



ARQUITECTOS INGENIEROS ASOCIADOS

AIA S.A.



**ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO EN LA VÍA DE
ACCESO AL EDIFICIO KIMBERLY, LOCALIZADO EN EL PARQUE
TECNOLÓGICO MANANTIALES. MUNICIPIO DE ENVIGADO - ANTIOQUIA**

INFORME 103/2012

MEDELLÍN, DICIEMBRE DE 2012

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. LOCALIZACIÓN Y ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
3.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	5
3.2. GEOLOGÍA LOCAL Y/O FORMACIONES SUPERFICIALES	7
4. INVESTIGACIÓN DE CAMPO	10
5. INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO	12
6. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	13
6.1 PERFIL ESTRATIGRAFICO	13
6.2 VARIABLES DE DISEÑO.	13
6.2.1 Clasificación del tránsito	13
6.2.2 Clasificación de la subrasante	14
6.2.3 Deflexión admisible	16
6.2.4 Resumen Variables de diseño	16
6.3 DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE	16
6.4 MATERIALES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.	18
6.5 DRENAJE Y SUBDRENAJE.....	19
6.5.1 Subdrenajes y Filtros	19
6.6 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS POR MÉTODOS RACIONALES.	21
7. LIMITACIONES	26

1. INTRODUCCIÓN

Por solicitud de la firma ARQUITECTOS INGENIEROS ASOCIADOS S.A., TECNISUELOS SAS realizó el estudio de suelos para el diseño de pavimento de la vía de acceso al edificio Kimberly Clark Ltda que se localizara en el Parque Tecnológico Manantiales del municipio de Envigado, Antioquia.

En este informe se presentan los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio necesarias para la determinación de las características físicas y mecánicas de los distintos tipos de suelos que conforman el sitio de interés para el diseño de la estructura de los pavimentos de las vías de acceso al parque y las recomendaciones para el diseño y construcción de las obras de urbanismo, se presentan y discuten los resultados obtenidos y se dan las conclusiones y recomendaciones pertinentes a la viabilidad del proyecto desde el punto de vista geotécnico.

2. LOCALIZACIÓN Y ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en el Alto de Las Palmas, dentro del Parque Tecnológico Manantiales, el cual pertenece al Instituto para el Desarrollo de Antioquia IDEA y se encuentra bajo jurisdicción del municipio de Envigado, Sur del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

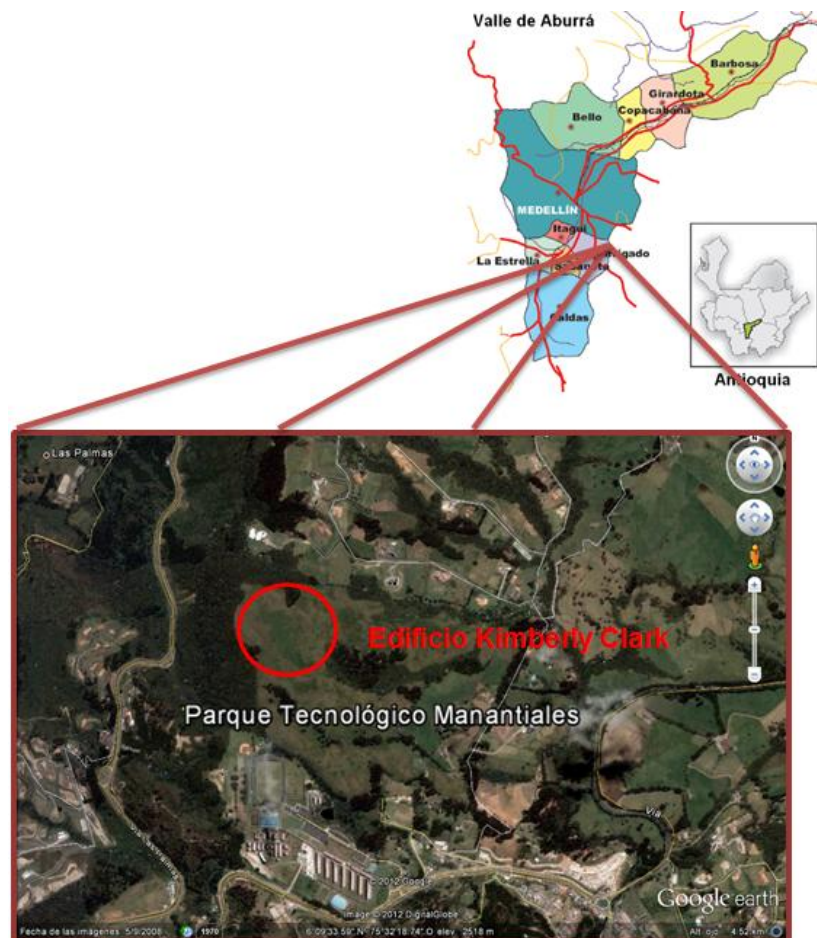


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Imagen satelital tomada de Google Earth.

3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se describe a continuación la geología local y los procesos morfodinámicos actuantes, a partir de las observaciones realizadas en campo por parte de geólogos, información complementada con la descripción de las muestras obtenidas de los sondeos de exploración.

3.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se enmarca geológicamente sobre un cuerpo metamórfico designado como Migmatitas de Puente Peláez, de forma irregular alargada, en sentido norte – sur. Se encuentra limitado al occidente por la unidad denominada Granofels de Normandía y los Esquistos de Ancón y hacia el oriente por las anfibolitas de Medellín. Tiene un ancho máximo de 5km y mínimo de 3km, y una longitud de 14km, con un área aproximada de 60km².

La litología predominante corresponde a neises y granofels cuarzo feldespáticos con biotita intercalados con neises biotíticos frecuentemente con sillimanita. Estas rocas presentan macroscópicamente estructuras migmatíticas, plegadas marcadas por bandas alternas de color blanco a blanco amarillento, con tonalidades claras y bandas grises oscuras a negras. El bandeo en general es centimétrico, las bandas son irregulares, discontinuas lenticulares, en forma de augen y romboedrales que indican deformación dúctil en algunos sectores. En algunos sectores se da una disminución de las intercalaciones migmatíticas y se pasa a zonas donde las rocas predominantes son neises y granofels ricos en cuarzo y feldespato, pero se conserva el bandeo metamórfico con algunas bandas ricas en biotita.

Cortando esta unidad se presentan diques y silos de andesitas, pórfidos andesíticos, dacíticos y microdioritas, estos diques son de color gris es tonalidades claras y oscuras, y diques de cuarzo lechoso.

Esta unidad se caracteriza por presentar una profunda alteración, por lo general desarrolla varios metros de saprolito de color morado claro con manchas ocre, rojas y blancas que marcan en conjunto la foliación original de la roca. El saprolito es arcillo arenoso deleznable con abundantes micas secundarias de tipo sericita y en general con la foliación mejor marcada que en la roca fresca y más esquistosa.

El protolito de las Migmatitas de Puente Peláez corresponde a una secuencia sedimentaria principalmente de rocas pelíticas con cuarzo e intercalaciones de sedimentos cuarzo feldespáticos con abundante matriz, localmente con intercalaciones de derrames basálticos, especialmente en la base de la secuencia.

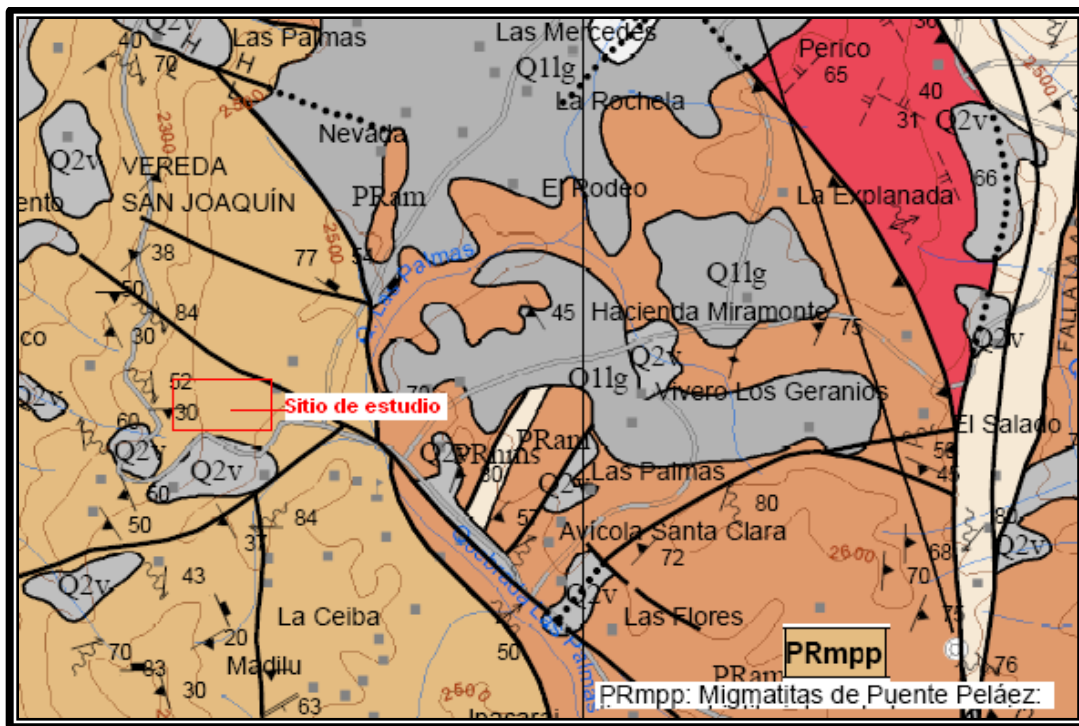


Figura 1. Localización de la zona de estudio sobre el Mapa Geológico de la Plancha 147 Medellín Oriental. Ingeominas 2005.

3.2. GEOLOGÍA LOCAL Y/O FORMACIONES SUPERFICIALES

Como antecedente se tiene el informe 25/2011 “ESTUDIO DE SUELOS PARQUE TECNOLÓGICO MANANTIALES ZONA FRANCA. MUNICIPIO DE ENVIGADO – ANTIOQUIA” presentado al arquitecto JAVIER VERA en el mes de Julio de 2011. De él se extrae la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, a partir de la cual se identifica que en la zona donde se construirá el edificio Kimberly – Clark, el perfil del subsuelo corresponde a un suelo residual suprayacido por una capa diferenciable de material orgánico.

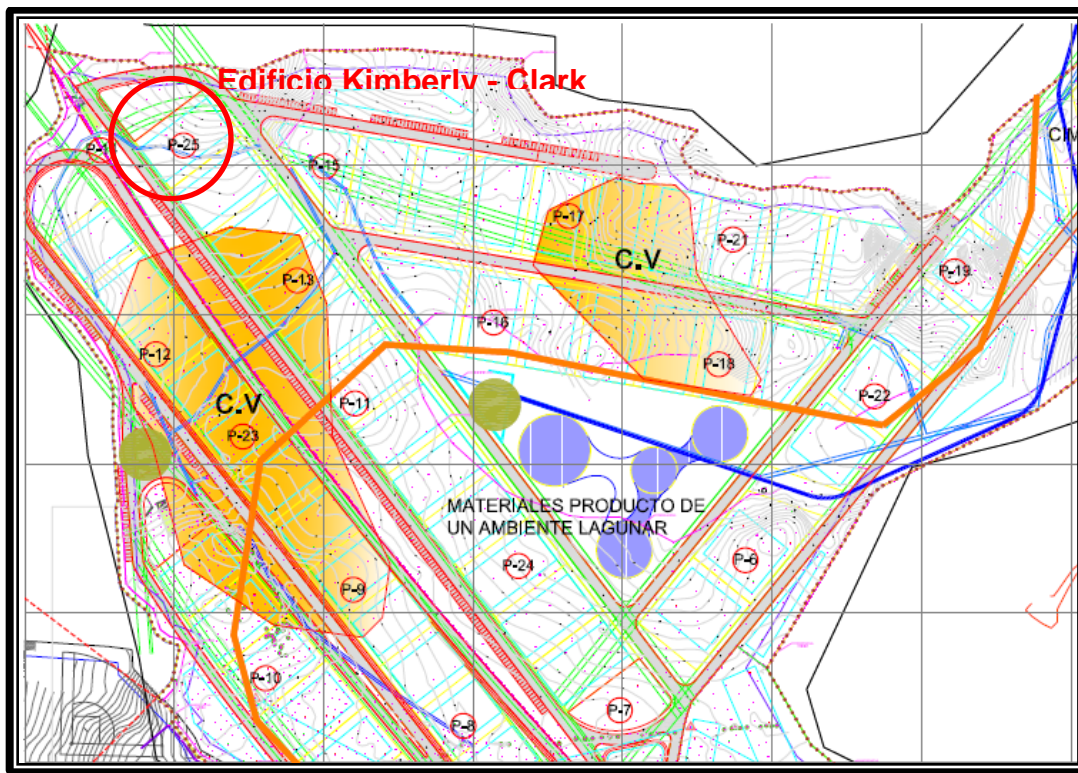


Figura 2. Localización de la exploración realizada para el informe 25/2011 “ESTUDIO DE SUELOS PARQUE TECNOLÓGICO MANANTIALES ZONA FRANCA. MUNICIPIO DE ENVIGADO – ANTIOQUIA” presentado al arquitecto JAVIER VERA. Delimitación (línea naranja) del material de ambiente lacustre con respecto a la zona perimetral. C.V, corresponde a las zonas donde en las perforaciones se identificó claramente el espesor de cenizas volcánicas.

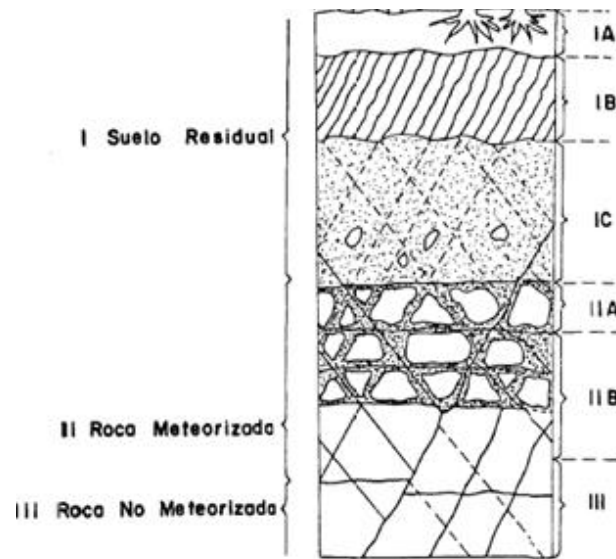


Figura 2. Perfil de meteorización para rocas metamórficas propuesto por Deer y Patton.

En el esquema de la Figura 2 se observa un esquema del perfil de meteorización de la roca basamento, con base en la clasificación propuesta por Deere y Patton.

4. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación de campo para el diseño de la estructura del pavimento de la vía de acceso, se hizo mediante la excavación manual de dos (2) apiques de hasta 1.5m de profundidad cada uno, los apiques se denominaron A1 y A2.

Estas perforaciones se localizaron sobre el trazado de la vía entregado por el contratante, con el fin de determinar acertadamente la descripción estratigráfica del subsuelo, a partir de la recuperación de muestras alteradas e inalteradas para la obtención de propiedades índices y físico mecánicas del material. (ver figura 3)

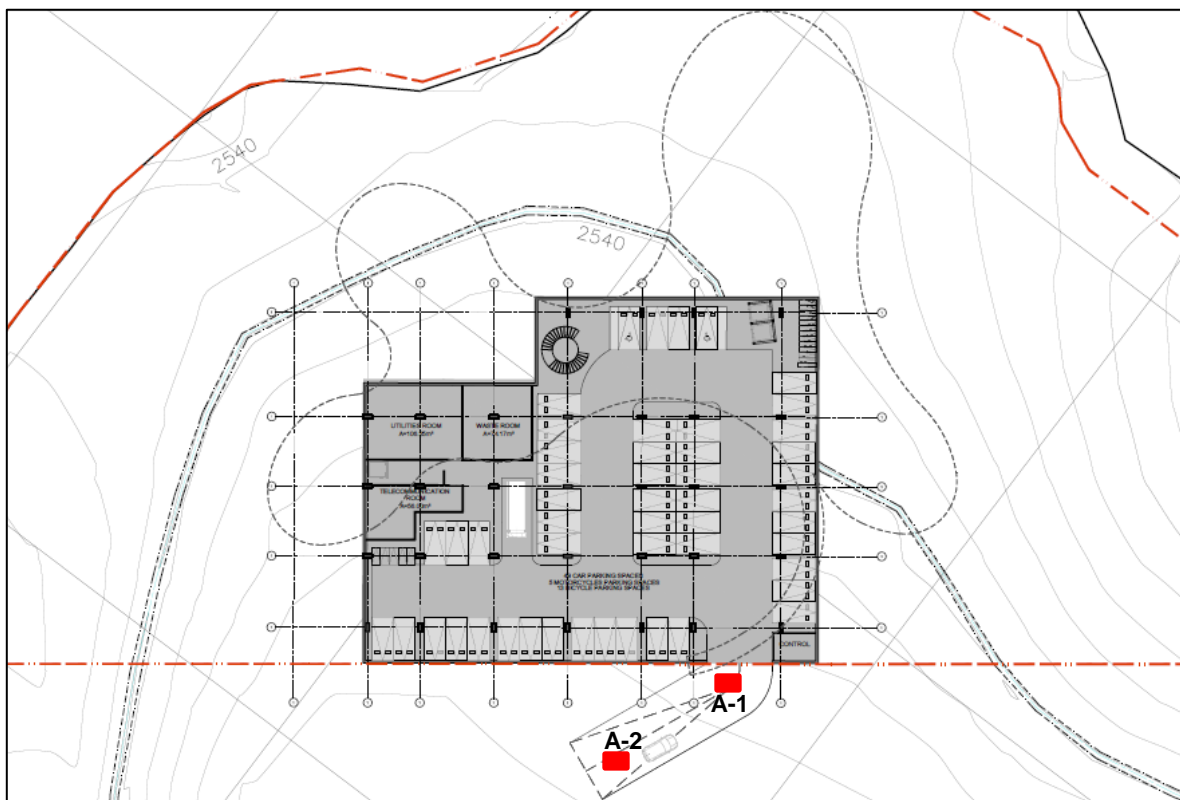


Figura 3. Localización de los apiques

En total se realizaron 3 metros lineales de apique, de los cuales se recuperaron un total de 2 muestras alteradas en bolsa, y 2 muestras inalteradas en molde CBR

de 6" de diámetro, adicionalmente se realizaron 2 ensayos de penetración con cono dinámico CPT.

Todas las muestras de suelo recuperadas durante la ejecución de los sondeos en la etapa de exploración de campo, fueron debidamente empacadas y referenciadas para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de suelos de TECNISUELOS SAS., en Medellín, donde se sometieron a los ensayos correspondientes.

Las muestras tomadas permanecerán en el laboratorio de TECNISUELOS durante un mes a partir de la fecha de entrega del informe, si durante este tiempo no se recibe ninguna instrucción sobre el uso que a las muestras deba dárseles, TECNISUELOS dispondrá de ellas de la manera que se considere más conveniente.

5. INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas durante la exploración del subsuelo se trasladaron al laboratorio de suelos de TECNISUELOS, donde se sometieron a una detallada inspección visual, con el fin de confrontar las descripciones de campo y corregirlas en caso necesario. Se eligieron las muestras más representativas para determinarles el contenido de humedad natural y realizarles los ensayos de granulometría y límites de consistencia con el fin de obtener su clasificación con base en el Sistema de Clasificación Unificada (USC) y AASHTO (American Association of State Highway Officials).

En la Tabla 1, se presentan los ensayos realizados sobre las muestras recuperadas.

TIPO DE ENSAYO	NORMAINV	CANTIDAD
Determinación del contenido de Humedad natural	INV-E-122	2
Determinación de la Granulometría por tamizado	INV-E-124	2
Determinación del Límite Líquido	INV E 125	2
Determinación del Límite Plástico	INV-E-127	2
Relación de Soporte del Suelo en el Laboratorio (CBR)	INV-E-148	2

Tabla 1. Ensayos realizados sobre las muestras seleccionadas en la descripción visual

En la tabla 2 se registran los apiques en los cuales se registró presencia de nivel freático.

Tabla 2. Nivel freático identificado en las perforaciones realizadas

Apique	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
A-1	1.5	----
A-2	1.5	----

6. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

6.1 PERFIL ESTRATIGRAFICO

De acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas la estratigrafía típica del lote en estudio es la siguiente:

Superficialmente se encuentra capa vegetal con espesores variables entre 0.20m y 0.70 metros.

Subyaciendo la capa vegetal, hasta las profundidades exploradas (1.5m) se encuentra como suelo de subrasante un horizonte de suelo con textura limo arcillosa de colores café grisáceo, pardo amarillento y blanco con zonas naranjadas con humedad media y de consistencia blanda.

Para la construcción de la vía se consideran alternativas en pavimento flexible, y para determinar los espesores se ha tenido en cuenta el criterio del IA (Instituto Norteamericano del Asfalto, 1993 y de la AASHTO 93).

6.2 VARIABLES DE DISEÑO.

Los parámetros de tránsito utilizados en el diseño corresponden a valores recomendados en la literatura técnica y tomados de vías con características similares a la que es objeto el presente estudio.

6.2.1 Clasificación del tránsito

El método del instituto del Asfalto define la variable de diseño “tránsito”, de acuerdo al número de ejes equivalentes de 8.2 ton esperados en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, “N”. Los parámetros de tránsito se asumen de acuerdo con la importancia y categoría de la vía.

Para un periodo de 10 años, una tasa anual de crecimiento de 2% y un factor camión de 1.35 (método empírico de la Universidad del Cauca), el “N” de diseño es de 500.000 ejes equivalentes de 8.2 ton.

6.2.2 Clasificación de la subrasante

El tipo de subrasante se define de acuerdo con el valor de su capacidad de soporte ó CBR (California Bearing Ratio).

Los suelos encontrados en la zona estudiada y que servirán de subrasante, se describieron en el capítulo 5. Los valores de CBR de los suelos registrados en la tabla No. 2, obtenidos de los ensayos sobre muestras inalteradas o a partir de los ensayos de penetración dinámica con cono (CONO DE YODER), indican la baja capacidad de soporte de los suelos obtenida como el percentil 75% de los valores menores o iguales, (ver figura 2).

**TABLA No 2
CBR INALTERADOS**

APIQUE	CBR_{CPT}
A-1	0.7
A-2	1.6

Tabla 3. Clasificación de la subrasante (TRL)

Clasificación	Rango de CBR en %
S-1	2
S-2	3 – 4
S-3	5 – 7
S-4	8 – 14
S-5	15 – 29
S-6	>30

De acuerdo a la anterior clasificación, el suelo de subrasante correspondería a una clasificación S1.

Por lo anterior se requiere hacer un mejoramiento mecánico de la subrasante mediante la colocación de un reemplazo en material seleccionado que servirá de apoyo al a estructura del pavimento, dicho reemplazo será de al menos 50 cm de espesor en material seleccionado que cumpla con las especificaciones indicada en el artículo No 220 2007 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Con estas condiciones, el CBR de la subrasante tomado para el diseño de todo el tramo de pavimento flexible, es el de un material granular compactado al 95% de la densidad seca máxima de la obtenida en el ensayo del Próctor modificado, para lo cual se asume un **CBR del 3%** que correspondería al conjunto reemplazo-subrasante.

En la Tabla No 3 se presentan las características índices y geomecánicas de los materiales recomendados, los cuales deben ser verificados en Obra.

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Zona de aplicación en el terraplén		corona núcleo cimientto	corona núcleo cimientto	núcleo cimientto
Tamaño máximo	E-123	75 mm	100 mm	150 mm
Porcentaje que pasa el tamiz de 2mm (No. 10)	E-123	≤ 80% en peso	≤ 80% en peso	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No.200)	E-123	≤ 25% en peso	≤ 35% en peso	≤ 35% en peso
Contenido de materia orgánica	E-121	0%	≤ 1%	≤ 2%
Límite líquido	E-125	≤ 30%	≤ 40%	≤ 40%
Índice plástico	E-126	≤ 10%	≤ 15%	-
C.B.R. de laboratorio (Nota 1)	E-148	≥ 10%	≥ 5%	≥ 3%
Expansión en prueba C.B.R.	E-148	0%	≤ 2%	≤ 2%
Índice de colapso (Nota 2)	E-157	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%
Contenido de sales solubles	E-158	≤ 0.2%	≤ 0.2%	-

Tabla No 3: Propiedades índice de los materiales seleccionados para reemplazos

6.2.3 Deflexión admisible.

Con base en los valores de tránsito se calculan las deflexiones admisibles según la metodología del Instituto del Asfalto.

$$\text{Deflexión admisible} = 25.64 \times N^{-0.2383} \text{ (mm/100)}$$

Para el tránsito obtenido de $N = 500.000$, la deflexión admisible es de **112 mm/100**

El método del IA (Instituto del Asfalto), utiliza el valor del módulo resiliente de la subrasante, que se correlaciona a partir del valor de CBR:

$$MR = 100 \times CBR \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

$$MR = 300 \text{ kg/cm}^2$$

6.2.4 Resumen Variables de diseño.

Las variables de diseño para la estructura de pavimento son las siguientes:

- | | |
|---|------------------------|
| • Período de diseño: | 10 años |
| • CBR de diseño: | 3% |
| • Módulo dinámico de elasticidad (módulo resiliente): | 300 kg/cm ² |
| • Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton "N": | 500.000 |
| • Espesor integral de Asfalto | 30.0 |

6.3 DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE

En la tabla No 3 se presenta los espesores del pavimento flexible obtenidos del análisis. Las alternativas son estructuralmente equivalentes. Todos los espesores están dados en centímetros.

**ESPEORES DE LAS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO (cm)**

ALTERNATIVA	CA	B.G	SB.G	TOTAL
ALTERNATIVA 1	10.0	55.0	-	65.0
ALTERNATIVA 2	10.0	30.0	30.0	70.0

Dónde:

CA: Concreto asfáltico MDC 2

BG: Base granular triturada

BG: Sub Base granular

Entre la capa de forma (Reemplazo en material seleccionado) y la subrasante se debe colocará un geotextil tejido que cumpla funciones de separación entre la subrasante y la estructura del pavimento.

Los terraplenes que sea necesario conformar de acuerdo con el diseño geométrico de las vías se deben realizar con materiales adecuados, para ello se recomienda utilizar materiales definidos como **Materiales adecuados en la tabla No 3.**

La fundación de los terraplenes se debe conformar adecuadamente, retirando las capas de materiales inadecuados (capa vegetal y materia orgánica), dejando superficies planas y horizontales. El terraplén se conformará en capas no mayores de 25 centímetros que se colocarán compactados hasta alcanzar densidades secas equivalentes al 95% de la densidad seca máxima en el respectivo Ensayo de Próctor Modificado.

6.4 MATERIALES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Los materiales y procesos constructivos utilizados en la conformación de los pavimentos estarán de acuerdo con las especificaciones del INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS), para este tipo de trabajos.

Subrasante: Teniendo en cuenta los suelos existentes y las cotas de rasante del proyecto, se hace necesario hacer un mejoramiento de la subrasante en material seleccionado de acuerdo con el Artículo No 220 -2007 del INVIAS. El material de reemplazo deberá compactarse a una densidad seca equivalente al 95% de la densidad seca máxima del Próctor Modificado, en capas de mínimo 25 cm de espesor.

Entre la subrasante y la arenilla deberá colocarse un geotextil del tipo tejido que cumpla con funciones de separación, con una resistencia a la tensión mínima de 1100 N.

Los reemplazos se harán en aquellas zonas donde la subrasante corresponda a depósitos de arcilla plástica, zonas con capa vegetal, llenos orgánicos, basuras o cualquier otro material considerado como inadecuado por la interventoría.

Carpeta Asfáltica: La carpeta asfáltica se fabricará con mezcla asfáltica procesada en planta y en caliente MDC 2 y se colocará sobre la base asfáltica luego de colocar un adecuado riego de liga, ó sobre la base granular luego de una correcta imprimación.

Base Granular: Corresponde a los materiales definidos y especificados en las normas para la construcción de pavimentos estos materiales se colocarán en capas no mayores de 15 centímetros compactados hasta alcanzar densidades secas equivalentes al 100% de la densidad seca máxima, obtenida en un ensayo de Próctor Modificado.

Base Asfáltica: La base asfáltica se conformará con mezcla asfáltica procesada en planta Mezcla y caliente MAC-1 y se colocará sobre la base granular luego de una correcta imprimación.

6.5 DRENAJE Y SUBDRENAJE.

La vía se proveerá de un sistema de drenaje adecuado conformado por el “bombeo” o pendiente transversal de al menos 2.0% descendente del eje hacia los bordes de vía, con el fin de evacuar las aguas de escorrentía producto de la precipitación pluvial hacia las cunetas. Las aguas captadas por las cunetas se dispondrán a las alcantarillas mediante sumideros.

6.5.1 Subdrenajes y Filtros.

Si durante los movimientos de tierra para la conformación de la banca vial, aparecen afloramientos o surgencias, dadas las características de la zona, se recomienda la construcción de un sistema de filtros en aquellas zonas donde se construyan pavimentos nuevos, los filtros se conformarán con una sección de 0.40 x 0.80 m² envueltos en tela geotextil del tipo no tejido y se proveerán de tubería flexible perforada de al menos 4 pulgadas de diámetro.

Los filtros se ubicarán sobre ambos costados de la vía y su excavación será sobre la subrasante de la vía antes de la colocación de las capas de base, Subbase o los reemplazos proyectados.

Las aguas captadas por los filtros se dispondrán finalmente a la red local de alcantarillado de aguas lluvias y se entregarán a alguna de las corrientes de agua más cercanas.

En zonas donde se presenten surgencias de aguas y afloramientos del nivel freático, el sistema de filtro recomendado tendrá una disposición tipo “espina de pescado”, y será localizado en planta tentativamente como se muestra en el

esquema anexo. El filtro tipo “espina de pescado” consiste en una línea principal y líneas secundarias que captan las aguas y las conducen a la línea principal. Finalmente las aguas captadas por el filtro y cuneta se conducirán hacia el sistema de alcantarillado de aguas lluvias existente en la zona.

La línea principal del filtro tendrá una sección transversal de $0.70 \times 0.40 \text{ m}^2$ (bxh) con pendiente mínima del 0.5%, conformado por material granular con curva granulométricas de 3/4” a 4”, envuelto en un geotextil no tejido TIPO NT 2000 ó equivalente. En la parte inferior del filtro se debe instalar una tubería perforada flexible de 4” de diámetro según esquema que se adjunta.

Las líneas secundarias tendrán una pendiente del 1% con iguales características (sección transversal, tipo de geotextil y tubería) a las dadas para el ramal principal, y una separación entre ellas de 15m aproximadamente.

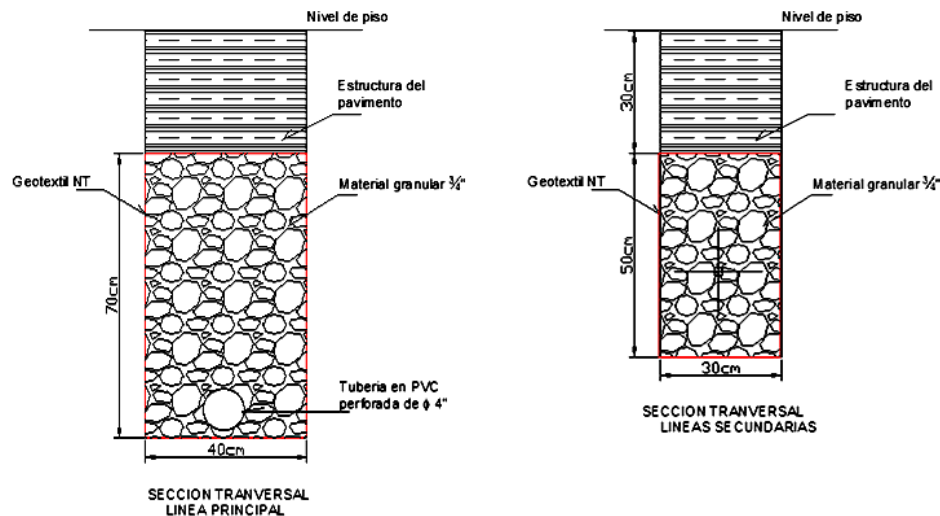


Figura 4. Detalle filtro

Se recomienda además la construcción de la vía con bombeo del 2.0% descendente de eje hacia las cunetas ubicadas a ambos bordes de la vía.

Una vez se construya el filtro y se logre la evacuación de las aguas de infiltración y se verifique que la subrasante se encuentre con un contenido de humedad cercano a la humedad óptima del ensayo Próctor modificado se procederá a colocar el geotextil de separación tejido T-2100 y posteriormente la conformación de la estructura del pavimento (ver detalle)

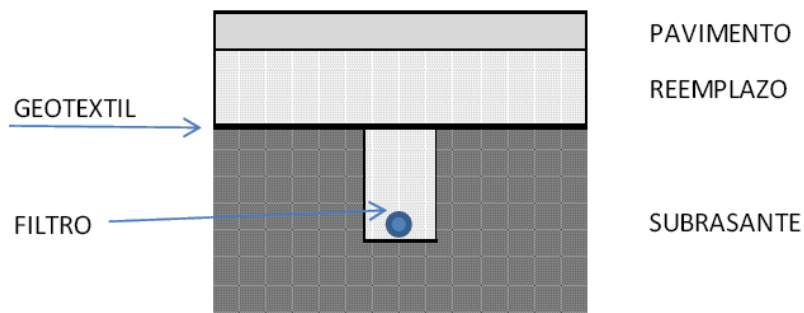


Figura 5. Disposición del filtro

6.6 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS POR MÉTODOS RACIONALES.

Para evaluar los esfuerzos y deformaciones en las estructuras diseñadas se empleó el método racional como alternativa de diseño mediante la utilización del programa WINDEPAV de la Universidad del Cauca, el cual modela la sección estructural del pavimento mediante un sistema multicapa, analiza la estructura para determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos máximos que se pueden producir y compara estos valores con los admisibles para cada material.

Se utilizaron relaciones de Poisson de 0.30 para las capas asfálticas, de 0.35 para los materiales granulares, incluyendo la subrasante mejorada con material seleccionado; adicionalmente se han tenido en cuenta los siguientes parámetros:

Transito: El valor de N (Número de ejes acumulados de 8.2 ton en el carril de diseño durante el período de diseño). Ver numeral 6.2.1

Características de las mezclas asfálticas:

Determinación de la temperatura de la mezcla (T_{mix}): A partir de la temperatura media anual ponderada del aire (W_{MATT}) del sector en estudio (24°C), se obtiene que la temperatura de la mezcla (T_{mix}) es de 30°C

- Penetración, 25°C = 58
- Punto de reblandecimiento: = 50.8°C

Volúmenes de asfalto y agregado en la mezcla:

- Asfalto (V_b) = 12.7 %
- Agregado (V_g) = 85%

Módulo dinámico del asfalto: A partir del monograma de Van Der Poel para el cálculo del módulo dinámico para frecuencias de 0.02 segundos se obtiene un módulo dinámico de $5.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Módulo dinámico de la mezcla: se obtiene a partir del módulo dinámico del asfalto y de la composición volumétrica de las mezclas disponibles en el medio, obteniendo un módulo dinámico de la mezcla de $2.1 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. ó 21000 kg/cm^2 . Para pavimentos nuevos.

Capas Granulares: Para las capas granulares se utilizaron valores del módulo dinámico de 4.000 kg/cm² para las bases granulares, 1.500 kg/cm² para llenos y subrasantes mejoradas con material granular del tipo “arenilla”.

Parámetros admisibles:

El programa WINDEPAV fue utilizado para calcular esfuerzos y deformaciones en las distintas capas de las alternativas propuestas. Este programa calcula los valores de deformación y tracción en cada capa y los compara con los admisibles para la tracción en la fibra inferior de la capa de refuerzo y el ahuellamiento en la subrasante.

El programa arroja valores de deflexión para cada estructura analizada las cuales deben ser comparadas contra la deflexión admisible.

- Deformación máxima en la carpeta asfáltica a tracción: se utilizó la expresión desarrollada por Shell

$$E_{traccion} = (0.586 \times Vb + 1.08) \times E^{0.36} \times (N)^{-0.2}$$

Donde

$E_{traccion}$: Deformación unitaria a tracción en la base inferior de la carpeta asfáltica.

Vb: Volumen de asfalto en la mezcla: 12.7%

E: Módulo dinámico de la mezcla: 21000 kg/cm²

N: Número de ejes equivalentes de 8.2 ton durante la vida el período de diseño.

- Deformación máxima admisible en la subrasante (Ahuellamiento): Fórmula del Instituto Norteamericano del Asfalto.

$$E_{subr} = (2.8 \times 10^{-2} \times N^{0.25}) \times 10^6$$

Donde E_{subr} : Deformación en la subrasante.

Las deflexiones admisibles fueron calculadas con el criterio del Instituto del Asfalto, en función del tránsito, arrojando un valor de: **1.01 mm/100**.

Se hizo el análisis multi capa para las alternativas que se obtuvieron con la metodología del IA (Tabla No 2), y los parámetros de deflexión admisible, el ahuellamiento y los esfuerzos por tracción cumplen satisfactoriamente:

Alternativa 1.

ALTERNATIVA	CA	B.G	SB.G	TOTAL
ALTERNATIVA 1	10.0	30.0	30.0	70.0

Archivo									
Título del problema: Kimberly Clarc					Número de capas: 4		NESE: 500,000		
Eje de carga			Posición del valor máximo para una carga				Funciones de transferencia		
Radio de las ruedas (cm): 10.80			A Bajo una rueda simple				Agrietamiento		
Distancia entre los centros de las ruedas (cm): 32.40			B Bajo una de las ruedas de la carga				Ahuellamiento		
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²): 5.60			C Al centro de la carga				K1: 2.830E-06	K3: 5.500E+15	
							K2: 3.206	K4: 3.929	
Estructura, respuestas estructurales y comportamiento									
No.	E (kg/cm²)	v	Z (cm)	st (kg/cm²)	sz (kg/cm²)	et (10⁻⁶)	Tensión: NF / FDF	ez (10⁻⁶)	Compresión: NR / FDR
1	21,000.04	0.30	0.00	10.91 B	5.60 A	301 B		-121 C	
Ligada			10.00	-4.58 B	2.48 B	-201 B	2.013E+006 0.25	242 A	
2	4,000.35	0.33	10.00	0.10 B	2.48 B	-201 B		588 B	
No Ligada			40.00	-1.63 C	0.38 C	-322 C		349 C	
3	2,500.34	0.33	40.00	0.71 C	0.38 C	145 C		-29 C	
No Ligada			70.00	-0.57 C	0.16 C	-180 C		209 C	
4	299.80	0.35	70.00	0.14 C	0.16 C	114 C		218 C	3.569E+006 0.14
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm): 81.79									
Radio de curvatura (m): 172.44									
Radio x Deflexión (m x mm/100): 14,103.48									
<input type="button" value="Exportar resultados"/>									
<input type="button" value="Aceptar"/>									

- Deflexión: 81.8 < Deflexión admisible 112mm/100 o.k
- Tensión NF/FDF: 0.25 Cumple
- Compresión NR/FDR: 0.14 Cumple

7. LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones consignadas en este informe se basan en los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio y en la experiencia de los profesionales que participaron en los estudios.

Si durante las etapas de diseño y construcción se encuentran condiciones del subsuelo diferentes a las descritas como típicas se dará aviso oportuno a TECNISUELOS LTDA, para complementar las conclusiones y recomendaciones.

Durante la ejecución del estudio no se investigó la localización ni el estado de las redes de servicios públicos que pudieran existir en el trazado.

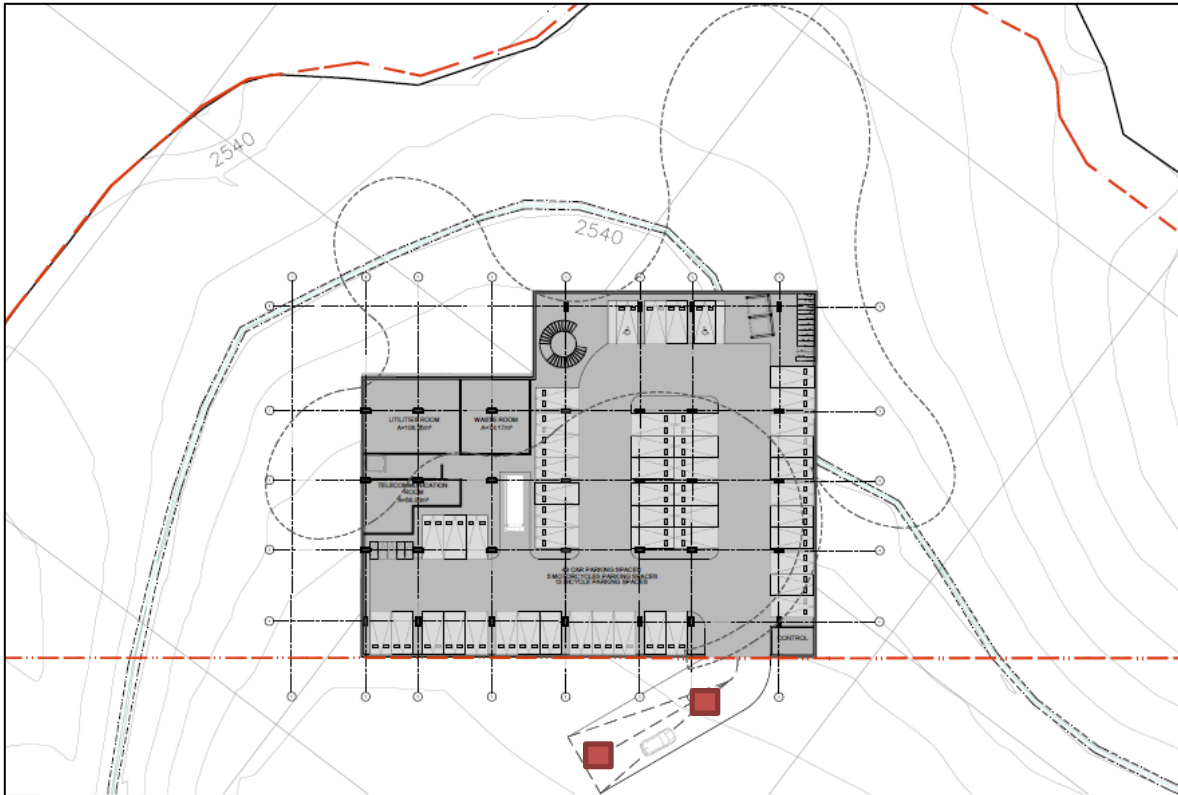
Los diseños de pavimento flexible se realizaron de acuerdo a las investigaciones del suelo ubicadas en plano de diseño entregado por el contratante.

Se recomienda que una copia del informe de suelos permanezca en la obra con el fin de agilizar las consultas del caso.


LUIS GUILLERMO HINCAPIÉ URIBE


Gerente

ANEXO 1: UBICACIÓN DE SONDEOS



ANEXO 2: REGISTROS DE EXPLORACION DEL SUBSUELO

				AIA S.A. ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL EDIFICIO KIMBERLY EN EL PARQUE TECNOLÓGICO MANANTIALES				Apique No: A-1		Ingeniero: CESAR		GRAFICO No.1 INFORME 104/2012																			
								Localización: Las Palmas		Revisó: L.G.H																					
								Fecha: 29 de noviembre de 2012		Operador: JHONATHAN																					
								Equipo: Pico y pala.																							
EXPLORACIÓN DE CAMPO										ENSAYOS DE LABORATORIO																					
Profundidad	Cota	Muestra	Tipo	Nivel Freático		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Humedad Natural	Peso Unitario Suelo Seco	Compresión Simple	Límite Líquido	Índice Plástico	Clasificación AASHTO	Clasificación U.S.C	CBR	Índice de Consistencia	Índice de Grupo	GRANULOMETRÍA														
																	PORCENTAJE MAS FINO POR PESO														
																	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200						
m.	m.	No.					%	Kg/m3	Kg/cm2	%	%	Grupo	Grupo	%	%																
0.10				NO SE ENCONTRÓ		Capa vegetal (e = 0.3m)																									
0.20																															
0.30																															
0.40						Material de textura limo arcillosa color gris, poroso y poco compacto, humedad media. (e= 0.15m)																									
0.50																															
0.60		M-1	CBR				25	1438							10.2																
0.70																															
0.80																															
0.90																															
1.00		M-2	BOLSA				35			56	5	A-5	MH		4.2	10										100	96	87			
1.10						Material de textura limo arcillosa color gris amarillento, muy compacto, humedad media.																									
1.20																															
1.30																															
1.40																															
1.50																															
FIN DEL APIQUE 1.50m.																															

		AIA S.A. ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL EDIFICIO KIMBERLY EN EL PARQUE TECNOLOGICO MANANTIALES										Apique No: A-2		Ingeniero: CESAR		GRAFICO No.2 INFORME 104/2012																		
												Localización:		Revisó: L.G.H																				
												Fecha: 29 de noviembre de 2012																						
												Equipo: Pico y pala.		Operador: JHONATHAN																				
EXPLORACIÓN DE CAMPO												ENSAYOS DE LABORATORIO																						
Profundidad	Cota	Muestra	Tipo	Nivel Freático		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Humedad Natural	Peso Unitario Suelo Seco	Compresión Simple	Limite Liquido	Índice Plástico	Clasificación AASHTO	Clasificación U.S.C	CBR	Índice de Consistencia	Índice de Grupo	GRANULOMETRÍA																	
																	PORCENTAJE MAS FINO POR PESO																	
																	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200									
m.	m.	No.					%	Kg/m3	Kg/cm2	%	%	Grupo	Grupo	%	%																			
0.10						Capa vegetal (e = 0.8m)																												
0.20																																		
0.30																																		
0.40																																		
0.50																																		
0.60																																		
0.70																																		
0.80																																		
0.90		M-1	CBR	NO SE ENCONTRÓ			31	1296							10																			
1.00		M-2	BOLSA				48			85	61	A-7-5	MH		0.6	20							100	94	93	91	82							
1.10																																		
1.20																																		
1.30																																		
1.40																																		
1.50																																		
						FIN DEL APIQUE 1.50m.																												

ANEXO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO



ENSAYO PENETRACIÓN CON CONO DINÁMICO

OBRA:

CLIENTE:

INFORME:

FECHA:

APIQUE:

A-1

LOCALIZACIÓN:

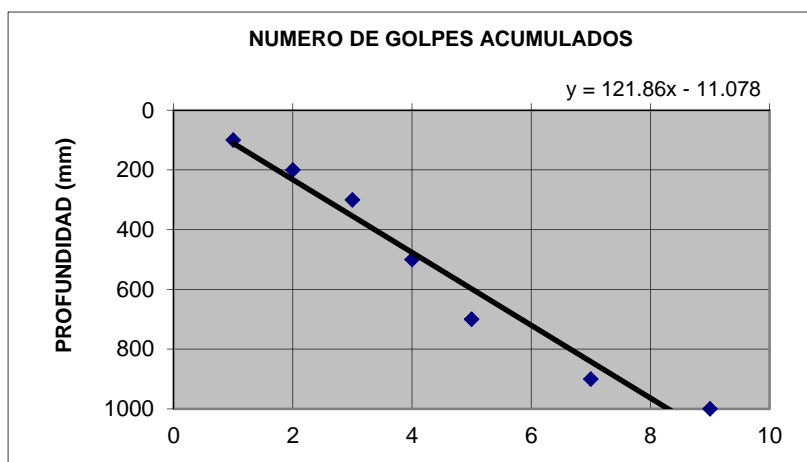
DESCRIPCION:

PROFUNDIDAD:

0.5 m.

PROFUNDIDAD (m)	GOLPES
0.10	1
0.20	1
0.30	1
0.40	
0.50	1
0.60	
0.70	1
0.80	
0.90	2
1.00	2

CBR: (%): 0.7



APIQUE:

A-6

LOCALIZACIÓN:

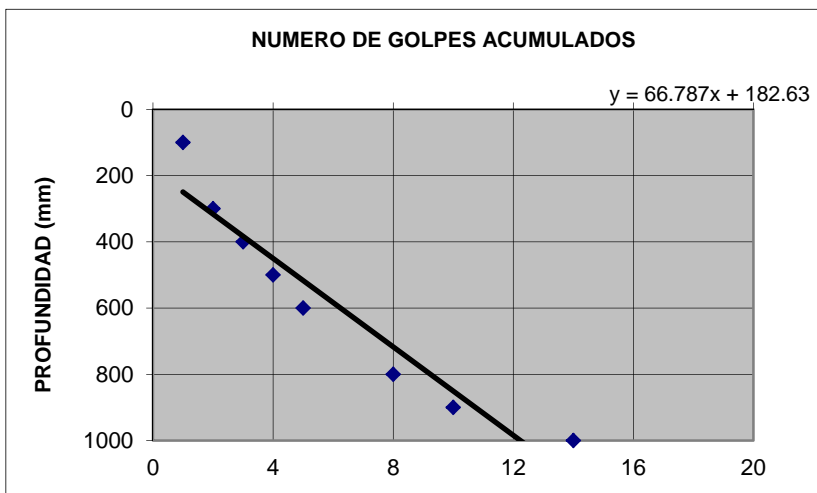
DESCRIPCION:


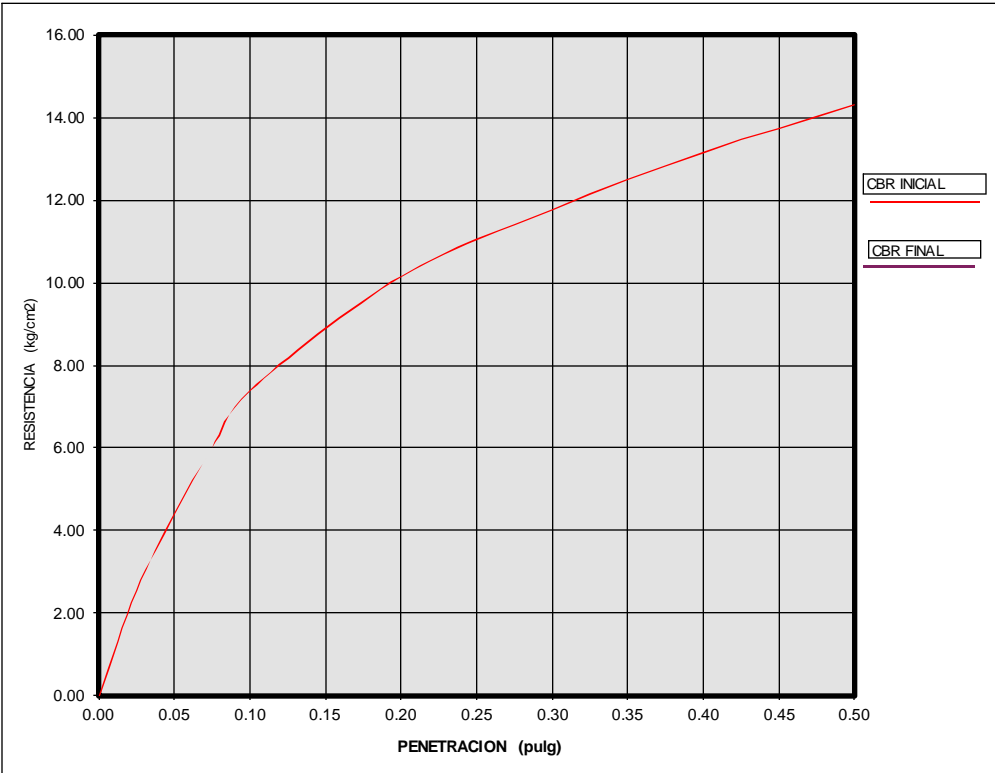
PROFUNDIDAD:


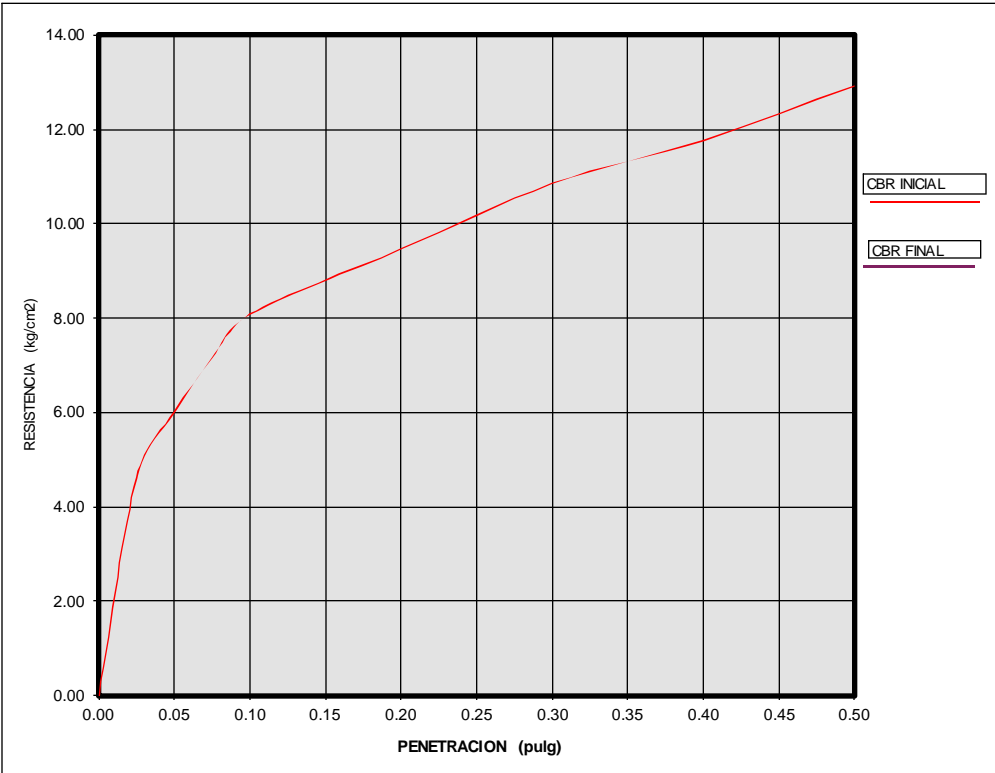
0.5 m.

PROFUNDIDAD (m)	GOLPES
0.10	1
0.20	
0.30	1
0.40	1
0.50	1
0.60	1
0.70	
0.80	3
0.90	2
1.00	4

CBR: (%): 1.6



	AIA S.A.	GRAFICO																										
	ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS INALTERADAS	13																										
OBRA: VÍA DE ACCESO KIMBERLY CLARK INNOVACION GLOBAL LTDA.																												
DESCRIPCION:																												
LOCALIZACION:																												
APIQUE:	A-2	MUESTRA: M-1 PROF.: 1.0m																										
		<table><tr><td colspan="2">CONDICIONES INICIALES</td></tr><tr><td>C.B.R. 0,1 (%) =</td><td>10.5</td></tr><tr><td>C.B.R. 0,2 (%) =</td><td>9.6</td></tr><tr><td>C.B.R (%) =</td><td>10.5</td></tr><tr><td>DENSIDAD SECA (Kg / m3) =</td><td></td></tr><tr><td>HUMEDAD (%) =</td><td>31.2</td></tr><tr><td colspan="2">CONDICIONES FINALES</td></tr><tr><td>C.B.R. 0,1 (%) =</td><td>#¡REF!</td></tr><tr><td>C.B.R. 0,2 (%) =</td><td>#¡REF!</td></tr><tr><td>C.B.R (%) =</td><td>#¡REF!</td></tr><tr><td>DENSIDAD SECA (Kg / m3) =</td><td></td></tr><tr><td>HUMEDAD (%) =</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">C.B.R (%) = 10.5</td></tr></table>	CONDICIONES INICIALES		C.B.R. 0,1 (%) =	10.5	C.B.R. 0,2 (%) =	9.6	C.B.R (%) =	10.5	DENSIDAD SECA (Kg / m3) =		HUMEDAD (%) =	31.2	CONDICIONES FINALES		C.B.R. 0,1 (%) =	#¡REF!	C.B.R. 0,2 (%) =	#¡REF!	C.B.R (%) =	#¡REF!	DENSIDAD SECA (Kg / m3) =		HUMEDAD (%) =		C.B.R (%) = 10.5	
CONDICIONES INICIALES																												
C.B.R. 0,1 (%) =	10.5																											
C.B.R. 0,2 (%) =	9.6																											
C.B.R (%) =	10.5																											
DENSIDAD SECA (Kg / m3) =																												
HUMEDAD (%) =	31.2																											
CONDICIONES FINALES																												
C.B.R. 0,1 (%) =	#¡REF!																											
C.B.R. 0,2 (%) =	#¡REF!																											
C.B.R (%) =	#¡REF!																											
DENSIDAD SECA (Kg / m3) =																												
HUMEDAD (%) =																												
C.B.R (%) = 10.5																												
<table><tr><td>Limite Liquido (%)</td><td></td><td colspan="2">PROCTOR</td></tr><tr><td>Indice Plastico (%)</td><td></td><td>Densidad seca</td><td>(kg/m3)</td></tr><tr><td>Clasificación Unificada</td><td></td><td>Humedad natural</td><td>(%)</td></tr><tr><td>Clasificación AASHTO</td><td></td><td>Gravedad Especifica</td><td></td></tr></table>			Limite Liquido (%)		PROCTOR		Indice Plastico (%)		Densidad seca	(kg/m3)	Clasificación Unificada		Humedad natural	(%)	Clasificación AASHTO		Gravedad Especifica											
Limite Liquido (%)		PROCTOR																										
Indice Plastico (%)		Densidad seca	(kg/m3)																									
Clasificación Unificada		Humedad natural	(%)																									
Clasificación AASHTO		Gravedad Especifica																										
		<table><tr><td>Fecha:</td><td>24/01/2013</td></tr><tr><td>Ejecutó:</td><td>GR</td></tr><tr><td>Calculó:</td><td>V.M.O</td></tr><tr><td>Revisó:</td><td>LGHU</td></tr></table>	Fecha:	24/01/2013	Ejecutó:	GR	Calculó:	V.M.O	Revisó:	LGHU																		
Fecha:	24/01/2013																											
Ejecutó:	GR																											
Calculó:	V.M.O																											
Revisó:	LGHU																											

	AIA S.A.	GRAFICO
	ENSAYO DE CBR SOBRE MUESTRAS INALTERADAS	1
OBRA: VÍA DE ACCESO KIMBERLY CLARK INNOVACION GLOBAL LTDA.		
DESCRIPCION:		
LOCALIZACION:		
APIQUE:	A-1	MUESTRA: M-1 PROF.: 1.0m
		<div>CONDICIONES INICIALES</div> <div>C.B.R. 0,1 (%) = 11.5</div> <div>C.B.R. 0,2 (%) = 9.0</div> <div>C.B.R (%) = 11.5</div> <div>DENSIDAD SECA (Kg / m3) =</div> <div>HUMEDAD (%) = 25.4</div> <div>CONDICIONES FINALES</div> <div>C.B.R. 0,1 (%) =</div> <div>C.B.R. 0,2 (%) =</div> <div>C.B.R (%) =</div> <div>DENSIDAD SECA (Kg / m3) =</div> <div>HUMEDAD (%) =</div> <div>C.B.R (%) = 11.5</div>
<div>Limite Liquido (%) PROCTOR</div> <div>Indice Plastico (%) Densidad seca (kg/m3)</div> <div>Clasificación Unificada Humedad natural (%)</div> <div>Clasificación AASHTO Gravedad Especifica</div>		
		<div>Fecha: 24/01/2013</div> <div>Ejecutó: GR</div> <div>Calculó: V.M.O</div> <div>Revisó: LGHU</div>