERMINACION DE CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELOS, ROCAS Y AGREGADOS**

**NORMA INV E - 122**

<b>K0 + 120</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
2	10,4	74,2	51,3	22,9	40,9	56,00%

<b>K0 + 680</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
4	11,9	102	86	16	74,1	21,60%

<b>K1 + 080</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
6	11,3	96,9	72,7	24,2	61,4	39,40%

<b>K1 + 760</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
7	10,8	87,7	75,1	12,6	64,3	19,60%

<b>K2 + 400</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
12	12,2	117,1	97	20,1	84,8	23,70%

<b>K3 + 000</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
15	12,3	98	87,9	10,1	75,6	13,40%

<b>K3 + 520</b>						
<b>No. TARA</b>	<b>W<sub>T</sub></b>	<b>W<sub>T+SH</sub></b>	<b>W<sub>T+SS</sub></b>	<b>W<sub>H</sub></b>	<b>W<sub>ss</sub></b>	<b>H<sub>NAT</sub></b>
25	12	83,8	72,1	11,7	60,1	19,50%

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 120

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
2	10,4	74,2	51	22,9	40,9	56,00%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
880,10	182,3	697,8	79,30%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	3,5
ARENA (%) =	16,9
FINOS (%) =	79,5

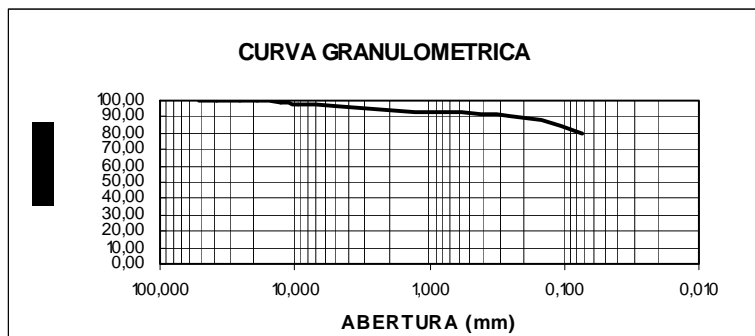
**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		182,3		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	9,70	1,10	98,90
3/8"	9,530	11,80	1,30	97,60
# 4	4,750	9,60	1,10	96,50
# 10	2,000	19,70	2,20	94,20
# 20	0,840	14,30	1,60	92,60
# 40	0,420	9,00	1,00	91,60
# 60	0,250	7,70	0,90	90,70
# 100	0,149	19,30	2,20	88,50
# 200	0,074	79,10	9,00	79,50
FONDO		700,20	79,60	0,00
<b>SUMA</b>		<b>880,40</b>	<b>100,00</b>	

CLASIFICACION SUCS: **MH**

**OBSERVACIONES:**

LIMO INORGANICO DE MEDIA PLASTICIDAD.  
 COLOR AMARILLO. PRESENTA ALTA HUMEDAD  
 EN SU ESTADO INALTERADO EN CAMPO



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 680

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
4	11,9	102	86	16	74,1	21,60%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1127,00	690,6	436,5	38,70%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	15,4
ARENA (%) =	45,7
FINOS (%) =	38,9

**CLASIFICACION SUCS:**

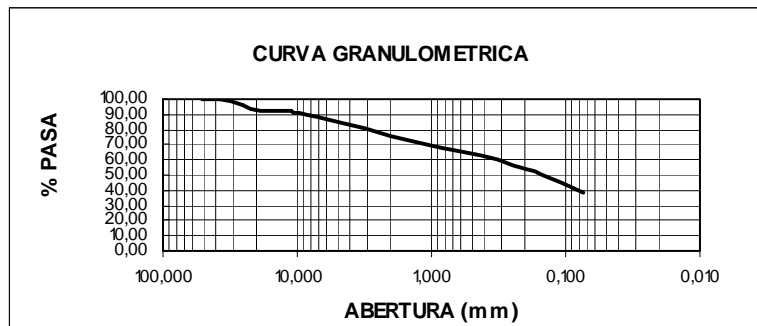
**SC**

**OBSERVACIONES:**

MEZCLA DE ARENA Y ARCILLOSA DE MEDIA PLASTICIDAD. COLOR MARRON OSCURO. HUMEDAD NATURAL MEDIA EN ESTADO INALTERADO EN CAMPO.

**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		690,6		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
11/ 2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	42,70	3,80	96,20
3/4 "	19,050	45,70	4,10	92,20
1/2"	12,700	0,00	0,00	92,20
3/8"	9,530	8,00	0,70	91,40
# 4	4,750	76,80	6,80	84,60
# 10	2,000	104,60	9,30	75,40
# 20	0,840	76,80	6,80	68,50
# 40	0,420	68,50	6,10	62,50
# 60	0,250	64,60	5,70	56,70
# 100	0,149	80,50	7,10	49,60
# 200	0,074	120,40	10,70	38,90
FONDO		2,50	0,20	38,70
<b>SUMA</b>		<b>691,10</b>	<b>61,30</b>	



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 080

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
6	11,3	96,9	73	24,2	61,4	39,40%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1171,90	104,8	1067,1	91,10%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	0,7
ARENA (%) =	7,9
FINOS (%) =	91,4

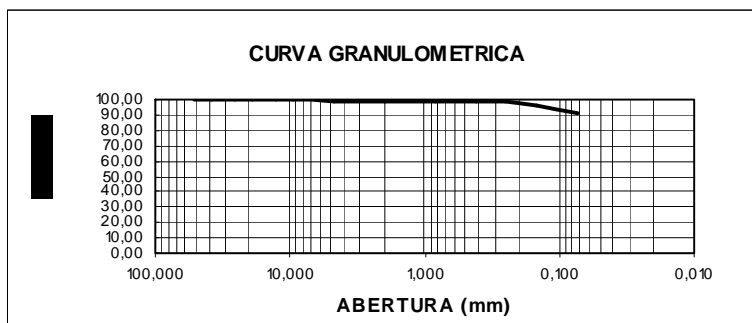
**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		104,8		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,530	0,00	0,00	100,00
# 4	4,750	8,20	0,70	99,30
# 10	2,000	3,10	0,30	99,00
# 20	0,840	1,80	0,20	98,90
# 40	0,420	1,90	0,20	98,70
# 60	0,250	4,00	0,30	98,40
# 100	0,149	20,00	1,70	96,70
# 200	0,074	61,60	5,30	91,40
FONDO		1070,90	91,40	0,00
<b>SUMA</b>		<b>1171,50</b>	<b>100</b>	

CLASIFICACION SUCS: **CH**

**OBSERVACIONES:**

ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD.  
 COLOR AMARILLO. PRESENTA ALTA HUMEDAD  
 NATURAL EN SU ESTADO INALTERADO EN  
 CAMPO.



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 760

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
7	10,8	87,7	75	12,6	64,3	19,60%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1264,00	345,5	918,5	72,70%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	5,4
ARENA (%) =	22,0
FINOS (%) =	72,7

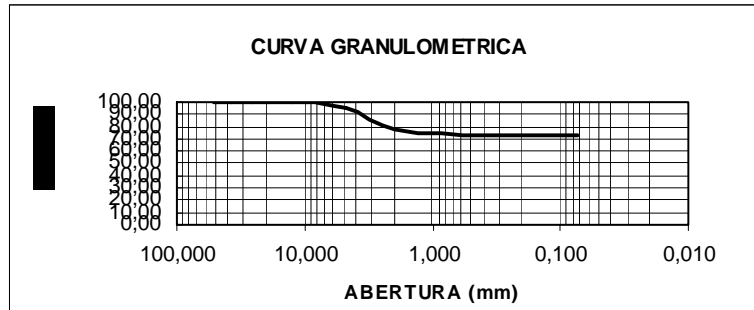
**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		345,5		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,530	7,20	0,60	99,40
# 4	4,750	60,80	4,80	94,60
# 10	2,000	209,70	16,60	78,00
# 20	0,840	52,40	4,10	73,90
# 40	0,420	11,50	0,90	73,00
# 60	0,250	2,10	0,20	72,80
# 100	0,149	0,20	0,00	72,80
# 200	0,074	1,60	0,10	72,70
FONDO		919,10	72,70	0,00
<b>SUMA</b>		<b>1264,60</b>	<b>100</b>	

**CLASIFICACION SUCS:** CL

**OBSERVACIONES:**

ARCILLA INORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD.  
 COLOR MARRON CLARO. PRESENTA HUMEDAD NATURAL DE VALOR EN SU ESTADO INALTERADO EN CAMPO.



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 400

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
	11,6	92,1	72	20,2	60,3	33,50%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1225,50	445,6	779,9	63,60%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	15,7
ARENA (%) =	20,2
FINOS (%) =	64,1

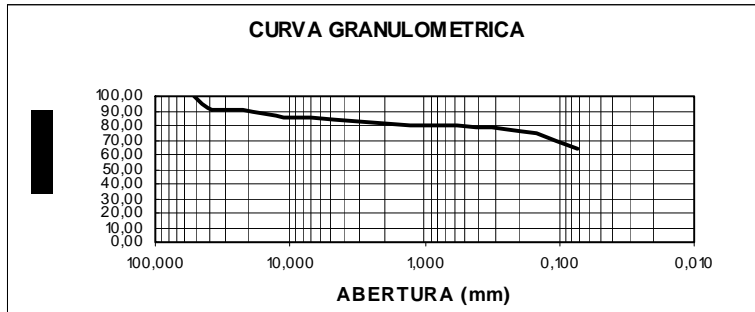
CLASIFICACION SUCS: **CL**

**OBSERVACIONES:**

ARCILLA INORGANICA DE MEDIA PLASTICIDAD.  
COLOR AMARILLO. PRESENTA HUMEDAD  
NATURAL DE VALOR ALTO EN SU ESTADO  
INALTERADO EN CAMPO.

**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		445,6		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	114,10	9,30	90,70
1"	25,400	0,00	0,00	90,70
3/4 "	19,050	15,60	1,30	89,40
1/2"	12,700	34,30	2,80	86,60
3/8"	9,530	7,90	0,60	86,00
# 4	4,750	20,80	1,70	84,30
# 10	2,000	35,80	2,90	81,40
# 20	0,840	20,10	1,60	79,70
# 40	0,420	14,00	1,10	78,60
# 60	0,250	11,00	0,90	77,70
# 100	0,149	30,40	2,50	75,20
# 200	0,074	135,80	11,10	64,10
FONDO		6,20	0,50	63,60
<b>SUMA</b>		<b>446,00</b>	<b>36,4</b>	



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 840

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
	12,2	117	97	20,1	84,8	23,70%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1068,20	637,4	430,8	40,30%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	35,5
ARENA (%) =	23,9
FINOS (%) =	40,6

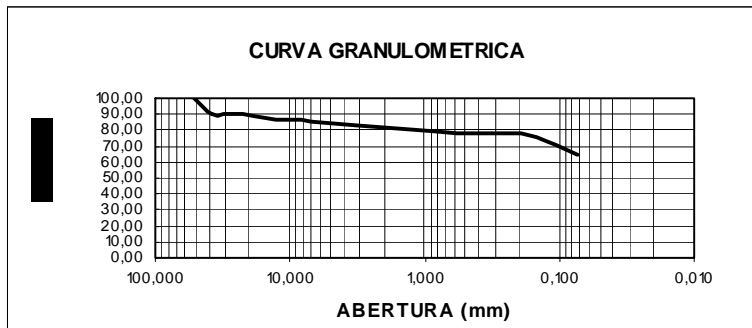
**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		637,4		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	123,90	11,60	88,40
3/4 "	19,050	42,40	4,00	84,40
1/2"	12,700	63,40	5,90	78,50
3/8"	9,530	54,90	5,10	73,40
# 4	4,750	94,30	8,80	64,50
# 10	2,000	100,90	9,40	55,10
# 20	0,840	44,10	4,10	51,00
# 40	0,420	22,20	2,10	48,90
# 60	0,250	11,10	1,00	47,80
# 100	0,149	18,10	1,70	46,10
# 200	0,074	59,20	5,50	40,60
FONDO		434,20	40,60	0,00
<b>SUMA</b>		<b>1068,70</b>	<b>100</b>	

CLASIFICACION SUCS: **GC**

**OBSERVACIONES:**

GRAVA ARCILLOSA. MEZCLA DE GRAVA Y ARCILLA DE PLASTICIDAD BAJA. PRESENTA UN ESTADO DE HUMEDAD NATURAL DE VALOR MEDIO EN CAMPO



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K3 + 000

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
	12,3	98	88	10,1	75,6	13,40%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1285,40	532,9	752,5	58,50%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	20,2
ARENA (%) =	19,8
FINOS (%) =	60,0

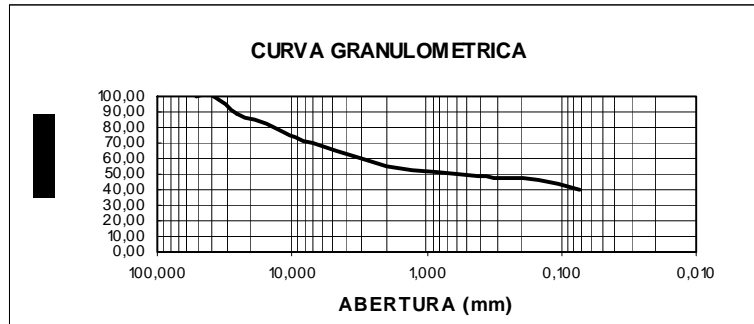
**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		532,9		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	140,20	10,90	89,10
1"	25,400	23,80	1,90	87,20
3/4"	19,050	0,00	0,00	87,20
1/2"	12,700	51,30	4,00	83,30
3/8"	9,530	19,20	1,50	81,80
# 4	4,750	25,60	2,00	79,80
# 10	2,000	42,90	3,30	76,40
# 20	0,840	21,00	1,60	74,80
# 40	0,420	11,70	0,90	73,90
# 60	0,250	5,50	0,40	73,50
# 100	0,149	7,00	0,50	72,90
# 200	0,074	165,80	12,90	60,00
FONDO		771,30	60,00	0,00
<b>SUMA</b>		<b>1285,30</b>	<b>100</b>	

CLASIFICACION SUCS: **CL**

**OBSERVACIONES:**

ARCILLA INORGANICA NO PLASTICA. PRESENTA  
BAJA HUMEDAD NATURAL EN CAMPO



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
**NORMA E - 123**

MUESTRA : Capa Subrasante K3 + 520

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
	12	83,8	72	11,7	60,1	19,50%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1422,60	604,8	817,8	57,50%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	1,4
ARENA (%) =	40,5
FINOS (%) =	58,2

**CLASIFICACION SUCS:**

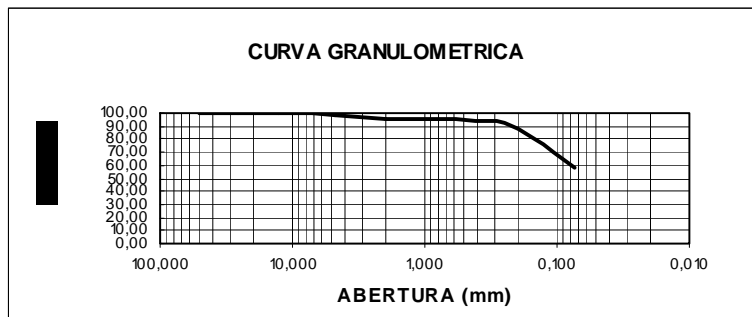
**CL**

**OBSERVACIONES:**

ARCILLA INORGANICA DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR AMARILLO PRESENTA UN CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL MEDIO EN CAMPO.

**GRADACION**

MALLA No.	ABERTURA mm	PESO MUESTRA LAVADA 604,8 gr		gr % PASA
		RETENIDO gr	% RETENIDO	
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,050	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,530	9,10	0,60	99,40
# 4	4,750	10,60	0,70	98,60
# 10	2,000	35,60	2,50	96,10
# 20	0,840	8,30	0,60	95,50
# 40	0,420	11,30	0,80	94,70
# 60	0,250	26,30	1,80	92,90
# 100	0,149	167,10	11,70	81,10
# 200	0,074	327,00	23,00	58,20
FONDO		825,90	58,10	0,10
<b>SUMA</b>		<b>1421,20</b>	<b>100</b>	



**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL**

INV E - 125, E - 126

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 120

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	25			-	-	-
No. CAPSULA	1			143	93	
PESO CAPSULA	6.7			7,200	7,100	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	23,100			14,800	14,200	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	17,20			12,600	12,200	
PESO AGUA	5,90			2,20	2,00	
PESO SUELO SECO	10,50			5,40	5,10	
CONTENIDO DE AGUA, %	56,19			40,74	39,22	

LIMITE LIQUIDO

56 %

LIMITE PLASTICO

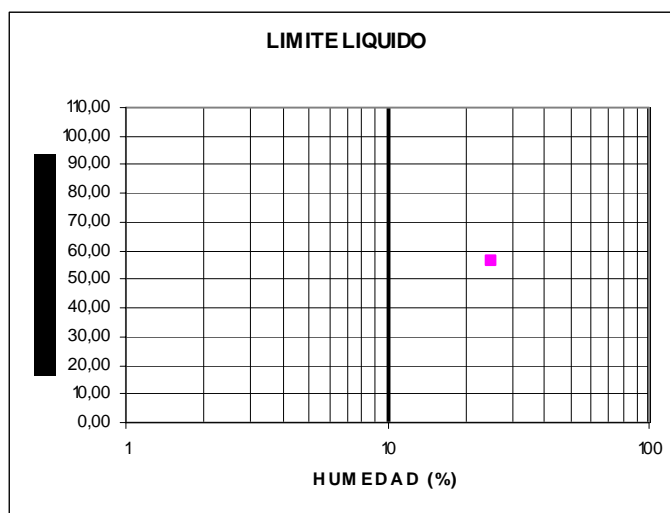
40 %

INDICE DE PLASTICIDAD

16 %

LIMITE DE CONTRACCION

- %



OBSERVACIONES:

--

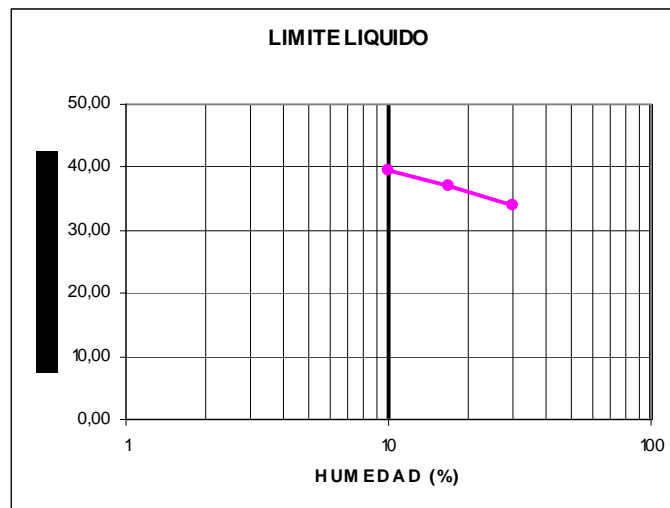
**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL**  
**INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 680

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	30	17,00	10,00	-	-	-
No. CAPSULA	11	69,00	3,00	106,00	38,00	
PESO CAPSULA	6,600	6,700	7,100	7,200	6,800	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	21,600	21,500	20,200	13,500	14,600	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	17,80	17,50	16,50	12,40	13,20	
PESO AGUA	3,80	4,00	3,70	1,10	1,40	
PESO SUELO SECO	11,20	10,80	9,40	5,20	6,40	
CONTENIDO DE AGUA, %	33,93	37,04	39,36	21,15	21,88	

LIMITE LIQUIDO  
 LIMITE PLASTICO  
 INDICE DE PLASTICIDAD  
 LIMITE DE CONTRACCION

35	%
22	%
13	%
-	%



OBSERVACIONES:

--

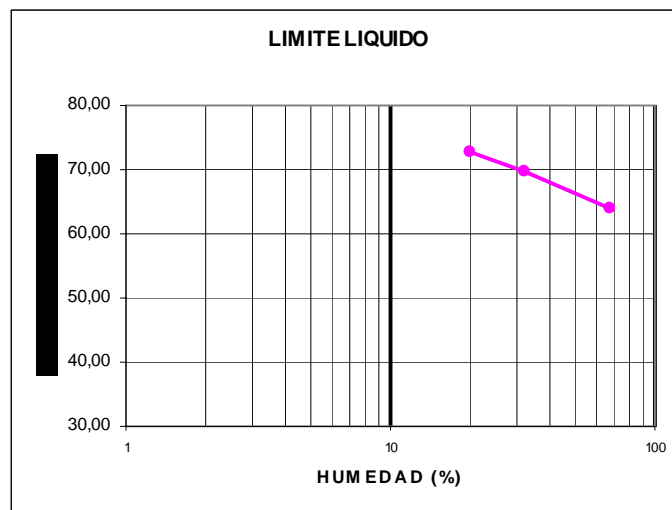
**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL**  
**INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 080

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	68	32,00	20,00	-	-	-
No. CAPSULA	3	15,00	5,00	66,00	131,00	
PESO CAPSULA	6,500	6,800	6,300	6,900	7,200	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	20,600	21,000	19,600	11,000	10,700	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	15,10	15,10	14,00	10,000	9,900	
PESO AGUA	5,50	5,90	5,60	1,00	0,80	
PESO SUELO SECO	8,60	8,30	7,70	3,10	2,70	
CONTENIDO DE AGUA, %	63,95	69,60	72,73	32,26	29,63	

LIMITE LIQUIDO  
 LIMITE PLASTICO  
 INDICE DE PLASTICIDAD  
 LIMITE DE CONTRACCION

72	%
31	%
41	%
-	%



OBSERVACIONES:

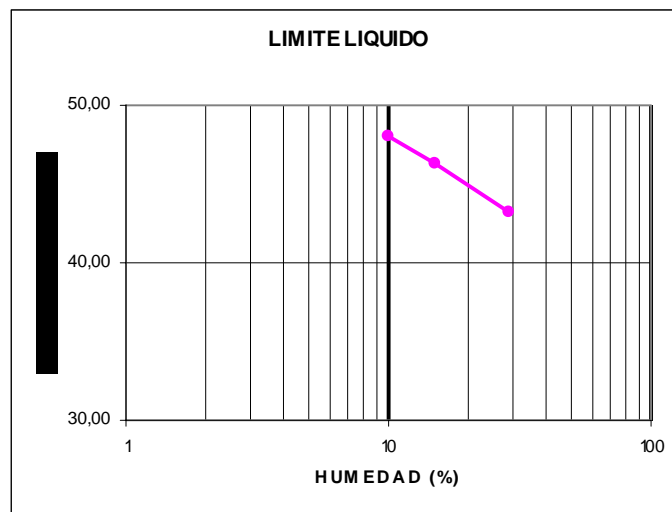

**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL**  
**INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 760

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	29	15	10	-	-	-
No. CAPSULA	38	106	1	145	11	
PESO CAPSULA	6,700	7,200	6,600	7,200	6,600	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	20,300	22,600	25,100	11,200	11,200	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	16,20	17,90	19,10	10,400	10,300	
PESO AGUA	4,10	4,70	6,00	0,80	0,90	
PESO SUELO SECO	9,50	10,70	12,50	3,20	3,70	
CONTENIDO DE AGUA, %	43,16	46,30	48,00	25,00	24,32	

LIMITE LIQUIDO  
 LIMITE PLASTICO  
 INDICE DE PLASTICIDAD  
 LIMITE DE CONTRACCION

43	%
25	%
18	%
-	%



OBSERVACIONES:

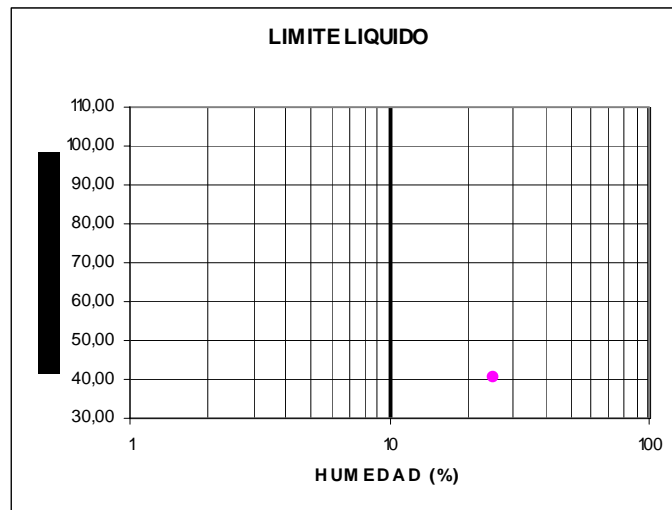
**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL  
INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 400

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	25			-	-	-
No. CAPSULA	73			22	78	
PESO CAPSULA	7,200			6,900	6,700	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	22,100			13,100	13,400	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	17,80			11,900	12,000	
PESO AGUA	4,30			1,20	1,40	
PESO SUELO SECO	10,60			5,00	5,30	
CONTENIDO DE AGUA, %	40,57			24,00	26,42	

LIMITE LIQUIDO  
LIMITE PLASTICO  
INDICE DE PLASTICIDAD  
LIMITE DE CONTRACCION

41	%
25	%
16	%
-	%



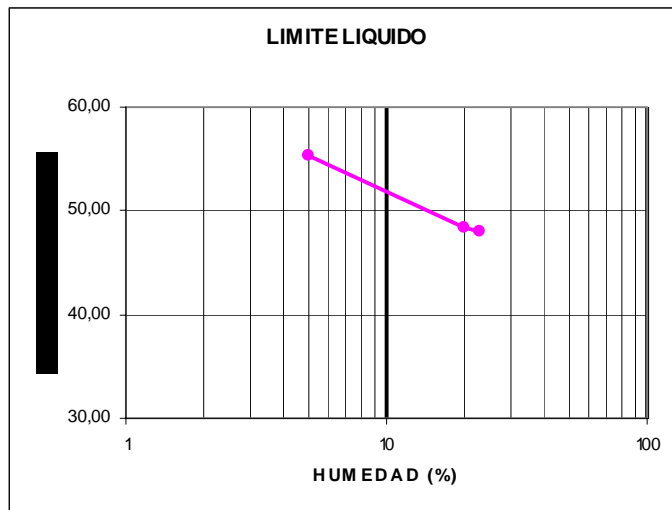
OBSERVACIONES:

**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL  
INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 840

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	23	20	5	-	-	-
No. CAPSULA	33	106	93	12	145	
PESO CAPSULA	6,600	7,200	7,200	7,200	7,200	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	18,000	21,600	20,400	15,800	14,300	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	14,30	16,90	15,70	13,300	12,300	
PESO AGUA	3,70	4,70	4,70	2,50	2,00	
PESO SUELO SECO	7,70	9,70	8,50	6,10	5,10	
CONTENIDO DE AGUA, %	48,05	48,45	55,29	40,98	39,22	

LIMITE LIQUIDO	47	%
LIMITE PLASTICO	40	%
INDICE DE PLASTICIDAD	7	%
LIMITE DE CONTRACCION	-	%



OBSERVACIONES:



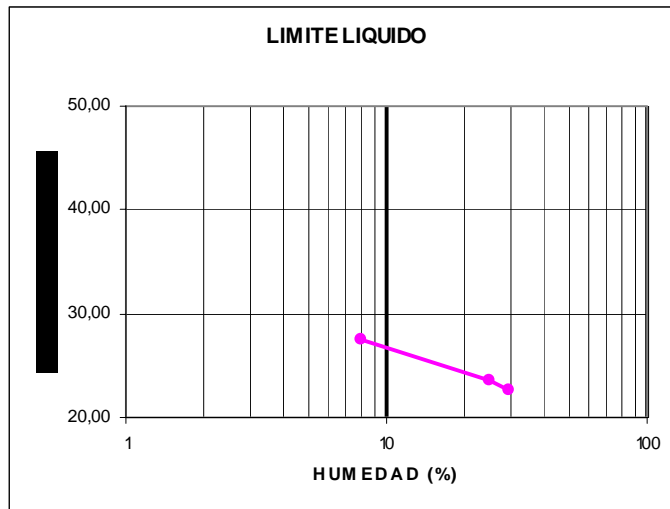
**ENSAYO LIMITES DE ATTERBERG Y HUMEDAD NATURAL**  
**INV E - 125, E - 126**

MUESTRA : Capa Subrasante K3 + 520

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	1	2	3
No. GOLPES	29,3089	25	8	-	-	-
No. CAPSULA	131	38	15	22	1	
PESO CAPSULA	7,200	6,800	6,800	6,900	6,700	
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	24,900	22,500	24,900	16,300	15,800	
PESO CAPSULA + SUELO SECO	21,70	19,50	21,00	14,800	14,400	
PESO AGUA	3,20	3,00	3,90	1,50	1,40	
PESO SUELO SECO	14,50	12,70	14,20	7,90	7,70	
CONTENIDO DE AGUA, %	22,70	23,62	27,46	18,99	18,18	

LIMITE LIQUIDO  
 LIMITE PLASTICO  
 INDICE DE PLASTICIDAD  
 LIMITE DE CONTRACCION

24	%
19	%
5	%
-	%



OBSERVACIONES:

--	--

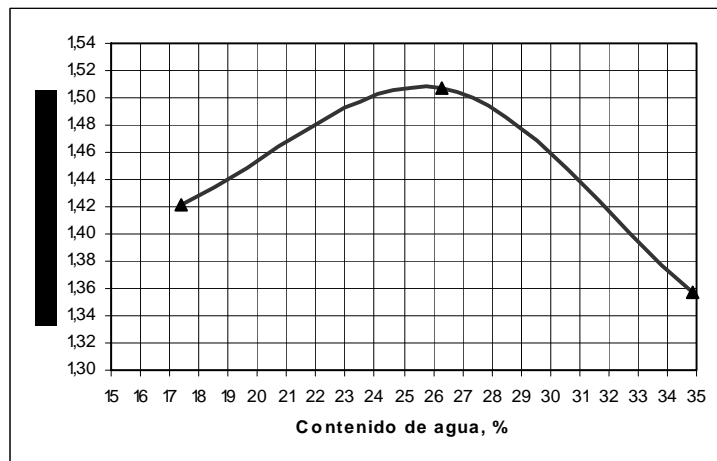
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS  
EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)  
NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 120

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9068,00	9564,00	9410,00			
Wm, gr	5564,00	5564,00	5564,00			
Wsh, gr	3504,00	4000,00	3846,00			
Wesp. Sh, gr/cm3	1,67	1,90	1,83			
No. Tara	1	2	3			
Wt, gr	6,80	6,60	7,70			
Wt+sh, gr	81,70	84,30	95,80			
Wt+ss, gr	70,60	68,10	73,00			
Wagua, gr	11,10	16,20	22,80			
Wss, gr	63,80	61,50	65,30			
H, %	17,40	26,30	34,90			
Wesp. Ss, gr/cm3	1,421	1,507	1,357			



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

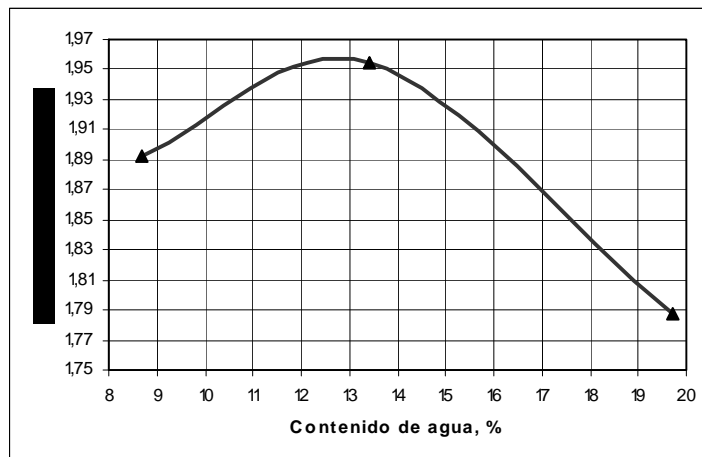
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS**  
**EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)**  
**NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K0 + 680

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9886,00	10222,00	10062,00			
Wm, gr	5564,00	5564,00	5564,00			
Wsh, gr	4322,00	4658,00	4498,00			
Wesp. Sh, gr/cm3	2,06	2,22	2,14			
No. Tara	1	2	3			
Wt, gr	7,10	10,00	13,80			
Wt+sh, gr	95,40	94,80	97,50			
Wt+ss, gr	88,30	84,80	83,70			
Wagua, gr	7,10	10,00	13,80			
Wss, gr	81,20	74,80	69,90			
H, %	8,70	13,40	19,70			
Wesp. Ss, gr/cm3	1,892	1,955	1,788			



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

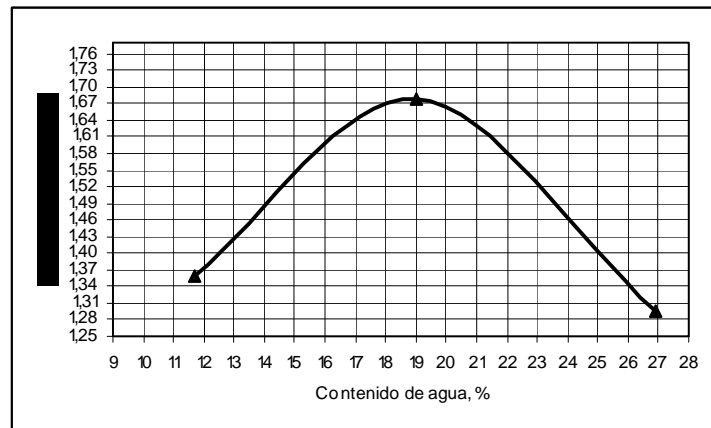
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS**  
**EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)**  
**NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 080

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	8756,00	9758,00	9020,00			
Wm, gr	5564,00	5564,00	5564,00			
Wsh, gr	3192,00	4194,00	3456,00			
Wesp. Sh, gr/cm3	1,52	2,00	1,64			
No. Tara	1	2	3			
Wt, gr	6,70	6,90	7,10			
Wt+sh, gr	25,80	27,60	29,30			
Wt+ss, gr	23,80	24,30	24,60			
Wagua, gr	2,00	3,30	4,70			
Wss, gr	17,10	17,40	17,50			
H, %	11,70	19,00	26,90			
Wesp. Ss, gr/cm3	1,360	1,678	1,297			



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

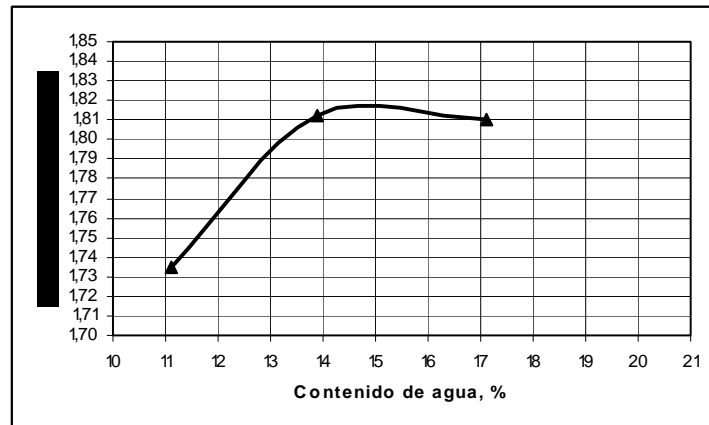
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS  
EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)  
NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K1 + 760

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9612,00	9898,00	10016,00	9948,00		
Wm, gr	5562,00	5562,00	5562,00	5562,00		
Wsh, gr	4050,00	4336,00	4454,00	4386,00		
Wesp. Sh, gr/cm3	1,93	2,06	2,12	2,09		
No. Tara	1	2	3	4		
Wt, gr	7,00	7,20	6,90	6,70		
Wt+sh, gr	83,20	84,40	101,20	98,90		
Wt+ss, gr	75,60	75,00	87,40	83,00		
Wagua, gr	7,60	9,40	13,80	15,90		
Wss, gr	68,60	67,80	80,50	76,30		
H, %	11,10	13,90	17,10	20,8		
Wesp. Ss, gr/cm3	1,735	1,812	1,810	1,727		



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

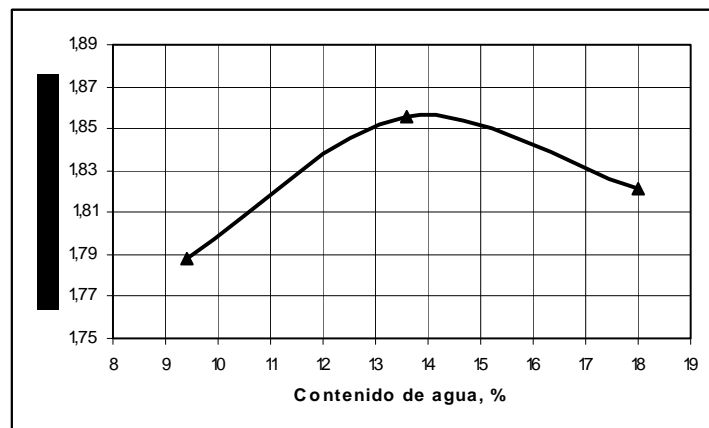
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS**  
**EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)**  
**NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 400

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9672,00	9994,00	10080,00	9984,00		
Wm, gr	5564,00	5564,00	5564,00	5564,00		
Wsh, gr	4108,00	4430,00	4516,00	4420,00		
Wesp. Sh, gr/cm3	1,96	2,11	2,15	2,1		
No. Tara	1	2	3	4		
Wt, gr	6,40	6,70	7,20	6,30		
Wt+sh, gr	87,00	94,60	102,90	96,50		
Wt+ss, gr	80,10	84,10	88,30	81,40		
Wagua, gr	6,90	10,50	14,60	15,10		
Wss, gr	73,70	77,40	81,10	75,10		
H, %	9,40	13,60	18,00	20,1		
Wesp. Ss, gr/cm3	1,788	1,856	1,821	1,751		



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

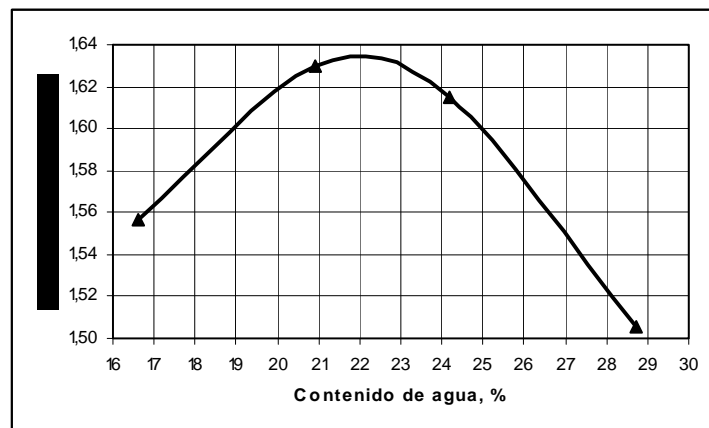
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS**  
**EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)**  
**NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K2 + 840

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9376,00	9702,00	9778,00	9634,00		
Wm, gr	5562,00	5562,00	5562,00	5562,00		
Wsh, gr	3814,00	4140,00	4216,00	4072,00		
Wesp. Sh, gr/cm3	1,82	1,97	2,01	1,94		
No. Tara	1	2	3	4		
Wt, gr	6,70	6,70	7,20	7,00		
Wt+sh, gr	70,70	90,00	97,50	98,90		
Wt+ss, gr	61,60	75,60	79,90	78,40		
Wagua, gr	9,10	14,40	17,60	20,50		
Wss, gr	54,90	68,90	72,70	71,40		
H, %	16,60	20,90	24,20	28,7		
Wesp. Ss, gr/cm3	1,557	1,630	1,615	1,506		



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

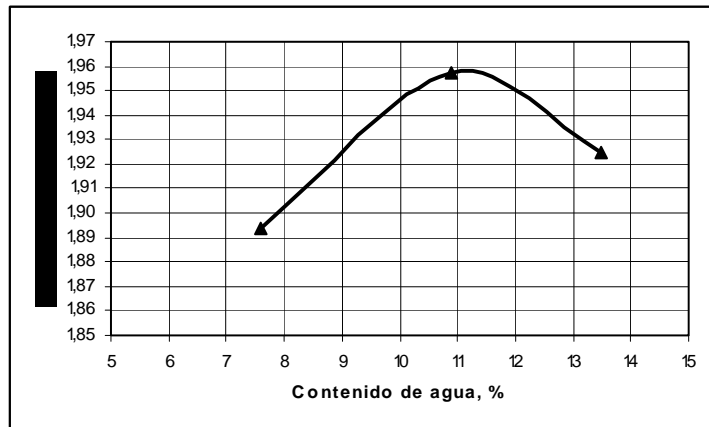
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS  
EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)  
NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K3 + 000

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9846,00	10120,00	10154,00			
Wm, gr	5562,00	5562,00	5562,00			
Wsh, gr	4284,00	4558,00	4592,00			
Wesp. Sh, gr/cm3	2,04	2,17	2,19			
No. Tara	3	66	76			
Wt, gr	6,50	6,90	6,90			
Wt+sh, gr	79,70	90,60	104,40			
Wt+ss, gr	74,50	82,40	92,80			
Wagua, gr	5,20	8,20	11,60			
Wss, gr	68,00	75,50	85,90			
H, %	7,60	10,90	13,50			
Wesp. Ss, gr/cm3	1,894	1,957	1,925			



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

OBSERVACIONES:

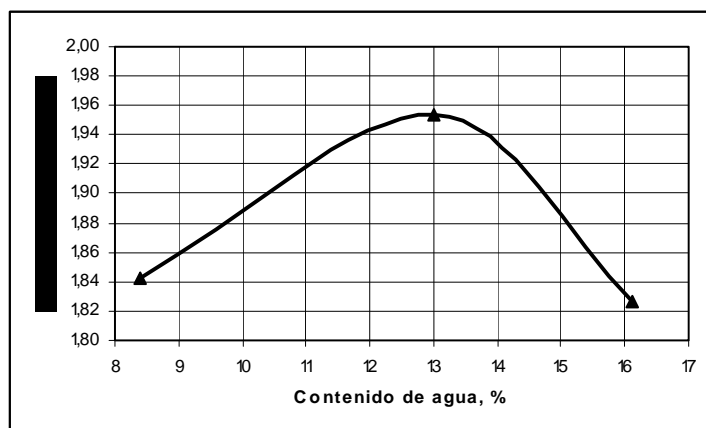
**RELACIONES DE PESO UNITARIO - HUMEDAD EN LOS SUELOS  
EQUIPO MODIFICADO (Proctor Modificado)  
NORMA E - 142**

MUESTRA : Capa Subrasante K3 + 520

Molde No.	1,0
Altura, cm	11,57
Diámetro, cm	15,21
Volumen, cm	2101,2

Peso molde, g	5564
Peso martillo, g	4540
No. Capas	5
No. Golpes / capa	55

PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Wm+sh, gr	9756,00	10200,00	10016,00			
Wm, gr	5562,00	5562,00	5562,00			
Wsh, gr	4194,00	4638,00	4454,00			
Wesp. Sh, gr/cm3	2,00	2,21	2,12			
No. Tara	1	3	4			
Wt, gr	6,40	7,10	6,70			
Wt+sh, gr	76,40	90,70	93,20			
Wt+ss, gr	71,00	81,10	81,20			
Wagua, gr	5,40	9,60	12,00			
Wss, gr	84,60	74,00	74,50			
H, %	8,40	13,00	16,10			
Wesp. Ss, gr/cm3	1,842	1,954	1,826			



H óptima, % =

Dens. Máx, g / cm3 =

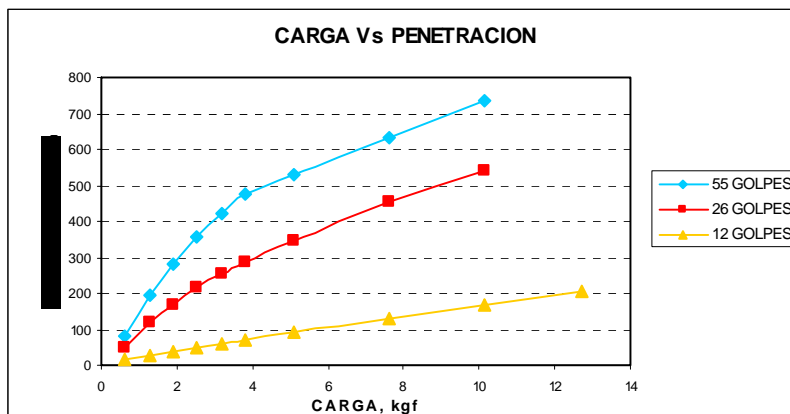
OBSERVACIONES:

**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K0 + 120

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		25	25	25
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5532	5794	5800
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		3520	3896	4128
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,216	1,346	1,427
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		97	41	30
Expansión, %		1,94	0,82	0,60
Expansión Promedio, %		1,1		
CBR a 2,54 mm		3,5	15,7	26,0
CBR a 5,08 mm		4,4	17,0	26,1
CBR		4,4	17	26,1

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,630	80	50	16
2	1,270	195	120	26
3	1,900	279	169	39
4	2,540	355	214	48
5	3,170	420	254	60
6	3,810	475	288	72
7	5,080	532	348	90
8	7,620	633	454	130
9	10,160	735	538	168
10	12,700			205

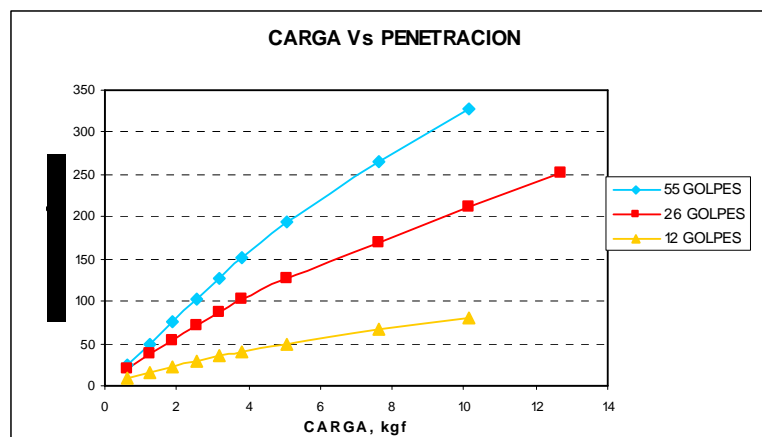


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K 0 + 680

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		13	13	13
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5610	5640	5986
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		4320	4690	4944
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,651	1,793	1,890
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		110	100	122
Expansión, %		2,20	2,00	2,44
Expansión Promedio, %		2,2		
CBR a 2,54 mm		2,1	5,3	7,5
CBR a 5,08 mm		2,4	6,2	9,5
CBR		2,4	6,2	9,5

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	24	19	9
2	1,27	48	37	16
3	1,90	75	54	23
4	2,54	102	72	29
5	3,17	128	88	35
6	3,81	152	103	40
7	5,08	194	127	50
8	7,62	265	170	67
9	10,16	327	212	81
10	12,70		253	

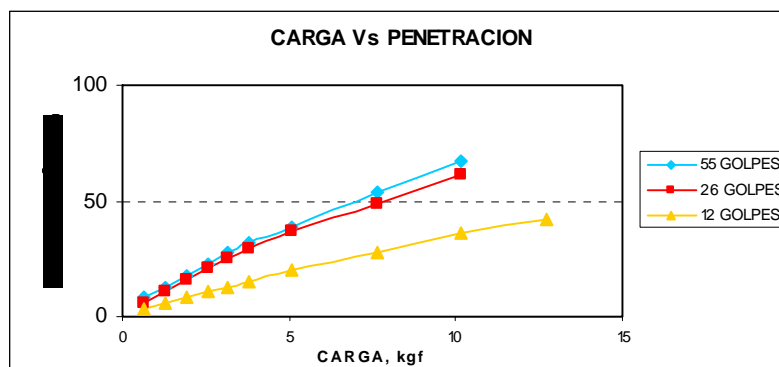


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K1 + 080

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		19	19	19
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5846	5462	5752
Peso Probeta 2315 cm3		4244	4496	4644
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,537	1,628	1,682
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		352	386	448
Expansión, %		7,04	7,72	8,96
Expansión Promedio, %		7,9		
CBR a 2,54 mm		0,8	1,5	1,7
CBR a 5,08 mm		1,0	1,8	1,9
CBR		1,0	1,8	1,9

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	8	6	3
2	1,27	13	11	6
3	1,90	18	16	8
4	2,54	23	21	11
5	3,17	28	25	13
6	3,81	32	29	15
7	5,08	39	37	20
8	7,62	54	49	28
9	10,16	67	61	36
10	12,70			42

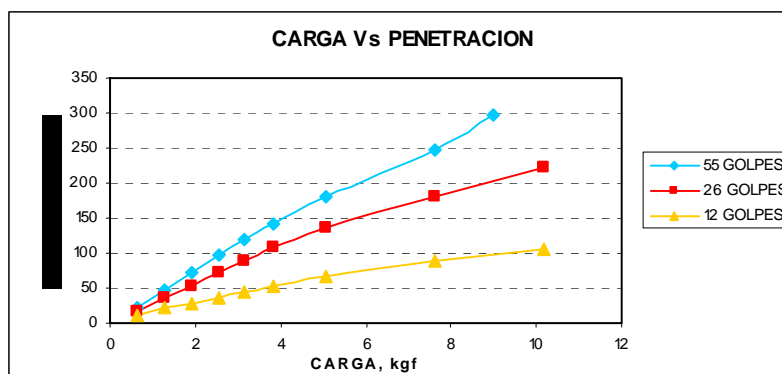


### ENSAYO CBR INV - E - 148

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K1 + 760

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		16	16	16
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5752	5860	5986
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		4098	4436	4670
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,533	1,659	1,747
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		63	83	90
Expansión, %		1,26	1,66	1,80
Expansión Promedio, %		1,6		
CBR a 2,54 mm		2,7	5,3	7,0
CBR a 5,08 mm		3,3	6,6	8,9
<b>CBR</b>		3,3	6,6	8,9

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	23	18	11
2	1,27	47	35	21
3	1,90	71	53	29
4	2,54	96	72	37
5	3,17	119	90	45
6	3,81	141	107	53
7	5,08	181	136	67
8	7,62	248	180	89
9	10,16	298	221	105
10	12,70		225	

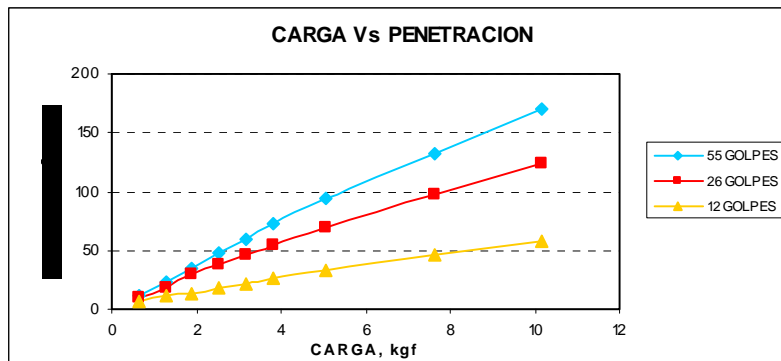


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K2 + 400

Inmersión, días	4	<b>PROBETA 1</b>	<b>PROBETA 2</b>	<b>PROBETA 3</b>
Húmedad óptima		15	15	15
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5858	5830	5818
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		4026	46	4698
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,519	1,730	1,772
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		150	136	200
Expansión, %		3,00	2,72	4,00
Expansión Promedio, %		3,2		
CBR a 2,54 mm		1,3	2,8	3,5
CBR a 5,08 mm		1,6	3,4	4,6
<b>CBR</b>		1,6	3,4	4,6

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	11	10	7
2	1,27	23	19	11
3	1,90	35	29	14
4	2,54	48	38	18
5	3,17	60	47	22
6	3,81	72	55	26
7	5,08	94	70	33
8	7,62	133	97	46
9	10,16	171	124	58
10	12,70			

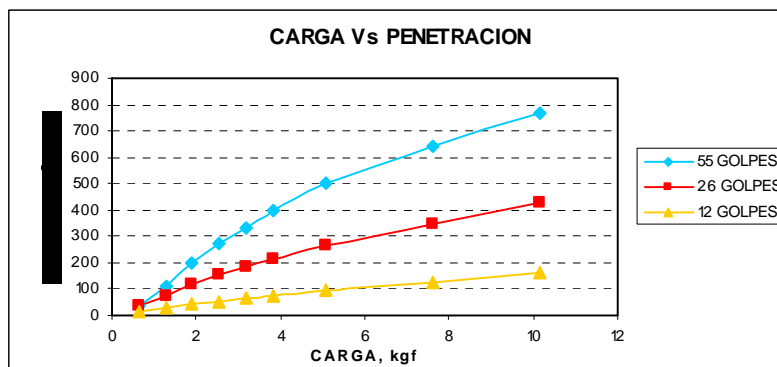


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K2 + 840

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		21,8	21,8	22
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5534	5612	5832
Peso Probeta 2315 cm3		3846	4214	4476
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,364	1,495	1,587
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		77	55	42
Expansión, %		1,54	1,10	0,84
Expansión Promedio, %		1,2		
CBR a 2,54 mm		3,8	11,3	20,0
CBR a 5,08 mm		4,6	12,9	24,5
CBR		4,6	12,9	24,5

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	37	35	17
2	1,27	114	76	31
3	1,90	196	117	42
4	2,54	272	154	52
5	3,17	334	187	63
6	3,81	396	215	73
7	5,08	500	265	93
8	7,62	644	350	127
9	10,16	769	429	159
10	12,70	896		185

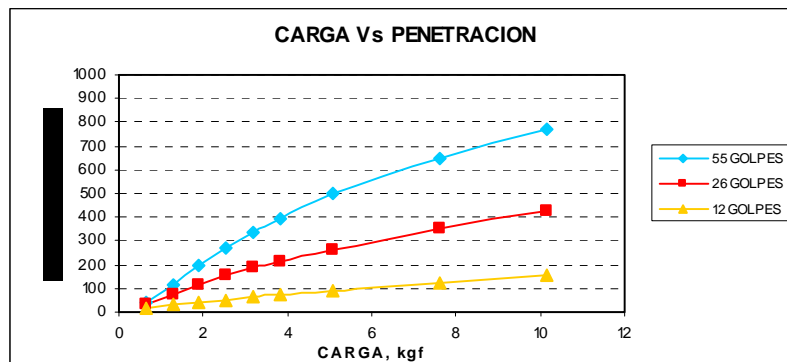


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K3 + 000

Inmersión, días	4	<b>PROBETA 1</b>	<b>PROBETA 2</b>	<b>PROBETA 3</b>
Húmedad óptima		11	11	11
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5642	5792	5800
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		4314	4540	4794
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,679	1,767	1,866
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		28	21	18
Expansión, %		0,56	0,42	0,36
Expansión Promedio, %		0,4		
CBR a 2,54 mm		4,0	7,9	39,2
CBR a 5,08 mm		4,9	9,8	38,4
<b>CBR</b>		4,9	9,8	39,2

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	143	18	10
2	1,27	307	43	25
3	1,90	441	75	40
4	2,54	534	108	55
5	3,17	611	136	67
6	3,81	681	160	79
7	5,08	785	200	100
8	7,62	877	273	137
9	10,16	948	347	173
10	12,70			211

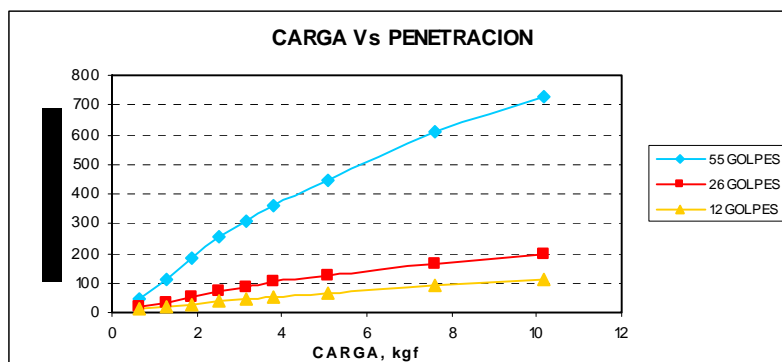


**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : Capa subrasante Absc. K3 + 520

Inmersión, días	4	<b>PROBETA 1</b>	<b>PROBETA 2</b>	<b>PROBETA 3</b>
Húmedad óptima		12	12	12
# Golpes		12	26	55
Sobrecarga colocada		5462	5852	5858
Peso Probeta 2315 cm <sup>3</sup>		4180	4496	4834
<b>Densidad seca, g/cm<sup>3</sup></b>		1,612	1,734	1,864
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0	0	0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		85	71	62
<b>Expansión, %</b>		1,70	1,42	1,24
<b>Expansión Promedio, %</b>		1,5		
CBR a 2,54 mm		2,7	5,1	18,6
CBR a 5,08 mm		3,2	6,2	21,8
<b>CBR</b>		3,2	6,2	21,8

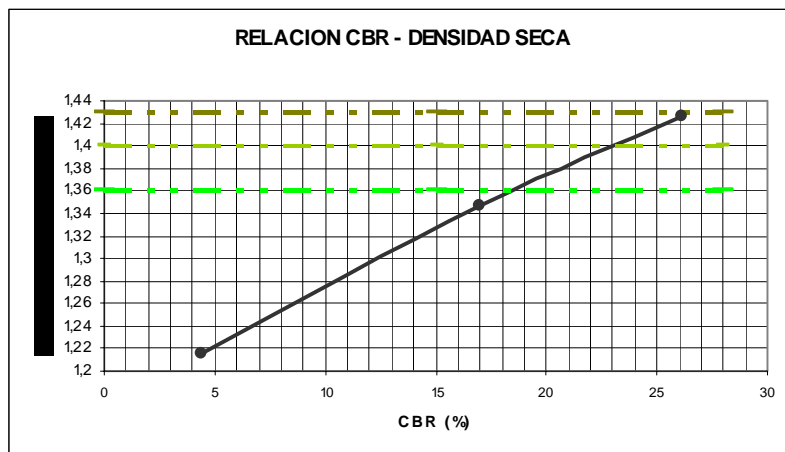
PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,63	49	17	12
2	1,27	111	35	21
3	1,90	184	52	28
4	2,54	253	70	37
5	3,17	311	86	44
6	3,81	361	102	52
7	5,08	446	126	65
8	7,62	608	161	90
9	10,16	729	199	113
10	12,70	818	239	



MUESTRA : K0 + 120

**CONCLUSIONES**

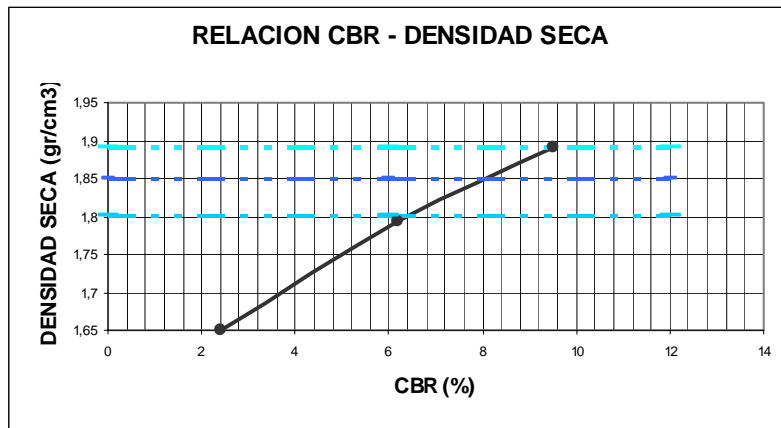
<b>% COMPACTACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>CBR</b>
100	1,43	26,1
98	1,40	23
95	1,36	18



MUESTRA : K0 + 680

**CONCLUSIONES**

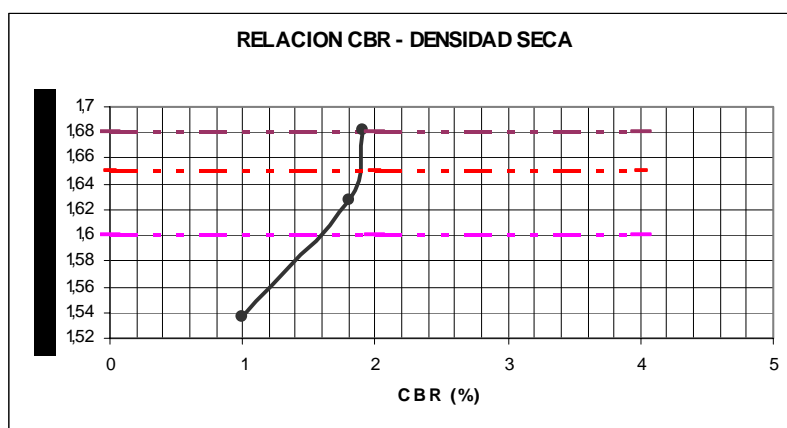
<b>% COMPACTACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>CBR</b>
100	1,89	9,5
98	1,85	8
95	1,8	6



MUESTRA : K1 + 080

### CONCLUSIONES

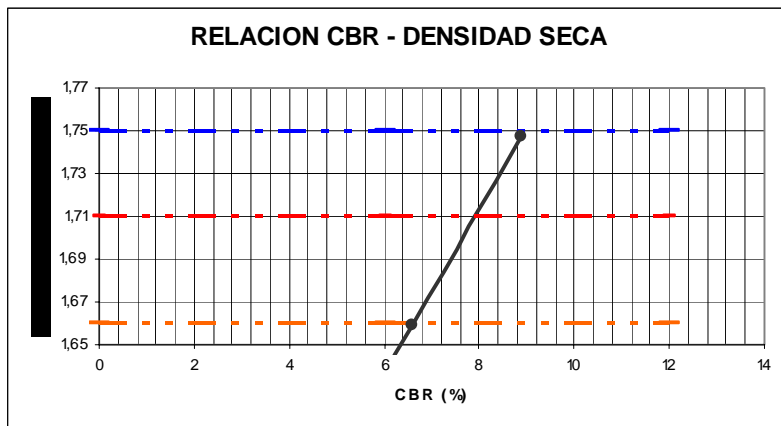
% COMPACTACION	DENSIDAD	CBR
100	1,68	1,9
98	1,65	1,8
95	1,60	1,5



MUESTRA : K1+ 760

**CONCLUSIONES**

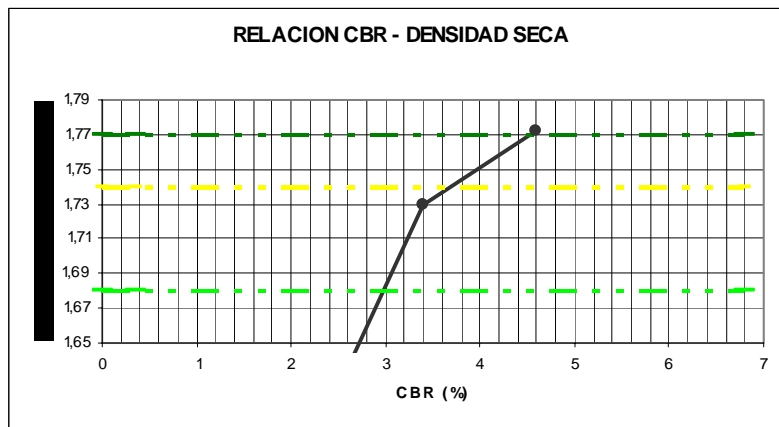
<b>% COMPACTACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>CBR</b>
100	1,75	8,9
98	1,71	8
95	1,66	6,6



MUESTRA : K2 + 400

### CONCLUSIONES

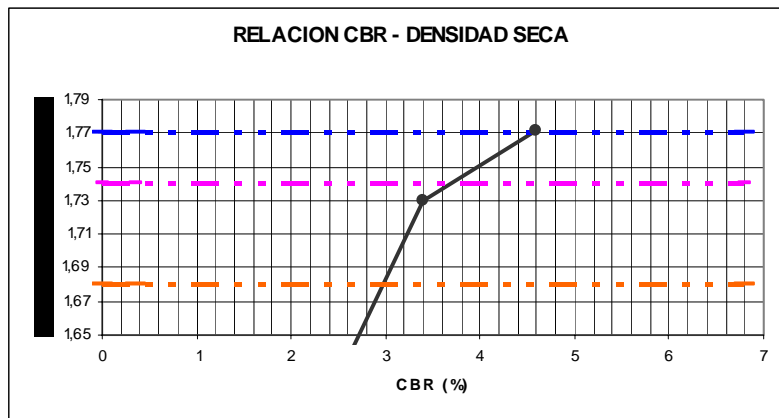
% COMPACTACION	DENSIDAD	CBR
100	1,77	4,6
98	1,74	3,4
95	1,68	3



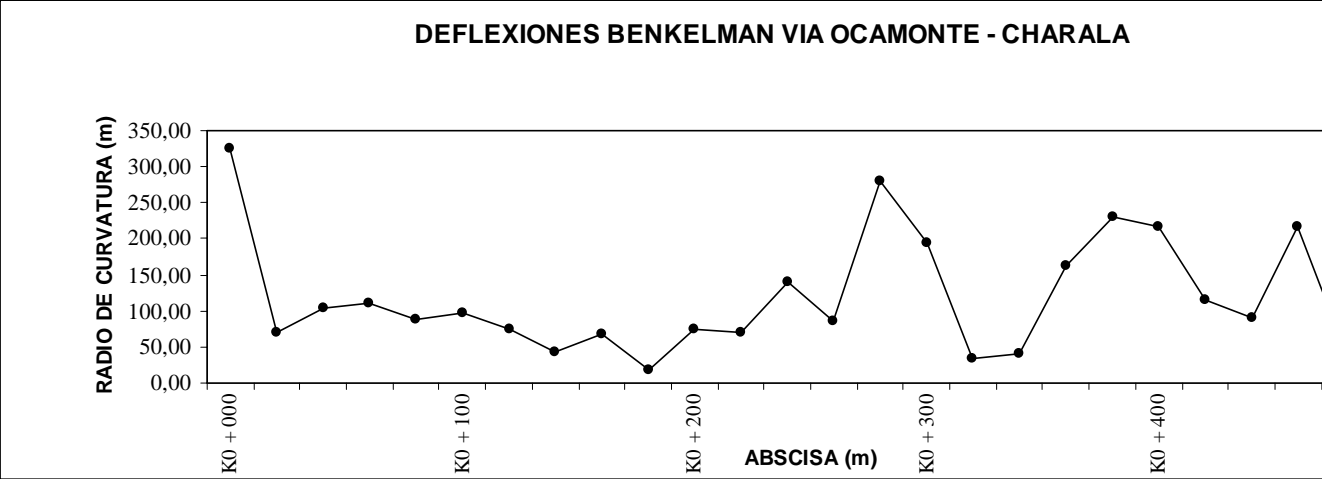
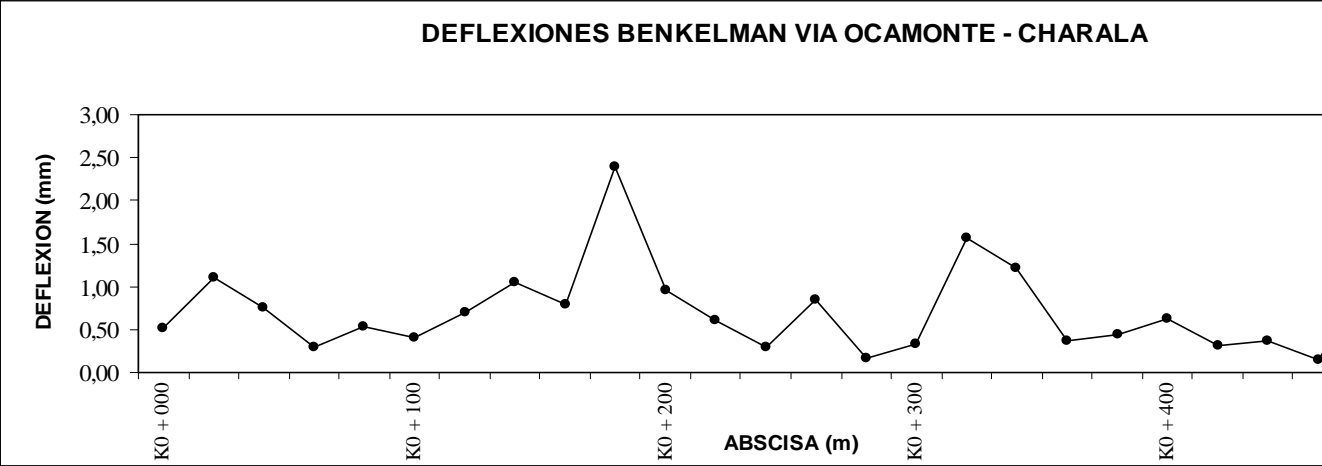
MUESTRA : K2 + 840

**CONCLUSIONES**

<b>% COMPACTACION</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>CBR</b>
100	1,59	24,5
98	1,56	20,5
95	1,51	14,5



**ANEXO D. REGISTROS PRUEBAS DE CAMPO VIGA BENKELMAN  
VÍA OCAMONTE**



**DEFLEXIONES BENKELMAN VÍA OCAMONTE**

ABSCISA	DEFLEXION		RADIO DE CURVATURA ( m)	OBSERVACIONES
	Centro (mm)	A 25 cm (mm)		
K0 + 000	0,51	0,42	325,52	
K0 + 020	1,10	0,66	71,02	
K0 + 040	0,76	0,46	102,80	
K0 + 060	0,30	0,02	111,60	
K0 + 080	0,53	0,18	88,78	
K0 + 100	0,40	0,08	97,66	
K0 + 120	0,70	0,28	73,70	
K0 + 140	1,04	0,32	43,40	
K0 + 160	0,80	0,34	68,53	
K0 + 180	2,40	0,73	18,69	
K0 + 200	0,95	0,54	75,12	
K0 + 220	0,61	0,16	69,75	
K0 + 240	0,30	0,08	139,51	
K0 + 260	0,84	0,47	84,92	
K0 + 280	0,16	0,05	279,02	
K0 + 300	0,33	0,17	195,31	
K0 + 320	1,56	0,62	33,10	
K0 + 340	1,22	0,44	39,86	
K0 + 360	0,37	0,18	162,76	
K0 + 380	0,44	0,3	229,78	
K0 + 400	0,62	0,48	217,01	
K0 + 420	0,31	0,04	114,89	
K0 + 440	0,36	0,02	90,84	
K0 + 460	0,15	0,01	217,01	
K0 + 480	1,15	0,48	46,50	
K0 + 500	0,68	0,14	57,44	

**ANEXO E. PRUEBAS DE CAMPO PENETRACIÓN DINÁMICA DE  
VÍA OCAMONTE**

**ENSAYO DE PENETRACION CON CONO DINAMICO**

**APIQUE 2 : K0 + 180**

**PROFUNDIDAD : 0,05 m**

<b>GOLPE No.</b>	<b>PENETRACION ( cm )</b>	<b>DELTA ( cm / golpe )</b>	<b>CBR Asociado</b>	<b>Mr ( Kg / cm2 )</b>
0	2,50			
1	5,50	3,00	2,20	450,10
2	8,00	2,50	2,70	487,60
3	10,50	2,50	2,70	487,60
4	14,00	3,50	1,80	420,50
5	17,00	3,00	2,20	450,10
6	21,00	4,00	1,50	396,50
7	24,00	3,00	2,20	450,10
8	27,00	3,00	2,20	450,10
9	31,00	4,00	1,50	396,50
10	35,00	4,00	1,50	396,50
11	38,00	3,00	2,20	450,10
12	41,00	3,00	2,20	450,10
13	45,00	4,00	1,50	396,50
14	48,00	3,00	2,20	450,10
15	51,00	3,00	2,20	450,10
16	54,00	3,00	2,20	450,10
17	59,00	5,00	1,10	359,50
18	63,00	4,00	1,50	396,50
19	66,00	3,00	2,20	450,10
20	69,00	3,00	2,20	450,10
21	72,00	3,00	2,20	450,10
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

**ANEXO F. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO  
DE SUBRASANTE VÍA OCAMONTE**

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NORMA E - 123**

MUESTRA : K0+320, Profundidad < 7 cm.

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
63	7,2	63	55,1	7,9	47,9	16,50%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS, gr</sub>	W <sub>SL, gr</sub>	W <sub>FINO, gr</sub>	% FINOS
1852,40	1167,1	685,3	37,00%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	12,5
ARENA (%) =	49,4
FINOS (%) =	38,0

CLASIFICACION SUCS: **SC**

OBSERVACIONES:

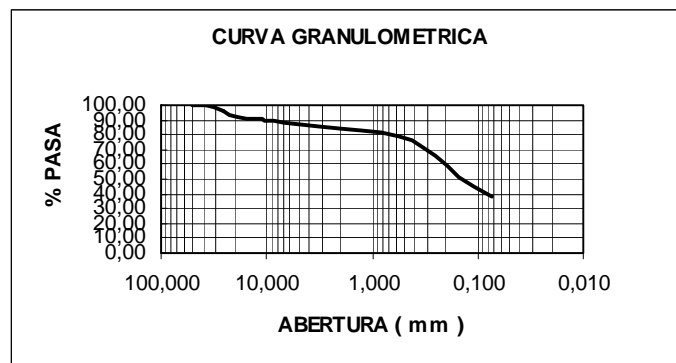
GRUPO: SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS

SUB - GRUPO: ARENAS

ARENA ARCILLOSA

**GRADACION**

PESO MUESTRA LAVADA		1167,1		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	76,50	4,10	95,90
3/4"	19,050	67,80	3,70	92,20
1/2"	12,700	25,00	1,30	90,90
3/8"	9,530	32,70	1,80	89,10
# 4	4,750	30,00	1,60	87,50
# 10	2,000	54,40	2,90	84,50
# 20	0,840	48,90	2,60	81,90
# 40	0,420	107,90	5,80	76,10
# 60	0,250	193,40	10,40	65,60
# 100	0,149	260,50	14,10	51,60
# 200	0,074	250,60	13,50	38,00
FONDO		19,40	1,00	37,00
<b>SUMA</b>		<b>1167,10</b>	<b>63,00</b>	



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NORMA E - 123**

MUESTRA : K0+320, Profundidad de 7 a 30 cm.

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
31	7,1	68,2	61,3	6,9	54,2	12,70%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS, gr</sub>	W <sub>SL, gr</sub>	W <sub>FINO, gr</sub>	% FINOS
2763,40	1408,1	1355,3	49,00%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	19,5
ARENA (%) =	31,2
FINOS (%) =	49,3

**CLASIFICACION SUCS:** | SM - SC

**OBSERVACIONES:**

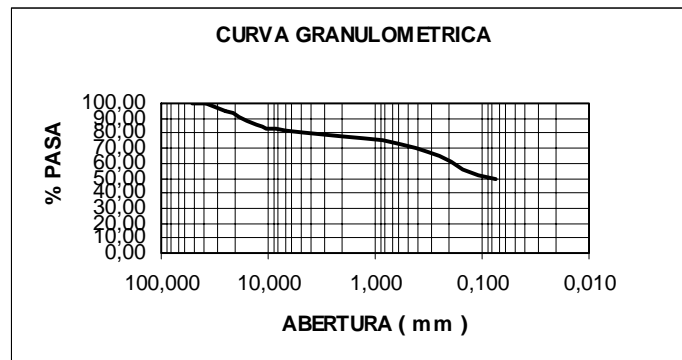
GRUPO: SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS

SUB - GRUPO: ARENAS

ARENA LIMO ARCILLOSA (SM - SC)

**GRADACION**

MALLA No.	ABERTURA mm	PESO MUESTRA LAVADA		gr
		RETENIDO gr	% RETENIDO	
		1408,1		
2"	50,800	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	132,10	4,80	95,20
3/4 "	19,050	128,20	4,60	90,60
1/2"	12,700	142,00	5,10	85,40
3/8"	9,530	65,60	2,40	83,10
# 4	4,750	70,70	2,60	80,50
# 10	2,000	73,30	2,70	77,90
# 20	0,840	79,10	2,90	75,00
# 40	0,420	121,30	4,40	70,60
# 60	0,250	162,80	5,90	64,70
# 100	0,149	234,30	8,50	56,20
# 200	0,074	190,30	6,90	49,30
FONDO		8,40	0,30	49,00
<b>SUMA</b>		<b>1408,10</b>	<b>51,00</b>	



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NORMA E - 123**

MUESTRA : K0+320, Profundidad > a 30 cm.

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
64	7,1	65,3	55	10,3	47,9	21,50%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS</sub> , gr	W <sub>SL</sub> , gr	W <sub>FINO</sub> , gr	% FINOS
1766,40	663,2	1103,2	62,50%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	5,5
ARENA (%) =	30,9
FINOS (%) =	63,6

**CLASIFICACION SUCS:** | ML

**OBSERVACIONES:**

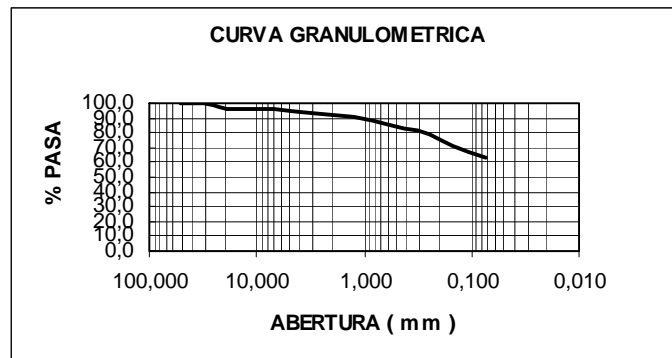
GRUPO: SUELOS DE PARTICULAS FINAS

SUB - GRUPO: LIMOS

LIMO ORGANICO DE BAJA PLASTICIDAD ( ML )

**GRADACION**

MALLA No.	ABERTURA mm	PESO MUESTRA LAVADA		gr
		RETENIDO gr	% RETENIDO	
		663,2		
2"	50,800	0,00	0,00	100,0
11/ 2"	38,100	0,00	0,00	100,0
1"	25,400	31,80	1,80	98,2
3/4 "	19,050	30,40	1,70	96,5
1/2"	12,700	3,50	0,20	96,3
3/8"	9,530	11,50	0,70	95,6
# 4	4,750	19,40	1,10	94,5
# 10	2,000	44,40	2,50	92,0
# 20	0,840	71,80	4,10	88
# 40	0,420	82,80	4,70	83,3
# 60	0,250	86,10	4,90	78,4
# 100	0,149	139,20	7,90	70,5
# 200	0,074	121,30	6,90	63,6
FONDO		21,00	1,20	62,5
<b>SUMA</b>		<b>663,20</b>	<b>37,50</b>	



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NORMA E - 123**

MUESTRA : K0+180, Profundidad 0 a 5 cm.

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
41	7	64,1	55,6	8,5	48,6	17,50%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS, gr</sub>	W <sub>SL, gr</sub>	W <sub>FINO, gr</sub>	% FINOS
2167,80	1205,4	962,4	44,40%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	31,2
ARENA (%) =	24,2
FINOS (%) =	44,6

**GRADACION**

MALLA No.	ABERTURA mm	PESO MUESTRA LAVADA		gr PASA
		RETENIDO gr	% RETENIDO	
		1205,4		
2"	50,800	0,00	0,00	100,0
11/ 2"	38,100	0,00	0,00	100,0
1"	25,400	117,70	5,40	94,6
3/4 "	19,050	118,30	5,50	89,1
1/2"	12,700	228,70	10,50	78,6
3/8"	9,530	112,40	5,20	73,4
# 4	4,750	98,70	4,60	68,8
# 10	2,000	79,20	3,70	65,2
# 20	0,840	52,60	2,40	63
# 40	0,420	55,60	2,60	60,2
# 60	0,250	85,40	3,90	56,2
# 100	0,149	122,90	5,70	50,6
# 200	0,074	129,60	6,00	44,6
FONDO		4,30	0,20	44,4
<b>SUMA</b>		<b>1205,40</b>	<b>55,60</b>	

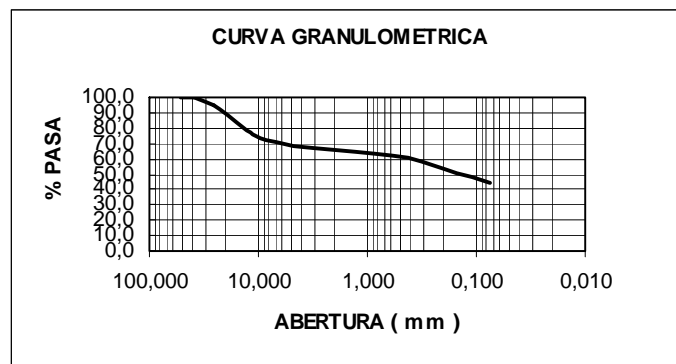
**CLASIFICACION SUCS:** | **GM**

**OBSERVACIONES:**

GRUPO: SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS

SUB - GRUPO: GRAVAS

GRAVA LIMOSA ( GM )



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
NORMA E - 123**

MUESTRA : K0+180, Profundidad > 5 cm.

**HUMEDAD NATURAL**

No. TARA	W <sub>T</sub>	W <sub>T+SH</sub>	W <sub>T+SS</sub>	W <sub>H</sub>	W <sub>SS</sub>	H <sub>NAT</sub>
80	7,1	64,3	52,1	12,2	45	27,10%

**% FINOS PASA TAMIZ No.200**

W <sub>SS,gr</sub>	W <sub>SL,gr</sub>	W <sub>FINO,gr</sub>	% FINOS
1713,00	651,6	1061,4	62,00%

MAYOR 3" (%) =	0,0
GRAVAS (%) =	4,9
ARENA (%) =	32,5
FINOS (%) =	62,5

**GRADACION**

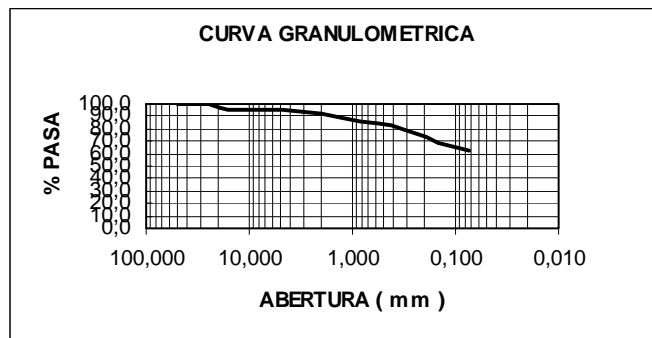
PESO MUESTRA LAVADA		651,6		gr
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO gr	% RETENIDO	gr % PASA
2"	50,800	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	100,0
1"	25,400	0,00		100,0
3/4 "	19,050	46,80	2,70	97,3
1/2"	12,700	20,90	1,20	96,0
3/8"	9,530	4,60	0,30	95,8
# 4	4,750	11,90	0,70	95,1
# 10	2,000	58,10	3,40	91,7
# 20	0,840	84,80	5,00	87
# 40	0,420	74,70	4,40	82,4
# 60	0,250	100,60	5,90	76,5
# 100	0,149	137,50	8,00	68,5
# 200	0,074	101,70	5,90	62,5
FONDO		10,00	0,60	62,0
<b>SUMA</b>		<b>651,60</b>	<b>38,00</b>	

**CLASIFICACION SUCS:** | ML

**OBSERVACIONES:**

GRUPO: SUELOS DE PARTICULAS FINAS

SUB - GRUPO : LIMO Y ARCILLAS CON  
LIMITE LIQUIDO 3/4 50%  
LIMO INORGANICO DE BAJA PLASTICIDAD ( ML)



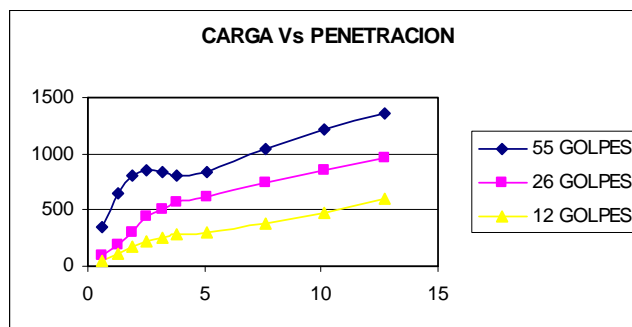
**ANEXO G. REGISTROS LABORATORIO PROCESO DE  
ESTABILIZACIÓN QUÍMICA**

**ENSAYO CBR INV - E - 148**

MUESTRA : K0 + 320, profundidad mayor de 30 cms  
CAL 2 %

Inmersión, días	4	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
Húmedad óptima		16,3	16,5	16,5
# Golpes		<b>55,0</b>	<b>26,0</b>	<b>12,0</b>
Sobrecarga colocada		5510,0	5530,0	5570,0
Volumen del molde		2123,0	2123,0	2123,0
Peso Probeta		4030,0	3700,0	3537,0
Densidad seca, g/cm <sup>3</sup>		1,632	1,496	1,430
Lectura 1, *10 <sup>-3</sup> pulg		0,0	0,0	0,0
Lectura 2, *10 <sup>-3</sup> pulg		0,0	0,0	0,0
Expansión, %		0,0	0,0	0,0
Expansión Promedio, %				
CBR a 2,54 mm		63,2	32,0	16,0
CBR a 5,08 mm		41,3	30,0	15,0
CBR		63,2	32,0	16,0

PUNTO	PENETRACION mm	CARGA, Kgf		
		55 GOLPES	26 GOLPES	12 GOLPES
1	0,630	346	98	55
2	1,270	650	185	111
3	1,900	800	302	168
4	2,540	860	435	218
5	3,170	838	505	251
6	3,810	808	565	278
7	5,080	843	613	305
8	7,620	1036	735	380
9	10,160	1210	845	479
10	12,700	1359	956	600



### ENSAYO CBR INV - E - 148

MUESTRA : K0 + 320, profundidad mayor de 30 cms

% COMPACTACION	DENSIDAD	CBR
100%	1,68	63
98%	1,65	61
95%	1,60	55

