

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

Los suelos que han sufrido un deterioro en la subrasante debido a que el material es de roca meteorizada o comúnmente llamadas lutitas, presentan condiciones difíciles para cimentar cualquier obra de ingeniería civil.

La lutitas son rocas consolidadas que están formadas por diferentes materiales, sus partículas son microscópicas y una vez interactuado con el agua, pierde su dureza y resistencia, fragmentándose y perdiendo sus características iniciales, una subrasante de material lutitas que es afectada por el agua puede ocasionar muchos problemas, entre los cuales tenemos:

En viviendas livianas, que transmiten bajas cargas de contacto al suelo de apoyo, se presentan daños notables en las paredes, pisos y, en algunos casos, en los elementos estructurales que las componen.

En las carreteras de subrasantes de material lutita que ha sido afectada por el agua se observan grietas longitudinales, paralelas a sus ejes centrales y alabeamientos de las superficies de los pavimentos.

Esta patología se origina por los movimientos diferenciales (hinchamientos y asentamientos), inducidos por la interacción suelo-estructura cuando cambian las condiciones de humedad en el subsuelo de apoyo o subrasante de roca meteorizada o lutitas.

Existen muchos factores que intervienen en la magnitud de los hinchamientos y asentamientos, entre los cuales se pueden mencionar: el espesor del estrato de rocas meteorizadas, el clima, la profundidad del nivel freático, las condiciones de esfuerzo en el suelo, la permeabilidad y otras influencias adicionales como la presencia de árboles.

En lugares donde frecuentemente la temperatura ambiente está por debajo de cero grados y permanece así por varios días, las capas superficiales del terreno se congelan por la humedad del suelo.

Este fenómeno se agrava mientras más se prolonga la helada y produce un levantamiento del terreno, una helada será siempre peligrosa cuando forme cristales de hielo por debajo de la estructura, pues puede producir primero un levantamiento y posteriormente al deshielo un asentamiento de la misma.

Estos problemas son frecuentes en lugares de intenso frío, sin embargo pueden prevenirse cambiando los materiales de las capas superficiales del suelo, sensibles a las heladas, por otros que no lo sean, como la piedra triturada gruesa o la grava

Las razones que motivan a realizar el siguiente trabajo es estudiar el comportamiento de las subrasantes que han sufrido un proceso de meteorización y de qué manera afectan a la carpeta estructural ocasionando graves daños en la superficie de los pavimentos.

La estabilización o mejoramiento de las propiedades mecánicas de subrasantes es un problema importante que debe atenderse adecuadamente, pues es el cimiento para la estructura de una vía y dependerá de la capacidad portante que se logre para que las capas que conformen una vía tengan un adecuado espesor, debido a que las subrasantes pueden sufrir cambios en sus características mecánicas a lo largo del tiempo y por factores externos, es necesario realizar el estudio de subrasantes de rocas meteorizadas y su influencia sobre el paquete estructural.

Un incentivo para la elaboración del siguiente trabajo Análisis de subrasantes de rocas meteorizadas y su efecto en el diseño del Paquete Estructural, es que no se ha estudiado ese tipo de problemas en la ciudad de Tarija , y la investigación e información sobre el tema es muy escasa, y con el trabajo se ampliara la información más a detalle sobre el análisis de subrasantes meteorizadas, ya que se aportara en el

avance del conocimiento científico debido a que este problema es significativo en la red vial.

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, las personas quieren carreteras más durables, con mayor capacidad de resistencia y menos mantenimiento, siendo una de las causas del deterioro de la carpeta asfáltica, es la meteorización de la subrasante que refleja sus fallas en la superficie de los pavimentos, donde las consecuencias sería la aparición de diferentes tipos de fallas y deterioro paulatino del pavimento de las carreteras, es por eso que una vez concluido este trabajo, el mismo tendrá una respuesta y solución a los problemas ya mencionados.

Los beneficios que se logra rescatar de esta investigación, es que la misma consigue aportar a otro tipo de investigaciones similares o puede ser la raíz para realizar una investigación más extensa y de conocimientos más amplios y brindar beneficios a la población.

Es por esas razones que se quiere realizar un análisis de este tipo de subrasantes y sus posibles soluciones para evitar y prevenir fallas en los pavimentos o fallas debido a que las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base y/o sub-base, y aún más inestable, cuando estas subrasantes se meteorizan y no dan soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación.

Las respuestas estructurales de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) son influidas significativamente por la subrasante.

Un gran porcentaje de las deflexiones en la superficie de un pavimento se puede atribuir a la subrasante.

Las propiedades requeridas de la subrasante incluyen la resistencia, el drenaje, la fácil compactación, la conservación de la compactación, la estabilidad volumétrica.

Debido a que la subrasante es la base sobre la cual se va fundar el paquete estructural, esta debe cumplir todas las condiciones necesarias de estabilidad y resistencia para que no exista problemas cuando esta sea afectada por agentes climáticos y atmosféricos y sea sometido a la transitabilidad de vehículos.

Uno de los problemas que afecta el paquete estructural, es debido a la inestabilidad de la subrasante, esto ocurre cuando la subrasante se ve afectada por la lluvia, el viento, las heladas y los extremos cambios de temperatura, que hacen que la misma sufra un proceso de meteorización o desintegración de sus partículas o bloque de suelo, cambiando de esa manera sus características y resistencia y que al mismo tiempo se refleja sobre la carpeta asfáltica.

## **1.2. DISEÑO TEÓRICO**

### **1.2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Frecuentemente, las deficiencias en la construcción de carreteras debidas a problemas de la subrasante meteorizada no se detectan por encontrarse “ocultas” en el pavimento final, sin embargo pueden aparecer en el pavimento después de la exposición al tráfico y al medio ambiente.

Los suelos son altamente variables y sus propiedades mecánicas cambian a lo largo del tiempo, esto ocurre cuando existe cambios en la humedad del suelo, en la densidad o se establezcan influencias ambientales, es decir que las propiedades mecánicas de la subrasante cambian con el tiempo y por los factores climáticos y atmosféricos.

Los factores climáticos como las temperaturas extremas y los agentes atmosféricos como lluvias, heladas y granizadas, afectan a la subrasante, produciendo inestabilidad y cambios de volumen como la expansión y contracción y al mismo tiempo las fallas

de la subrasante meteorizada se refleja en la superficie del pavimento de la carretera provocando grandes daños en la estructura.

Esta inestabilidad o cambios de las características de la subrasante, generalmente se manifiesta en suelos naturales o suelos que no son estabilizados y no dan soporte adecuado a las capas subsiguientes del paquete estructural.

Las subrasantes son el elemento esencial para la estructura del pavimento porque sobre ellas está fundada sus características y propiedades que influyen sustancialmente en el comportamiento del pavimento, por esa razón es importante tener un conocimiento exacto sobre sus particularidades.

En el ámbito de los proyectos de carreteras, la variabilidad de los materiales que se puede encontrar como subrasante después del movimiento de tierras es extensa, pueden variar desde los suelos más pésimos como margas, arcillas orgánicas, etc, hasta los suelos excelentes como gravas con arenas y arcillas de alta resistencia.

Esa posibilidad de variación de los materiales de subrasante en muchos casos pueden encontrarse con materiales no deseados, entre uno de ellos las lutitas (rocas meteorizadas) las mismas que con la presencia de agua cambian su comportamiento y generan cambios volumétricos importantes que pueden ser perjudiciales al pavimento incidiendo en su durabilidad.

La estabilización o mejoramiento de las propiedades mecánicas de subrasantes es un problema importante que debe atenderse adecuadamente, pues es el cimiento para la estructura de una vía y dependerá de la capacidad portante que se logre para que las capas que conformen una vía tengan un correcto diseño en el paquete estructural, debido a que las subrasantes pueden sufrir cambios en sus características mecánicas a lo largo del tiempo y por factores externos, es necesario realizar el estudio de subrasantes de rocas meteorizadas y su influencia sobre el paquete estructural.

El trabajo “Análisis de subrasantes de rocas meteorizadas y su efecto en el diseño del Paquete Estructural” es una investigación en la cual no se ha estudiado ese tipo de problemas en la ciudad de Tarija , y la investigación e información sobre el tema es muy escasa, y con el trabajo se ampliara la información más a detalle sobre el análisis de subrasantes meteorizadas, ya que se aportara en el avance del conocimiento investigativo debido a que este problema es significativo en la red vial.

### **1.2.1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Qué grado de afectación en el CBR, tiene la lutita cuando esta trabaja en forma saturada debido a los agentes externos causando serios riesgos en el paquete estructural??

### **1.2.2 OBJETIVOS**

#### **1.2.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Investigar el comportamiento de los materiales de subrasantes tipo lutitas (rocas meteorizadas) de manera que puestas en condiciones extremas de saturación, se pueda analizar la variación de sus características en el comportamiento físico-mecánico y su incidencia en el paquete estructural y sus posibles soluciones.

#### **1.2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Se investigara, examinara y analizara toda la parte bibliográfica en referencia sobre las rocas meteorizadas, paquete estructural, tipos de fallas sobre la capa de rodadura, y las subrasantes de rocas meteorizadas.
- Se determinara la ubicación del área de estudio para realizar la exploración y posteriormente la investigación del tramo Iscayachi- Final Copacabana.
- Realizar la caracterización de los materiales de la subrasante tipo lutita (roca meteorizada) de la zona de estudio.

- Se realizara los laboratorios necesarios tanto del material en condiciones naturales como en condiciones de saturación.
- Se investigara sobre la variación de las lutitas (roca meteorizada) ante agentes externos para diferentes estados de condición y se evaluara sus características físico-mecánicas para establecer el posible comportamiento.
- A partir de los resultados en condición extrema de las lutitas, se realizara en el cálculo del paquete estructural la incidencia de estas condicione.
- En función a la aplicación realizada se analizan los resultados y se establece las conclusiones y recomendaciones respectivas.
- Se planteara y propondrá soluciones para realizar el diseño del paquete estructural con problemas de subrasantes tipo lutitas.

### **1.2.3. HIPÓTESIS**

Si las condiciones de trabajabilidad de las lutitas que conforman una subrasante son adversas por el grado de saturación debido a los agentes climáticos a través del tiempo, entonces el CBR corresponde a disminuir su valor incidiendo en el paquete estructural.

### **1.2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES**

- Variable constante: grado de saturación
- Variable Independiente: como variable independiente se tomara el tiempo, ya que cada muestra de lutita será saturada por un tiempo diferente. (T1,T2,Tn).
- Variable Dependiente: como variable dependiente se tendrá la capacidad portante del CBR de la lutita por cada tiempo de saturación.

### **1.3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **1.3.1. UNIDADES DE ESTUDIO**

Las unidades de estudio son las siguientes

##### **1.3.1.1 UNIDAD DE ESTUDIO**

La unidad de estudio del presente trabajo son “El comportamiento de las Lutitas en Subrasantes”

##### **1.3.1.2 POBLACIÓN**

La población serán las subrasantes en el tramo de Iscayachi-Final Copacabana, ya que en este sector se encuentra el problema de subrasantes de rocas meteorizadas (lutitas).

##### **1.3.1.3 MUESTRA**

La muestra para realizar los ensayos de laboratorio se tomara de la población, se tomaran las muestras necesarias en diferentes progresivas del tramo en estudio

##### **1.3.1.4 MUESTREO**

El muestreo será del tipo no probabilístico debido a que el investigador usando sus propios criterios definirá la procedencia de sus muestras.

#### **1.3.2. MÉTODOS TÉCNICAS MEDIOS Y PROCEDIMIENTOS**

Los métodos, técnicas y medios que se usaran para la realización del presente trabajo son los siguientes

##### **1.3.2.1. MÉTODOS**

- ✚ Toda información y análisis del tema será investigado por el autor, teniendo como base la ingeniería de rocas y mecánica de suelos para desarrollar el marco teórico.
- ✚ Una vez que tenemos toda la información necesaria para realizar el marco teórico del proyecto, se visitara a la zona de análisis, donde se realizara una exploración visual a lo largo de todo el trayecto de la subrasante que se quiere estudiar.

- ✚ Se extraerá los datos necesarios de la zona del lugar, como ser: longitud del tramo en estudio, color de las rocas, bancos de materiales , características de la topografía, ancho de vía, y taludes, también se sacaran algunas fotografías del lugar.
- ✚ Se procederá a fijar los puntos estratégicos en diferentes progresivas de la vía para realizar la extracción de muestras, y posteriormente realizar los ensayos de laboratorio.
- ✚ Ya ubicados los puntos para la extracción de muestras, estas serán extraídas y colocadas en bolsas nilón para que no pierda sus características físicas.
- ✚ Estas bolsas nilón serán identificadas de la siguiente manera: muestra numero(A) en la progresiva (X).
- ✚ Una vez que se tienen las muestras numeradas e identificadas, se las transportara desde el lugar de origen y se realizara el análisis de suelos en los laboratorios de la carrera de ingeniería civil de la UAJMS.
- ✚ Con otra fracción de las muestras extraídas, se realizara la saturación de las mismas en diferentes periodos de tiempo.

Muestra 1	Tiempo de saturación	5 Días
Muestra 2	Tiempo de saturación	10 Días
Muestra 3	Tiempo de saturación	15 Días
Muestra 4	Tiempo de saturación	20 Días
Muestra 5	Tiempo de saturación	25 Días
Muestra 6	Tiempo de saturación	30 Días

- ✚ Una vez que la muestra se sature en el tiempo determinado, esta será analizada en el laboratorio de suelos de la UAJMS.
- ✚ Se analizara cada una de las muestras saturadas y se realizara comparaciones entre las mismas y con la muestra natural.
- ✚ Ya procesados y obtenidos los resultados de laboratorio se puede establecer las soluciones apropiadas para el problema.

### **1.3.2.2. TÉCNICAS**

**Las técnicas usadas son:**

- Observación
- Ensayos de laboratorio

### **1.3.2.3. MEDIOS**

**Para la extracción de muestras en el campo se necesitara los siguientes materiales**

- Picota
- Barreta
- Pala
- Bolsas nilón
- Marcador
- Otros

**Para efectuar el análisis de suelos**

Se realizará los ensayos en el laboratorio de suelos de la carrera de ingeniería civil de la UAJMS.

## **1.3.3.-PREPARACION PARA LA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LABORATORIO**

Se nombrara los materiales y equipos a usar para la realización de los ensayos de laboratorio, y su forma de operar.

### **1.3.3.1. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS**

Para la realización de los ensayos de laboratorio se necesitaran:

- Hornos
- Balanzas
- Juego de tamices
- Equipo de Casagrande
- Equipo de compactación
- Equipo de CBR

### **1.3.3.2. FORMA DE OPERAR**

Todos los ensayos serán realizados de acuerdo a los procedimientos establecidos en cada ensayo.

### **ENSAYO: GRANULOMETRIA**

#### **Objetivo:**

- Determinar experimentalmente la distribución cuantitativa del tamaño de las partículas de un suelo.
- Analizar su graduación en base a los coeficientes de uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc).

#### **Materiales:**

1. Juego de tamices 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200,
2. Tapa y fondo.
3. Balanza de 0.1gr. de sensibilidad.
4. Mortero con su pisón.
5. Horno con temperatura constante de 100 – 110° C.
6. Taras.

## **ENSAYO : DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG**

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante del comportamiento diferente del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado, en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, sin resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en que el material es fácilmente moldeable; si el secado continua, el suelo llega a adquirir las características de un sólido pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerable.

### **Objetivos.**

- Determinar experimentalmente los diferentes límites de consistencia de un suelo.

## **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO**

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Standard, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

### **Equipo.**

1. Aparato de Arturo Casagrande, incluyendo la solera plana y el ranurador.
2. Espátulas flexibles.
3. Cápsula de porcelana.
4. Tamiz No. 40.
6. Balanza con sensibilidad de 0.01gr.
7. Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.
8. Taras con su tapa

### **DETERMINACIÓN DE LIMITE PLASTICO (L.P.)**

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

#### **Equipo**

1. Vidrio esmerilado o papel absorbente.
2. Taras
3. Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
4. Horno con temperatura constante de 100 a 110° C.

### **ENSAYO DE COMPACTACIÓN “METODO PROCTOR ESTANDAR”**

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

#### **Objetivo.**

- Determinar el peso volumétrico seco máximo (gd máx) que pueda alcanzar un material, así como la humedad óptima (W ópt.) a que deberá hacerse la Compactación.
- El ensayo Proctor Standard está limitado a los suelos que pasen totalmente el tamiz No.4 o que como máximo tenga un retenido del 10% en ese tamiz, pero que pase dicho retenido totalmente por el tamiz de 3/8”.

#### **Equipo.**

1. Un molde de compactación. Constituido por un cilindro metálico de 4” de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ “ de altura y de 4” de diámetro interior.
2. Un pisón metálico (martillo proctor ) de 5.5 lbs. de peso (2.5 Kgs.) de 5 cm (2”) de diámetro .

3. Una guía metálica de forma tubular de 35 cm de largo aproximadamente.
4. Una regla metálica con arista cortante de 25 cm de largo.
5. Una balanza de 1.0 gr. de sensibilidad.
6. Una balanza de 0.01 gr., de sensibilidad.
7. Un horno que mantenga una temperatura constante entre 100 – 110° C.
8. Charolas metálicas.
9. Probetas graduadas de 500 cm<sup>3</sup>.
10. Extractor de muestras.
11. Tara para determinar humedad.

### **ENSAYO DE VALOR RELATIVO SOPORTE ó RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

El C.B.R. se determina como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de 19.35 cm<sup>2</sup> (3 pulg<sup>2</sup>) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg/min) y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración. carga unitaria del ensayo.

#### **Objetivo**

- Determinar experimentalmente el valor soporte de California para diferentes muestras de suelos.

#### **Equipo:**

1. Molde metálico cilíndrico de compactación de 15.24 cm de diámetro interior y 17.78 cm de altura interior. Debe tener un collarín de extensión metálica de 5.08 cm de altura y una placa base metálica de 9.5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor a los 1.5 mm.
2. Disco espaciador (fondo falso) de 15.1 cm de diámetro y 6.14 cm de altura.
3. Martillo de compactación Proctor Estándar o Modificado.
4. Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01mm.

5. Pesas para sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas ranuradas con un peso de 2.27 kg cada una y 14.9 cm de diámetro, con una perforación central de 5.04 cm de diámetro.
6. Máquina C.B.R., equipada con pistón de penetración (diámetro de 4.953 cm, con sección transversal de 19.4 cm<sup>2</sup>) y capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/minutos y con anillo de carga de 50kN y un deformímetro de 0.02mm.
7. Papel filtro circular.
8. Horno con temperatura constante de 110±5°C
9. Herramientas y accesorios, recipiente llenos de agua y tamices de ¾ y No. 4.

### **1.3.3.3. CONSIGNAS O LIMITACIONES**

Se tiene como limitaciones algunos ensayos especiales que podrían realizarse a la muestra de lutita, sin embargo no se dispone de equipos de laboratorio por lo que será una limitación en la investigación ya que solamente se investigará en la medida de disponibilidad de equipo.

### **1.3.4. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL TRABAJO**

En este punto se explica el alcance global del proyecto y el alcance al que se quiere llegar por capítulos

El trabajo está basado en el paradigma crítico propositivo, comprometido con la tarea de investigar las maneras de mejorar las propiedades del suelo de la subrasante de rocas meteorizadas (lutitas) y dar una posible solución, realizando una investigación bibliográfica y ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos, para compilar información y obtener alternativas de mejoramiento de las subrasantes de dichos materiales para cuando se ejecuten, ganar en serviciabilidad y estabilidad. Existirá una menor afectación al medio ambiente ya que se trata de un mejoramiento de la zona.

El alcance de la investigación “ANÁLISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL” abarca lo siguiente:

- ✚ Obtener toda la información necesaria teórica sobre rocas meteorizadas, paquete estructural y subrasantes.
- ✚ Definir el ámbito de aplicación
- ✚ Realización de los laboratorios de suelos de las subrasantes meteorizadas
- ✚ Análisis e interpretación de los resultados de laboratorio de suelos.
- ✚ Proporcionar una posible solución a los problemas de subrasantes de rocas meteorizadas.
- ✚ Dar a conocer las conclusiones y recomendaciones.

El alcance del presente proyecto de grado “ANÁLISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DE PAQUETE ESTRUCTURAL” se tiene como fin establecer soluciones apropiadas al problema basados en indicadores de las características de la subrasante.

## **CAPITULO I           INTRODUCCIÓN**

En este primer capítulo se pretende dar una breve introducción de antecedentes, y se describirá los objetivos que se quiere alcanzar con la realización del tema planteado.

También se plantea de manera clara el diseño teórico de este proyecto justificando la necesidad de realizar este estudio y buscando soluciones prácticas a dichos problemas.

## **CAPÍTULO II      MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se reunirá la información necesaria para este proyecto, por lo que se contara con la amplia bibliografía que se tiene sobre el tema de mecánica de rocas.

Se explicara detalladamente los conceptos fundamentales de subrasantes, y sus características y todos los factores que puedan causar el deterioro de la subrasante que es tema principal de estudio.

También se detallara los conceptos de meteorización y tipos de meteorización, y los agentes que causan la meteorización en las rocas.

El diseño estructural de un pavimento será bien detallado en sus componentes, se explicara los tipos de pavimento, y las funciones de las capas de los pavimentos.

## **CAPÍTULO III      APLICACIÓN PRÁCTICA**

Para este capítulo que es de aplicación netamente practica o de campo, Primeramente se realizara la delimitación del área de estudio, luego se debe seleccionar un tramo de subrasante para poder realizar la toma de muestras y efectuar todo el estudio de suelos correspondiente, recabar toda la información de la misma, y poder plantear alternativas de solución haciendo una comparación entre la subrasante de roca lutita de material natural y material de roca lutita alterado.

## **CAPÍTULO IV      CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para esta última parte se darán las soluciones y recomendaciones necesarias sobre este estudio de “ANÁLISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL” esperando que este trabajo aporte de manera fundamental a los profesionales que se dedican al diseño de carreteras y a la sociedad, ya que una optimización en el diseño del paquete

estructural, es una optimización de recursos económicos, además que se estaría dando mayor efectividad y confiabilidad en el diseño de vías.

#### **1.4. CRONOGRAMA**

El cronograma o periodo de tiempo en el que se realizara el trabajo será de la siguiente manera.

##### **CRONOGRAMA**

- **Reconocimiento del área de emplazamiento**

Responsable= Proponente                      duración= 1 semana

- **Recolección de información de la zona**

Responsable= Proponente                      duración=1 semana

- **Selección de muestras**

Responsable= Proponente                      duración= 2 semanas

- **Análisis de muestras de laboratorio**

Responsable= Proponente                      duración= 8 semanas

- **Trabajo de gabinete**

Responsable= Proponente                      duración= 2 semanas

- **Elaboración del informe en borrador**

Responsable= Proponente                      duración= 1 semana

- **Revisión del informe en borrador**

Responsable= Docente Guía                      duración= 1 semana



## CAPÍTULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE SUBRASANTES Y PAVIMENTOS

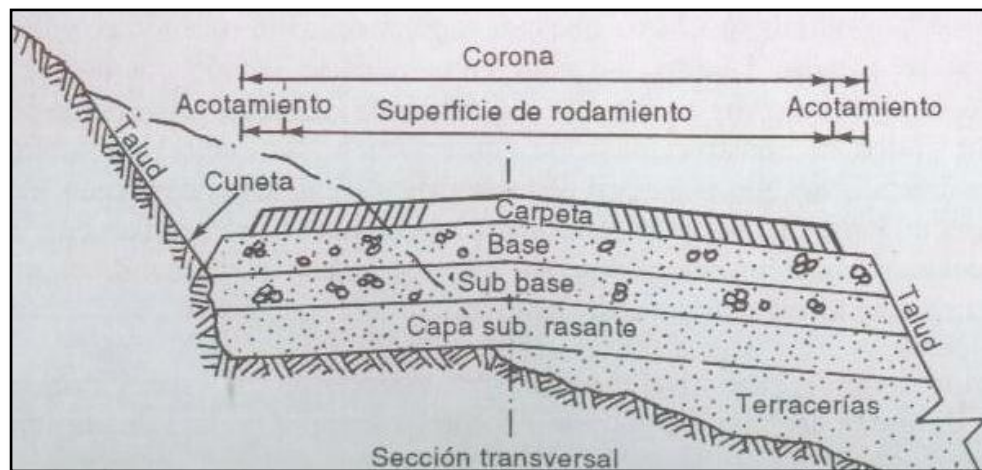
#### 2.1. ASPECTOS GENERALES DE LAS SUBRASANTES

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño

De la calidad de ésta depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen. Los cambios de volumen en un suelo expansivo, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste, por esta razón, al construir un pavimento hay que intentar al máximo controlar las variaciones volumétricas del mismo a causa de la humedad.

**FIGURA II-1** Paquete Estructural de Pavimento Flexible



Las respuestas estructurales de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) son influidas significativamente por la subrasante. Un gran porcentaje de las deflexiones en la superficie de un pavimento se puede atribuir a la subrasante.

### **2.1.1. PROPIEDADES DE LAS SUBRASANTES**

**Propiedades Físicas:** son propiedades relacionadas con el tipo de material a utilizar y las características constructivas de los mismos.

Las propiedades físicas de las subrasantes son las siguientes.

- ✚ Granulometría (propiedades iniciales de los suelos)
- ✚ Clasificación de los suelos
- ✚ Relación humedad densidad (Proctor)

**Propiedades Ingenieriles:** dan una estimación de la calidad de los materiales para las vías.

- ✚ Módulo Resiliente
- ✚ Módulo de Poisson
- ✚ Valor de soporte del suelo
- ✚ Módulo de reacción de subrasante (K).

### **2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBRASANTES**

Cada subrasante tiene sus propias características, pero lo que en realidad se busca es que la subrasante cumpla con los siguientes características básicas

- Ser estable ante los agente del intemperismo.
- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Tener textura apropiada
- Ser durable.
- Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.
- Ser económica (que no necesite estabilización)

### 2.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE

#### **Tipo de suelo y sus propiedades**

La mayoría de los tipos de suelos se analizan a partir de su clasificación en sistemas de uso general que se basan en la textura y la plasticidad, el tamaño y la distribución granulométrica de sus partículas, propiedades que tienen una influencia significativa en el comportamiento de los suelos bajo carga.

#### **Humedad y densidad.**

Influyen en la resistencia y en el comportamiento bajo carga repetida de los suelos de la subrasante. Durante la construcción, los suelos de subrasante pueden ser compactados a una densidad y humedad específicas, que permiten establecer valores de resistencia para el diseño del pavimento. Sin embargo, tanto el contenido de humedad como la densidad pueden cambiar durante la construcción o después de ella.

#### **Clima.**

El principal factor climático que afecta a las subrasantes, suele ser la precipitación pluvial, ya por su acción directa o por su elevación de las aguas freáticas. Frecuentemente el proyectista se ve obligado al diseño y construcción de estructuras adicionales de drenaje, aparte del drenaje normal que nunca podrá faltar en la obra vial.

Las heladas, en los climas rigurosos y en suelos susceptibles, pueden ser fuente de un gran número de problemas en las subrasantes.

#### **Tránsito.**

La subrasante debe absorber las sollicitaciones de las cargas de los vehículos, es por esa razón que nos interesa conocer la magnitud de esas cargas y las presiones de inflado de las llantas, así como su área de contacto, la frecuencia y número de repeticiones de las cargas y las velocidades de aplicación. Una subrasante blanda no soporta cargas pesadas y puede producir un fallo de la subrasante.

#### **2.1.4. MUESTREO Y ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE.**

**Localización del lugar de toma de muestras:** La localización del lugar de muestreo, debe seleccionarse mediante cuidadosas consideraciones de acuerdo con la naturaleza pedológica y geológica de los suelos de subrasante y con aspectos de la construcción del pavimento.

**Ensayos in-situ:** Incluyen las pruebas de CBR, carga directa en placa, veleta de corte, cono de penetración, penetración estándar y medición de presión. Los ensayos de placa y CBR se realizan regularmente en apiques; los demás pueden efectuarse en los núcleos obtenidos en las perforaciones. El CBR y el de carga directa normalmente se llevan a cabo cerca de la superficie de la subrasante; los demás pueden realizarse a profundidades mayores. Las muestras tomadas para contenido de humedad y densidad pueden obtenerse a partir de apiques o núcleos.

**Ensayos de laboratorio:** Los ensayos de laboratorio de CBR y del valor de la resistencia R, se realizan sobre muestras que normalmente se obtienen mediante apiques o en lugares adyacentes al pavimento y ocasionalmente en las fuentes de materiales utilizados en los rellenos. Otros procedimientos alternativos incluyen muestras barrenadas u obtenidas en tubos mediante corazonamientos.

#### **2.1.5. ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES**

**Definición:**

La estabilización de suelos es un conjunto de procesos físicos, químicos, y físico-químicos tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan para un determinado uso en ingeniería, haciendo que el material “suelo” sea adecuado para la utilización prevista, reemplazando a otros materiales insatisfactorios, substituyéndolo

por otro de características adecuadas modificando las propiedades del material existente, para hacerlo capaz de cumplir mejores requerimientos

## **TIPOS DE ESTABILIZACIÓN:**

### **1. Estabilización Física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- *Mezclas de Suelos*: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesiéndose siempre de por lo menos la compactación como complemento.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- *Geo textiles*
- *Confinamiento (Suelos granulares)*
- *Consolidación Previa (suelos finos)*

**2. Estabilización Química.** Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- **Cal:** disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- **Cemento Portland:** aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- **Productos Asfálticos:** es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de Sodio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de Calcio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Escorias de Fundición:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Hule de Neumáticos:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

**3. Estabilización Mecánica:** Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- **Compactación:** este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

## **2.2. GENERALIDADES DE LAS ROCAS**

En geología se le denomina **roca** a la asociación de uno o varios minerales, natural, inorgánica, heterogénea, de composición química variable, sin forma geométrica determinada, como resultado de un proceso geológico definido.

Las rocas están sometidas a continuos cambios por las acciones de los agentes geológicos, según un ciclo cerrado (el ciclo de las rocas), llamado ciclo litológico, en el cual intervienen incluso los seres vivos.

Las rocas están constituidas en general como mezclas heterogéneas de diversos materiales homogéneos y cristalinos, es decir, minerales.

Las rocas poli-minerálicas están formadas por granos o cristales de varias especies mineralógicas y las rocas mono-minerálicas están constituidas por granos o cristales de un mismo mineral.

Las rocas suelen ser materiales duros, pero también pueden ser blandas, como ocurre en el caso de las rocas arcillosas o arenosas.

### **2.2.1 MECÁNICA DE ROCAS**

Se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno.

### **2.2.2. LAS ROCAS**

Son asociaciones de minerales que, formando masas considerables constituyen gran parte de la corteza terrestre, pueden estar formadas por una sola especie mineral y entonces se llaman rocas simples, o por varias especies que es lo más frecuente, llamándose en este caso rocas compuestas.

### 2.2.3. PROPIEDADES GENERALES DE LAS ROCAS

- **Textura**

La siguiente subdivisión más amplia clasifica las rocas de acuerdo a su textura, o el tamaño de sus partículas. Las categorías más comunes son faneríticas o de grano grande, y afanítica o rocas de grano pequeño. Las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas se sub-clasifican en estas categorías. Además, las rocas ígneas pueden ser clasificados como porfídica vítrea, (que tiene granos grandes y pequeños) o vesicular (que tiene bolsillos de aire grandes).

- **Estructura**

Se refiere a caracteres más notables tales como la estructura amigdaloidal, el diaclasamiento

- **Alineamiento**

Los geólogos clasifican las rocas metamórficas de acuerdo a cómo las capas de la roca están alineadas. Los que tienen capas paralelas y se dividen fácilmente en hojas son rocas foliadas, como la pizarra y el esquisto. Los que tienen una disposición al azar, tal como mármol, son no foliadas.

- **Composición**

Uno de los últimos niveles principales de clasificación, clasifica las rocas de acuerdo a su composición mineral. A diferencia de las rocas, los minerales tienen una composición química definida y estructura cristalina. Se presentan en forma de compuestos naturales de la corteza terrestre y el manto y se combinan en diferentes proporciones para formar rocas. El cuarzo, feldespato, moscovita, yeso, halita y la calcita son componentes comunes. Por ejemplo, el granito es principalmente feldespato, cuarzo y mica. La piedra caliza es predominantemente calcita.

#### **2.2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS**

Las rocas se pueden clasificar atendiendo a sus propiedades, como la composición química, la textura, la permeabilidad, entre otras. En cualquier caso, el criterio más usado es el origen, es decir, el mecanismo de su formación.

De acuerdo con este criterio se clasifican en **ígneas** (o magmáticas), **sedimentarias** y **metamórficas**, aunque puede considerarse aparte una clase de rocas de alteración, que se estudian a veces entre las sedimentarias.

#### **2.2.5. ROCAS IGNEAS**

Se originan a partir de un magma (rocas fundidas a muy alta temperatura). El término ígneo deriva del latín igneus, es decir, ardiente. Las rocas ígneas se solidifican cuando se enfría el magma, sea bajo tierra o en la superficie. Las más antiguas tienen al menos 3.960 millones de años, mientras que las más jóvenes apenas se están formando en estos momentos.

El granito es la roca ígnea más corriente, aunque existen más de 600 tipos. Hay dos tipos de rocas ígneas que se distinguen porque en un caso el magma alcanza la superficie terrestre antes de enfriarse y endurecerse, y en el otro no. El magma que cristaliza bajo tierra forma rocas ígneas intrusivas. El que alcanza la superficie antes de solidificarse forma las rocas ígneas extrusivas.

Las rocas magmáticas intrusivas son las más abundantes, forman la totalidad del manto y las partes profundas de la corteza. Son las rocas primarias, el punto de partida para la existencia en la corteza de otras rocas.

#### **2.2.6. ROCAS SEDIMENTAREAS**

Se forman en la superficie terrestre o cerca de ella. Normalmente, la roca se fragmenta y se disuelve por acción de la meteorización y la erosión, las partículas se sedimentan y los minerales disueltos cristalizan a partir del agua y forman sedimentos.

Los componentes de la roca fragmentada son transportados por el agua y el hielo y, enterrados a poca profundidad, se convierten en nuevas rocas.

Las rocas sedimentarias se disponen en capas, las más recientes situadas sobre las más antiguas, lo que permite a los geólogos conocer la edad relativa de cada capa. Las rocas sedimentarias suelen contener fósiles, que pueden ser de utilidad tanto para datar las rocas como para determinar su origen.

Las rocas sedimentarias se forman en las cuencas de sedimentación, las concavidades del terreno a donde los materiales arrastrados por la erosión son conducidos con ayuda de la gravedad.

Las estructuras originales de las rocas sedimentarias se llaman estratos, capas formadas por depósito, que constituyen formaciones a veces de gran potencia (espesor).

### **2.2.7. METAMORFISMO Y ROCAS METAMORFICAS**



Formadas a partir de otras rocas que, sin llegar a fundirse, han estado sometidas a grandes presiones y temperaturas y se han transformado.

En la profundidad de la corteza terrestre, las temperaturas y las presiones son altísimas. Dentro de nuestro planeta, el grupo de minerales que compone una roca se puede transformar en otro que sea estable a presiones y temperaturas superiores. Las rocas situadas cerca de un cuerpo de magma caliente se pueden transformar por la acción del calor.

Las rocas que han sido enterradas a gran profundidad por la acción de placas tectónicas convergentes pueden transformarse por el aumento de la presión y de la temperatura. Ese cambio se denomina metamorfismo, un proceso que puede modificar cualquier tipo de roca, sea sedimentaria, ígnea o incluso metamórfica.

Por ejemplo, la piedra caliza, que es sedimentaria, puede convertirse en mármol, y el basalto, que es ígneo, en una roca verde, anfibolita o eclogita.

**Figura II-2 Clasificación de las rocas**

Sedimentarias			Ígneas o Magmáticas				Metamórficas	
Clásticas	Químicas	Orgánicas	Plutónicas	Filonianas	Volcánicas		Regional	
Arcosa 	Yeso 	Turba 	Granito 	Aplita 	Riolita 	Obsidiana 	Cuarcita 	Pizarra 
Arenisca 	Fosforita 	Lignito 	Granodiorita 	Pegmatita 	Dacita 	Pumita 	Gneis 	Anfibolita 
Grauvaca 	Dolomía 	Hulla 	Sienita 	Pórfido 	Traquita 	Lava 	Mármol 	Fillita 
Pudinga 	Caliza 	Antracita 	Diorita 	Lamprófidio 	Andesita 	Diabasa 	Esquisto 	Térmico Corneana 
Brecha 	Sal Gema 	Asfalto 	Gabro 	Dunita 	Basalto 	Migmatita 	Micacita 	Dinámico Eclogita 

### 2.3. METEORIZACIÓN

Las rocas se forman en el interior de la Tierra. Cuando ascienden a la superficie terrestre, las condiciones varían. Esto provoca transformaciones físicas o químicas en las rocas. Estas transformaciones se conocen con el nombre de meteorización.

La meteorización es la alteración de una roca por la acción de la Atmósfera, la Hidrosfera o los seres vivos. Esta alteración se produce en el mismo lugar donde ha aflorado a la superficie, sin que se produzca transporte de materiales. Si hubiera desgaste de la roca y fragmentos transportados a otro lugar, hablamos de erosión.

**Los factores del tipo y cantidad de meteorización son:**

- **El clima:** las temperaturas máximas y mínimas, las temperaturas bajo cero y la cantidad de precipitaciones.

- **La roca:** la dureza/resistencia contra la meteorización, la composición mineralógica, la porosidad y el desgaste estructural (fracturamiento).

Por otro lado, la meteorización da lugar a formación de nuevos materiales que a menudo constituyen recursos minerales importantes. Según avanza la meteorización, algunos materiales son lavados y el residuo da lugar a depósitos concentrados de óxidos metálicos y otros compuestos que a menudo tienen interés económico, como las lateritas, bauxitas y arcillas en general.

### **2.3.1. METEORIZACIÓN DE LOS MATERIALES ROCOSOS**

La meteorización se define como el conjunto de fenómenos físicos, químicos o biológicos que sufren las rocas al ser expuestas a las condiciones atmosféricas. Éstos son el resultado de determinados fenómenos atmosféricos y de la reacción de los componentes de los mismos con los de las rocas. Debe entenderse la meteorización como la adaptación de las rocas a un nuevo ambiente, similar al que sufren con los procesos metamórficos, pero de sentido inverso.

La **meteorización** es la desintegración, descomposición y disgregación de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos y físico-químicos, con la participación de agentes biológicos, principalmente, vegetales. Existen tres tipos de meteorización

- Meteorización física.
- Meteorización química.
- Meteorización biológica

#### **2.3.1.1 METEORIZACIÓN FÍSICA**

La meteorización física produce desintegración o ruptura en la roca, sin afectar a su composición química o mineralógica. En estos procesos la roca se va deshaciendo, es decir, se va disgregando en materiales de menor tamaño y ello facilita el proceso de erosión y transporte posterior. Las rocas no cambian sus características químicas pero

sí las físicas. Está causada por las condiciones ambientales (agua, calor, sal, etc.). Los agentes que la provocan son:

**La descompresión:** Es la expansión y el agrietamiento que se producen en rocas que se han formado a gran profundidad, al encontrarse en la superficie donde la presión es mucho menor. A causa de esta dilatación comienzan a experimentar la formación de grietas o diaclasas con lo que se forman losas horizontales.

Figura II-3 Meteorización Física - Descompresión



**Termoclastia** es la fisura de las rocas aflorantes como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el interior y la superficie. La diferencia térmica día-noche es la causa: durante el día, al calentarse, la roca se dilata; sin embargo, por la noche, al enfriarse, se contrae. Al cabo de un tiempo acaba rompiéndose. Este tipo de meteorización es importante en climas extremados con gran oscilación térmica entre el día y la noche (como el desierto).

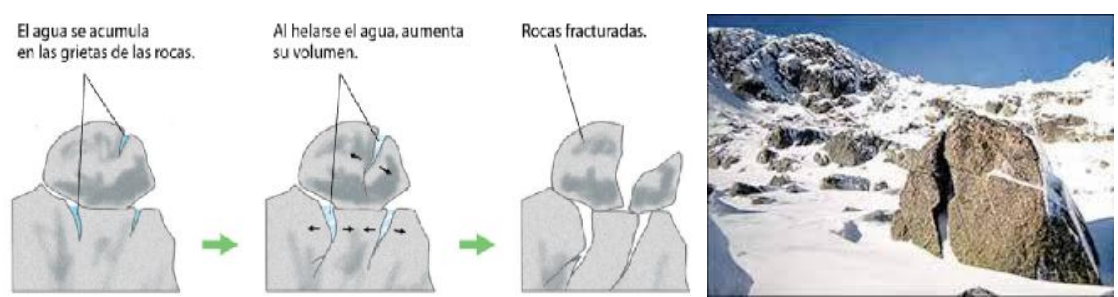
La termoclastia da origen a una forma típica de meteorización mecánica en rocas graníticas que se denomina exfoliación en bolas, en inglés onion weathering (meteorización en capas de cebolla) debido a que la radiación solar penetra muy superficialmente en el granito, calentando apenas uno o varios centímetros a partir de la superficie, que es la zona que se dilata, mientras que al enfriarse, se va separando del núcleo interno.

Figura II-4 Meteorización Física –Termoclastia



**Gelifracción:** es la rotura de las rocas aflorantes a causa de la presión que ejercen sobre ellas los cristales de hielo. El agua, al congelarse, aumenta su volumen en un 9%. Si se encuentra en el interior de las rocas, ejerce una gran presión sobre las paredes internas que acaba, tras la repetición, por fragmentarlas. Este tipo de meteorización es importante en climas húmedos y con repetidas alternancias hielo-deshielo ( $+0\text{ }^{\circ}\text{C}/-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), como los montañosos.

Figura II-5 Meteorización Física -Gelifracción



**Haloclastia:** es la rotura de las rocas por la acción de la sal. En determinados ambientes hay una gran presencia de sal. Esto es en los ambientes áridos, ya que las lluvias lavan el suelo llevándose consigo la sal. La sal, se incrusta en los poros y fisuras de las rocas, y, al recrystalizar y aumentar de volumen, aumenta la presión que ejercen sobre las paredes internas (similar a la gelifracción) con lo que se puede ocasionar la ruptura.

El resultado son rocas muy angulosas y de menor tamaño, lo que generalmente da lugar a los procesos de erosión.

Figura II-6 Meteorización Física -Haloclastia



### 2.3.1.2 METEORIZACIÓN QUÍMICA

Produce una transformación química de la roca provocando la pérdida de cohesión y alteración de la roca. Los procesos más importantes son los atmosféricos, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono que están implicados en:

**Oxidación** Al reaccionar algunos minerales con el oxígeno atmosférico.

Figura II-7 Meteorización Química –Oxidación



**Disolución** Importante en minerales solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas y en el modelado karstico.

Figura II-8 Meteorización Química -Disolución



**Carbonatación** Se produce al combinar el dióxido de carbono con ciertos minerales como el carbonato de calcio que se transforma en bicarbonato el primero es insoluble al agua pero el segundo no lo es, por lo que es arrastrado por ella.

Figura II-9 Meteorización Química -Carbonatación



**Hidratación** Por la que el agua es incorporada a la estructura de algunos minerales aumentando de volumen como el sulfato de calcio hidratado. Este proceso es fácil de ver, por ejemplo, mezclando anhidrita con agua, lo que produce una reacción exotérmica (desprende calor) al transformarse en yeso (sulfato de calcio hidratado).

**Hidrólisis** Es la rotura en la estructura de algunos minerales por la acción de los iones de  $H^+$  y  $OH^-$  de agua, fundamentalmente en la meteorización del feldespato, que se transforma en arcillas y del granito que puede llegar a la caolinización (transformarse en arcillas, especialmente en caolín).

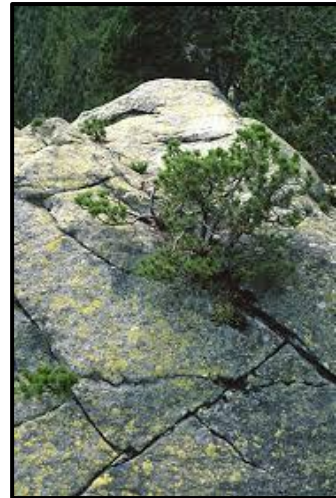
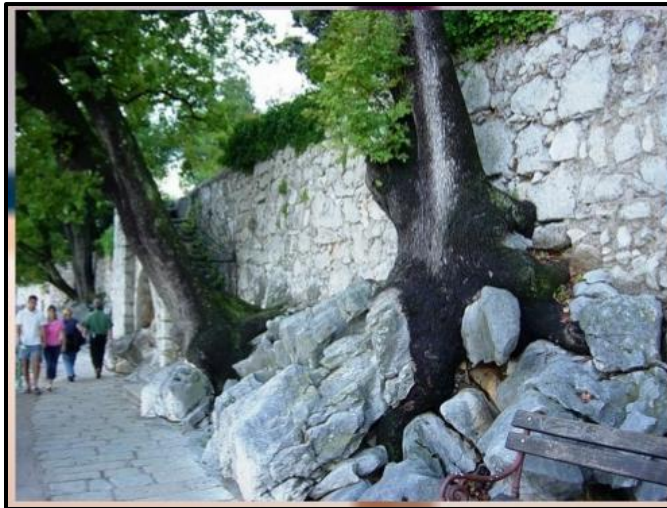
**Bioquímica** La acción de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de materiales biológicos en el suelo.

### 2.3.1.3. METEORIZACIÓN BIOLÓGICA

Algunos seres vivos contribuyen a transformar las rocas. Así, las raíces de las plantas se introducen entre las grietas actuando de cuñas. Al mismo tiempo segregan sustancias que alteran químicamente las rocas, como puede verse en la imagen: la decoloración de la pared por la acción de los ácidos (carbónico y de otros tipos) nos muestra claramente este proceso. También algunos animales, como las lombrices de tierra, las hormigas, las termitas, los topos, etc., favorecen la alteración in situ de las en la superficie.

A ese tipo de alteración, a veces química, que realizan los seres vivos la llamamos meteorización externa.

Figura II-10 Meteorización Biológica- Naturaleza



### 2.3.1.4. Clasificación de Rocas Meteorizadas. (Modificado de Waltham,1994).

**Tabla II-1 Clasificación de Rocas Meteorizadas**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Litología</b>	<b>Fundaciones</b>
<b>VI</b>	Suelo residual	Algún contenido orgánico, no se preserva estructura original, todos los minerales están descompuestos, excepto el cuarzo	Inadecuado sin análisis de suelo
<b>V</b>	Completamente meteorizada	Suelo, aún se reconoce estructura original	Necesita análisis de suelo
<b>IV</b>	Intensamente meteorizada	Parcialmente transformada a suelo, predomina suelo sobre roca	Variable y poco confiable como medio de fundación si no se cuenta con análisis
<b>III</b>	Moderadamente meteorizada	Parcialmente transformada a suelo, predomina roca sobre suelo	Buena para la mayoría de estructuras pequeñas
<b>II</b>	Ligeramente meteorizada	Roca fracturada, pátinas de alteración, feldespatos parcialmente alterados	Buena excepto para grandes presas
<b>I</b>	Roca fresca	Roca limpia	Buena para cualquier estructura

*Fuente: Internet Waltham 1994*

### 2.3.1.5. Grado de Meteorización ISRM (1981) para descripción de sondajes.

**Tabla II-2 Grado de Meteorización ISRM**

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Termino</b>
<b>VI</b>	Suelo residual	Toda la roca está convertida en suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo el suelo no ha sido transportado significativamente.
<b>V</b>	Completamente meteorizada	Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.
<b>IV</b>	Muy meteorizada	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.
<b>III</b>	Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.
<b>II</b>	Levemente meteorizada	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil que en su condición fresca.
<b>I</b>	Roca fresca	No presenta signos visibles de meteorización en la roca. Tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.

*Fuente: Waltman Gearld Internet Grado de Meteorización ISRM (1981)*

## **2.4. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS**

### **METEORIZADAS**

Las lutitas son rocas sedimentarias de grano fino formadas por la consolidación de arcilla, limo o lodo, y se caracterizan por poseer una estructura laminar. Las lutitas están constituidas principalmente por minerales de arcilla, en una proporción que puede variar entre 15% y 100%, minerales accesorios, como cuarzo, carbonatos y feldespatos. De aquí que las lutitas cubran un amplio rango de composiciones y presentan propiedades mecánicas, petrofísicas y fisicoquímicas muy diferentes, dependiendo de la composición mineralógica.

Las lutitas se caracterizan por poseer una baja permeabilidad y una alta sensibilidad al agua.

Las formaciones de lutitas blandas tienden a interactuar rápidamente con fluidos. En estos casos, pruebas como dispersión, dureza por humectación e hinchamiento son muy útiles y los resultados muestran diferencias claras entre los fluidos<sup>2</sup>. Por otro lado, las lutitas duras interactúan diferente con los fluidos y los mecanismos de inestabilidad son más asociados con el desarrollo de fracturas y rupturas a lo largo de laminaciones.

Este tipo de fallas parecen ser causadas por la penetración de fluidos a lo largo de los planos de clivaje o fracturas pre-existentes. Las diversas respuestas de las lutitas duras frente a fluidos con diferentes composiciones químicas indican que los mecanismos de falla incluyen procesos tanto físicos y como químicos.

Los mecanismos de inestabilidad en lutitas duras están cercanamente relacionados con las características geológicas y las propiedades de la roca tales como la estructura, la distribución de grano, la textura y la presencia de fracturas.

Como se mencionó anteriormente, las lutitas son rocas de grano fino con alto contenido de arcilla, poros pequeños y baja permeabilidad que normalmente se encuentran saturadas con agua de formación. La combinación de estas características hace que las lutitas sean altamente susceptibles a fenómenos de inestabilidad .

Los factores que afecten el estado de esfuerzos, la presión de poro y la resistencia mecánica de la lutita afectarán también la estabilidad de la subrasante.

La inestabilidad de la subrasante en zonas lutíticas se debe a factores mecánicos, fisicoquímicos (relacionados con las interacciones fluido de perforación con la lutita y externos).

Estos factores pueden actuar conjuntamente en una situación determinada. Entre los principales factores geomecánicos decisivos en los problemas de estabilidad de subrasantes, se encuentran: la orientación y la magnitud de los esfuerzos "*in situ*", las propiedades mecánicas y poro-elásticas de la lutita, presión de poro, los planos de estratificación y las fracturas preexistentes en la. Los factores fisicoquímicos incluyen mecanismos de transporte de fluidos, alteración química de la lutita, hinchamiento/hidratación y efectos térmicos.

#### **2.4.1 DEFINICIÓN DE ROCA METEORIZADA**

La lutita es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. Estas rocas detríticas de grano fino constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias.

Las partículas de estas rocas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y resulta más difícil estudiar y analizar las lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias. Las lutitas de color negro son las más comunes y su color se debe a la presencia de carbono (material orgánico).

#### **Forma de Fragmentación:**

Según su forma de fragmentación, las lutitas pueden ser físilas o no físilas. La lutita físil es aquella que se escinde (divide) en planos paralelos espacialmente próximos. La lutita no físil, en cambio, se escinde (divide) en fragmentos o bloques.

**Tamaño de partículas:**

Se puede clasificar dependiendo del tamaño de partícula como limolitas entre 0,06 y 0,004 mm. y arcillitas menor de 0,004 mm.

Las diminutas partículas de la lutita indican que se produjo un depósito como consecuencia de la sedimentación gradual de corrientes no turbulentas relativamente tranquilas. Entre esos ambientes se cuentan los lagos, las llanuras de inundación de ríos, lagunas y zonas de las cuencas oceánicas profundas.

Conforme se acumula el limo y la arcilla, tienden a formar capas delgadas, a las que se suele hacer referencia como láminas. Inicialmente las partículas de las láminas se orientan al azar. Esta disposición desordenada deja un elevado porcentaje de espacio vacío que se llena con agua. Esta situación cambia normalmente con el tiempo conforme nuevas capas de sedimento se apilan y compactan el sedimento situado debajo.

**Uso cerámico**

Algunas lutitas se extraen para obtener materia prima para la cerámica, la fabricación de ladrillos, azulejos y porcelana china.

**2.4.2 EFECTOS DEL AGUA SUBTERRANEA SOBRE LAS PROPIEDADES DE LAS SUBRASANTES DE ROCA LUTITA.**

El agua como material geológico coexistente con las rocas influye en su comportamiento mecánico y en su respuesta ante las fuerzas aplicadas

Los efectos más importantes son: Juega un papel importante en la resistencia de las rocas blandas y de los materiales meteorizados. Reduce la resistencia de la matriz rocosa en rocas porosas. Rellena las discontinuidades de los macizos rocosos e influye en su resistencia. Las zonas alteradas y meteorizadas superficiales, las discontinuidades importantes y las fallas son camino preferente para el flujo del agua.

Produce meteorización química y física en la matriz rocosa y en los macizos rocosos  
Es un agente erosivo Produce reacciones químicas que pueden dar lugar a cambio en la composición del agua

El agua puede lubricar las familias de discontinuidades y permitir que las piezas de rocas se muevan, se disgreguen y se separen.

En rocas intensamente fracturadas, la presencia del agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes de altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca será muy rápido. La presencia de agua en las fallas geológicas y zonas de corte, influye significativamente en la estabilidad de la masa rocosa de una excavación.

Tabla II-3 Peso específico de las rocas.

Tipo de roca	Peso específico seco		Porosidad (n) (%)
	(t/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	
<b>Ígneas</b>			
Basalto	2,21 - 2,77	21,66 - 27,15	0,22 - 22,06
Diabasa	2,82 - 2,95	27,64 - 28,91	0,17 - 1,00
Gabro	2,72 - 3,0	26,66 - 29,40	0,00 - 3,57
Granito	2,53 - 2,62	24,79 - 25,68	1,02 - 2,87
<b>Metamórficas</b>			
Cuarcita	2,61 - 2,67	25,58 - 26,17	0,40 - 0,65
Esquisto	2,6 - 2,85	25,48 - 27,93	10,00 - 30,00
Gneis	2,61 - 3,12	25,58 - 30,58	0,32 - 1,16
Mármol	2,51 - 2,86	24,60 - 28,03	0,65 - 0,81
Pizarra	2,71 - 2,78	26,56 - 27,24	1,84 - 3,61
<b>Sedimentarias</b>			
Arenisca	1,91 - 2,58	18,72 - 25,28	1,62 - 26,40
Caliza	2,67 - 2,72	26,17 - 26,66	0,27 - 4,10
Dolomita	2,67 - 2,72	26,17 - 26,66	0,27 - 4,10
Lutita	2,0 - 2,40	19,60 - 23,52	20,00 - 50,00

## Resistencia a la compresión Uniaxial

Tabla II-4 Resistencia a la compresión Uniaxial

CLASE	Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial		Tipos de roca
		PSI	MPa	
<b>A</b>	Resistencia muy alta	Mayor a 32000	220	Cuarcitas, diabasas, Mayoría de rocas ígneas. Ciertas rocas metamórficas. Areniscas frágilmente cementadas.
<b>B</b>	Resistencia alta	16000-32000	110-220	<b>LUTITAS RESISTENTES</b>
<b>C</b>	Resistencia media	8000-16000	55-110	Algunas <b>LUTITAS</b> . Areniscas y calizas porosas. Rocas metamórficas.
<b>D</b>	Resistencia baja	4000-8000	28-55	Rocas porosas de baja densidad, <b>LUTITAS</b> arcillosas. Rocas meteorizadas y
<b>E</b>	resistencia muy baja	Menor a 4000	Menor a 28	químicamente alteradas.

## **2.5. DISEÑO ESTRUCTURAL**

### **INTRODUCCIÓN**

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto.

La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o, más comúnmente, por varias y, a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos; su superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica o una losa de concreto hidráulico.

En la posterior figura se muestra una estructuración típica de un pavimento flexible. Bajo una carpeta bituminosa que constituye la superficie de rodamiento, se dispone casi siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas: una base de material granular y una sub-base, formada preferentemente, también por un suelo granular. Bajo la sub-base se dispone casi universalmente otra capa, denominada subrasante, material con unos requisitos de calidad mínima que la sub-base.

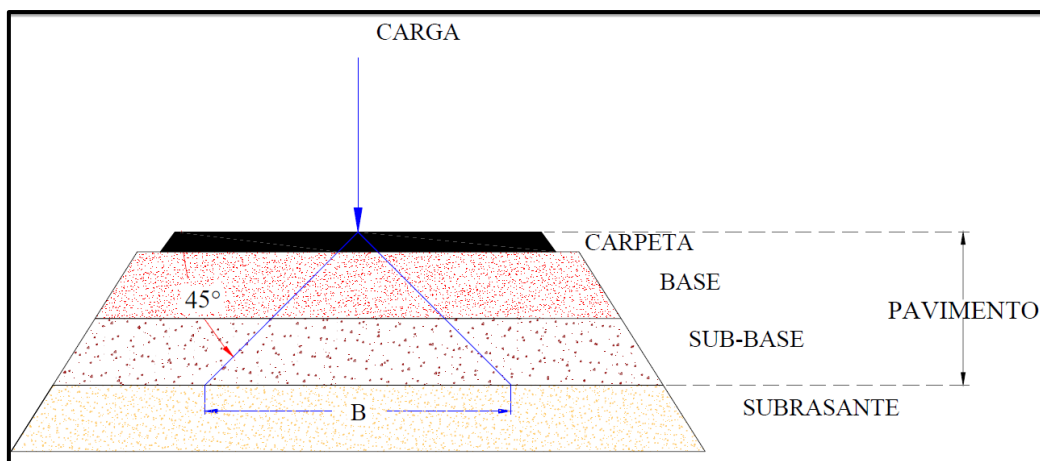
Bajo la subrasante aparece el material convencional de la terracería (material de apoyo de las estructuras que componen los pavimentos), que es tratado mecánicamente en la actualidad casi sin excepción, por lo menos en lo referente a compactación. El establecimiento del comportamiento conjunto del material de apoyo (terracería) con la estructura del pavimento ha sido objeto de relativamente poca atención en el pasado y existe poco escrito sobre él en la literatura especializada.

De algunos hechos experimentales se puede citar dos conclusiones válidas.

- ✚ La resistencia al esfuerzo cortante no es un requisito fundamental, ya que los niveles de esfuerzos que a ellas llegan a través de todo el espesor protector que constituye el pavimento, quedan siempre por debajo de la capacidad de carga a la falla.
- ✚ Por lo que la deformabilidad parece ser el requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen pavimento.

### 2.5.1 PAVIMENTO

Figura II-11 Paquete Estructural Pavimento






Un pavimento, se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la sub-rasante, y que se debe caracterizar por:

- Resistir las cargas impuestas por el Tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico.

### 2.5.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

**PAVIMENTO FLEXIBLE:** Caracterizado por tener en la parte superior, una capa bituminosa, apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (Base granular y Sub-base granular), las cuales transmiten los esfuerzos al terreno de soporte, mediante un mecanismo de disipación de tensiones, presiones que van disminuyendo en su magnitud, con la profundidad. Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:

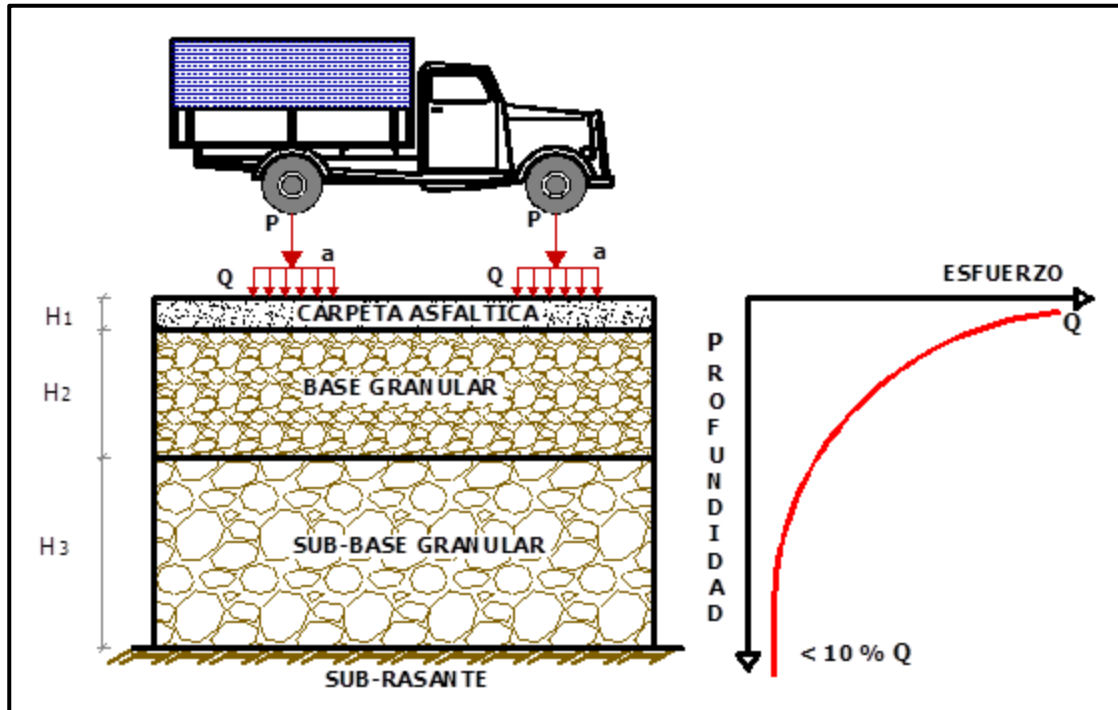
- Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- Las magnitudes normales de los Módulos de las capas de esta clase de estructuras, están alrededor de:

-Carpeta Asfáltica		25000 Kg/cm <sup>2</sup>
-Base Granular		2000 Kg/cm <sup>2</sup> a 5000 Kg/cm <sup>2</sup>
-Sub-base granular		1000 Kg/cm <sup>2</sup> a 3000 Kg/cm <sup>2</sup>

- En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular.

### Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles

Figura II-12 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles



### **PAVIMENTO RÍGIDO:**

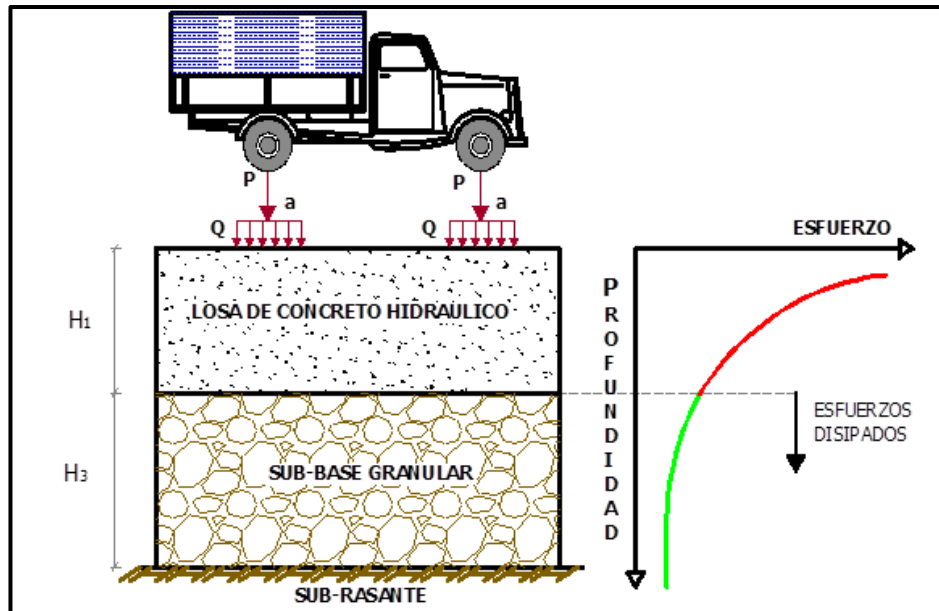
Constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.

- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la descompactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

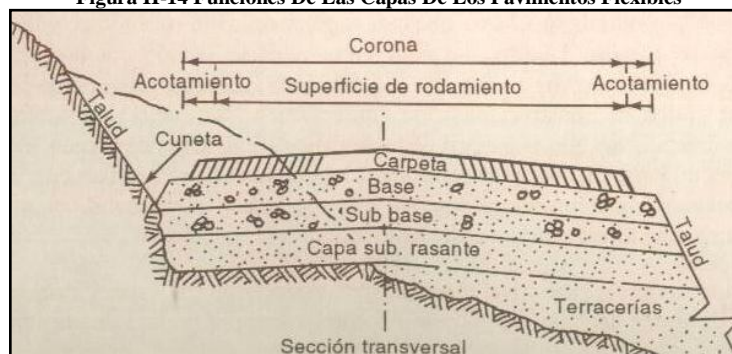
### Mecanismo de distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos

Figura II-13 Mecanismo de distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos



### 2.5.3 FUNCIONES DE LAS CAPAS DE LOS PAVIMENTOS

Figura II-14 Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Flexibles



## SUB-BASE GRANULAR

- Economía con respecto a la base y al concreto asfáltico.
- Transición entre materiales de distinta calidad.
- Control de deformaciones, absorbiendo los cambios volumétricos de la sub-rasante.
- Debido a su distribución granulométrica, sirve para romper la capilaridad ayudando a mantener un buen drenaje en la estructura.
- Presenta muy poco aporte estructural, debido a las características de forma, textura y gradación de sus partículas.

## BASE GRANULAR

- Es de gran aporte estructural, debido a las características de gradación y trituración de sus partículas (finos no plásticos).
- Economía con respecto a la carpeta asfáltica.
- Buen drenaje, debido a que presenta pocos finos.
- Sirve como rodadura provisional.

## RIEGO DE IMPRIMACIÓN

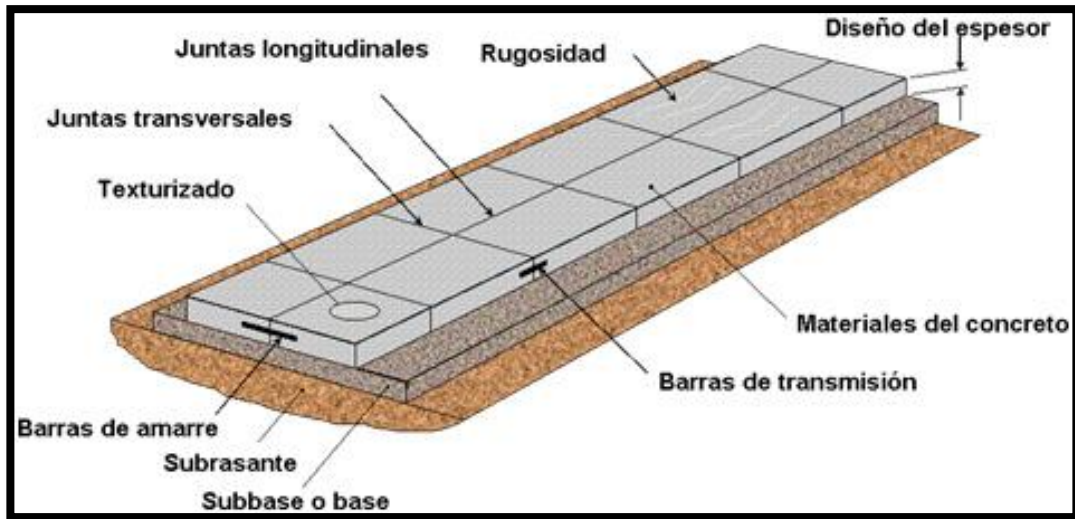
- Adherir la base granular a la carpeta asfáltica.
- Impermeabilizar la interfase entre la carpeta asfáltica y la base granular.

## CARPETA ASFÁLTICA

- Da la resistencia a la tracción en la estructura.
- Al ser “impermeable”, evita que el agua ingrese a la estructura del pavimento, junto con el bombeo y el peralte de la calzada.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito (concepción del usuario); se controla con el I.R.I.

## FUNCIONES DE LAS CAPAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Figura II-15 Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Rígidos



### SUB-BASE GRANULAR

- Controlar el fenómeno del bombeo.
- Servir como transición.
- Proporcionar apoyo uniforme y estable en el tiempo a la losa de concreto; se controla mediante el análisis de erosión, durante el diseño de la estructura.

### LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO

- Su principal función es el aporte estructural, ya que del paquete de la estructura, es el único elemento que da resistencia. El parámetro de diseño, es el módulo de rotura.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque se debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

## **JUNTAS**

- Controlar el agrietamiento del concreto simple, por efectos de retracción, expansión y alabeo.
- Facilitar la construcción de la estructura de la vía.

### **2.5.4 Factores que intervienen en el cálculo de espesores**

Los pavimentos son diseñados para obtener en forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño del más bajo costo anual. Estos factores son:

- ❖ Tránsito considerando las cargas por eje o rueda y su frecuencia
- ❖ Resistencia de los materiales
- ❖ Subrasante
- ❖ Drenaje
- ❖ Acción de las heladas
- ❖ Vida útil para el diseño

A continuación se explicara cada uno de los anteriores puntos para obtener un mejor enfoque de los factores que intervienen en el cálculo de espesores.

## **TRÁNSITO**

En el análisis de las cargas actuantes, se deben tener en cuenta el peso u número de vehículos que van a circular durante la vida útil del pavimento. No es posible llegar al conocimiento exacto de estos números ya que el mismo resulta cambiante a través del tiempo, pudiéndose hacer solamente estimaciones en base a hipótesis más o menos ajustadas a la realidad.

Originariamente se tenían en cuenta las cargas máximas, pero posteriormente, se ha verificado la importancia de la repetición de cargas y la influencia de la fatiga en la falla de los pavimentos.

El volumen y carácter del tránsito fijan el ancho del pavimento, mientras que el peso y la frecuencia de las cargas de los ejes o de las ruedas de los vehículos, determinan el espesor y otras características del diseño estructural.

### **RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

La determinación de la resistencia de los materiales que intervienen en la estructura deben hacerse en la forma más crítica de trabajo: si los materiales de base son de tipo granular y pueden ser afectados por la presencia de agua, proveniente de la napa, el ensayo debe hacerse en esas condiciones de humedad.

Los ensayos de resistencia deben ser complementados con ensayos de durabilidad de tal forma que se tenga seguridad de la permanencia de sus propiedades en el tiempo.

En el caso de las mezclas asfálticas, hay que tener en cuenta las condiciones de temperatura de servicio, ya que en materiales plasto-elásticos la resistencia varía sustancialmente con la misma.

Con los resultados de la resistencia de los materiales a los que se les aplica coeficientes de seguridad adecuados al tipo de estructura que tenemos y conociendo las tensiones a que se encuentra sometido, se puede proceder al dimensionado del pavimento.

### **SUBRASANTE**

El estudio de la fundación debe realizarse como en el caso de capa de rodamiento, base y subbase: en las condiciones más críticas de servicio.

Generalmente los procedimientos y ensayos que se utilizan para el estudio de la subrasante son los mismos que se utilizan para los materiales de sub-base y base cuando no tienen cimentación.

El punto fundamental es conocer el grado de compactación y porcentaje de humedad que va a tener en obra y hacer los ensayos en estas condiciones.

Una buena densificación de la subrasante es fundamental para lograr un buen comportamiento de toda la estructura, evitando así el posterior asentamiento por consolidación. En el caso de pavimentos rígidos la uniformidad de la subrasante presenta una importancia posterior, como es explicado más adelante.

## **DRENAJE**

Merece una consideración especial el drenaje adecuado del pavimento, tanto superficial como subterráneo. El agua superficial debe ser evacuada a través de cunetas o desagües pluviales.

Con respecto al drenaje subterráneo hay que tomar precauciones necesarias para que el nivel de la napa se encuentre suficientemente alejado del pavimento y en caso contrario, utilizar capas drenantes que resulten menos susceptibles a la presencia de agua.

Con este objeto, en algunos casos resulta aconsejable la colocación de capas relativamente gruesas de arena; o capas alternativas drenantes de arena e impermeables de suelo para cortar la capilaridad y facilitar la compactación.

## **VIDA ÚTIL PARA EL DISEÑO**

Conociendo las condiciones del tránsito, el pavimento puede ser diseñado para la vida de servicio que se desee. Debe establecerse el volumen y peso del tránsito futuro previsible.

Se acostumbra a tomar vidas útiles del pavimento rígido comprendidas entre 30 y 50 años. Par el caso de pavimentos flexibles las vidas útiles suelen estar comprendidas entre 15 y 20 años.

## 2.5.5 VARIABLES QUE PARTICIPAN EN EL DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

### VARIABLES ESTRUCTURALES

- Terreno de fundación o Sub-rasante
- Paquete estructural del pavimento

Para el diseño y la modelación del comportamiento de una estructura de pavimento, se requieren los espesores de las capas, y las características mecánicas de los materiales ( $E$ ,  $\mu$ ). A menor calidad de un material, se requiere mayor espesor de la capa que compone.

Suelos finos y suelos Gruesos       $\leftrightarrow$       Módulos resilientes

Materiales ligados       $\leftrightarrow$       Módulos dinámicos

### TRANSITO:

Del análisis de la variable tránsito, interesa conocer:

- Tipo de vehículos
- Peso total de los vehículos
- Tipos de ejes de los vehículos
- Carga por eje
- Presión y área de contacto
- Velocidad de aplicación de las cargas
- Impacto
- Número de repeticiones de carga, ejes equivalentes o espectros de carga.

### CLIMA Y CONDICIONES REGIONALES:

En la concepción de un pavimento, para una unidad homogénea de diseño, interesa conocer:

- **Temperatura:** Que influye en los módulos dinámicos de las capas asfálticas, y en los pavimentos rígidos, participa en los métodos de construcción y en el dimensionamiento de las juntas.
- **Agua:** Es un parámetro muy crítico, ya que es definitivo en el comportamiento de las estructuras de pavimento. se debe tener en cuenta para la valoración de obras de drenaje y de sub-drenaje y además tiene otras incidencias, como por ejemplo, la elección del tipo de mezcla asfáltica y tipo de pavimento (pavimento rígido para zonas muy lluviosas); tiene otras incidencias, como influir directamente en el bombeo de las capas granulares y en los cambios volumétrico de sub-rasantes expansivas, como también, en la contaminación de la sub-base a causa del ascenso de los niveles freáticos. Junto con la temperatura y el agua, se debe tener en cuenta:
- **Topografía de la zona:** La topografía de la zona, no debe de ser muy accidentada o erosionada, sus pendientes no deben ser altas y deben estar dentro de los parámetros de construcción.

- **Soluciones de diseño de caminos con problemas de agua:**

Un camino, emplazado en un sector con climas muy lluviosos o en sectores bajos expuestos a inundaciones, puede derivar en una falla prematura de la estructura del pavimento debido a la disminución de la resistencia mecánica de las capas granulares y eventualmente de la sub-rasante, por efecto de la saturación. Este problema se debe resolver por medio de un adecuado diseño de drenaje el cual otorga la capacidad a la estructura para evacuar el agua que se infiltra en las diferentes capas granulares y la sub-rasante. Complementariamente, el problema se puede resolver diseñando para condiciones estructurales saturadas lo que conlleva a mayores espesores de capas.

El drenaje de un pavimento, para efectos del diseño estructural, es evaluado por medio del tiempo que demora una determinada estructura en drenar el agua libre a

partir de un estado de humedad dado. El tiempo que una estructura de pavimento permanece con humedades cercanas a la saturación dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Tipo de Material de Subrasante.
- Ancho de Base (ancho plataforma).
- Pendiente Transversal (bombeo).
- Existencia de Terraplén.
- Precipitación Media Anual

### **2.5.6 PAVIMENTOS SOBRE SUELOS EXPANSIVOS**

En términos generales, se denomina suelos expansivos aquellos que muestran un cambio volumétrico significativo bajo la presencia de agua.

Durante procesos constructivos relacionados con vías terrestres, es factible encontrar algunos materiales rocosos expansivos como son las arcillolitas, rocas blandas como las lutitas y suelos arcillosos o suelos residuales que se han formado de rocas existentes o sedimentos.

Estos suelos arcillosos poseen características expansivas debido a las características de la roca que los origina (generalmente arcillolitas) y/o proceso de meteorización bajo el cual se han formado.

El grado de expansión de estos suelos depende de la cantidad de minerales arcillosos activos presentes en el material. Estos minerales arcillosos activos que influyen más en los cambios volumétricos se caracterizan por tener partículas de tamaños muy pequeños, grandes superficies específicas y cargas eléctricas desbalanceadas en la superficie.

El mineral arcilloso más activo es la montmorillonita y bajo ciertas condiciones la clorita y la vermiculita. Las caolinitas y las íllitas no son consideradas activas; sin

embargo, pueden contribuir a las propiedades expansivas de los suelos, si se encuentran en apreciable cantidad.

Además de las propiedades químicas y mineralógicas de estos materiales, hay algunas propiedades físicas que influyen o contribuyen a los cambios volumétricos y tienen aplicación a los materiales tanto en el sitio como en el laboratorio; entre ellas se pueden mencionar:

**La densidad seca:** Entre mayor sea la densidad seca para un contenido de humedad constante mayor es la presión de expansión que puede ejercer el suelo, debido a la concentración de materiales arcillosos por unidad de volumen y a la mayor interacción entre partículas.

**Las propiedades del agua de los poros:** Fluidos con altas concentraciones de cationes, como las sales disueltas, tienden a minimizar los cambios volumétricos; sin embargo, el agua con poca concentración de iones hace más susceptible el suelo a los cambios volumétricos.

**El confinamiento:** Los suelos con sobrecargas o cargas externas tienden a reducir la magnitud del cambio volumétrico; por esta razón, cuando los suelos expansivos están debajo de otro no expansivo se reducen las posibilidades de daños.

El tiempo para que aparezca el primer cambio volumétrico y la forma como estos cambios continúan, depende de la permeabilidad del suelo. La expansión se inicia cuando hay contacto con el agua y continúa hasta cuando el suelo alcanza su condición de equilibrio.

La concentración del material y la cantidad de discontinuidades, grietas y fisuras influyen en el cambio volumétrico de un material. Los materiales cementados como las arcillolitas poseen menos propiedades expansivas que aquellos materiales no cementados.

**El espesor del manto del suelo expansivo:** Entre mayor es su espesor, mayor es el cambio potencial de volumen del suelo.

**La profundidad en el contenido de humedad:** Generalmente, esta profundidad es mayor en los climas más cálidos y más secos.

**La capa vegetal:** En zonas donde antes de construir las vías existía vegetación como árboles, arbustos y diversidad de pastos, la humedad era usada por éstos y al removerse la capa vegetal la humedad se acumula debajo de la estructura del pavimento propiciando los cambios volumétricos.

**Las características de drenaje superficial:** Un drenaje superficial pobre permite la acumulación de humedad que se convierte en un suministro de agua permanente para subrasantes expansivas.

Este problema puede evitarse si las cunetas se separan lo más que se pueda de la vía y asegurándose de que el gradiente sea el apropiado para que el agua superficial pueda escurrir fácilmente. También es importante conocer la posible ascensión capilar del agua, ya que si se construyen estructuras de pavimentos dentro de esta zona de ascensión, la subrasante expansiva tendrá suministro permanente de agua.

**Las fuentes de agua:** Entre las fuentes de agua que pueden causar cambios volumétricos se mencionan:

La infiltración de aguas lluvias a través de materiales porosos, grietas, taludes de los bordes, la migración de humedad proveniente del nivel freático, las variaciones de humedad causadas por el hombre como las actividades de irrigación y otras como la falta de un sistema adecuado de alcantarillado.

Otro aspecto de la expansión en campo son las formas onduladas tipo, que reflejan diferencias de propiedades del suelo entre abombamientos y depresiones. Mckeen

(1980) cita longitudes de onda variables entre 1.70 y 5.60m en los casos estudiados. En las carreteras afectadas por suelos expansivos se detectan dos tipos de fenómenos:

**a) Formas onduladas.** Parece (Mckeen, 1980) que esta rugosidad exhibe longitudes de onda mayores que las observadas en campo abierto, pero amplitudes menores.

**b) Fenómenos de borde** que conducen a agrietamientos longitudinales debido a la mayor inestabilidad del borde en relación con el eje de la calzada.

Se señala también con frecuencia que los conductos de drenaje y los drenes asociadas a ellos son una vía preferente para el incremento de humedad y por tanto para la aparición de movimientos y daños.

Para limitar la acción de los suelos expansivos se han propuesto o utilizado varios procedimientos que se pueden agrupar de la forma siguiente:

**a) Mantener constante la humedad inicial del terreno.**- (técnicas de aislamiento). Humidificar el terreno expansivo y mantener a continuación la humedad constante (técnicas de humidificación y aislamiento).

**b) Sustituir el terreno** natural por terreno estable con técnicas de sustitución y pre-tratamiento.

### **2.5.7 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON LA NORMA AASHTO-93**

#### **PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO MÉTODO AASHTO-93**

El diseño para el pavimento flexible según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto.

#### **2.5.7.1 VARIABLES PAEA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

A continuación se describe las variables que se consideran en el método AASHTO:

## 1. MÓDULO DE RESILIENCIA

Para el diseño de pavimentos flexibles deben utilizarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, las diferencias que se puedan presentar están consideradas en el nivel de confiabilidad  $R$ .

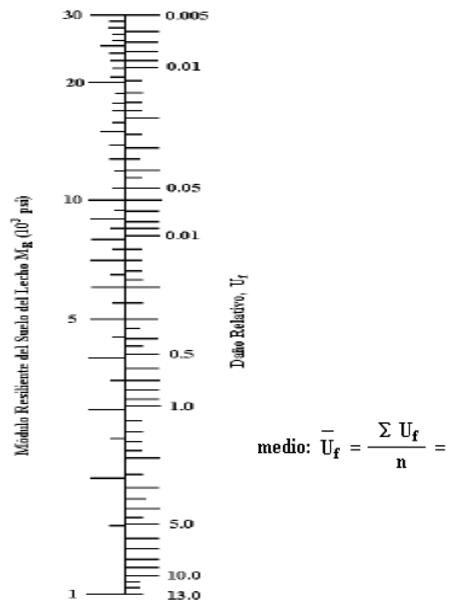
Durante el año se presentan variaciones en el contenido de humedad de la subrasante, las cuales producen alteraciones en la resistencia del suelo, para evaluar esta situación es necesario establecer los cambios que produce la humedad en el módulo resiliente.

Con este fin se obtienen módulos resilientes para diferentes contenidos de humedad que simulen las condiciones que se presentan en el transcurso del año, en base a los resultados se divide el año en periodos en los cuales el  $MR$  es constante. Para cada valor de  $MR$  se determina el valor del daño relativo, utilizando el ábaco.

$$U_f = 1,18 \cdot 10^8 \cdot M_R^{-2,32}$$

Figura II-16 Abaco para la determinación del Daño Relativo

Mes	Módulo Resiliente Suelo $M_R$ (psi)	Daño Relativo $U_f$
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
Sumatoria: $\Sigma U_f =$		



Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993

Con los resultados de los daños relativos se obtiene el valor promedio anual. El módulo de resiliencia que corresponda al  $U_f$  promedio es el valor que se debe utilizar para el diseño. Si no se tiene la posibilidad de obtener esta información se puede estimar el valor del  $MR$  en función del CBR.

**2. RELACIÓN C.B.R. – MÓDULO DE RESILIENCIA.** Con los valores del CBR se pueden obtener los módulos resilientes utilizando las relaciones siguientes:

(1) CBR < 15% (Shell)

$$M_R \text{ (MPa)} = 10 \cdot \text{CBR} \quad K = \text{Tiene una dispersión de valores de 4 a 25}$$

$$M_R \text{ (psi)} = 1500 \cdot \text{CBR} \quad K = \text{Tiene una dispersión de valores de 750 a 3000}$$

(2)  $M_R \text{ (MPa)} = 17,6 \cdot \text{CBR}^{0,64}$  (Powell et al)

El Instituto del Asfalto mediante ensayos de laboratorio realizados en 1982, obtuvo las relaciones siguientes:

Tabla II-5 Relacion Suelo – CBR - MR

Tipo de Suelo	%CBR	Mr (Psi)
Arena	31	46500
Limo	20	30000
Arena Magra	25	37500
Limo-Arcilla	25	37500
Arcilla Limosa	8	11400
Arcilla Pesada	5	7800

### 3. PERIODO DE DISEÑO

Se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Generalmente el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto éste será superior a 20 años. Los periodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla II-6.

**Tabla II-6** Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño en Años
Urbana de Transito Elevado	30-50
Interurbana de Transito Elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de Transito	15-25
De baja Intensidad de tránsito, Pavimentación con grava	10-20

*Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993*

#### 4. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

La serviciabilidad inicial (po) es una medida de la suavidad o facilidad de conducción sobre el pavimento inmediatamente después de la construcción de la sobre carpeta. La escala de serviciabilidad AASHTO es un rango desde 0 (impasable) hasta 5 (perfectamente suave).

Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1:

**Tabla II-7. INDICE DE SERVICIABILIDAD**

Índice de Serviciabilidad	Calificación
5 - 4	Muy Buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

*Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993*

Actualmente, una evaluación más objetiva de este índice se realiza mediante una ecuación matemática basada en la inventariación de fallas del pavimento:

$$\text{Pavimento Flexible: } p = 5,03 - 1,91 \cdot \log[1 + S_v] - 0,01 \cdot [C_f + P]^{0,5} - 1,38 \cdot RD^2$$

Donde:

**SV:** Variación de las cotas de la rasante en sentido longitudinal en relación a la rasante inicial (Rugosidad en sentido longitudinal).

**Cf:** Suma de las áreas fisuradas en pies<sup>2</sup> y de las grietas longitudinales y transversales en pies lineales, por cada 1000 pies<sup>2</sup> de pavimento.

**P:** Área bacheada en pies<sup>2</sup> por cada 1000 pies<sup>2</sup> de pavimento.

**RD:** Profundidad media de ahuellamiento en pulgadas. Mide la rugosidad transversal.

Antes de diseñar el pavimento se deben elegir los índices de servicio inicial y final. El índice de servicio inicial  $po$  depende del diseño y de la calidad de la construcción. En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO, el pavimento nuevo alcanzó un valor medio de  $po = 4,2$ .

El índice de servicio final  $pt$  representa al índice más bajo capaz de ser tolerado por el pavimento, antes de que sea imprescindible su rehabilitación mediante un refuerzo o una reconstrucción. El valor asumido depende de la importancia de la carretera y del criterio del proyectista, se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de  $pt \geq 2,5$  y para carreteras de menor tránsito  $pt = 2,0$ .

## 5. PÉRDIDA O DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento. Por tanto:

$$\Delta PSI = po - pt$$

dónde:

$PSI$  = Índice de Servicio Presente

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

$po$  = Índice de servicio inicial

$pt$  = Índice de servicio final

## 6. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo multi-ruedas para determinar la carga total sobre una superficie mayor, con el fin de reducir las tensiones y deformaciones que se producen al interior de la superestructura.

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos. Para obtener este dato es necesario determinar el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño, a partir de un tráfico inicial medido en el campo a través de aforos. El número y composición de los ejes se determina a partir de la siguiente información:

- ❖ Periodo de diseño.
- ❖ Distribución de ejes solicitantes en cada rango de cargas.
- ❖ Tránsito medio diario anual de todos los vehículos TMDA o TPDA.
- ❖ Tasas de crecimiento anuales de cada tipo de vehículo.
- ❖ Sentido del tráfico.
- ❖ Número de carriles por sentido de tráfico.
- ❖ Porcentaje del tránsito sobre el carril más solicitado.
- ❖ Índice de serviciabilidad.
- ❖ Factores de equivalencia de carga.

## 7. TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL:

El TMDA representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios de tránsito aforados durante un año, en forma diferenciada para cada tipo de vehículo.

## CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS:

- + Automóviles y camionetas
- + Buses
- + Camiones de dos ejes
- + Camiones de más de dos ejes
- + Remolques
- + Semi-remolques

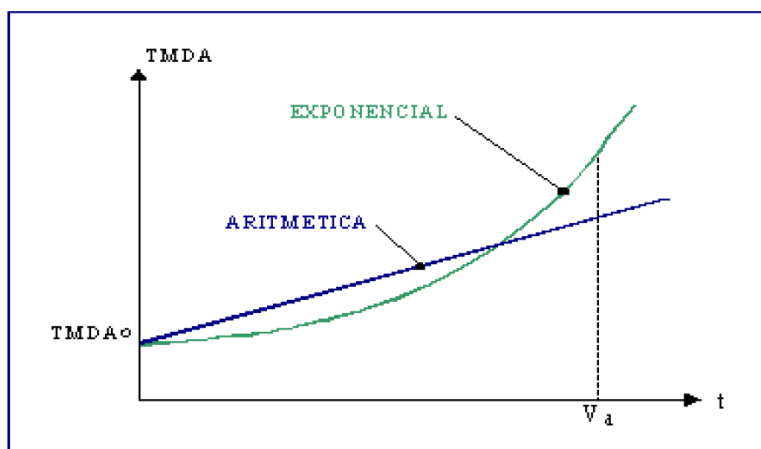
## 8. TASA DE CRECIMIENTO

Representa el crecimiento promedio anual del TMDA. Generalmente las tasas de crecimiento son diferentes para cada tipo de vehículo.

## 9. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO

El tránsito puede proyectarse en el tiempo en forma aritmética con un crecimiento constante o exponencial mediante incrementos anuales.

Figura II-17 MODELOS DE CRECIMIENTO



En el gráfico se observa que la proyección aritmética supone un crecimiento más rápido en el corto plazo y se subestima el tránsito en el largo plazo.

En base a las estadísticas es conveniente definir que curva se ajusta mejor al tránsito generado por una carretera.

### **FACTOR DE CRECIMIENTO**

Una forma sencilla de encontrar el factor de crecimiento es adoptar una tasa de crecimiento anual y utilizar el promedio del tráfico al principio y al final del periodo de diseño:

$$FC = 0,5 \cdot [1 + (1+r)^P]$$

Dónde:

$r$  = tasa de crecimiento anual en decimales

$P$  = periodo de diseño en años.

La Asociación del Cemento Portland utiliza el tráfico a la mitad del periodo de diseño:

$$FC = (1+r)^{0,5 \cdot P}$$

La AASHTO recomienda calcular el factor de crecimiento para el tráfico de todo el periodo de diseño:

$$FC = \frac{(1+r)^P - 1}{r}$$

Los valores del factor de crecimiento para diferentes tasas anuales y periodos de diseño se muestran en la tabla siguiente, de acuerdo al criterio de la AASHTO:

Tabla II-8 Factor de Crecimiento

Período de diseño, años (n)	Tasa de crecimiento anual, g en porcentaje							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.18	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

*Fuente: AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures 1993*

## 10. DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL

A menos que existan consideraciones especiales, se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección. En algunos casos puede variar de 0,3 a 0,7 dependiendo de la dirección que acumula mayor porcentaje de vehículos cargados.

## 11. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

En una carretera de dos carriles, uno en cada dirección, el carril de diseño es uno de ellos, por lo tanto el factor de distribución por carril es 100%. Para autopistas multicarriles el carril de diseño es el carril exterior y el factor de distribución depende del número de carriles en cada dirección que tenga la autopista.

En la tabla siguiente se muestran los valores utilizados por la AASHTO:

Tabla II-9 Factor De Distribución Por Carril.

Nro de carriles en cada Direccion	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 Kips en el carril de diseño (Fc)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o mas	50 - 75

*Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993*

## 12. TRÁNSITO EQUIVALENTE

Los resultados obtenidos por la AASHTO en sus tramos de prueba mostraron que el daño que producen distintas configuraciones de ejes y cargas, puede representarse por un número equivalente de pasadas de un eje simple patrón de rueda doble de 18 kips (80 kN u 8,2 Ton.) que producirá un daño similar a toda la composición del tráfico.

## 13. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA (LEF)

La conversión del tráfico a un número de ESAL's de 18 kips (Equivalent Single Axis Loads) se realiza utilizando factores equivalentes de carga LEFs (Load Equivalent Factor). Estos factores fueron determinados por la AASHTO en sus tramos de prueba, donde pavimentos similares se sometieron a diferentes configuraciones de ejes y cargas, para analizar el daño producido y la relación existente entre estas configuraciones y cargas a través del daño que producen.

El factor equivalente de carga LEF es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad ocasionada por una determinada carga de un tipo de eje y la producida por el eje patrón de 18 kips.

$$\text{LEF} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ESALs de 18 kips que producen una pérdida de serviciabilidad } \Delta\text{PSI}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes de X kips que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Por ejemplo, para producir en un pavimento flexible con un  $SN = 4''$ , una disminución de serviciabilidad de 4,2 a 2,5 se requieren la repetición de 100000 ejes simples de 18 kips, o la repetición de 14706 ejes simples de 30 kips. Por tanto, para este caso:

$$\text{LEF} = \frac{100000}{14706} = 6,8$$

Los factores equivalentes de carga de la AASHTO están tabulados en función de cuatro parámetros: tipo de eje (simple, tandem, tridem), índice de serviciabilidad final (2, 2,5 y 3), carga por eje, y número estructural  $SN$  del pavimento (de 1 a 6'').

#### 14. FACTOR DE CAMIÓN

Para expresar el daño que produce el tráfico, en términos del deterioro que produce un vehículo en particular, hay que considerar la suma de los daños producidos por cada eje de ese tipo de vehículo. De este criterio nace el concepto de Factor de Camión, que se define como el número de ESAL's por número de vehículo. Este factor puede ser calculado para cada tipo de camiones, o para todos los vehículos como un promedio de una determinada configuración de tráfico.

$$\text{Factor de Camión} = TF = \frac{\text{N}^\circ \text{ ESALs}}{\text{N}^\circ \text{ de camiones}}$$

Se ha demostrado que el eje delantero tiene una mínima influencia en el daño producido en el pavimento, por ejemplo en el ahuellamiento, la fisuración y la pérdida de serviciabilidad su participación varía de 0,13 al 2,1 %. Por esta razón el eje delantero no está incluido en los factores de equivalencia de carga, lo cual no afecta a la exactitud del cálculo.

#### EJEMPLO

$P_t = 2,5$                        $SN = 4''$

TIPO DE VEHÍCULO	Carga por eje (Kips)	Tipo de Eje	Volumen de Tráfico Diario	Nº de ejes	LEFs	Nº de ESALs
Automóviles, vagonetas, otros livianos	4	Simple	850	850	0,003	2,6
Microbuses, camión pequeño	10	Simple	440	440	0,102	45
Bus y camión mediano	16	Simple	260	260	0,645	168
Bus grande	34	Tandem	230	230	1,110	255
Camión Semiremolque	36	Tandem	240	480	1,380	662
Camión Semiremolque	48	Tridem	196	588	1,069	629
TOTALES			2216	2848		1532

*Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993*

$$\text{Factor de Camión} = TF = \frac{1532}{2216} = 0,69$$

Para el cálculo del tránsito, el método considera los ejes equivalentes simples de 18 kips (8,2 ton) acumulados durante el período de diseño, en el carril de diseño, utilizando la ecuación siguiente:

$$W_{18} = F_d \cdot F_c \cdot \overline{W}_{18}$$

Dónde:

**W18** = Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 18 Kips (8,2 ton), en el carril de diseño.

**Fd** = Factor de distribución direccional; (50% para la mayoría de las carreteras).

**W18** = Ejes Equivalentes acumulados en ambas direcciones.

**FC** = Factor de distribución por carril.

Una vez calculados los ejes equivalente acumulados en el primer año se deberá estimar, sobre la base de la tasa de crecimiento anual y del período de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados, los cuales se multiplican por el factor de camión para obtener los ESAL's de diseño.

### 15. NÚMERO TOTAL DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES (ESAL's)

Se calcula para el carril de diseño utilizando la siguiente ecuación:

$$ESALs' = \left( \sum_{i=1}^m P_i \cdot F_i \cdot P \right) \cdot (TPD) \cdot (FC) \cdot F_d \cdot F_c \cdot 365$$

Dónde:

***pi*** : Porcentaje del total de repeticiones para el i-ésimo grupo de vehículos o cargas.

***Fi*** : Factor de equivalencia de carga por eje, del i-ésimo grupo de eje de carga

***P*** : Promedio de ejes por camión pesado.

***TPD***: Tránsito promedio diario.

***FC*** : Factor de crecimiento para un período de diseño en años.

***Fd*** : Factor direccional.

***FC*** : Factor de distribución por carril

### EJEMPLO

Período de Diseño = 20 años Tasa de Crecimiento anual = 2%

$P_t = 2,5$                        $F_d = 0,5$                        $FC = 0,8$                        $SN = 4''$

TIPO DE VEHÍCULO	Carga por eje (Kips)	Tipo de Eje	Volumen de Tráfico Diario	Factor de Crecimiento	Tránsito de Diseño	Factor de Camión TF	Nº de ESALs
Automóviles, vagonetas, otros livianos	4	Simple	850	24,3	7539075	0,69	5201962
Microbuses, camión Pequeño	10	Simple	440	24,3	3902580	0,69	2692780
Bus y camión mediano	16	Simple	260	24,3	2306070	0,69	1591188
Bus grande	34	Tandem	230	24,3	2039985	0,69	1407590
Camión Semiremolque	36	Tandem	240	24,3	2128680	0,69	1468789
Camión Semiremolque	48	Tridem	196	24,3	1738422	0,69	1199511
<b>TOTALES</b>			2216				13561820

***Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993***

ESAL's de Diseño = 13561820                      0,5                      0,8 = 5424728

### 16. NIVEL DE CONFIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitudes exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se

comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las capas y el tránsito de diseño pronosticado.

**Tabla II-10** Valores Del Nivel De Confianza  $R$  De Acuerdo Al Tipo De Camino.

<b>Tipo de Camino</b>	<b>Confiabilidad Recomendada</b>	
	<b>Zona Urbana</b>	<b>Zona Rural</b>
Rutas interestatales y Autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales/ carretera de 1er orden	80 – 99	75 – 99
Colectoras/ carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Locales/ caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

*Fuente: AASHTO, Guide for Desing of Pavement Structures 1993*

La esquematización del comportamiento real del pavimento y la curva de diseño propuesta por la AASHTO tienen la misma forma pero no coinciden.

La falta de coincidencia se debe a los errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Por esta razón la AASHTO adoptó un enfoque regresional para ajustar estas dos curvas.

De esta forma los errores se representan mediante una desviación estándar  $S_o$ , para compatibilizar los dos comportamientos. El factor de ajuste entre las dos curvas se

define como el producto de la desviación normal  $ZR$ , por la desviación estándar  $S_o$ . Los factores de desviación normal  $ZR$  se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla II-11 FACTORES DE DESVIACION NORMAL**

Confiabilidad (R%)	Desviación Normal
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993  
Ing. Aurelio Salazar Rodriguez, 1998.

Si la construcción se va a realizar por etapas, la vida útil ha de ser menor al periodo de análisis (vida útil < periodo de análisis), en este caso se deben considerar las confiabilidades de todo el periodo de diseño, de donde resulta que:

$$R_{etapa} = (R_{total})^{1/n} \quad n = \text{número de etapas previstas}$$

Una vez elegido un nivel de confianza y obtenidos los resultados del diseño, éstos deberán ser corregidos por dos tipos de incertidumbre: la confiabilidad de los parámetros de entrada, y de las propias ecuaciones de diseño basadas en los tramos de prueba. Para este fin, se considera un factor de corrección que representa la desviación estándar, de manera reducida y simple, este factor evalúa los datos dispersos que configuran la curva real de comportamiento del pavimento.

El rango de desviación estándar sugerido por AASHTO se encuentra entre los siguientes valores:

$$0,4 \leq S_o \leq 0,5 \text{ (} S_o = \text{desviación estándar)}$$

**Para los valores de la desviación estándar se obtuvo el dato de la siguiente tabla:**

**TABLA II-12 Valores de la Desviación Estándar**

Condición de Diseño	Desvío Standard
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34 (Pav. Rígidos)
	0,44 (Pav. Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,39 (Pav. Rígidos)
	0,49 (Pav. Flexibles)

## 18. COEFICIENTE DE DRENAJE $C_d$

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla II-13 Capacidad del Drenaje**

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

*Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993*

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección  $m_2$  (bases) y  $m_3$  (sub-bases granulares sin estabilizar), los cuales están dados en la Tabla II-14, en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

TABLA II-14 Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles

Calidad de Drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1% $m_2, m_3$	1 – 5% $m_2, m_3$	5 – 25% $m_2, m_3$	>25% $m_2, m_3$
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

*Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993*

$$m_2 = m_3 = 1$$

### 2.5.7.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL “SN”

El método está basado en el cálculo del Número Estructural “SN” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén. Para esto se dispone de la Figura y de la ecuación siguiente:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log M_R - 8.07$$

Dónde:

$W_{18}$  = Tráfico equivalente o ESAL's.

$Z_R$  = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R

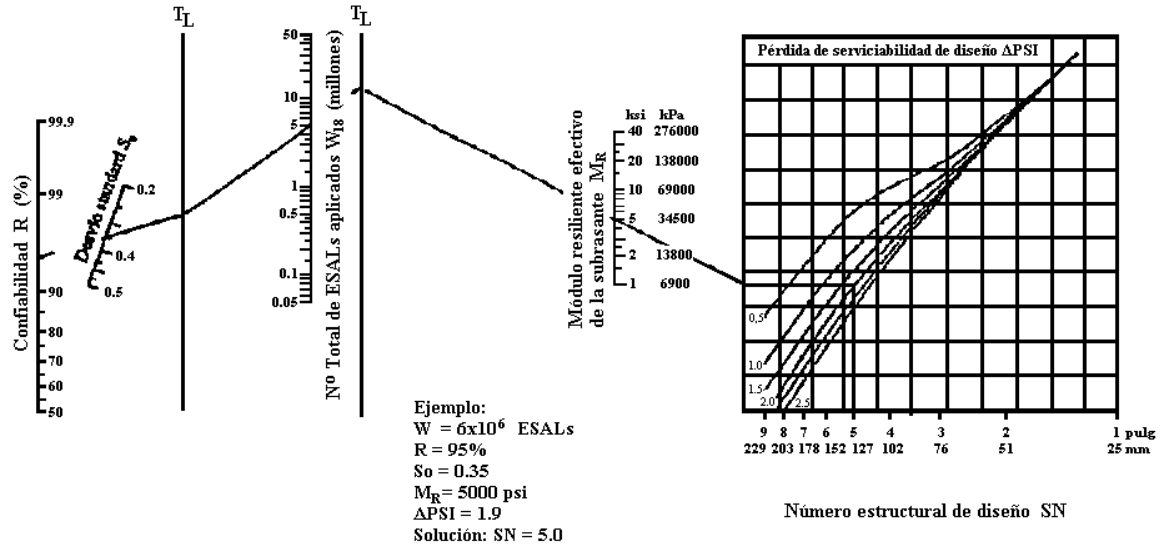
$S_o$  = Desviación estándar

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

$M_R$  = Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante

$SN$  = Número estructural

Figura II-18. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.



Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

### 2.5.7.3 DETERMINACIÓN DE ESPESORES POR CAPAS

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias. Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural  $SN$  para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño.

Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodamiento o carpeta, de la capa base y de la sub-base:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

donde:

$a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  = Coeficientes estructurales de capa de carpeta, base y sub-base respectivamente.

**$D1$ ,  $D2$  y  $D3$**  = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

**$m2$  y  $m3$**  = Coeficientes de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

De la misma manera se deberá obtener los coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica ( $a1$ ), de la capa base ( $a2$ ) y de la sub-base ( $a3$ ), utilizando los valores del módulo de resiliencia correspondientes a cada una de ellas.

Para capas estabilizadas con cemento o asfalto y para la superficie de rodadura de concreto asfáltico, el método no considera una posible influencia de la calidad del drenaje, por lo que en la ecuación de diseño solo intervienen los valores de  $m2$  y  $m3$ .

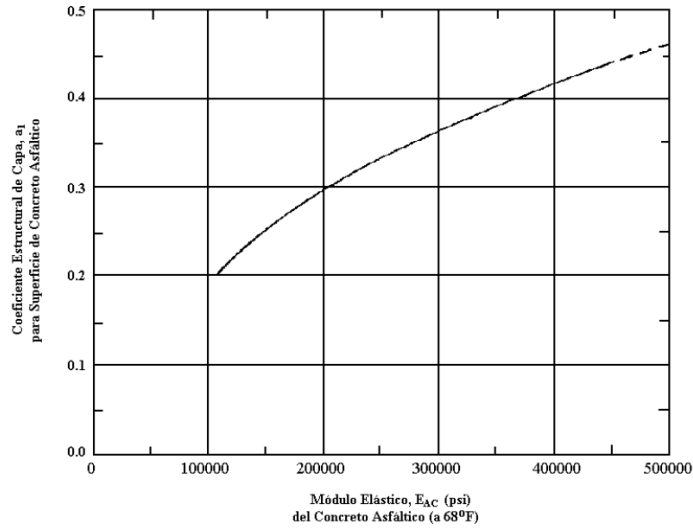
**Tabla II-15** Espesores Mínimos, en pulgadas, en Función de los Ejes Equivalentes

Tránsito (ESALs) En Ejes Equivalentes	Carpetas de Concreto Asfáltico	Bases Granulares
Menos de 50000	1 o TS	4
50001-150000	2	4
150001-500000	2,5	4
500001-2000000	3	6
2000001-7000000	3,5	6
Mayor a 7000000	4	6

***TS= Tratamiento Superficial***

***Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993***

Figura II-19 Abaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a1”

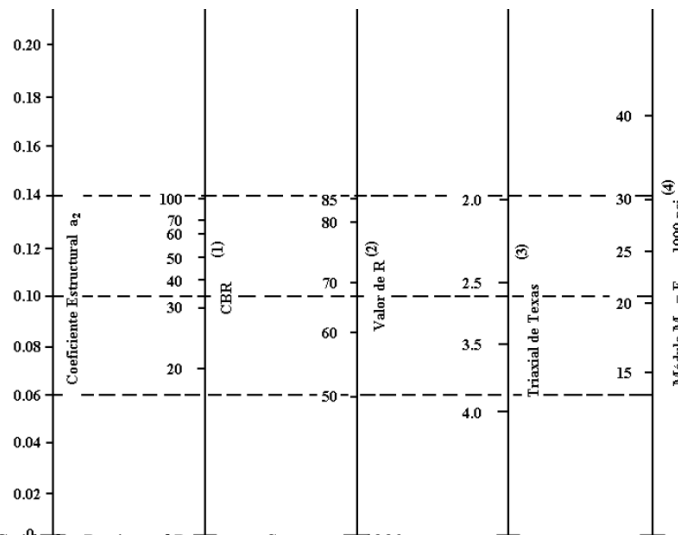


Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

TABLA II-16 Valor del Coeficiente Estructural Capa de Rodadura-Concreto Asfáltico

Valor C.B.R. (%)	$a_1$
10	0,33
20	0,36
30	0,39
40	0,41
50	0,43
> 60	0,45

Figura II-20 Abaco para estimar el numero estructural de la carpeta base granular “a2”



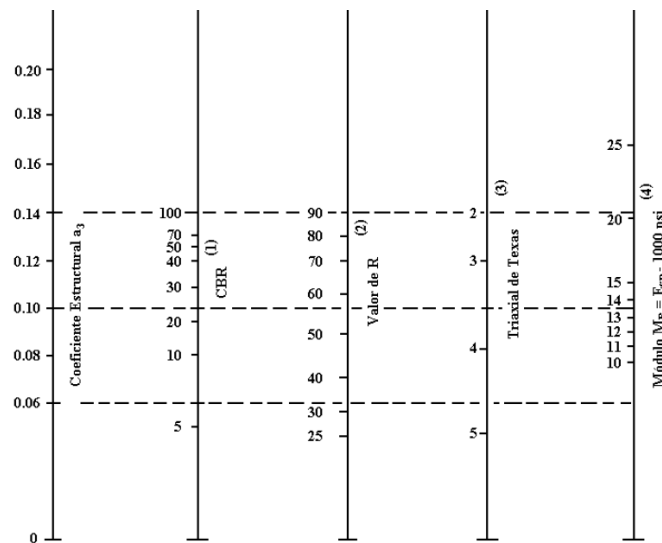
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

**TABLA II-17 Valor del Coeficiente Estructural para Base Granular Chancada**

<b>Valor C.B.R. (%)</b>	<b>a2</b>
40	0,11
50	0,12
60	0,12
70	0,13
80	0,13
90	0,14
100	0,14

**Figura II-21 Abaco para estimar el número estructural de la carpeta sub base granular “a3”**



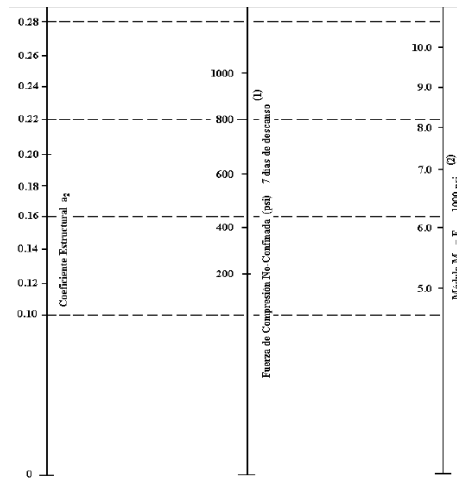
*Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993*

- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

TABLA II-18 Valor del Coeficiente Estructural para Sub-base Granular

Valor C.B.R. (%)	a3
10	0,08
20	0,09
30	0,11
40	0,12
50	0,12
60	0,13

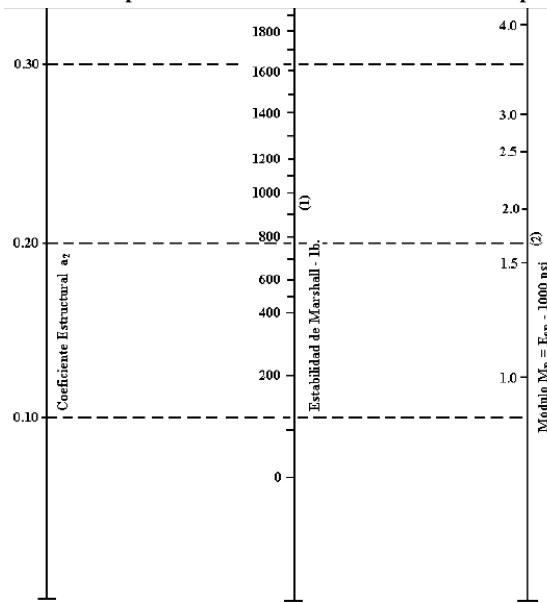
Figura II-22 Abaco para estimar el número estructural de la capa estabilizada con cemento



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios de Illinois, Louisiana y Texas.
- (2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Figura II-23 Abaco para estimar el numero estructural de la capa estabilizada con asfalto



(1) Escala derivada por correlaciones promedios de Illinois.  
(2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

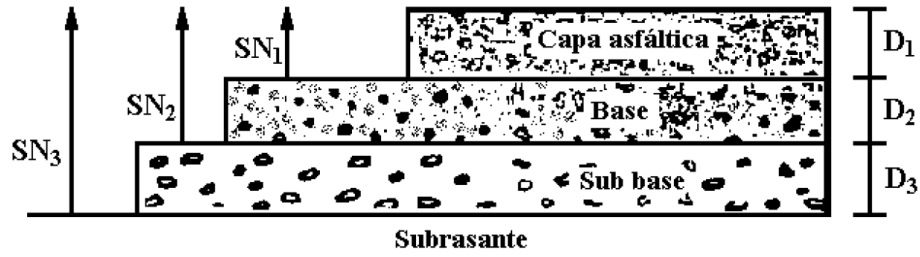
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

### 2.5.7.4 ESPESORES MÍNIMOS EN FUNCIÓN DEL SN

En el control de los espesores  $D1$ ,  $D2$  y  $D3$ , a través del  $SN$ , se busca dar protección a las capas granulares no tratadas, de las tensiones verticales excesivas que producirían deformaciones permanentes, como se muestra en el gráfico siguiente.

Los materiales son seleccionados para cada capa, de acuerdo a las recomendaciones del método, por tanto se conocen los módulos resilientes de cada capa. Usando el ábaco de la figura se determinan los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada, utilizando el módulo resiliente de la capa que se encuentra inmediatamente por debajo, por ejemplo para sacar el espesor  $D1$  de la carpeta se considera el  $MR$  de la capa base y así se obtiene el  $SN1$  que debe ser soportado por la carpeta asfáltica, de donde:

Figura II-19 Espesores Míminos en Función del SN



$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

Se adopta un espesor  $D_1$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN_1 = a_1 \cdot D_1$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se entra al ábaco con el  $MR$  de la subbase, para obtener el número estructural  $SN_2$  que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 \cdot m_2} \geq \frac{SN_b}{a_2 \cdot m_2}$$

Se adopta un espesor  $D_2$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN_b = a_2 \cdot m_2 \cdot D_2$$

$SN_b$  = Número estructural de la base

Finalmente para la sub-base se ingresa con el  $MR$  que corresponde a la subrasante y se obtiene  $SN_3 = SN$  para todo el paquete estructural, por tanto el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1 - SN_2)}{a_3 \cdot m_3} \geq \frac{SN_{sb}}{a_3 \cdot m_3}$$

Se adopta un espesor  $D_3$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la sub-base será:

$$SN_3 = a_3 \cdot m_3 \cdot D_3$$

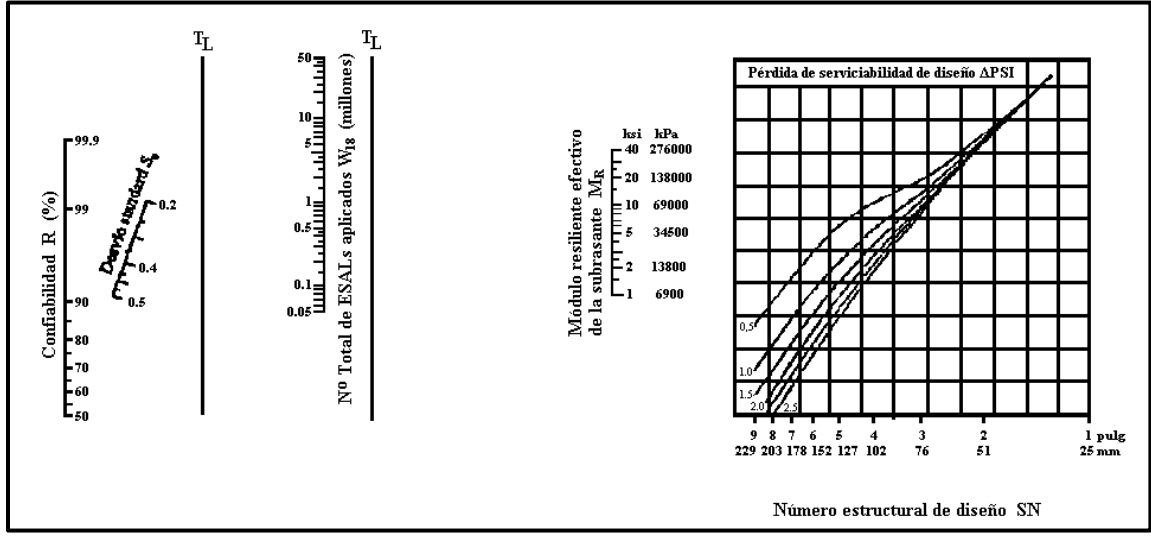
$SN_{sb}$  = Número estructural de la sub-base

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN + SN + SN \text{ mayor o igual a } SN$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40.000 psi (280 MPa). En este caso los espesores se determinaran mediante criterios constructivos o de acuerdo a la relación costo-eficiencia.

Abaco para determinar el número estructural SN para el diseño del paquete estructural establecido por la norma AASHTO 93 de los EEUU.



## 2.6 DRENAJE SUBTERRANEO

### 2.6.1 Drenaje interno o sub-drenaje

Este tipo de drenaje tiene como finalidad primaria eliminar los excedentes de la humedad de la base, sub-base, y taludes próximos a la calzada, protegiendo en esta forma y dando mayor estabilidad y durabilidad a la capa de rodadura,

interceptando además corrientes subterráneas y abatiendo los niveles freáticos elevados.

Los caudales que se manejan en los sistemas de drenaje interno son muy inferiores a los caudales de escorrentía superficial que afectan los sistemas de drenaje superficial. En este caso se trabaja con caudales infiltrados.

### **2.6.2 Estudios previos**

Los estudios necesarios para dimensionar un sistema de drenaje subterráneo incluye en general:

- a) Levantamiento topográfico y reconocimiento del terreno para determinar la extensión y relieve del área.
- b) En algunos casos, realizar el estudio del agua subterránea del área a fin de determinar el nivel de la capa freática en la zona y su fluctuación a lo largo del año. Estimación de los caudales necesarios de evacuar, según características del acuífero.
- c) Análisis de los suelos hasta una profundidad de 3 a 4 metros para definir su textura, porosidad, conductividad hidráulica, etapa que requiere normalmente de ensayos de laboratorio y pruebas en el terreno.
- d) Estudio geológico general del área en relación al agua subterránea, identificación de los posibles puntos de descarga y recarga, ubicación de los estratos impermeables y características básicas de los acuíferos.

### **2.6.3 Características propias.**

Los drenes subterráneos están constituidos por una zanja en la que se colocan los tubos con orificios perforados, juntas abiertas, o tubos de material poroso, etc. Los tubos se rodean de un material permeable a manera de filtro que permite el flujo de agua hacia el dren e impide el traslado de partículas finas de suelo. El drenaje debe aislarse de las aguas superficiales mediante una capa impermeable que ocupe y cierre la parte superior de la zanja.

La profundidad de instalación de los drenes depende de la situación del nivel freático y las necesidades a abatimiento a ese nivel.

Tabla II-19 Diámetros de Drenes Subterráneos

Diametro Nominal (cm)	Nro de Perforaciones
30	6
40	6
50	8
80	12
100	14
120	18

#### 2.6.4 Tubería de drenaje

Actualmente se utilizan una variada clase de materiales: concreto, plástico, cerámica etc. Los tubos de cerámica u hormigón se utilizan con juntas abiertas o perforaciones que permiten la entrada del agua a su interior, los de plástico, de material ondulado, o de fibras bituminosas deberán ir provistos de ranuras u orificios para el mismo fin que el señalado anteriormente. Los de hormigón poroso permiten la entrada del agua a través de sus paredes.

Tabla II-20 Profundidades recomendadas para tuberías de drenaje

TIPO DE TUBO	PROFUNDIDAD MINIMA cm	
	D=15 cm	D=30 cm
<b>CERAMICA</b>	50	90
<b>PLASTICO</b>	50	75
<b>CONCRETO SIMPLE</b>	50	50
<b>CONCRETO REFORZADO</b>		60
<b>METAL ONDULADO</b>		
Espesor e=1,37 mm	30	
Espesor e=1,58 mm		30

#### Clasificación:

El drenaje interno o sub-drenaje puede dividirse en dos grandes grupos

- a) Drenaje de abatimiento de niveles freáticos
- b) Drenajes de intersección

### 2.6.5 Drenes de abatimiento del nivel freático

Para rebajar el nivel freático, manteniéndolo a una profundidad conveniente de la superficie de la explanación, deben proyectarse drenes enterrados longitudinalmente.

Figura II-24 Drenes de abatimiento del nivel freático

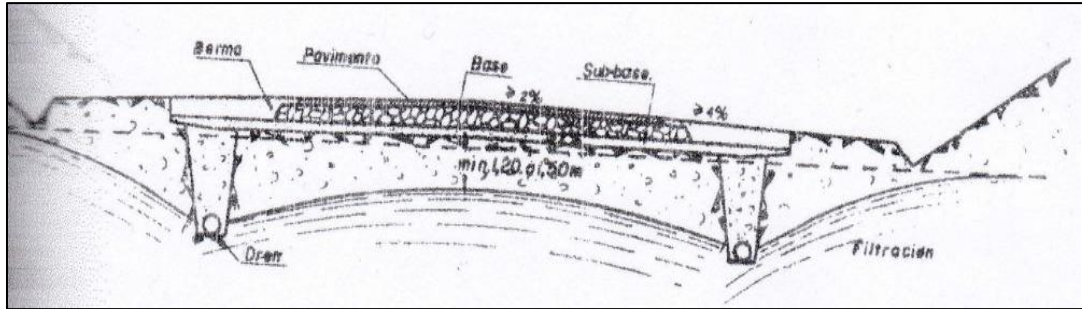


Figura II-25 Características de los Drenes

Fig II-20 Drenaje Vial Superficial y Subterráneo

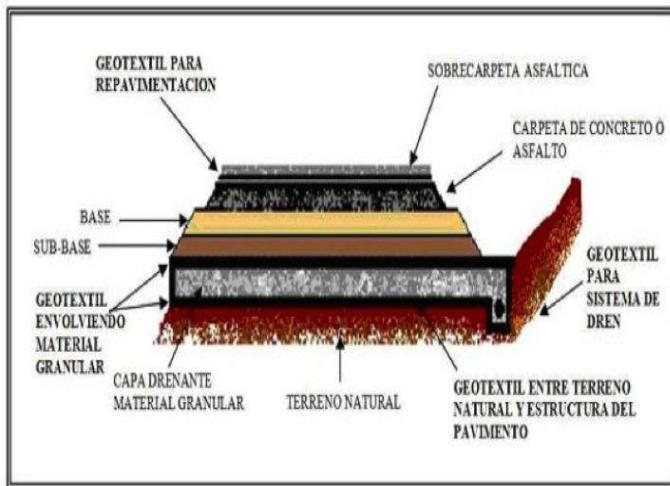
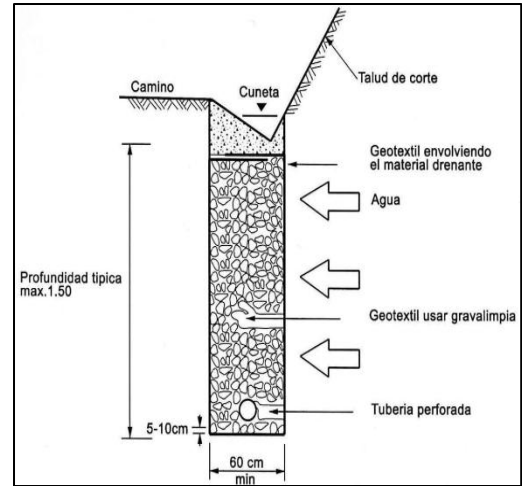


Fig II-21 Alcantarilla longitudinal



Fuente: Rodrigo A Lemos

El nivel freático debe mantenerse a un metro o más, bajo la superficie de la explanada. Para ello el fondo de las zanjas drenantes debe estar a una profundidad comprendida entre 1,2 y 1,8 m bajo el nivel de la calzada.

Cuando el suelo de la explanación sea arcilloso o limoso y la humeada puede ascender significativamente por capilaridad, afectándola estructura de la vía, debe proyectarse

una capa filtro de 10 cm de espesor como mínimo, con granulometría adecuada, en este caso se puede usar como parte de él, los geo textiles.

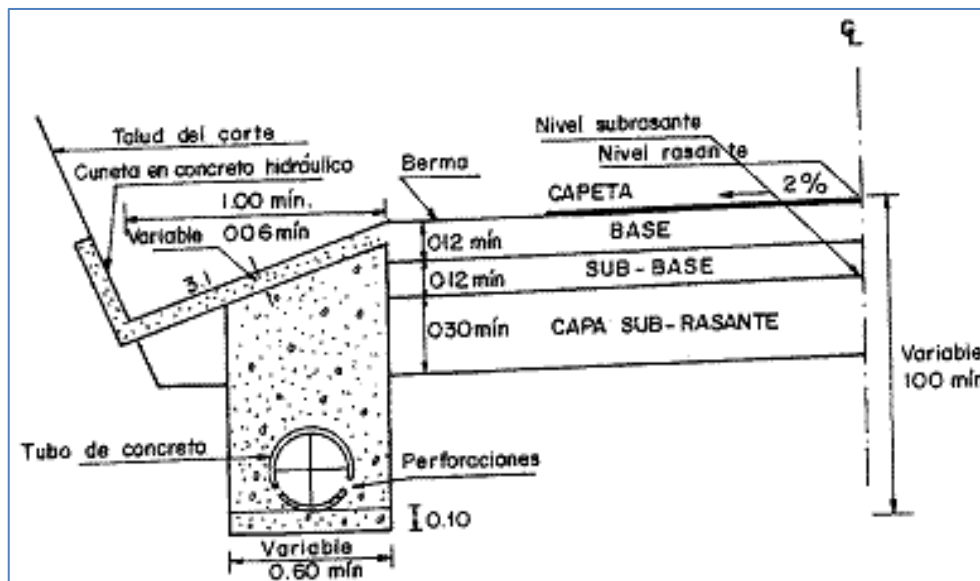
### 2.6.6 Drenes de intercepción.

Los drenes de intercepción se proyectan para cortar y evacuar fuera de la vía, corrientes subterráneas. Estos drenes se clasifican por su posición en longitudinales y transversales.

Los drenes de intercepción longitudinales deben localizarse cumpliendo las condiciones generales expuestas anteriormente, el fondo del tubo debe quedar por lo menos a 15 cm por debajo del plano superior de la capa impermeable, que sirve de lecho a la corriente subterránea. En caso de que esta capa sea roca, deben extremarse las precauciones para evitar que parte de la filtración cruce por debajo de la tubería.

Los drenes interceptores transversales se utilizan generalmente en tramos de carretera con pendientes fuertes, en que los drenes longitudinales no son eficientes para interceptar el flujo de filtración.

Figura II-26 Drenes de Intercepción



*Fuente: Rodrigo A Lemos Drenaje Vial Superficial y Subterráneo*

### CAPÍTULO III

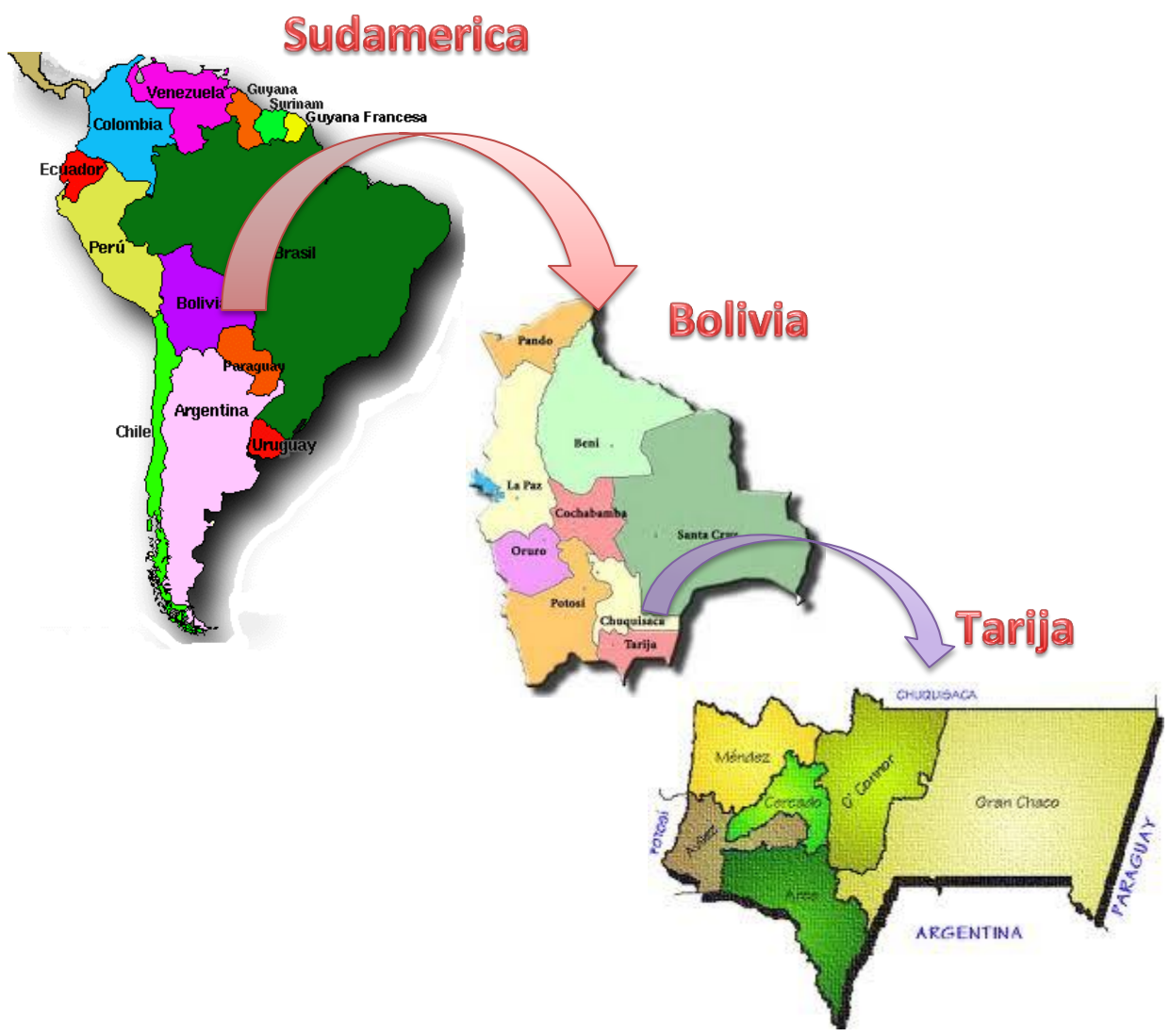
#### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1.- SELECCIÓN DE LA SUBRASANTE PARA EL ESTUDIO

##### 3.1.1 Ubicación

La ubicación del proyecto se encuentra en el continente de Sudamérica, en el país de Bolivia del departamento de Tarija.

Figura III-A ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL NACIONAL

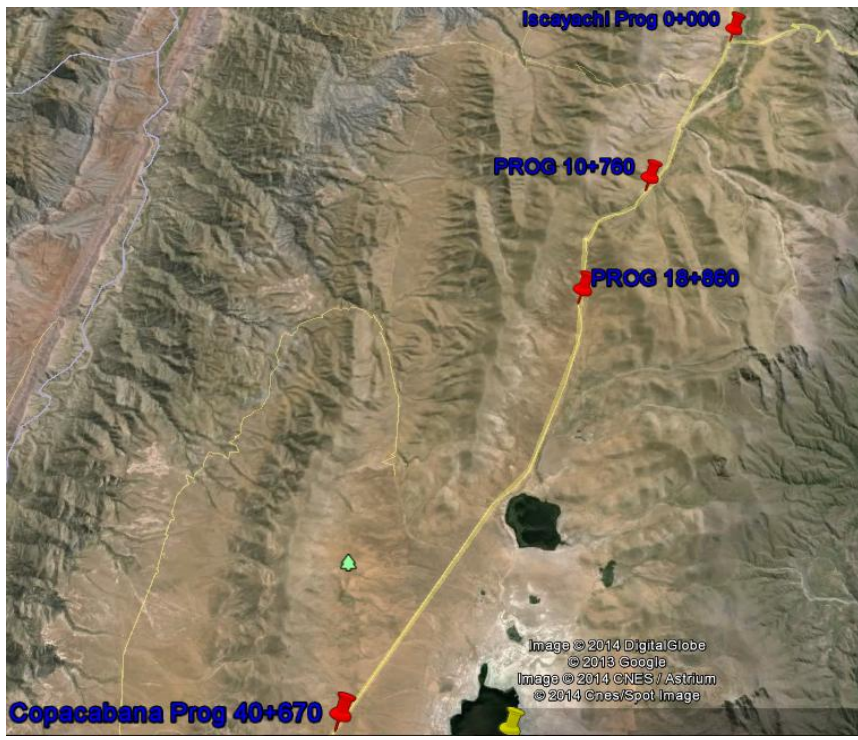


La zona de estudio para realizar el trabajo se encuentra ubicada en la comunidad de Iscayachi que se encuentra en la ciudad de Tarija, en la 2da Sección de la Provincia Méndez del municipio de El Puente.

El área de trabajo es en el tramo carretero Iscayachi- Final Copacabana que tiene una longitud de 40,67 km, específicamente se trabajara a partir de la progresiva 10+760 hasta la progresiva 18+860, en la cual se tendría una longitud de 8,1 km, que es el tramo en el cual se encuentra el problema de las subrasantes de rocas meteorizadas.

**Coordenadas de la ubicación del proyecto**

Fotografía III-1 . Fotografía Satelital-Coordenadas de Ubicación



Fuente: Elaboración Propia

Tabla III-1 Coordenadas de la Ubicación del Proyecto

PUNTO	UBICACION	COORDENADAS		ELEVACION msnm
		LATITUD	LONGITUD	
1	PROG 0+000 ISCAYACHI	21°28'46° S	64°58'10,95° N	3438 msnm
2	PROG 10+ 760	21°34'10,83° S	65°00'59,77 N	3668 msnm
3	PROG 18+860	21°37'28,90 S	65°02'57,04 N	3806 msnm
4	PROG 40+670 COPACABANA	21°47'53,97° S	65°05'04° N	3789 msnm

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.2 Características del área de estudio

#### Suelos.

Esta Unidad presenta un paisaje de montañas, planicies y piedemontes. Las pendientes generalmente varían entre 30 y 90% en las laderas y entre 5 y 30% en las cimas. La profundidad de los suelos varía de superficial en los escarpes y laderas, a moderadamente profundos en los abanicos coluvio-aluviales.

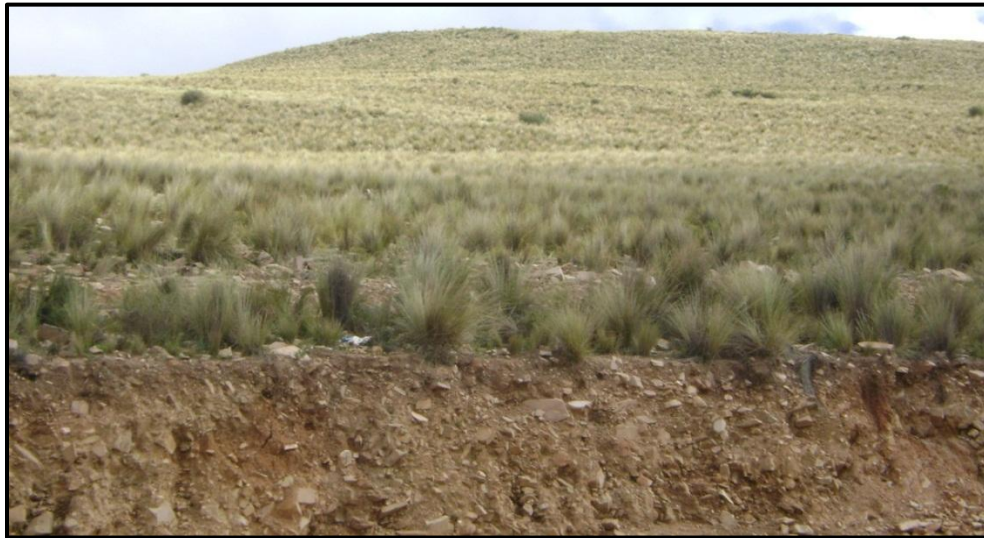
Fotografía III-2 Características del Área de Estudio



*Fuente: Elaboración Propia*

Laderas entre el 30 a 90% de Pendiente

Fotografía III-3 Características del Área de Estudio



*Fuente: Elaboración Propia*

Paisaje de Piedemontes con vegetación

## **El clima**

Es templado árido a frío semi-húmedo, con un periodo de 3 a 5 meses de disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas. Otro aspecto que limita fuertemente el crecimiento de cultivos es la presencia de heladas durante 6 a 10 meses.

La cobertura vegetal dominante está constituida por pajonales de altura asociados con un matorral enano a medio con una baja a mediana producción de forraje.

Actualmente presenta una condición variable desde un estado severo de degradación por el sobrepastoreo al que está sometido hasta sitios de buena condición. La ganadería extensiva de ovinos y pequeños rebaños de llamas es la actividad dominante.

En esta provincia predominan los paisajes de montañas, serranías y colinas medias a altas, piedemontes, llanura fluvio-lacustre, llanura aluvial y montes menores.

## **Topografía**

Todo el tramo carretero Iscayachi- final Copacabana, presenta una topografía montañosa, caracterizada por material rocoso.

**Fotografía III-4 . Características del Área de Estudio Topografía**



*Fuente: Elaboración Propia*

*Prog:12+800*

### 3.1.3 Metodología del estudio

La metodología de la investigación se realizara de forma secuencial y lógica, explicando paso a paso todo el procedimiento. La raíz del tema de investigación nace de una pregunta.

¿De qué manera los agentes climáticos y atmosféricos influyen sobre una subrasante de roca meteorizada y como afecta al paquete estructural?

A razón de esta pregunta se trazó un objetivo principal:

Investigar el comportamiento de los materiales de subrasantes tipo lutitas (rocas meteorizadas) de manera que puestas en condiciones extremas de saturación, se pueda analizar la variación de sus características en el comportamiento físico-mecánico y su incidencia en el paquete estructural.

Entonces lo que se quiere buscar en este trabajo es realizar una investigación a las muestras de suelos del tramos Iscayachi-final Copacabana entre las progresivas 10+760 y 18+860, ya que en ese tramo radica el problema de subrasantes de rocas meteorizadas.

La metodología del estudio de subrasantes de rocas meteorizadas es el siguiente:

- ✚ Se realizara una investigación y obtención de información del lugar de estudio, Prog:10+760 a Prog:18+860 como por ejemplo información del clima, la topografía, observaciones visuales de la zona de estudio, en si se realizara un reconocimiento del área del proyecto tomando un respaldo fotográfico.
- ✚ Se identificara los puntos de extracción de muestras de suelos para realizar posteriormente sus respectivos ensayos de laboratorio y poder realizar la clasificación de suelos.

- ✚ Ya ubicados los puntos para la extracción de muestras, estas serán extraídas y colocadas en bolsas nilón para que no pierda sus características físicas.
- ✚ Estas bolsas nilón serán identificadas de la siguiente manera: muestra numero(A) en la progresiva (X).
- ✚ Una vez que se tienen las muestras numeradas e identificadas, se las transportara desde el lugar de origen y se realizara el análisis de suelos en los laboratorios de la Empresa Vial Copacabana.
- ✚ Con otra fracción de las muestras extraídas, se realizara la saturación de las mismas en diferentes periodos de tiempo.
- ✚ Estas muestras representativas, se las alterara para realizar los ensayos de caracterización de suelos.

Muestra 1	Tiempo de saturación	5 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)
Muestra 2	Tiempo de saturación	10 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)
Muestra 3	Tiempo de saturación	15 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)
Muestra 4	Tiempo de saturación	20 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)
Muestra 5	Tiempo de saturación	25 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)
Muestra 6	Tiempo de saturación	30 Días	(9 extracciones Prog:10+760-Prog:18+860)

- ✚ A estas muestras que se encuentran en proceso de saturación por diferentes periodos de tiempo se les realizara una evaluación de laboratorio.
- ✚ Lo que se quiere buscar de la evaluación de estos suelos que se encuentran en diferentes tiempos de saturación, es obtener su comportamiento físico y mecánico por la incidencia del agua.
- ✚ Observar sus características físicas y los resultados de los laboratorios, y de esa manera obtener de una manera clara en base a gráficas, las alteraciones que ha sufrido la muestra.

## 3.2. Caracterización de los materiales

### 3.2.1. Muestreo

**Proceso de muestreo:** Lo primero que se debe hacer es definir el área a muestrear, en este caso se trata de una carretera y la extracción de muestras se realizara cada kilómetro a partir de la progresiva Prog:10+760 a la Prog:18+860.

Según la norma AASTHO 93 la extracción de muestras se la debe realizar cada 500 metros para mayor veracidad de los análisis de suelos y dé como resultado una minuciosa y exacta identificación de suelos a lo largo del perfil longitudinal.

Pero por ser una subrasante de tramos largos muy parecidos y de iguales similitudes en color, textura, resistencia, y apariencia, se realizara la extracción de muestras cada kilómetro para su posterior estudio.

**Color:** La muestra extraída debe tener un mismo color homogéneo en cada punto de extracción.

**Textura:** La textura de las muestras extraídas tienen que ser parecidas, ya que se trata de un tramo con existencia de rocas meteorizadas.

Después de seleccionar el área del muestreo, se establece la profundidad de muestreo de acuerdo con el tipo de estudio a realizar, en nuestro caso se realizara el muestreo a nivel de subrasante.

Al momento de tomar las muestras, se evitara hacer muestreos en áreas cercanas a bebederos, saladeros, árboles, orillas de cercas, caminos, quebradas o lotes con áreas planas e inclinadas, o sitios donde se han depositado estiércol, cal o cualquier fuente de fertilizantes o de productos químicos; o en sitios donde se hayan apilado o quemado residuos orgánicos y en áreas pantanosas

---

**Materiales y herramientas:**

Se recomienda que los materiales y herramientas utilizadas en el muestreo se encuentren limpios y libres de contaminantes que afecten la muestra tomada.

1. Bolsas limpias de yute para recolectar y mezclar las muestras
2. Barreta, pala y picota para remover y realizar la excavación de suelos.
3. Marcador de tinta permanente para identificar las muestras

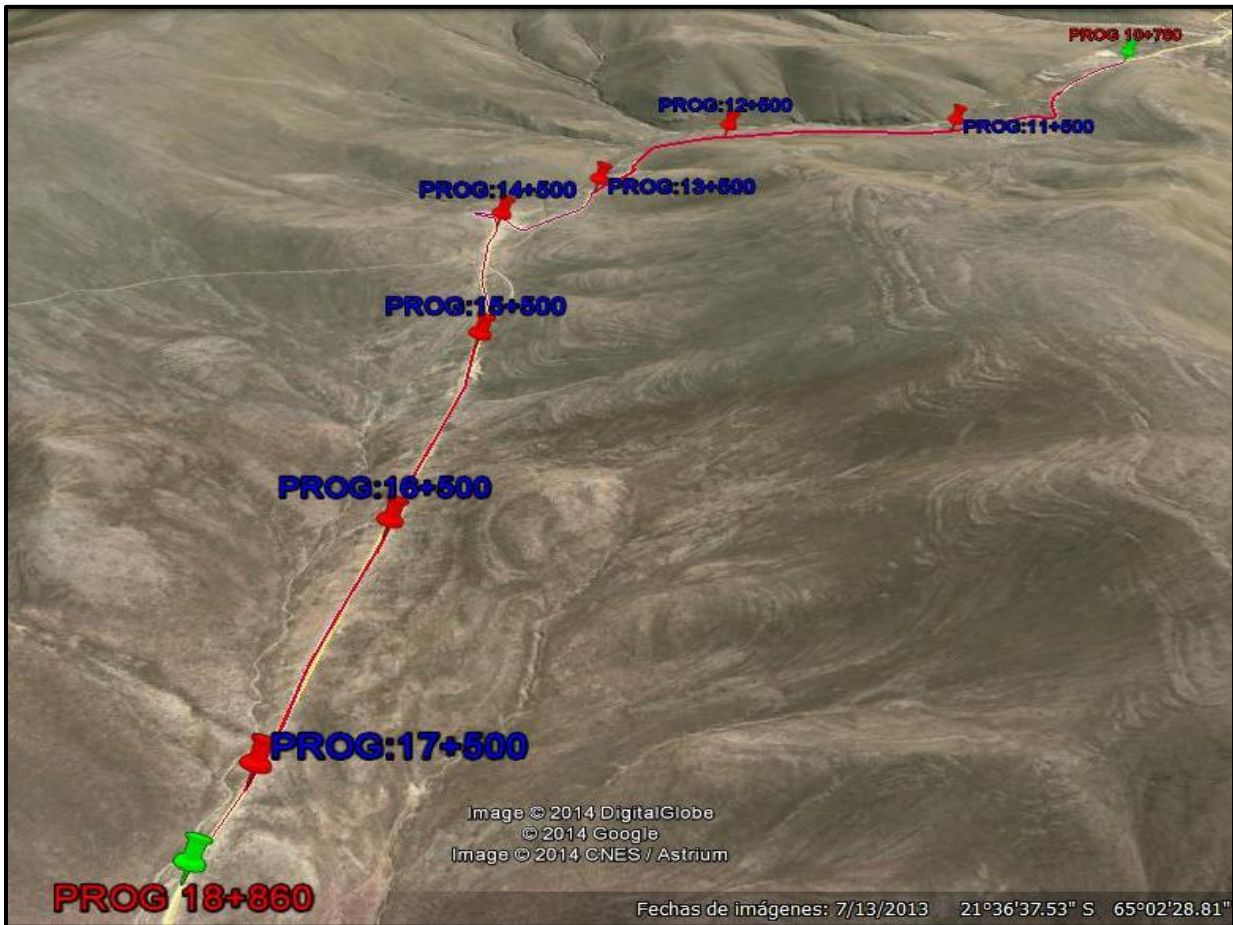
**Instrucciones de muestreo**

- Señalizar los puntos a muestrear haciendo un trazo en zig-zag, que permita cubrir toda el área del tramo para que el muestreo sea representativo
- Raspar aproximadamente 5 cm de la superficie del terreno en cada punto con el fin de limpiar y eliminar los residuos frescos de materia orgánica, polvo de la carretera u otros contaminantes artificiales.
- Con la picota se realizara una excavación de aproximadamente 50 a 60cm de profundidad que es el nivel de la subrasante donde se quiere hacer el muestreo.
- Se recogerá la muestra con la pala sin contaminar con otro tipo de material, y se las depositara en las bolsas de yute.
- Con un marcador se registrara en la bolsa con la muestra extraída la progresiva.

### PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Según la norma AASTHO 93 la extracción de muestras se la debe realizar cada 500 metros para mayor veracidad de los análisis de suelos y dé como resultado una minuciosa y exacta identificación de suelos a lo largo del perfil longitudinal. Pero por ser una subrasante de tramos largos muy parecidos y de iguales similitudes en color, textura, resistencia, y apariencia, se realizara la extracción de muestras cada kilómetro para su posterior estudio.

Fotografía III-5 . Puntos de Extracción de Muestras



*Fuente: Elaboración Propia*

*Fotografía Satelital Actualizada 2014 Google Are*

**EXTRACCION DE MUESTRAS CARRETERA ISCAYACHI-FINAL COPACABANA TRAMO  
PROG:10+760 a 18+860**

**Fotografía III-6 . Sondeo de Muestras Progresiva: 13+500**



**Sondeo de muestras Progresiva: 13+500**

**Observaciones:** el material es muy húmedo y los terrones se desarmen en la mano, presenta un color de café claro a amarillo

**Fotografía III-7 . Sondeo de Muestras Progresiva: 15+500**



**Sondeo de muestras Progresiva: 15+500**

**Observaciones:** el sondeo se realizó con una pala excavadora, el material es un poco húmedo y presenta partículas angulosas de color amarillo duras y blandas.

**Fotografía III-8 . Sondeo de Muestras Progresiva: 17+500**



**Sondeo de muestras Progresiva: 17+500**

**Observaciones:** el material es de color rojizo de partículas microscópicas, presenta mucha humedad debido a que el mismo se pega en la mano. Es un suelo blando

**Fotografía III-9 . Sondeo de Muestras Progresiva: 14+100**



**Sondeo de muestras Progresiva: 14+100**

**Observaciones:** Presenta algunas gravas y un poco de arena fina, es un material de partículas gruesas en su mayoría. Partículas muy duras.

**Nota:** Todas las fotografías de **EXTRACCION DE MUESTRAS CARRETERA ISCAYACHI-FINAL COPACABANA TRAMO PROG:10+760 a 18+860** son de:

**Fuente:** *Elaboración Propia*

### **3.2.2. Ensayos de caracterización**

Los ensayos que se realizaron a las muestras de suelos de cada una de las progresivas fueron para determinar la clasificación de suelos y sus propiedades mecánicas. Se hicieron los siguientes estudios.

#### **ENSAYO Nro 1 GRANULOMETRIA**

El análisis granulométrico consiste en pasar el suelo por una serie de tamices, previo conocimiento del peso total de la muestra; la parte del suelo retenido por cada tamiz se calcula en forma individual con relación al peso total y seguidamente se determina los porcentajes que pasan por cada tamiz.

#### **MATERIAL**

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Muestra de suelo
- Juego de tamices
- Balanza de sensibilidad 0.1 gr.
- Bandejas

#### **METODOLOGÍA**

- A partir del material traído del campo se obtiene una muestra representativa de la masa del suelo y se seca en el horno. Se reducen los terrones de la muestra a tamaños de partículas elementales.
- Se procede al cuarteo de la muestra de suelo para posteriormente realizar el tamizado.
- Tamizamos manualmente con la serie de tamices para agregado fino, ya que nuestra muestra presenta partículas microscópicas, separando el agregado

---

grueso del fino en el Tamiz No 4; obtenidos los retenidos en los respectivos tamices se procedió a pesarlos.

- De la porción que paso el tamiz No 4 sólo se tomaron 500 gramos para realizar la granulometría del agregado, tamizándolo con los tamices No 10, 40 y 200.
- Obtenidos los pesos retenidos en los diferentes tamices, se procederá a calcular los porcentajes retenidos en cada tamiz, los porcentajes retenidos acumulados, y el porcentaje que pasa a través de cada tamiz.
- Una vez terminado todo esto, se pesa una muestra de suelo para determinar la humedad higroscópica del suelo, la muestra que se selecciono fue una parte de la muestra cuarteada que teníamos antes de proceder al tamizado.

## ENSAYO Nro 1 GRANULOMETRIA MATERIAL FINO

Fotografía III-10 . Serie de Tamices Estándar



**Serie de Tamices Estándar**  
**Marca:** VIAL PIRAY  
**Industria:** Colombiana  
**Tamices:** 1" - ½" - ¾" - 3/8" - Nro 4- Nro 10 – Nro 40- Nro 200

Fotografía III-12 . Granulometría Fino Progresiva: 11+500



**Granulometría Fino Progresiva: 11+500**  
**Observaciones:** La mayoría del material Tamizado se retiene en el tamiz Nro 10, se ve que es un material grueso y poco fino en tamiz Nro 40 y Nro 200.

Fotografía III-11 . Granulometría Método del Lavado Prog:10+760



**Granulometría Método del Lavado Progresiva 10+760**  
**Observaciones:** Material amarillento con mucho pasante tamiz 200. Se observa el agua turbia

Fotografía III-12-A . Granulometría Fino Progresiva: 13+500



**Granulometría Fino Progresiva: 13+500 Retenido tamiz Nro 40**  
**Observaciones:** Es un material fino y limpio, poco retenido tamiz Nro 10, mucho material pasante Tamiz Nro 200

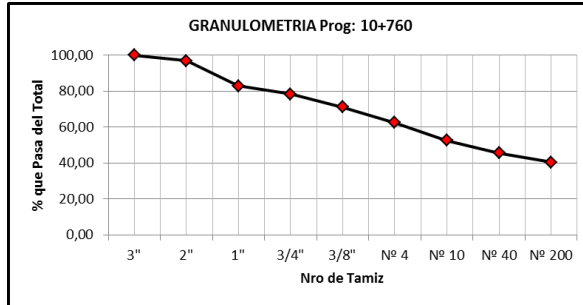
Nota: Todas las fotografías de ENSAYO Nro 1 GRANULOMETRIA MATERIAL FINO son de :  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2.1. Planilla de resumen de los ensayos de Granulometría

#### Progresiva:10+760

Grafico III-A Resumen Curva Granulométrica Prog: 10+760

TAMIZ	%PASA
3"	100,00
2"	97,05
1"	83,02
3/4"	78,36
3/8"	71,27
Nº 4	62,45
Nº 10	52,71
Nº 40	45,71
Nº 200	40,47



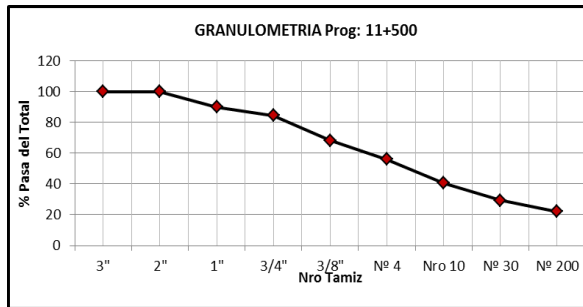
SISTEMA AASHTO  
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200. Corresponde a materiales Limo-Arcillosos. A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Corresponde a suelos finos, como arenas finas o arenas limosas.  
SC-SM

#### Progresiva:11+500

Grafico III-B Resumen Curva Granulométrica Prog: 11+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	100
1"	90,07
3/4"	84,52
3/8"	68,35
Nº 4	56,08
Nro 10	40,56
Nº 30	29,46
Nº 200	22,14



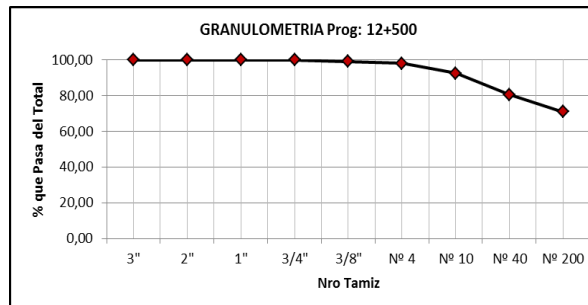
SISTEMA AASHTO  
Menos del 35% pasa el tamiz Nro 200. Corresponde a materiales granulares. A-1: A-2:A-3

SISTEMA SUSCS  
Menos del 50% pasa el tamiz 200 Corresponde a suelos de partículas gruesas como gravillas o arena gruesa. SC-SM

#### Progresiva:12+500

Grafico III-C Resumen Curva Granulométrica Prog:12+500

TAMIZ	%PASA
3"	100,00
2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
3/8"	99,22
Nº 4	98,16
Nº 10	92,55
Nº 40	80,69
Nº 200	71,07



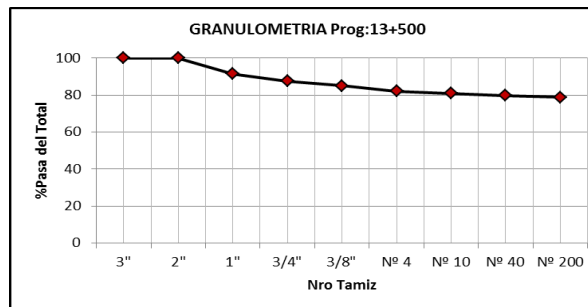
SISTEMA AASHTO  
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a materiales Limo-Arcillosos. A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Más del 50% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a suelos finos, como CL-ML-CH-MH.

#### Progresiva:13+500

Grafico III-D Resumen Curva Granulométrica Prog: 13+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	100
1"	91,54
3/4"	87,53
3/8"	85,06
Nº 4	82,15
Nº 10	80,87
Nº 40	79,86
Nº 200	78,87



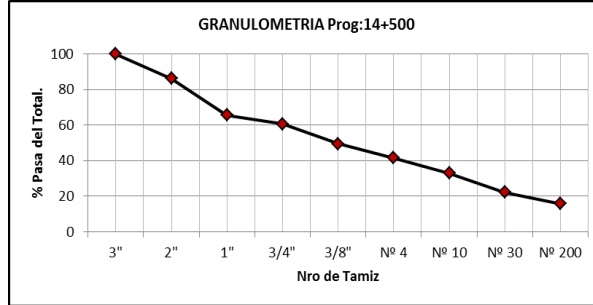
SISTEMA AASHTO  
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a materiales Limo-Arcillosos. A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Más del 50% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a suelos finos, como CL-ML-CH-MH.

### Progresiva:14+500

Grafico III-E Resumen Curva Granulométrica Prog: 14+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	86,27
1"	65,60
3/4"	60,65
3/8"	49,45
Nº 4	41,64
Nº 10	32,98
Nº 30	22,18
Nº 200	15,82



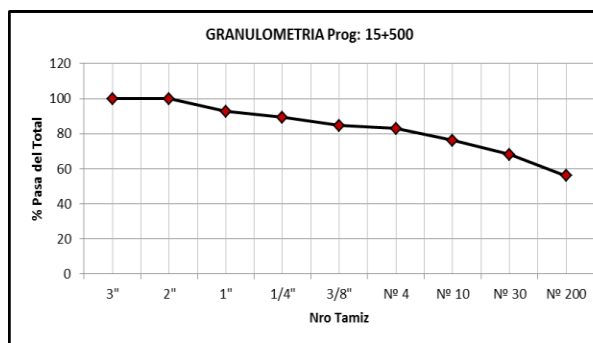
SISTEMA AASHTO  
Menos del 35% pasa el tamiz Nro 200. Corresponde a materiales granulares. A-1:A-2:A-3

SISTEMA SUSCS  
Menos del 50% pasa el tamiz 200 Corresponde a suelos de partículas gruesas como gravillas o arena gruesa. SC-SM.

### Progresiva:15+500

Grafico III-F Resumen Curva Granulométrica Prog: 15+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	100,00
1"	92,70
1/4"	89,30
3/8"	84,61
Nº 4	82,86
Nº 10	76,20
Nº 30	68,04
Nº 200	55,98



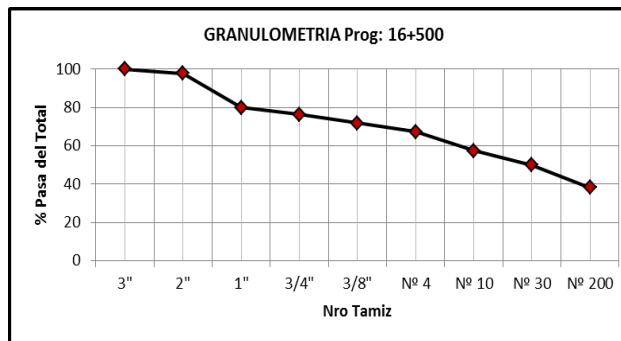
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a materiales Limo-Arcillosos. A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Más del 50% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a suelos finos, como CL-ML-CH-MH.

### Progresiva:16+500

Grafico III-G Resumen Curva Granulométrica Prog: 16+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	97,71
1"	80,05
3/4"	76,34
3/8"	71,78
Nº 4	67,27
Nº 10	57,45
Nº 30	49,91
Nº 200	38,21



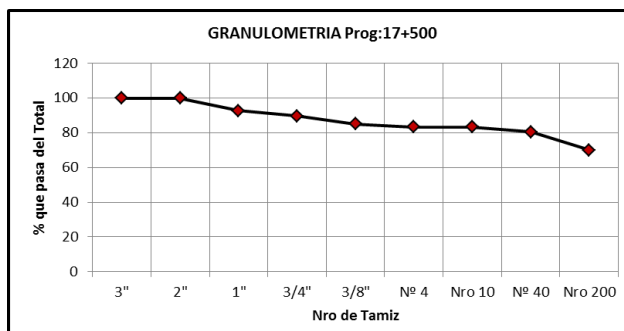
SISTEMA AASHTO  
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200. Corresponde a materiales Limo-Arcillosos.

SISTEMA SUSCS  
Mas del 50% pasa el tamiz Nro 4. Clasifica como arenas, se debe realizar ensayo de límites de Atterberg.

### Progresiva:17+500

Grafico III-H Resumen Curva Granulométrica Prog: 17+500

TAMIZ	%PASA
3"	100
2"	100
1"	92,71
3/4"	89,68
3/8"	85,10
Nº 4	83,36
Nro 10	83,29
Nº 40	80,56
Nro 200	70,18



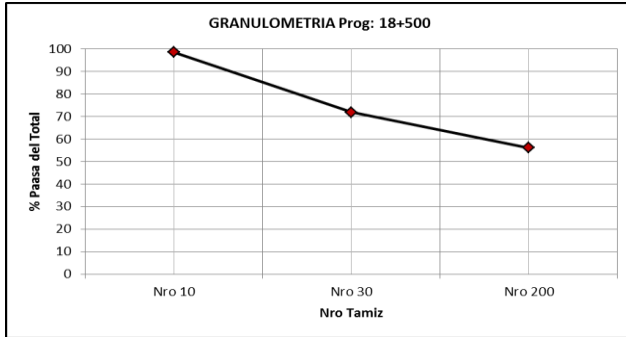
Más del 35% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a materiales Limo-Arcillosos. A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Más del 50% pasa el tamiz Nro 200 Corresponde a suelos finos, como CL-ML-CH-MH. Realizar ensayo de límites de Atterberg.

## Progresiva:18+500

Grafico III-I Resumen Curva Granulométrica Prog: 18+500

TAMIZ	%PASA
Nro 10	98,52
Nro 30	71,82
Nro 200	56,16



SISTEMA AASHTO  
Mas del 35% pasa el tamiz  
Nro 200. Corresponde a  
materiales Limo-Arcillosos.  
A-4:A-5:A-6:A-7

SISTEMA SUSCS  
Corresponde a suelos finos,  
como arenas finas o arenas  
limosas.  
Realizar ensayos de límites de  
Atterberg para clasificación.

## ENSAYO Nro 2 LIMITES DE ATTERBERG

Se define Límites de Atterberg o Límites de Consistencia como las diferentes fronteras convencionales entre cualquiera de los estados o fases en que un suelo pueda estar, según su contenido de agua en orden decreciente; los estados de consistencia definidos por Atterberg son: *estado líquido*, *estado semilíquido*, *estado plástico*, *estado semisólido* y *estado sólido*. Llamándose *límites de plasticidad* a las fronteras (límite líquido y límite plástico) que definen el intervalo plástico.

### MATERIAL

Los materiales utilizados en esta práctica son los siguientes:

- Aparato de Casagrande
- Espátula
- Recipiente de porcelana
- Taras o recipientes de aluminio
- Placa de vidrio
- Horno a temperatura de 110° C
- Tamiz No 40
- 100 gr. de suelo (pasa tamiz No 40)
- Balanza con precisión de 0,01 gr.

### Metodología Límite Líquido

- Se procede a pasar cierta cantidad de material a través del tamiz No 40, el cual se utilizara para determinar el límite líquido y el límite plástico.
- A continuación se verifica si el aparato de Casagrande está debidamente calibrado, si no es así se deberá calibrar la altura de caída de la cazuela, con

ayuda del extremo superior del ranurador patrón, esta altura deberá ser exactamente 1 cm.

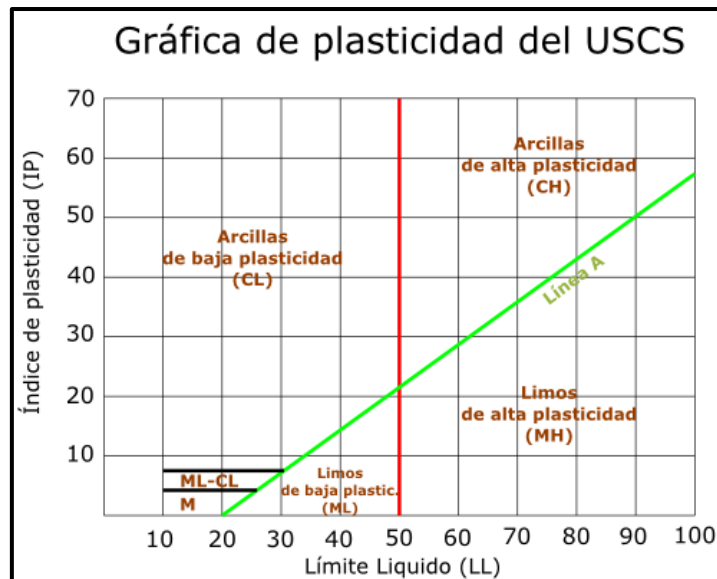
- Se coloca el material tamizado en un recipiente de porcelana, se añade un poco de agua y se mezcla cuidadosamente con el suelo hasta lograr una pasta uniforme y una apariencia cremosa (suelo arcilloso).
- Se procede a colocar dentro del aparato de Casagrande una pequeña cantidad de suelo hasta la profundidad de 1 cm, a continuación se debe emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta ranuradora, cortar una ranura clara, recta, que separe completamente la masa del suelo en dos partes.
- Hacer el conteo de golpes hasta que la masa se cierre una longitud de 1 cm.
- Se toma una muestra para obtener el contenido de humedad, se coloca en una tara la zona donde se cerró la ranura, se procede a pesar la tara con el material y se lo introduce en el horno por un periodo de 24 horas.
- Este procedimiento se repite en su totalidad con cinco muestras del mismo suelo, pero con diferentes contenidos de humedad
- Pasadas las 24 horas se extrae la muestra del horno y se procede a su pesaje correspondiente, y a los posteriores cálculos.

### **Metodología Límite Plástico.**

- Para la realización del límite plástico, se procede a tomar una parte del material más seco del límite líquido y se mezcla cuidadosamente hasta obtener una textura uniforme.

- La muestra obtenida se divide en varios pedazos o porciones pequeñas, con la mano sobre una placa de vidrio enrollamos el suelo con presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro de diámetro uniforme por la acción de los movimientos de la mano.
- Cuando el diámetro del cilindro llega a 3 mm, se debe observar cuidadosamente que el rollito o cilindro presente grietas o rajaduras a lo largo de su cuerpo caso contrario se deberá volver a moldear y enrollar nuevamente con otra porción de suelo, este proceso se hace hasta que el cilindro de suelo se rompa bajo la presión del enrollamiento, que justamente es en ese punto el límite de plasticidad que se está buscando.
- La muestra o el cilindro, que se rompa nos define el límite plástico, luego este cilindro se coloca en una tara previamente pesada, efectuando el pesaje de la tara más el cilindro de suelo, luego se introduce al horno, por un periodo de 24 horas para calcular el contenido de humedad de la muestra.
- Una vez que la muestra es extraída del horno se procede a su pesaje y la obtención del peso de la muestra seca más la tara.

Figura III-1 Grafica de Plasticidad SUCS



## ENSAYO Nro 2 LÍMITES DE ATTERBERG

Fotografía III-13 . Muestras Preparadas para limites



### Límites de Atterberg

**Observaciones:** Muestras preparadas pasante Tamiz Nro 40 para posterior ensayo de Limite Líquido.

Muestras de colores

**Progresivas:** 10+760 P:11+500 P:12+500 P:13+500

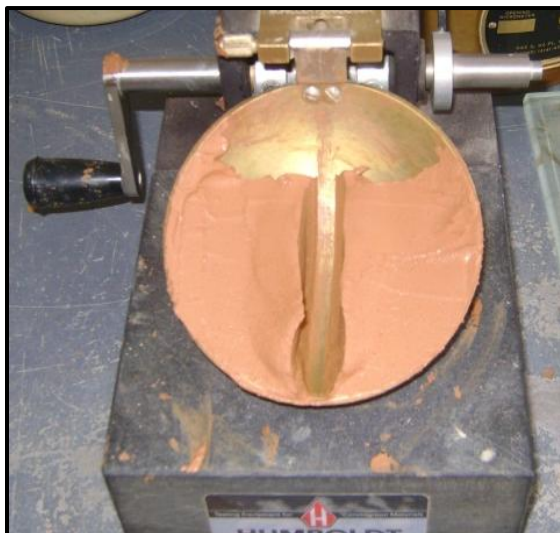
Fotografía III-14 . Limite Líquido Prog: 10+760



### Límites de Atterberg Limite Líquido

**Observaciones:** Muestras preparada y homogenizada en capsula de porcelana y enrasado y cortado en la copa de Casagrande Prog:10+760

Fotografía III-15 . Limite Líquido Prog: 15+500



### Límites de Atterberg Limite Líquido Prog:15+500

**Observaciones:** Muestras preparada y homogenizada y enrasada en la copa de Casagrande y cortada a la mitad, muestra color

Fotografía III-16 . Limite Plástico Prog:17+500



### Límites de Atterberg Limite Plástico Prog:17+500

**Observaciones:** se realizó los rollitos de 3mm de diámetro con la muestra más seca del límite líquido, se observa algunas grietas y rajaduras en

***Nota:** Todas las fotografías de ENSAYO Nro 2 LIMITES DE ATTERBERG son de Fuente :Elaboración Propia*

Fotografía III-17 . Secado al Horno de Límite Líquido y Limite Plástico



**Límites de Atterberg Limite Líquido y Limite Plástico**

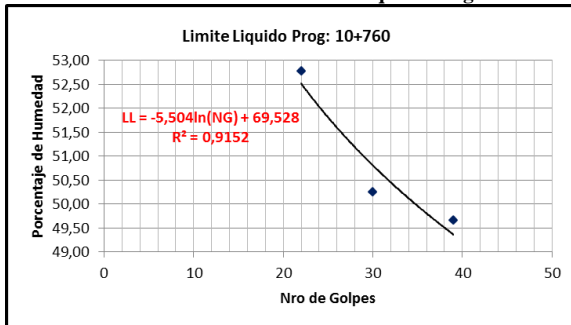
**Observaciones:** Muestras de límite líquido de las diferentes progresivas a distintas humedades y muestras de límite plástico de todas las progresivas. SECANDO AL HORNO

*Nota: Todas las fotografías de ENSAYO Nro 2 LIMITES DE ATTERBERG son de Fuente : Elaboración Propia*

**3.2.2.2 PLANILLA DE RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LIMITES DE ATTERBERG**

**Progresiva:10+760**

Grafico III-A Resumen Curva Limite Liquido Prog: 10+760



Limite Liq	LL=	50,52
Limite Plas	LP=	25,93
Ind Plast	IP=	24,59

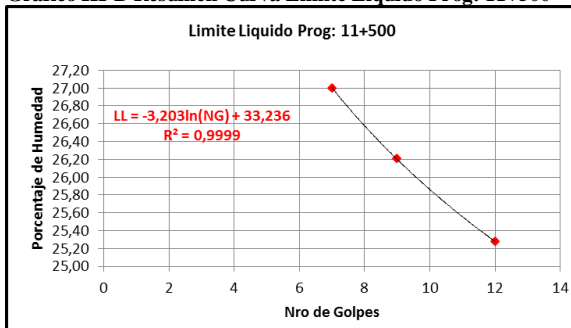
**SISTEMA AASHTO**

Limite Líquido corresponde a un suelo A-7.

Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

**Progresiva:11+500**

Grafico III-B Resumen Curva Limite Liquido Prog: 11+500



Limite Liq	LL=	22,93
Limite Plas	LP=	15,05
Ind Plast	IP=	7,88

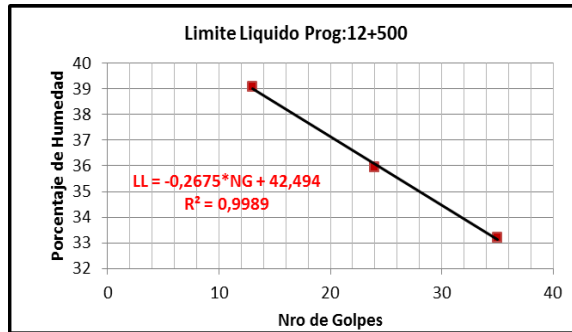
**SISTEMA AASHTO**

Limite Líquido corresponde a un suelo A-4.

Índice de Plasticidad: debe ser 10 como máximo.

### Progresiva:12+500

Grafico III-C Resumen Curva Limite Liquido Prog: 12+500



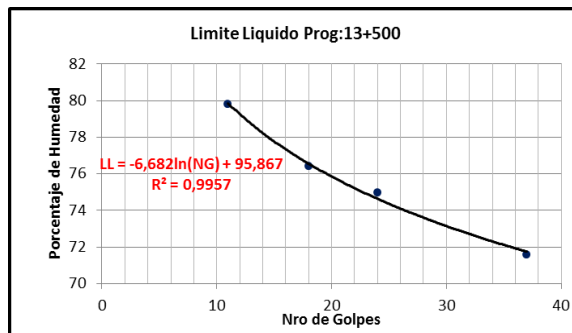
Limite Liq	LL=	35,81
Limite Plas	LP=	21,91
Ind Plast	IP=	13,90

#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-6.  
Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:13+500

Grafico III-D Resumen Curva Limite Liquido Prog: 13+500



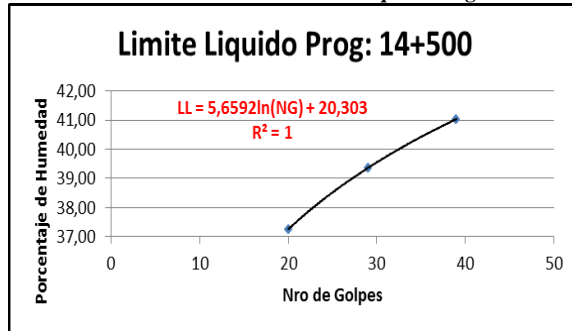
Limite Liq	LL=	74,36
Limite Plas	LP=	59,66
Ind Plast	IP=	14,69

#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-7-5.  
Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:14+500

Grafico III-E Resumen Curva Limite Liquido Prog: 14+500



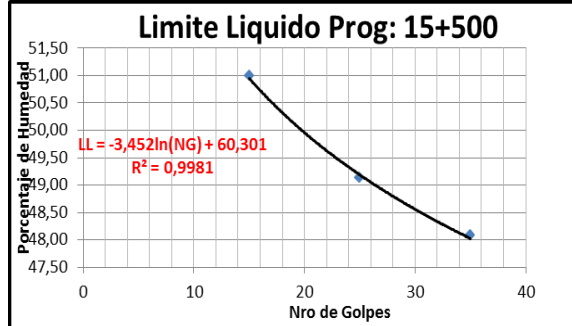
Limite Liq	LL=	38,49
Limite Plas	LP=	17,61
Ind Plast	IP=	20,88

#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-2-6.  
Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:15+500

Grafico III-F Resumen Curva Limite Liquido Prog: 15+500



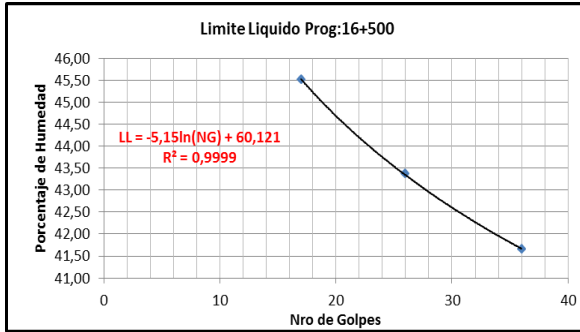
Limite Liq	LL=	49,20
Limite Plas	LP=	12,94
Ind Plast	IP=	36,26

#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-6.  
Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:16+500

Grafico III-G Resumen Curva Limite Liquido Prog: 16+500



Limite Liq	LL=	43,54
Limite Plas	LP=	24,79
Ind Plast	IP=	18,75

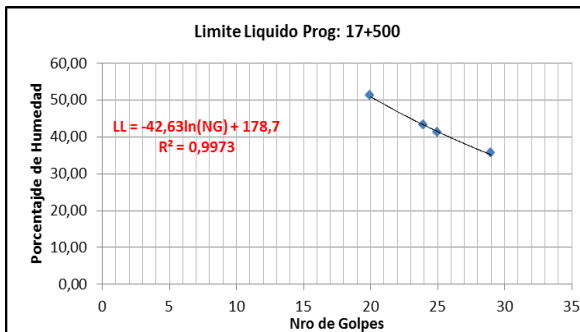
#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-6.

Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:17+500

Grafico III-H Resumen Curva Limite Liquido Prog: 17+500



Limite Liq	LL=	41,48
Limite Plas	LP=	10,73
Ind Plast	IP=	30,75

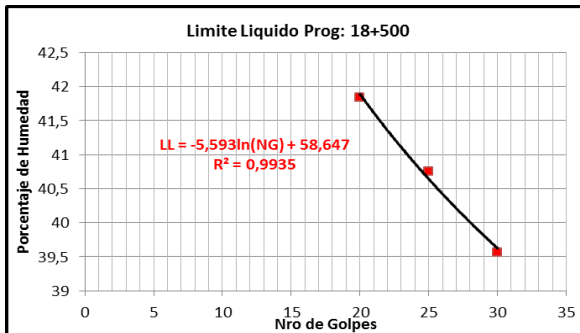
#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-7-6.

Índice de Plasticidad: debe ser 11 como mínimo.

### Progresiva:18+500

Grafico III-I Resumen Curva Limite Liquido Prog: 18+500



Limite Liq	LL=	40,64
Limite Plas	LP=	30,95
Ind Plast	IP=	9,70

#### SISTEMA AASHTO

Limite Liquido corresponde a un suelo A-7-5.

Índice de Plasticidad: debe ser 11 como máximo.

### 3.2.2.3 PLANILLA DE RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Clasificación de Suelos Prog: 10+760

**Grafico III-A Resumen Clasificación de Suelos Prog:10+760**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	97,05	83,02	78,36	71,27	62,45	52,71	45,71	40,47

Limite Liquido LL=	50,52
Limite Plástico LP=	25,93
Índice de Plasticidad IP=	24,59

**A-7-6(5) CH-OH**

**Descripcion:** son suelos donde predomina la arcilla, con contenidos moderados de materiales granulares. Es una arcilla muy plastica  
Mezclas mal proporcionadas de grava, arena limo y arcilla, tienen limo y arcilla en exceso.

Clasificación de Suelos Prog: 11+500

**Grafico III-B Resumen Clasificación de Suelos Prog: 11+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100	100	90,07	84,52	68,35	56,08	40,56	29,46	22,14

Limite Liquido LL=	22,93
Limite Plástico LP=	15,05
Índice de Plast IP=	7,88

**A-2-4(0) SM-ML**

**Descripcion:** suelos limosos sin plasticidad o poco plastico, con moderadas cantidades de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla, se dilatan y pierden estabilidad.

Clasificación de Suelos Prog: 12+500

**Grafico III-C Resumen Clasificación de Suelos Prog: 12+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	99,22	98,16	92,55	80,69	71,07

Limite Liquido LL=	35,81
Limite Plástico LP=	21,91
Índice de Plast IP=	13,9

**A-6(9) CL**

**Descripcion:** Es una arcilla plastica arenosa que contiene pequeñas cantidades de grava y presentan grandes cambios de volumen cuando absorben agua.

Clasificación de Suelos Prog: 13+500

**Grafico III-D Resumen Clasificación de Suelos Prog: 13+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	100,00	91,54	87,53	85,06	82,15	80,87	79,86	78,87

Limite Liquido LL=	74,36
Limite Plástico LP=	59,66
Índice de Plast IP=	14,69

**A-7-5(19) MH**

**Descripcion:** Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

Clasificación de Suelos Prog: 14+500

**Grafico III-E Resumen Clasificación de Suelos Prog: 14+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	86,27	65,6049	60,65	49,449	41,637	32,976	22,18	15,82

Limite Liquido LL=	38,49
Limite Plástico LP=	17,61
Índice de Plast IP=	20,88

**A-2-6(0) CL-SC**

**Descripcion:** son suelos donde predomina la arcilla, con contenidos moderados de materiales granulares.  
mezclas mal proporcionadas de grava, arena limo y arcilla, tienen limo y arcilla en exceso.

## Clasificación de Suelos Prog: 15+500

**Grafico III-F Resumen Clasificación de Suelos Prog: 15+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	100,00	92,70	89,30	84,61	82,86	76,20	68,04	55,98

Limite Liquido LL=	49,2
Limite Plástico LP=	12,94
Índice de Plast IP=	36,26

**A-6(5)**

**SC**

**Descripción:** son suelos donde predomina la arcilla, con contenidos moderados de materiales granulares. mezclas mal proporcionadas de grava, arena limo y arcilla, tienen limo y arcilla en exceso.

## Clasificación de Suelos Prog: 16+500

**Grafico III-G Resumen Clasificación de Suelos Prog: 16+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	97,71	80,05	76,34	71,78	67,27	57,45	49,91	38,21

Limite Liquido LL=	43,54
Limite Plástico LP=	24,79
Índice de Plast IP=	18,75

**A-6(3)**

**SC**

**Descripción:** Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo. Se trata de suelos finos limo-arcillosos, presentan moderadas cantidades de material grueso.

## Clasificación de Suelos Prog: 17+500

**Grafico III-H Resumen Clasificación de Suelos Prog: 17+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	100	92,7143	89,68	85,099	83,364	83,289	80,56	70,18

Limite Liquido LL=	41,48
Limite Plástico LP=	10,73
Índice de Plast IP=	30,75

**A-7-6(19)**

**CL**

**Descripción:** presentan índices de plasticidad muy altos con relación al Limite Líquido y están sujetos a cambios de volumen, extremadamente altos. Sufre hinchamientos y contracciones.

## Clasificación de Suelos Prog: 18+500

**Grafico III-I Resumen Clasificación de Suelos Prog: 18+500**

TAMIZ	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,52	71,82	56,16

Limite Liquido LL=	40,64
Limite Plástico LP=	30,1
Índice de Plast IP=	10,54

**A-7-5(5)**

**ML**

**Descripción:** Son suelos con material limoso, tienen poca estabilidad, son limos mal graduados.

### **ENSAYO No 3 PROCTOR T-180**

La compactación de un suelo es la densificación del suelo por remoción de aire, lo cual requiere la aplicación de energía mecánica.

Con la aplicación de la compactación, son mejoradas las propiedades mecánicas del suelo, se aumenta la resistencia al corte; la permeabilidad y los asentamientos del suelo disminuyen.

La finalidad de la prueba de compactación en laboratorio, es disponer de muestras de suelo compactadas teóricamente con las condiciones de campo, a fin de estudiar sus propiedades mecánicas para conocer datos firmes del proyecto; además de servir para controlar el trabajo de campo y tener una mayor seguridad de que el equipo utilizado trabaje efectivamente

#### **EQUIPO**

El equipo empleado en la realización de esta práctica es el siguiente:

- Molde de 6" de diámetro, altura 5 pulg.
- Pisón o apisonador.
- Balanza.
- Horno eléctrico.
- Regla de acero para enrasar.
- Cincel para extraer la muestra compactada.
- Probeta y pipeta.
- Taras.
- Fuentes

## **METODOLOGÍA**

El procedimiento que se sigue para realizar el ensayo de compactación T-180 es el siguiente:

- Primeramente se pasa la muestra por el tamiz N° 4, la cantidad de muestra a ser utilizada es de 25 Kg. mezclando con cierto porcentaje de material plástico.
- Una vez tamizado el material, se procede inmediatamente a determinar la humedad natural del suelo, para ello se toma una porción de muestra representativa y se lo pesa en un platito, el peso obtenido será el peso húmedo del suelo, se la seca a fuego y se determina el peso seco de la porción de suelo y de esta forma determinar la humedad natural de toda la muestra de suelo.
- Una vez determinada la humedad natural del suelo, se procede a pesar el molde que se utiliza para compactación.
- De la muestra de suelo tamizada se separan en 5 recipientes 5 Kg. Aproximadamente de suelo, los cuales se utilizaran para compactar a diferentes contenidos de humedad.
- Para el primer porcentaje de humedad se mezcla los 5 Kg. de muestra con una cierta cantidad de agua dependiendo de la humedad natural del suelo, se mezcla lo suficiente hasta formar una pasta homogénea.
- Con la ayuda de una cuchara se procede a colocar parte de esa muestra en el molde de compactación dando 56 golpes por capa, se deberán realizar cinco capas.

- Luego se quita el collarin del molde, con la regla de acero se procede a enrasar la muestra compactada que sobrepasa del molde.
- Se pesa seguidamente la muestra compactada más el molde, luego se toma una pequeña porción de muestra del centro del molde y se pesa en una tara previamente pesada, esta tara con muestra compactada después de ser pesada se la introduce en el horno para poder determinar el contenido de humedad de cada muestra.
- Se repite el mismo procedimiento 5 veces, con la única diferencia de que en cada muestra se aumentará más agua para poder tener diferentes contenidos de humedad y así poder realizar la curva de compactación.

## LA CURVA DE SATURACIÓN

La curva de saturación representa las densidades de un suelo en estado de saturación, es decir cuando el volumen de vacíos es cero, razón por la cual se le conoce también como "Curva de cero vacíos de aire" o de "saturación completa" Esta curva es prácticamente paralela a la rama derecha de la curva de compactación y varía en función del peso específico de sólidos del material.

La curva de saturación representa la densidad seca de un suelo en estado de saturación. Esto equivale a que los vacíos,  $V_v$ , estén totalmente ocupados por agua y se expresa por la relación

$$W = [ 1 / \gamma_d - 1 / G_s ]$$

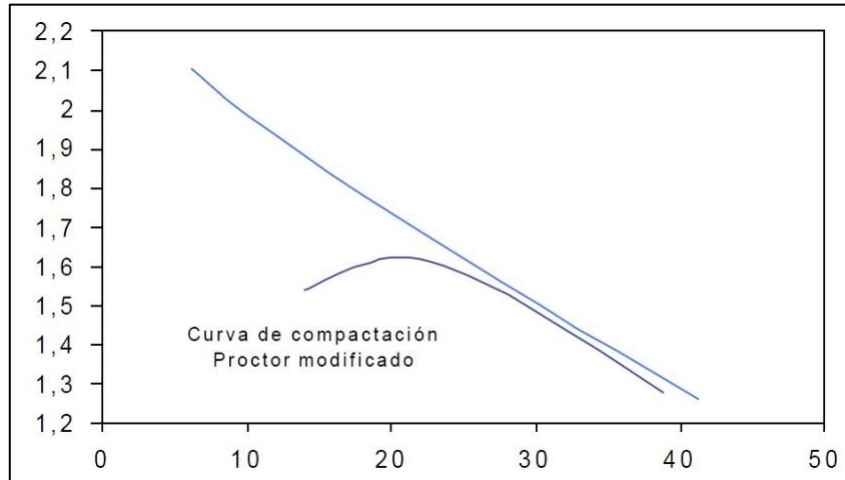
Donde :

$$W = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - \frac{\gamma_w}{G_s}$$

$G_s$  = Peso específico relativo de las partículas.

Este contenido de humedad es por lo tanto la humedad que se necesita para llenar todos los vacíos de agua de una masa de suelo compactada a una densidad preestablecida.

**Curva de Saturación Paralela a la Curva Proctor**



En la gráfica se traza una línea tangente en el punto superior, con una línea horizontal hasta cortar en Ordenadas y es la DENSIDAD MÁXIMA DEL SUELO SECO, del mismo punto bajar una línea perpendicular hasta llegar a las Abscisas y se determina el PORCENTAJE DE HUMEDAD OPTIMO.

La curva de saturación al 100% es una ayuda en el bosquejo de la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92% á 95% de saturación.

Teóricamente, la curva de compactación no puede trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

**Densidades de los materiales.**

La densidad de los suelos por lo general varía entre los siguientes valores:

- Cenizas Volcánicas.....2.30 a 2.50
- Suelos orgánicos.....2.40 a 2.65
- Arenas y gravas.....2.65 a 2.67
- Limos orgánicos y guijarros arcillosos.....2.67 a 2.72
- Arcillas poco plásticas y medianamente plásticas.....2.72 a 2.78
- Arcillas medianamente plásticas y muy plásticas.....2.78 a 2.84
- Arcillas Bentoníticas.....2.48 a 2.80

**Peso Específico de los materiales**

Tipo de suelo	Consistencia	Angulo de fricción interna Æ en grados	Peso específico en kg/cm²
Arena gruesa o arena con grava	Compacta	40	2250
	suelta	35	1450
Arena media	Compacta	40	2080
	suelta	30	1450
Arena limosa fina o limo arenoso	Compacta	30	2080
	suelta	25	1365
Limo uniforme	Compacta	30	2160
	suelta	25	1365
Arcilla - limo	Suave a mediana	20	1440 - 1920
Arcilla limosa	Suave a mediana	15	1440 - 1920
Arcilla	Suave a mediana	0.1	1440 - 1920

**Gravedad Específica:**

La gravedad específica está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua destilada a 4 grados centígrados. Se representa la Gravedad

Especifica por  $G_s$ , y también se puede calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

gravedad específica = (peso específico suelo  $\text{kg/m}^3$ )/(Peso Específico del agua  $\text{Kg/m}^3$ ) adimensional.

TIPO DE SUELO	$G_s$
Arena	2,65-2,67
Arena Limosa	2,67-2,70
Arcilla Inorgánica	2,70-2,80
Suelos con mica o Hierro	2,75-3,00
Suelos Orgánicos	Puede ser inferior a 2.00

### PLOTEO DE LA CURVA DE SATURACIÓN

Toda curva de compactación estará siempre por debajo de la curva de saturación,  $S = 100\%$  la que puede ser graficada en la curva de compactación una vez conocido el peso específico de los granos,  $G_s$ . En el mismo gráfico se pueden incluir las curvas para  $S = 90$  y  $80\%$ . La curva  $S = 100\%$  se obtiene calculando, para cualquier contenido de humedad  $w$ , su peso unitario seco:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \omega \cdot G_s}$$

Donde,

$w_{sat}$ : contenido de agua para la condición de saturación completa, %

$\gamma_w$ : peso unitario del agua,  $9807 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_d$ : peso unitario del suelo,  $\text{kN/m}^3$

$G$ : gravedad específica del suelo

## ENSAYO Nro 3 PROCTOR T-180

Fotografía III-18 .

Materiales para Ensayo de Proctor T-180 .



Ensayo Proctor T-180

**Observaciones:** Preparado de materiales, Martillo de compactación, brocha, cucharas, regla, molde Proctor T-180 y collarin, fuente metálica, tamices

Fotografía III-19

Preparado de Material Prog:10+760



Ensayo Proctor T-180

**Observaciones:** Preparado de 25 Kg de material al 10% de humedad de la Progresiva: 10+760



Fotografía III-20 . Compactación Prog:10+760 4ta Capa

Ensayo Proctor T-180

**Observaciones:** Compactación de la muestra de suelo al 10% de humedad a 5 capas de 56 golpes de la Progresiva:10+760.  
**Compactación:** 4ta capa compactada



Fotografía III-21 . Preparado de Material para Compactación

Ensayo Proctor T-180

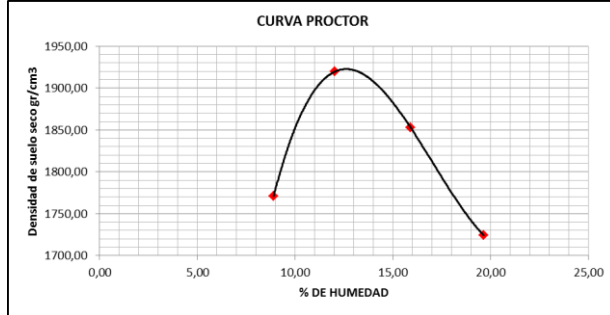
**Observaciones:** Muestras preparadas a diferentes humedades para la posterior compactación, de 2 muestras de las progresivas:  
**Progresiva:** 12+500  
**Progresiva:** 13+500

**Nota:** Todas las fotografías de ENSAYO Nro 3 PROCTOR T-180 son de Fuente : Elaboración Propia

### 3.2.2.4 PLANILLA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR T-180

#### Progresiva:10+760

Grafico III-A Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 10+760

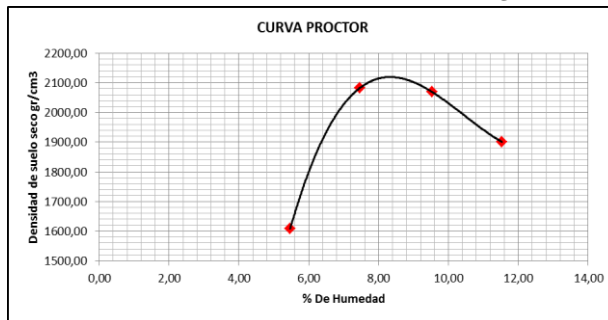


D.MAX.= 1923,000 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 12,600 %

#### Progresiva:11+500

Grafico III-B Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 11+500

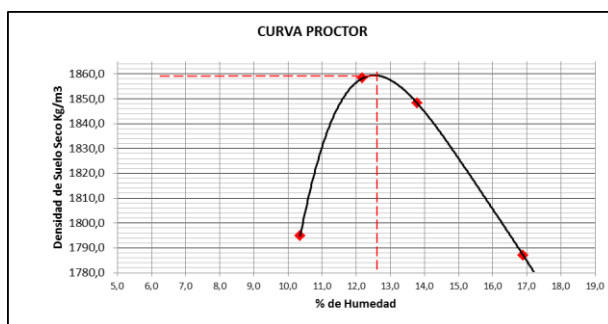


D.MAX.= 2085,000 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 12,600 %

#### Progresiva:12+500

Grafico III-C Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 12+500

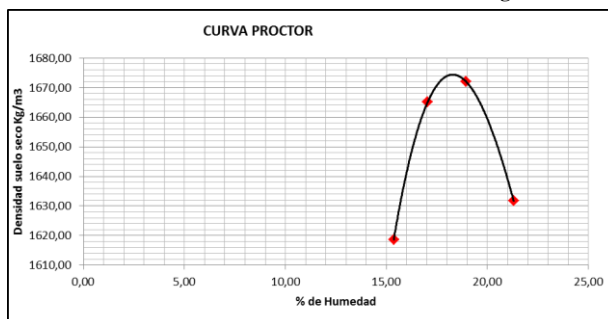


D.MAX.= 1860,0 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 12,6 %

#### Progresiva:13+500

Grafico III-D Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 13+500

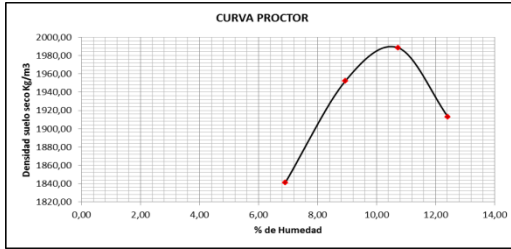


D.MAX.= 1674 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 18,3 %

## Progresiva:14+500

Grafico III-E Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 14+500

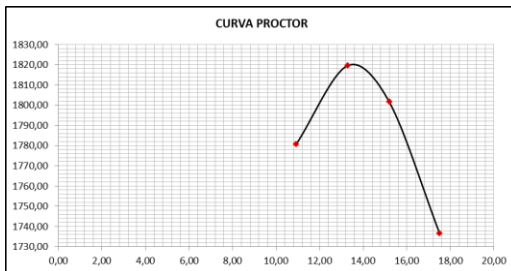


D.MAX.= 1989 Kg/m³

H.OPT. = 10,5 %

## Progresiva:15+500

Grafico III-F Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 15+500

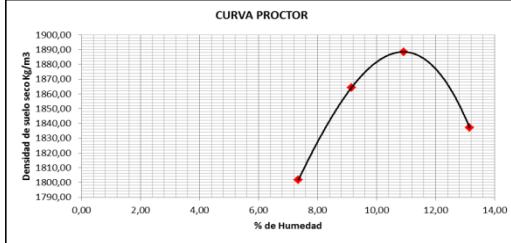


D.MAX.= 1820 Kg/m³

H.OPT. = 13,4 %

## Progresiva:16+500

Grafico III-G Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 16+500

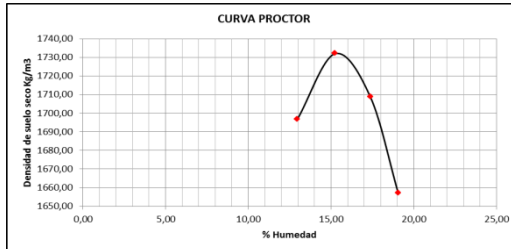


D.MAX.= 1888,00 Kg/m³

H.OPT. = 10,9 %

## Progresiva:17+500

Grafico III-H Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 17+500

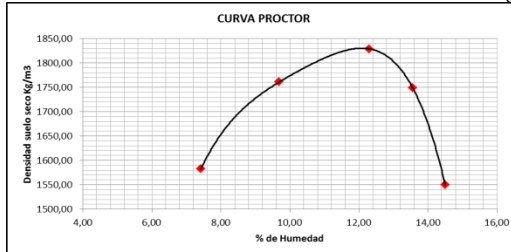


D.MAX.= 1732,00 Kg/m³

H.OPT. = 15,300 %

## Progresiva:18+500

Grafico III-I Resumen Curva Humedad-Densidad Prog: 18+500



D.MAX.= 1836,00 Kg/m³

H.OPT. = 11,900 %

## ENSAYO No 4 California Bearing Ratio CBR

El **Ensayo CBR** (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

### **EQUIPO.-**

El material que se utilizó para este ensayo es el siguiente:

- Moldes de compactación de 15.2 cm de diámetro por 17.8 cm. de altura (o equivalente, con collarín).
- Disco espaciador de 15.1 cm. de diámetro por 6.14 cm. de altura
- Martillo de compactación de 10 lb y de 15-18 pulg de caída.
- Balanza de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico.
- Taras.
- Pesos para sobrecargar.
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración
- Trípode y extensómetro
- Piscina para la inmersión de suelos

---

### **Condiciones de la Muestra.**

- Se humedece el material, si es posible con rociador, con la cantidad de agua calculada y se mezcla de manera uniforme.
- Se prepara un molde “Molde N°” de peso “Peso del Molde N°” y volumen “Volumen de la Muestra” conocidos, ajustándolo a su base y colocándole su respectivo collarín.
- Se deposita dentro el molde un disco espaciador con un papel filtro que evitará que la muestra compactada se pegue al disco.
- dentro el molde de añade un poco del suelo húmedo y se procede a compactar la 1ra capa de 56 golpes cabe recalcar que se realiza la compactación de 3 moldes de 5 capas cada uno a 56-25-12 golpes por molde.
- Una vez terminada la compactación, se saca el collarín y se enrasa con una regla metálica el sobrante tratando de dejar una superficie lisa.
- Se deja libre el molde del disco espaciador collarín y se lo pesa.
- Restando el peso del molde del peso muestra húmeda más molde, tendremos el peso muestra húmeda.
- El peso unitario de la muestra húmeda será el peso muestra húmeda sobre el volumen de la muestra.
- Con la muestra sobrante se realiza la determinación del contenido de humedad para el molde de 56-25 y 12 golpes.

**C.B.R.**

- Se pesa el molde libre del disco espaciador, plato con vástago y pesos, y se anota el resultado en la casilla correspondiente de la columna “Después de mojarse”.
- Se coloca el molde en la base y se lo lleva a la prensa de ensayo provista del aro dinamométrico adecuado. Se pone la sobrecarga anular de ensayo, sobre la superficie y se asienta el pistón de penetración a través del orificio central.
- Se regula la altura del conjunto tal que el dial del extensómetro que mide la resistencia a la deformación del aro dinamométrico esté en cero. El extensómetro que mide las penetraciones y que está sujeto al marco, apoyará su vástago sobre el borde la base haciendo coincidir su dial a cero.
- Se aplicarán cargas a una velocidad de avance del pistón igual a 1.27 mm./min. (0.5 pulg./min.), anotándose las lecturas del dial del aro dinamométrico obtenidas para penetraciones de 0.025”; 0.05”; 0.075”; 0.1”; 0.2”; 0.3”; 0.4”; 0.5”.
- Las cuatro primeras lecturas servirán posteriormente para efectuar la corrección de la curva penetración-cargas en el caso de que la misma resulte cóncava hacia arriba.
- Se descarga la prensa a penetración, se retira el molde y se quitan las sobrecargas. Se toma una muestra de suelo del lugar donde penetró el pistón y, en una cápsula de peso conocido, se hace secar en horno y se anota todos los valores encontrados.
- En caso de que la curva penetración vs. Carga diseñada se corrija, se anotaran los valores de corrección.

- Sabiendo que la resistencia que presenta el material de comparación a la línea del pistón de 0.1” y 0.2” de penetración y el área del pistón tendremos que para sacar el CBR de la carga unitaria correspondiente a dichas penetraciones expresado en porcentaje, debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

#### Curva: CBR % – Peso Unitario.

- Tomando los “Pesos Unitarios Secos” de cada una de las muestras, se busca una escala apropiada a los mismos; de igual manera para los % de CBR de 0.2” de penetración.
- Luego definidos los puntos, se los unirá mediante una curva que se denominará Curva % CBR – Peso Unitario.
- Sabiendo el valor de la densidad máxima, hallada mediante el ensayo de compactación, se traza una recta horizontal que lo defina, siendo la proyección vertical de la intersección de ésta y la curva diseñada, el valor porcentual de CBR al 100% de la densidad máxima, en igual forma se puede trazar para una compactación del 95%.

#### Valores de carga unitaria

Tabla III-2 Valores de carga unitaria

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm.	Pulgada	MPa.	Kg. /cm <sup>2</sup>	Psi.
2.54	0.1	6.90	70.00	1000
5.08	0.2	10.30	105.00	1500
7.62	0.3	13.10	133.00	1900
10.62	0.5	15.80	162.00	2300
12.7	0.6	17.90	183.00	2600

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla muestra una clasificación típica:

Existen algunos métodos de diseño de pavimentos en los cuales se emplean tablas utilizando directamente el número CBR y se obtiene el espesor de las capas del paquete estructural.

Con el valor del CBR se puede clasificar el suelo usando la tabla siguiente:

### **Clasificación de la subrasante**

Tabla III-3 Clasificación de la subrasante

<b>CBR</b>	<b>Clasificación</b>
0 – 5	Sub-rasante muy mala
5 – 10	Sub-rasante mala
10 – 20	Sub-rasante regular a buena
20 – 30	Sub-rasante muy buena
30 – 50	Sub base buena
50 – 80	Base Buena
80 – 100	Base muy Buena

El informe final del ensayo deberá incluir además del CBR determinado, la curva de presión-penetración, la humedad, peso específico y densidad natural del suelo ensayado, antecedentes que pueden obtenerse del suelo inmediatamente vecino al que afectó el ensayo del CBR.

## ENSAYO Nro 4 California Bearing Ratio CBR

Fotografía III-22. Preparado de material para CBR



### Ensayo California Bearing Ratio CBR

**Observaciones:** Preparación de equipo para el ensayo de CBR. Martillo, tamices, vástagos, pesas, brocha, cuchara, 3 moldes CBR, fuente metálica, extensómetro.

Fotografía III-23. Contenido de Humedad



### Ensayo California Bearing Ratio CBR

**Observaciones:** Secado de muestra para obtención de contenido de humedad del ensayo CBR Progresiva: 15+500 a 56 -25 y 12 Golpes.

Fotografía III-24. Moldes de CBR en proceso de saturación



### Ensayo California Bearing Ratio CBR

**Observaciones:** Inmersión de moldes de CBR en una Piscina para posterior rotura. Saturación de 4 días.

**Progresiva:** 15+500

**Progresiva:** 16+500

**Progresiva:** 17+500

**Progresiva:** 18+500

Fotografía III-25. Rotura de Probetas de CBR



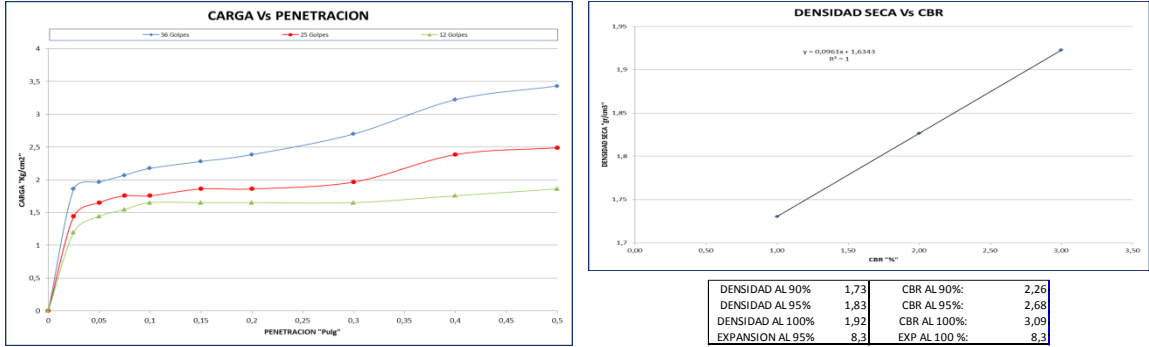
### Ensayo California Bearing Ratio CBR

**Observaciones:** Rotura de Probetas de CBR. **Progresiva:** 15+500. Molde Nro 13 de 56 golpes después de 4 días de saturación en piscina con agua. Prensa calibrada con sus 2 relojes.

*Nota: Todas las fotografías de ENSAYO Nro 4 California Bearing Ratio CBR son de Fuente : Elaboración Propia*

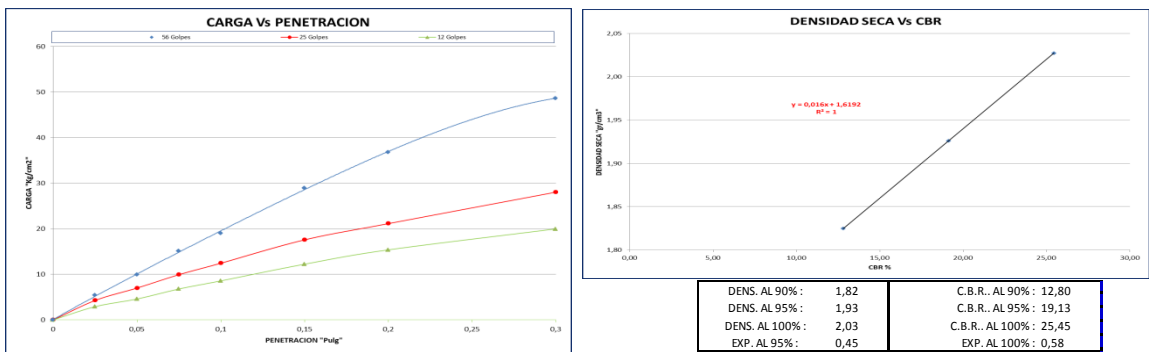
### 3.2.2.5 PLANILLA DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CBR Progresiva:10+760

Grafico III-A Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 10+760



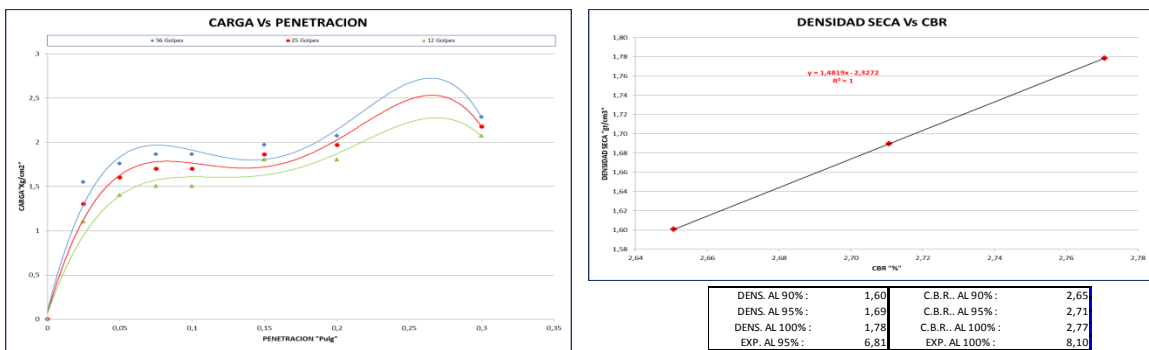
### Progresiva:11+500

Grafico III-B Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 11+500



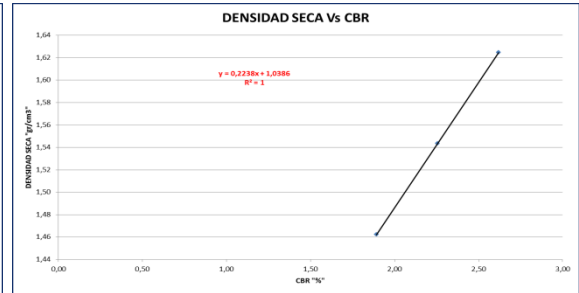
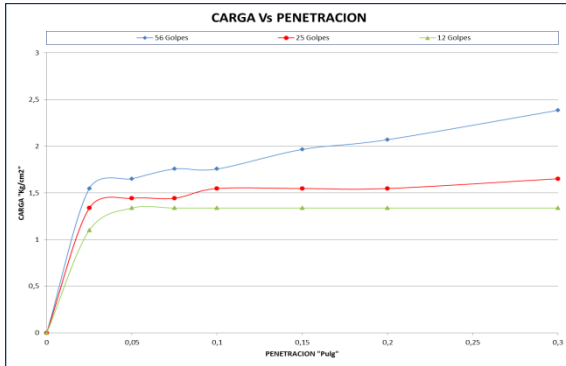
### Progresiva:12+500

Grafico III-C Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 12+500



## Progresiva:13+500

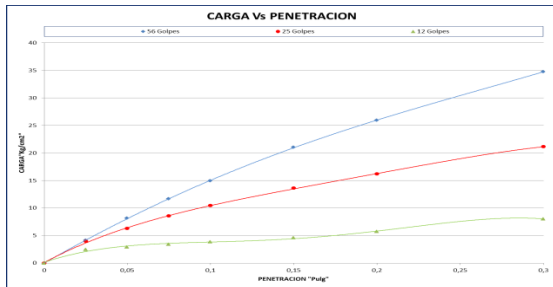
Grafico III-D Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 13+500



DENS. AL 90% :	1,46	C.B.R.. AL 90% :	1,89
DENS. AL 95% :	1,54	C.B.R.. AL 95% :	2,26
DENS. AL 100% :	1,62	C.B.R.. AL 100% :	2,62
EXP. AL 95% :	9,22	EXP. AL 100% :	9,53

## Progresiva:14+500

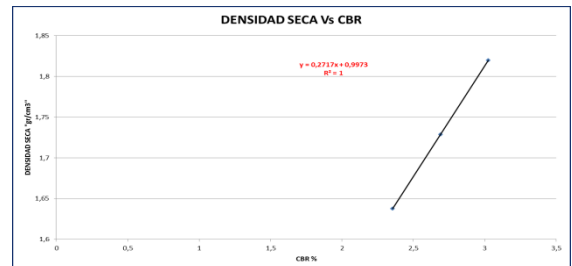
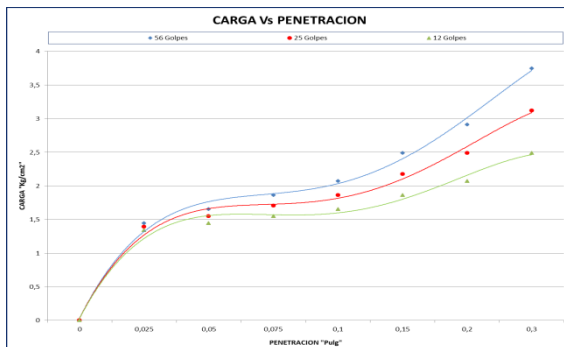
Grafico III-E Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 14+500



DENS. AL 90% :	1,888	C.B.R.. AL 90% :	3,57
DENS. AL 95% :	1,993	C.B.R.. AL 95% :	12,50
DENS. AL 100% :	2,098	C.B.R.. AL 100% :	21,43
EXP. AL 95% :	0,684	EXP. AL 100% :	0,77

## Progresiva:15+500

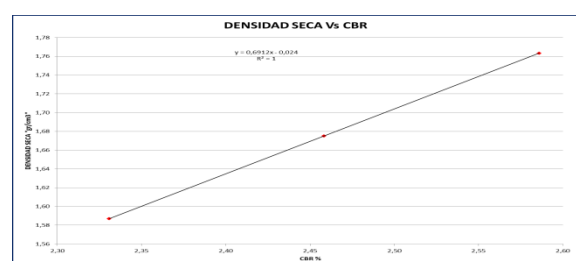
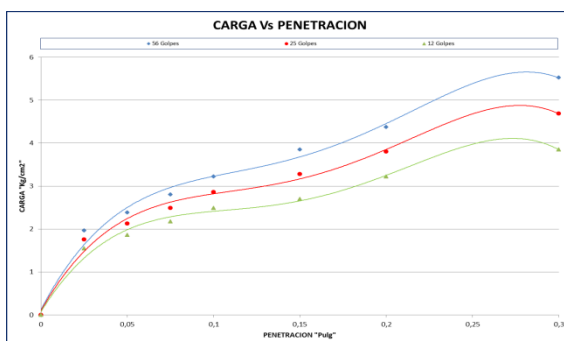
Grafico III-F Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 15+500



DENS. AL 90% :	1,54	C.B.R.. AL 90% :	2,53
DENS. AL 95% :	1,62	C.B.R.. AL 95% :	2,90
DENS. AL 100% :	1,71	C.B.R.. AL 100% :	3,27
EXP. AL 95% :	5,51	EXP. AL 100% :	6,39

## Progresiva:16+500

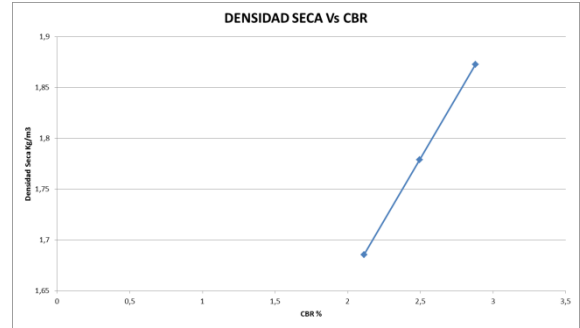
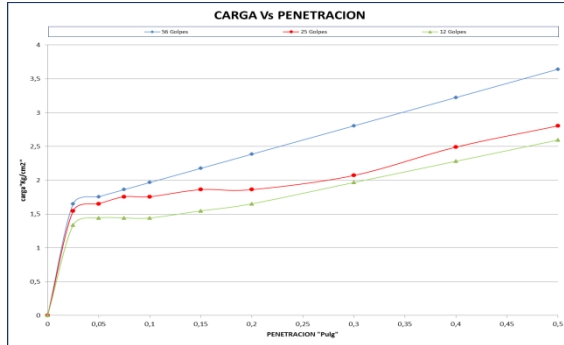
Grafico III-G Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 16+500



DENS. AL 90% :	1,84	C.B.R.. AL 90% :	3,617
DENS. AL 95% :	1,95	C.B.R.. AL 95% :	4,252
DENS. AL 100% :	2,05	C.B.R.. AL 100% :	4,887
EXP. AL 95% :	4,67	EXP. AL 100% :	5,555

## Progresiva:17+500

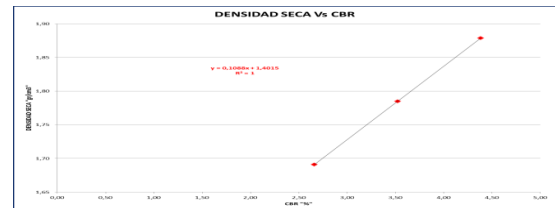
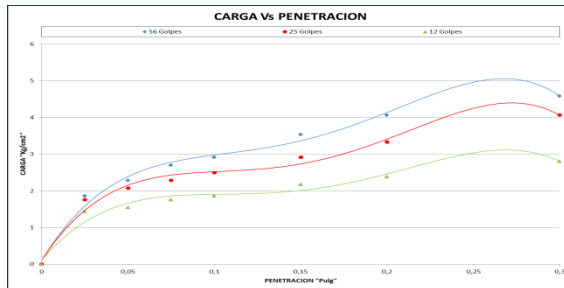
Grafico III-H Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 17+500



DENS. AL 90%:	1,686	C.B.R. AL 90%:	2,111
DENS. AL 95%:	1,779	C.B.R. AL 95%:	2,495
DENS. AL 100%:	1,873	C.B.R. AL 100%:	2,878
EXP. AL 95%:	5,848	EXP. AL 100%:	6,453

## Progresiva:18+500

Grafico III-I Resumen Curvas Carga Vs Penetración y Densidad Vs CBR Prog: 18+500



DENS. AL 90%:	1,78	C.B.R. AL 90%:	4,200
DENS. AL 95%:	1,88	C.B.R. AL 95%:	3,52
DENS. AL 100%:	1,88	C.B.R. AL 100%:	4,39
EXP. AL 95%:	5,02	EXP. AL 100%:	6,13

### 3.2.3 Resumen de resultados

Tabla III-4 Resumen de resultados

Nº	Procedencia (Km.)	Destino (Km.)	Profundidad	Granulometría										Límites		Clasif.	
				3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.I.	L.P.	I.P.		AASHTO
1	10+760	L.D. De Plataforma	De: Estudio	0,00 a 0,60	100,00	97,05	83,02	78,36	71,27	62,45	52,71	45,71	40,47	50,52	25,93	24,59	A - 7 - 6(5)
2	11+500	L.I. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	100,0	90,1	84,5	68,4	56,1	40,6	29,5	22,1	22,9	15,1	7,9	A - 2 - 4(0)
3	12+500	L.D. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	100,0	100,0	100,0	99,2	98,2	92,5	80,7	71,1	35,8	21,9	13,9	A - 6 (9)
4	13+500	L.I. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	100,0	91,5	87,5	85,1	82,2	80,9	79,9	78,9	74,4	59,7	14,7	A - 7 - 5(19)
5	14+500	L.D. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	86,3	65,6	60,7	49,4	41,6	33,0	22,2	15,8	34,8	17,6	20,9	A - 2 - 6(0)
6	15+500	L.I. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	100,0	92,7	89,3	84,6	82,9	76,2	68,0	56,0	49,2	12,9	36,3	A - 6 (5)
7	16+500	L.I. De Plataforma	De: Estudio	0,10 a 1,00	100,0	97,7	80,6	76,3	71,8	67,3	57,5	49,9	38,2	43,5	24,8	18,8	A - 6 (3)
8	17+500	L.D. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,00	100,0	100,0	92,7	89,7	85,1	83,4	83,3	80,6	70,2	41,5	10,7	30,8	A - 7 - 6(19)
9	18+500	L.I. De Plataforma	De: Estudio	0,30 a 1,01	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,5	71,8	56,2	40,6	30,1	10,5	A - 7 - 5(5)

Tabla III-5 Resumen de resultados

Procedencia (Km.)	Destino (Km.)	Proctor	Exp. 95%	Observaciones					
					D.max.	H.op.	%	CBR	Hum.
10+760	L.D. De Plataforma	1923	12,6	8,3	2,7	12,3	2,7	8,3	Estudio para cambio de material. Material arcilloso.
11+500	L.I. De Plataforma	2085	8,0	0,5	19,1	9,1	19,1	0,5	
12+500	L.D. De Plataforma	1860	12,6	8,1	2,7	16,5	2,7	8,1	Estudio para cambio de material. Material arcilloso.
13+500	L.I. De Plataforma	1674	18,3	9,2	2,3	18,1	2,3	9,2	Estudio para cambio de material. Material arcilloso.
14+500	L.D. De Plataforma	1989	10,5	0,7	12,5	9,5	12,5	0,7	
15+500	L.I. De Plataforma	1820	13,4	6,4	2,9	13,4	2,9	6,4	Cambio de material de 0,00 a -0,60m
16+500	L.I. De Plataforma	1888	10,9	5,5	4,3	9,3	4,3	5,5	Cambio de material de 0,00 a -0,60m
17+500	L.D. De Plataforma	1732	15,3	6,5	2,5	14,7	2,5	6,5	Cambio de material de 0,00 a -0,60m
18+500	L.I. De Plataforma	1836	11,9	6,13	11,0	11,0	3,52	6,13	Estudio para cambio de material. Material arcilloso.

### 3.3. Investigación de las muestras tipo lutita

#### **Definición**

Es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. Estas rocas detríticas de grano fino constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias. Las partículas de estas rocas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y por esta razón, resulta más difícil estudiar y analizar las lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias.

A veces, la composición química de la roca proporciona información adicional. Un ejemplo es la lutita negra, que es negra porque contiene abundante materia orgánica (carbono). Cuando se encuentra una roca de este tipo, indica que la sedimentación se produjo en un ambiente pobre en oxígeno, como un pantano, donde los materiales orgánicos no se oxidan con facilidad y se descomponen. Conforme se acumula el limo y la arcilla, tienden a formar capas delgadas, a las que se suele hacer referencia como Láminas.

Inicialmente las partículas de las láminas se orientan al azar. Esta disposición desordenada deja un elevado porcentaje de espacio vacío (denominado espacio de poros), que se llena con agua. Sin embargo, esta situación cambia normalmente con el tiempo conforme nuevas capas de sedimento se apilan y compactan el sedimento situado debajo.

Durante esta fase las partículas de arcilla y limo adoptan una alineación más paralela y se amontonan. Esta reordenación de los granos reduce el tamaño de los espacios de poros, expulsando gran parte del agua. Una vez que los granos han sido compactados mediante presión, los diminutos espacios que quedan entre las partículas no permiten la circulación fácil de las soluciones que contienen el material cementante. Por consiguiente, las lutitas suelen describirse como débiles, porque están poco cementadas y, por consiguiente, no bien litificadas

Aunque la lutita es, con mucho, más común que las otras rocas sedimentarias, normalmente no atrae tanto la atención como otros miembros menos abundantes de este grupo. La razón es que la lutita no forma afloramientos tan espectaculares como suelen hacer la arenisca y la caliza. En cambio, la lutita disgrega con facilidad y suele formar una cubierta de suelo que oculta debajo la roca no meteorizada.

Aunque las capas de lutita no pueden formar acantilados escarpados y afloramientos destacables, algunos depósitos tienen valor económico.

### **Tacto**

Las lutitas se sienten diferentes al tacto dependiendo de la composición de las partículas, que pueden ser ya sea de limo o arcilla. La composición de la roca sedimentaria es predominantemente arena, lo que le da una sensación arenosa. La otra forma de lutita, que está compuesta de arcilla, se siente más suave que la limolita cuando se frota. El desmoronamiento de las partículas de piedra es una de las únicas maneras en que los tipos de lutita se pueden separar.

### **Color**

Las lutitas se desmoronan en forma de bloque, lo que es diferente a lo que sucede con las piedras del tipo esquisto, que adquieren una forma de astillas delgadas cuando entran en contacto con el medio ambiente. Estas se pueden encontrar en un número de colores, pero son generalmente de color gris y negro a partir de la gran cantidad de materia orgánica que forma la piedra.

Las limolitas pueden ser de color rojizo si altos niveles de óxido de hierro se encuentran en las partículas que componen a la roca. En las aguas que se mueven

debajo de las lutitas y limolitas hay un gran número de fósiles a menudo encontrados en estos tipos de rocas.

### **Resistencia**

La lutita es una roca dura que es resistente y que no se rompe en capas con facilidad, la formación de sus estratos de roca son delgados. Así como la limolita es similar a las piedras de arcilla, la composición de la lutita es parecida a la del esquisto, con un contenido mineral semejante pero una diferente constitución física. Las lutitas se forman a partir de barro antiguo, siendo las limolitas un tipo de roca sedimentaria menos común cercana a la arenisca y los esquistos.

### **Ambiente de formación:**

Las lutitas se localizan en ambientes sedimentarios acuosos, caracterizados por existir un nivel de energía muy bajo, como son: las llanuras de inundación de ríos; parte distales de abanicos aluviales; fondos de lagos y mares, etc. Los sedimentos de lutitas mezclados con agua se denominan genéricamente barros o lodos.

El viento con la generación de polvo produce una acumulación de lutitas que se denomina loess. Las acumulaciones de loess son importantes, cubren un 10 % de la superficie terrestre, especialmente en zonas semiáridas, desiertos y áreas glaciares.

Los procesos edafológicos y de meteorización química de rocas calizas generan acumulaciones de lutitas denominadas residuales.

**Usos:** La arcilla es un sedimento utilizado por el ser humano desde la prehistoria, como materia prima para objetos decorativos, de almacenamiento (tinajas y botijos), de preparación y consumo de alimentos (cazuelas de barro, platos, vasos y tazas) materiales de construcción (ladrillos, tejas, azulejos, sanitarios), aislantes (ladrillos y cerámicas refractarias). Algunos minerales de la arcilla son materias primas de gran relevancia en productos de farmacia y cosmética.

Existen unas arcillas especiales, ricas en filosilicatos que son capaces absorber líquidos y aumentar su volumen. Entre ellas destacan las bentonitas; arcillas ricas en esmectitas, con tacto jabonoso y que muy a menudo proceden de la alteración de cenizas volcánicas.

Otra utilización de las lutitas, con gran importancia desde el punto de vista de la salud y turístico, es en balneoterapia y talasoterapia.

Algunas lutitas se extraen para obtener materia prima para la cerámica, la fabricación de ladrillos, azulejos y porcelana china. Además, mezclados con la caliza, se utilizan para fabricar el cemento portland

### **Roca Lutita en la construcción**

Uno de estos materiales son las rocas lutitas, las cuales durante mucho tiempo establecen problemas en los diseños y proyectos de infraestructura que se apoyan en este tipo de macizos rocosos, debido principalmente a que este material es por naturaleza susceptible a degradarse o deteriorarse en cuanto a su estructura, principalmente por meteorización o descarga, lo cual ocasiona comportamientos inestables que pueden ocasionar suficiente pérdida de resistencia para poder sobrellevar la falla de las estructuras que le sean asociadas.

Este material que presenta características geo-mecánicas, tales como su baja resistencia y acelerada degradación al exponerse a condiciones medio-ambientales diferentes a las que se presentaron durante su origen, y su potencial expansivo, propiedad que ha sido heredada del tipo de mineral arcilloso que conforma su matriz, el cual se puede evidenciar principalmente en los cambios ocasionados por procesos constructivos de obras civiles.

Se define como roca blanda a aquellos materiales de origen arcilloso o limoso que presentan una marcada cementación y cuyo comportamiento mecánico se sitúa en un

punto intermedio entre los suelos y las rocas. Dentro de este grupo se incluyen las argilitas, limolitas, margas, lutitas (shales) y lodolitas. La presencia de este tipo de materiales en las obras civiles es muy común, lo que hace de especial interés el estudio de su comportamiento bajo las solicitaciones de la obra que se pretende llevar a cabo.

Otra característica de especial relevancia de las rocas blandas es que son materiales muy evolutivos, ya que presentan una tendencia muy importante a modificar su comportamiento, pasando de uno cercano a “tipo roca” a uno “tipo suelo” en un corto periodo de tiempo. Esta evolución en su comportamiento mecánico se denomina degradación. El fenómeno de degradación se caracteriza principalmente por la pérdida de resistencia del material, cambios en su volumen.

### **Características generales de las rocas tipo Lutitas.**

Las rocas blandas constituyen una categoría de rocas en que se agrupan materiales como las lutitas, limolitas y demás rocas blandas sedimentarias que se hayan originado por las presiones diagenéticas de sedimentos microscópicos del tipo limo y arcilla; por cuenta de dichas presiones los sedimentos se agrupan formando agregados de arcilla y limo. La estructura principal de la roca estará conformada entonces por el conjunto de los agregados.

#### **3.3.1. Condiciones de la investigación**

Las condiciones de la investigación implican que las muestras extraídas de las progresivas ya especificadas se encuentren en estado de saturación por tiempos de periodo diferentes como se detalla en la posterior tabla.

La razón de la saturación de las muestras por tiempos de periodos diferentes, es para demostrar que a medida que la muestra este más tiempo en estado de saturación, la misma disminuirá considerablemente sus propiedades mecánicas como su resistencia al corte y su densidad. Eso quiere decir que demostraremos que a medida que pase el tiempo saturando las muestras estas disminuirán su CBR como también su Densidad a causa de la absorción del agua por las partículas del suelo.

La saturación de las muestras de cada progresiva serán en tiempos de 5-10-15-20-25-30 días cada una.

**Tabla III-6 Condiciones de la investigación**

MUESTRA		CONDICIONES DE LA INVESTIGACION					
PROGR	LADO	5 Días de SATURACION	10 Días de SATURACION	15 Días de SATURACION	20 Días de SATURACION	25 Días de SATURACION	30 Días de SATURACION
10+760	LD de Plataforma	De 27-08-14 a 02-09-14	De 27-08-14 a 07-09-14	De 27-08-14 a 12-09-14	De 27-08-14 a 18-09-14	De 27-08-14 a 24-09-14	De 27-08-14 a 30-09-14
11+500	LI de Plataforma						
12+500	LD de Plataforma						
13+500	LI de Plataforma						
14+500	LD de Plataforma						
15+500	LI de Plataforma						
16+500	LI de Plataforma						
17+500	LD de Plataforma						
18+860	LI de Plataforma						

Pasados 5 días de saturación de las muestras se procederá a realizar los ensayos de Proctor, para determinar un punto en la curva Humedad-Densidad y el ensayo de CBR para determinar la máxima capacidad portante cuando la muestra se encuentra saturada de agua.

Paralelamente se encontraran saturando otras muestras, las cuales también se les realizara los ensayos de Proctor y CBR pero esta vez a 10 días de saturación.

---

Lo que se espera de esta muestra saturada a 10 días, es que su densidad sea menor a la densidad obtenida en 5 días de saturación como también se busca que su CBR sea menor al CBR a 5 días de saturación.

De esta forma se realizara los ensayos de Proctor y CBR de cada una de las muestras saturadas a lo largo de los periodos de tiempo ya establecidos.

### **3.3.2. Ensayos de laboratorio para muestras saturadas**

Los ensayos de laboratorio que se realizara a cada una de las muestras saturadas extraídas de las progresivas, serán los ensayos de Proctor T-180 y CBR.

## ENSAYO PROCTOR T-180

### EQUIPO

El equipo empleado en la realización de esta práctica es el siguiente:

- Molde de 6" de diámetro, altura 5 pulg.
- Pisón o apisonador.
- Balanza.
- Horno eléctrico.
- Regla de acero para enrasar.
- Cincel para extraer la muestra compactada.
- Probeta y pipeta.
- Taras.
- Fuentes

### METODOLOGÍA

El procedimiento que se sigue para realizar el ensayo de compactación T-180 es el siguiente:

- La cantidad de muestra saturada a ser utilizada es de 10 Kg.
- Una vez pesado el material, se procede inmediatamente a determinar la humedad saturada del suelo, para ello se toma una porción de muestra representativa y se lo pesa en un platito, el peso obtenido será el peso húmedo del suelo, se la seca a fuego y se determina el peso seco de la porción de suelo y de esta forma determinar la humedad saturada de toda la muestra de suelo.
- Una vez determinada la humedad saturada del suelo, se procede a pesar el molde que se utiliza para compactación.

- 
- La muestra saturada se mezcla lo suficiente y se cuartea hasta formar una pasta homogénea.
  - Con la ayuda de una cuchara se procede a colocar parte de esa muestra en el molde de compactación dando 56 golpes por capa, se deberán realizar cinco capas.
  - Luego se quita el collarín del molde, y con la regla de acero se procede a enrasar la muestra compactada que sobrepasa del molde.
  - Se pesa seguidamente la muestra compactada más el molde, luego se toma una pequeña porción de muestra del centro del molde y se pesa en una tara previamente pesada, esta tara con muestra compactada después de ser pesada se la introduce en el horno para poder determinar el contenido de humedad de la muestra.
  - Con este ejercicio solo se obtendrá un punto en la curva Humedad-Densidad, que será una humedad para una densidad en un periodo de tiempo que se encuentra en estado de saturación.

## ENSAYO PROCTOR T-180 ANÁLISIS DE MUESTRAS SATURADAS

Fotografía III-26. Contenido de humedad Proctor a 5 días de Saturación



Ensayo Proctor T-180 Prog:10+760

**Observaciones:** Muestra a 5 días de saturación, textura de lodo, se realizara contenido de humedad Progresiva: 10+760

Fotografía III-27. Muestra preparada Proctor a 10 días de saturación



Ensayo Proctor T-180 Prog:13+500

**Observaciones:** Muestra a 10 días de saturación(escurrida), textura de barro, al tacto se siente como mantequilla. se realizara ensayo Proctor Progresiva: 13+500

Fotografía III-28. Compactación a 5 días de saturación Prog: 17+500



Ensayo Proctor T-180 Prog:17+500

**Observaciones:** Se realizó la compactación de la progresiva 17+500, a 5 días de saturación, se observa que es una muestra blanda morosa de compactar. La muestra se rebalsa a los costados del molde.

Fotografía III-29. Pesaje de Molde más Muestra Proctor Prog:18+500



Ensayo Proctor T-180 Prog:18+500

**Observaciones:** Pesaje suelo húmedo y molde de la muestra compactada y enrasada de la progresiva: 18+500

**Nota:** Todas las fotografías de ENSAYO PROCTOR T-180 ANÁLISIS DE MUESTRAS SATURADAS son de :  
**Fuente :** Elaboración Propia

---

3.3.2.1. LABORATORIO ENSAYO DE SUELOS DE MUESTRAS SATURADAS PROCTOR  
T-180

**LABORATORIO**  
**ENSAYO DE SUELOS**  
**DE**  
**MUESTRAS**  
**SATURADAS**  
**PROCTOR**



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

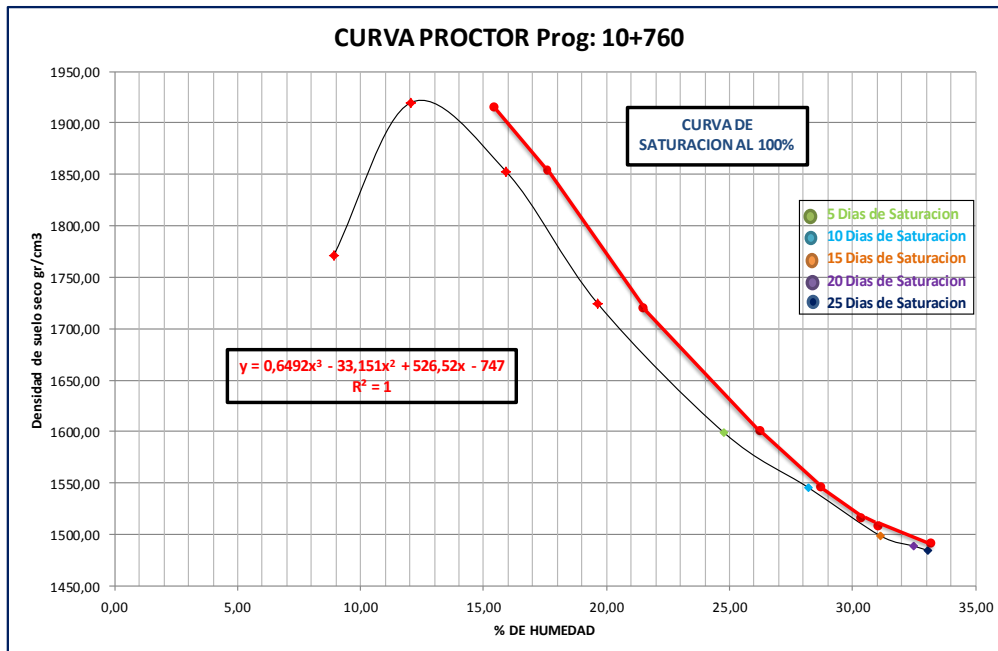
Fecha: 04/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificacion: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Jos ue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	7417,00	7702,00	7888,00	7882,00	7444,00	7414,00	7380,00	7395	7345,00
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3255,00	3255,00	3255,00	3255	3199,00
Peso suelo húmedo	4099,00	4384,00	4570,00	4564,00	4189,00	4159,00	4125,00	4140	4146
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2099,00	2099,00	2099,00	2099	2099,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1928,94	2063,06	2150,59	2147,76	1995,71	1981,42	1965,22	1972,37	1975,23
Cápsula No	36	28	15	27	5	7,00	13,00	32	21,00
Peso suelo hum.+cápsula	576,00	493,80	431,00	415,00	662,00	568,00	598,00	450	670,00
Peso suelo seco.+ cápsula	536,00	428,00	395,00	371,20	548,00	461,20	476,00	360,3	526,00
Peso del agua	40,00	65,80	36,00	43,80	114,00	106,80	122,00	89,7	144
Peso de la cápsula	86,80	93,00	95,80	95,80	87,80	82,60	84,20	84,2	90,50
Peso suelo seco	449,20	335,00	299,20	275,40	460,20	378,60	391,80	276,1	435,5
Contenido de humedad (%h)	8,90	12,03	15,90	19,64	24,77	28,21	31,14	32,49	33,07
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1771,22	1919,62	1853,05	1724,36	1599,00	1545,46	1498,59	1488,71	1484,40



Dens Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,923

P.esp.Agua= 9807 N/m<sup>3</sup>

D.MAX.= 1923,000 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 12,600 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

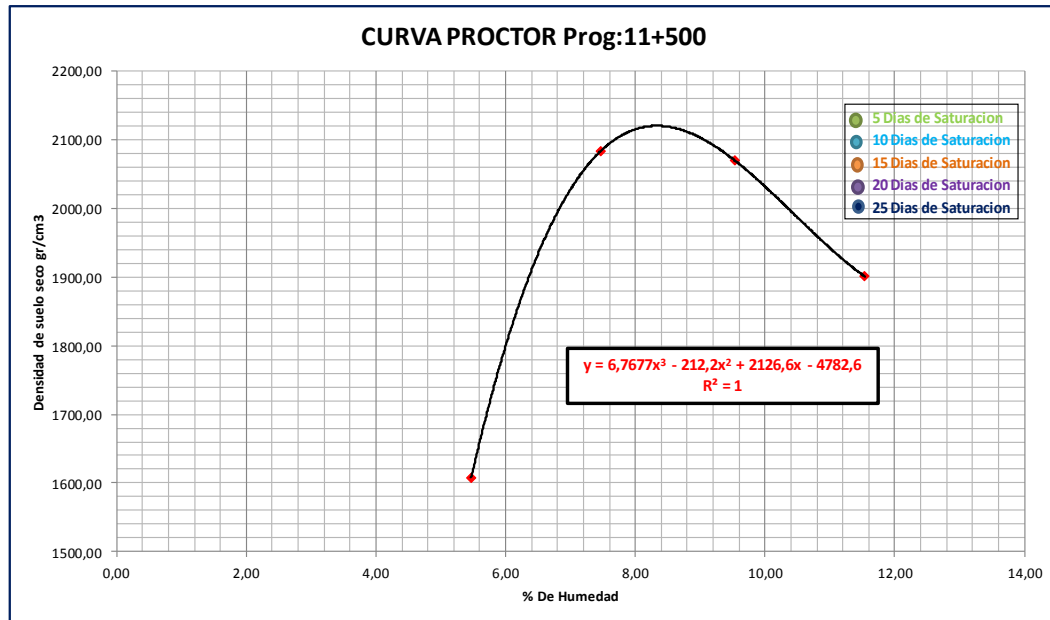
Fecha: 04/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 11+500

Identificación: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

No de capas	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	6921,00	7075,00	7135,00	7048,00
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00
Peso suelo húmedo	3603,00	3757,00	3817,00	3730,00
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1695,53	1768,00	1796,24	1755,29
Cápsula No	1	2	3	4
Peso suelo hum.+ cápsula	402,00	417,80	429,60	480,80
Peso suelo seco .+ cápsula	386,00	394,80	400,40	441,40
Peso del agua	16,00	23,00	29,20	39,40
Peso de la cápsula	93,40	86,80	94,20	99,80
Peso suelo seco	292,60	308,00	306,20	341,60
Contenido de humedad (%h)	5,47	7,47	9,54	11,53
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1607,62	2083,00	2069,00	1900,64



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G. Esp= 2,085

D.MAX.= 2085,000 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 8,000 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

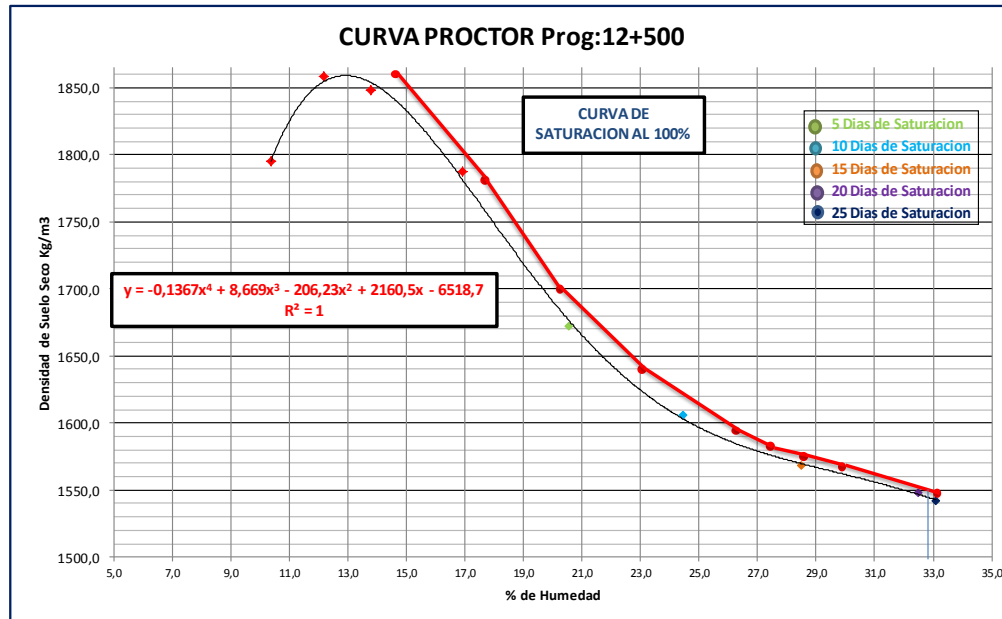
Fecha: 04/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificación: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	7527,00	7748,00	7787,00	7757,00	7486,00	7450	7485	7560	7635
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3255,00	3255	3255	3255	3274
Peso suelo húmedo	4209,00	4430,00	4469,00	4439,00	4231,00	4195	4230	4305	4361
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2099,00	2099	2099	2099	2125
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1,98	2,08	2,10	2,09	2,02	2,00	2,02	2,05	2,05
Cápsula No	1	2	3	4	5	5	54	54	12
Peso suelo hum. +cápsula	366,40	388,60	417,20	430,40	420,00	520	660	760	650
Peso suelo seco. + cápsula	341,00	356,60	377,80	380,60	364,00	435,8	532,7	594,7	510
Peso del agua	25,40	32,00	39,40	49,80	56,00	84,2	127,3	165,3	140
Peso de la cápsula	95,80	94,00	92,00	85,80	91,40	91,4	85,9	85,9	86,9
Peso suelo seco	245,20	262,60	285,80	294,80	272,60	344,4	446,8	508,8	423,1
Contenido de humedad (%h)	10,36	12,19	13,79	16,89	20,54	24,45	28,49	32,49	33,09
Densidad de suelo seco (Kgr/m <sup>3</sup> )	1794,79	1858,26	1848,26	1787,06	1672,20	1605,94	1568,39	1548,04	1542,00



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,86

D.MAX.= 1860,0 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 12,6 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

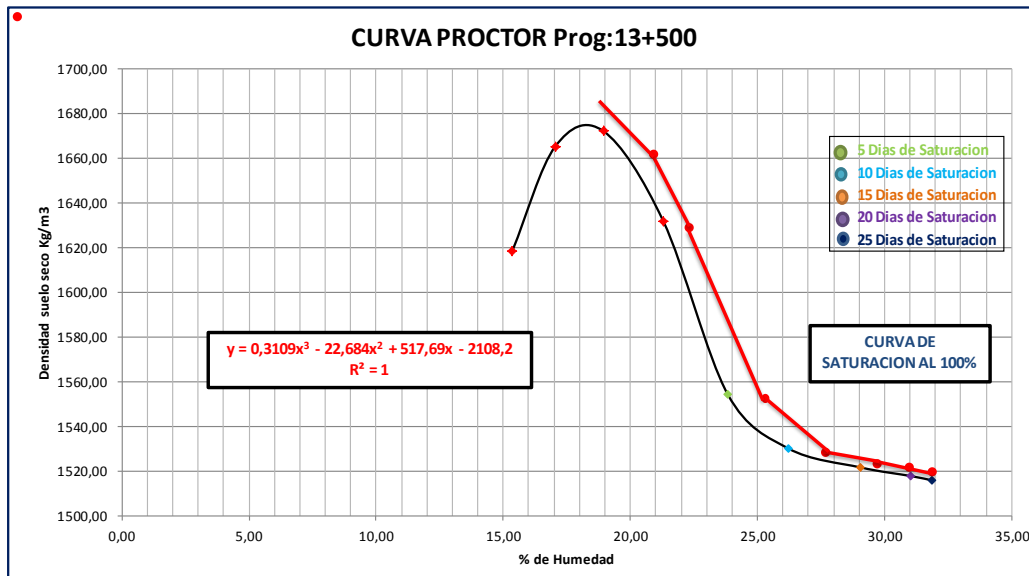
Fecha: 04/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificacion: Muestra Saturada en Días

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	7242,00	7416,00	7500,00	7480,00	7295,00	7232	7210	7200,00	7195,00
Peso del molde	3274,00	3274,00	3274,00	3274,00	3255,00	3255	3255	3255,00	3255,00
Peso suelo húmedo	3968,00	4142,00	4226,00	4206,00	4040,00	3977	3955	3945,00	3940,00
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2099,00	2099	2099	2099,00	2099,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1867,29	1949,18	1988,71	1979,29	1924,73	1894,71	1884,23	1879,47	1877,08
Cápsula No	24	27	18	12	4	4	42	42,00	15,00
Peso suelo hum. +cápsula	438,00	481,60	511,10	590,90	480,00	576,8	650	415,00	600,00
Peso suelo seco. + cápsula	392,80	425,40	444,60	505,40	406,54	477,4	525,8	340,00	479,00
Peso del agua	45,20	56,20	66,50	85,50	73,46	99,4	124,2	75,00	121,00
Peso de la cápsula	98,60	95,80	93,40	104,00	98,30	98,3	98,3	98,30	99,30
Peso suelo seco	294,20	329,60	351,20	401,40	308,24	379,1	427,5	241,70	379,70
Contenido de humedad (%)	15,36	17,05	18,94	21,30	23,83	26,22	29,05	31,03	31,87
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1618,61	1665,24	1672,09	1631,73	1554,33	1530,09	1521,63	1517,78	1515,86



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,674

D.MAX.= 1674 Kgr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 18,3 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

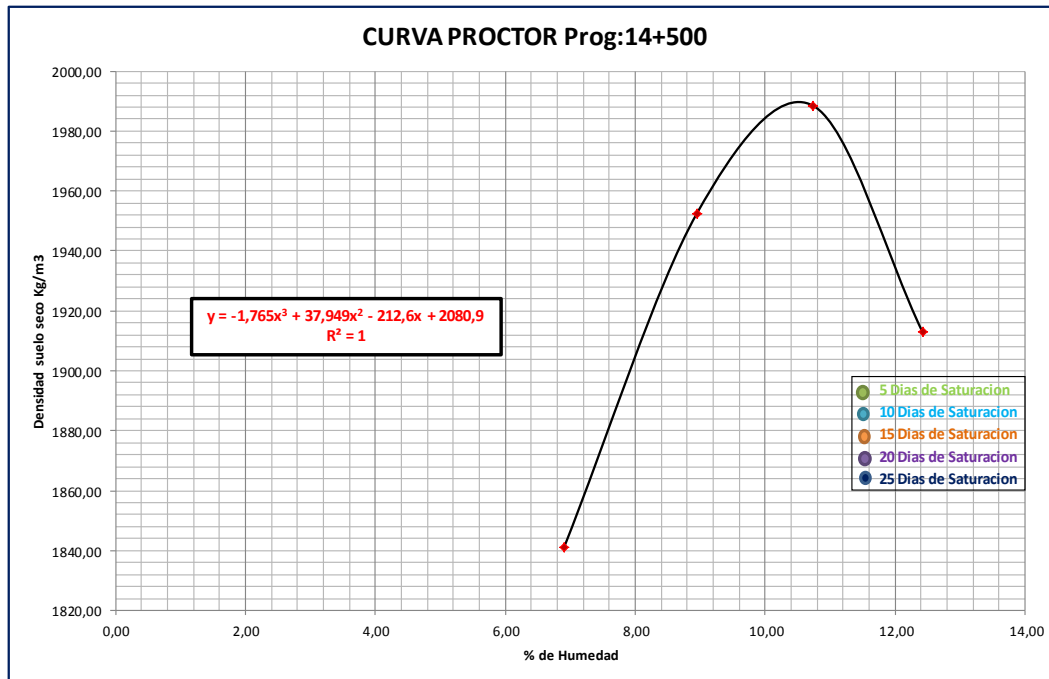
Fecha: 04/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 14+500

Identificacion: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

No de capas	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	7500,00	7838,00	7997,00	7888,00
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00
Peso suelo húmedo	4182,00	4520,00	4679,00	4570,00
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1968,00	2127,06	2201,88	2150,59
Cápsula No	19	14	31	36
Peso suelo hum. +cápsula	432,00	444,00	458,00	467,00
Peso suelo seco .+ cápsula	410,00	415,00	423,00	425,00
Peso del agua	22,00	29,00	35,00	42,00
Peso de la cápsula	91,20	90,80	96,80	86,80
Peso suelo seco	318,80	324,20	326,20	338,20
Contenido de humedad (%h)	6,90	8,95	10,73	12,42
Densidad de suelo seco (Kgr/m <sup>3</sup> )	1840,96	1952,41	1988,52	1913,02



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,989

D.MAX.= 1989 Kgr/m<sup>3</sup>

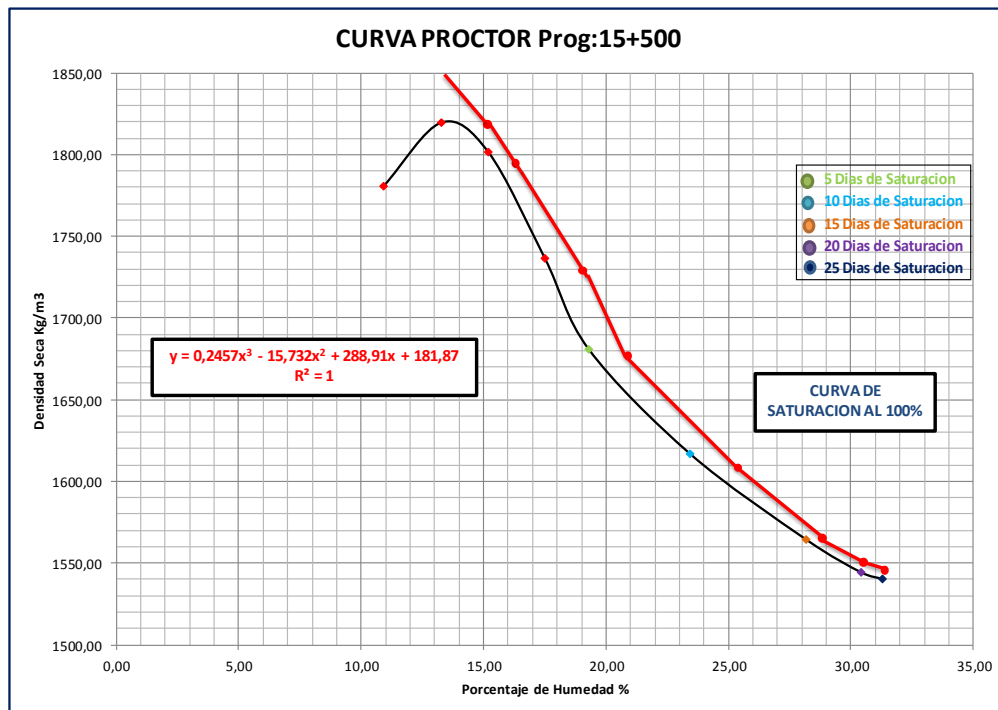
H.OPT. = 10,5 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL  
 Fecha: 05/08/2014  
 Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500 Identificación: Muestra Saturada en Días  
 Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
No de golpes por capa	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso suelo hum.+ molde	7515,00	7698,00	7728,00	7654,00	7579,00	7559,00	7579,00	7598,00	7530,00
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3261,00
Peso suelo húmedo	4197,00	4380,00	4410,00	4336,00	4261,00	4241,00	4261,00	4280,00	4269,00
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2111,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1975,06	2061,18	2075,29	2040,47	2005,18	1995,76	2005,18	2014,12	2022,26
Cápsula No	32,00	23,00	28,00	33,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Peso suelo hum. +cápsula	439,60	464,40	491,80	510,20	530,40	564,00	720,00	437,00	700,00
Peso suelo seco.+ cápsula	404,60	420,40	439,20	448,20	460,00	475,00	580,60	358,00	556,00
Peso del agua	35,00	44,00	52,60	62,00	70,40	89,00	139,40	79,00	144,00
Peso de la cápsula	84,00	89,00	93,00	94,00	95,20	95,20	85,80	98,30	95,80
Peso suelo seco	320,60	331,40	346,20	354,20	364,80	379,80	494,80	259,70	460,20
Contenido de humedad (%h)	10,92	13,28	15,19	17,50	19,30	23,43	28,17	30,42	31,29
Densidad de suelo seco (Kgr/m <sup>3</sup> )	1780,66	1819,59	1801,57	1736,51	1680,81	1616,88	1564,43	1544,34	1540,29



P. esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>  
 D.MAX.= 1820 Kgr/m<sup>3</sup>

G. Esp= 1,82  
 H.OPT. = 13,4 %



### COMPACTACION T-180

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

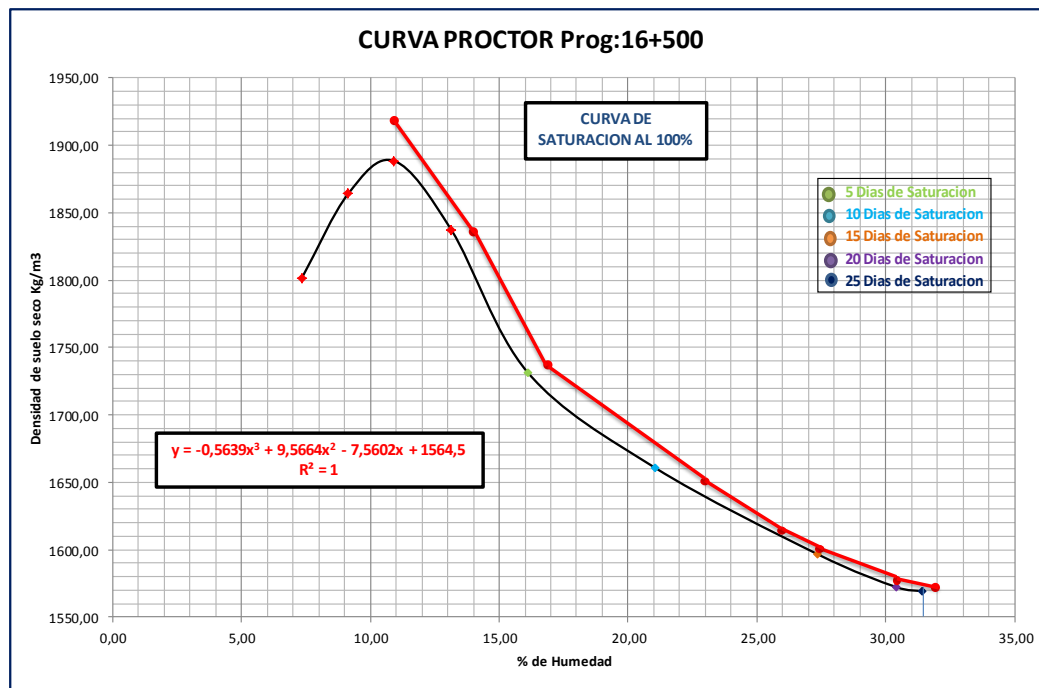
Fecha: 05/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificación: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso suelo hum.+ molde	7362,00	7574,00	7701,00	7667,00	7590,00	7590,00	7639,00	7675,00	7700,00
Peso del molde	3279,00	3279,00	3279,00	3279,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00
Peso suelo húmedo	4083,00	4295,00	4422,00	4388,00	4272,00	4272,00	4321,00	4357,00	4382,00
Volumen de la muestra	2111,00	2111,00	2111,00	2111,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1934,15	2034,58	2094,74	2078,64	2010,35	2010,35	2033,41	2050,35	2062,12
Cápsula No	34A	18A	27A	28A	31,00	15,00	24,00	2,00	8,00
Peso suelo hum. +cápsula	471,00	499,00	520,00	548,00	530,40	561,00	735,00	832,00	500,00
Peso suelo seco.+ cápsula	445,00	465,00	478,00	495,00	470,00	480,00	597,60	660,20	402,00
Peso del agua	26,00	34,00	42,00	53,00	60,40	81,00	137,40	171,80	98,00
Peso de la cápsula	91,20	93,20	93,60	92,00	95,20	95,20	95,20	95,20	90,00
Peso suelo seco	353,80	371,80	384,40	403,00	374,80	384,80	502,40	565,00	312,00
Contenido de humedad (%)	7,35	9,14	10,93	13,15	16,12	21,05	27,35	30,41	31,41
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1801,75	1864,11	1888,41	1837,04	1731,34	1660,76	1596,73	1572,27	1569,22



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,888

D.MAX.= 1888,000 Kg/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 10,900 %



### COMPACTACION T-180

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

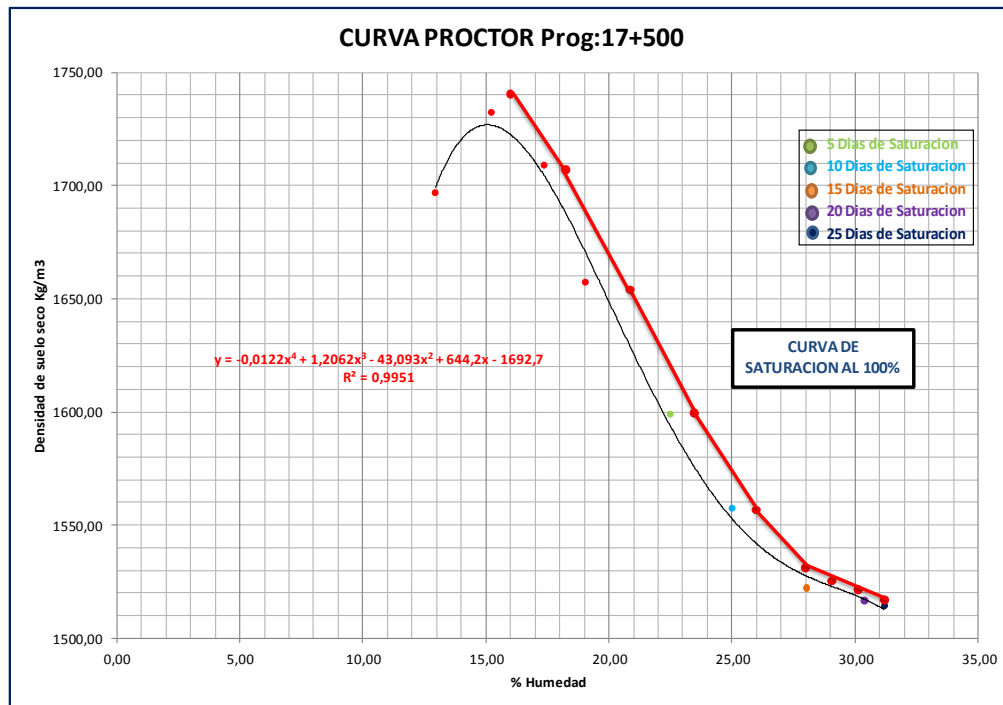
Fecha: 05/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificacion: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	7390,00	7559,00	7580,00	7510,00	7480,00	7455	7460	7520	7425
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318	3318	3318	3255
Peso suelo húmedo	4072,00	4241,00	4262,00	4192,00	4162,00	4137	4142	4202	4170
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125	2125	2125	2099
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1916,24	1995,76	2005,65	1972,71	1958,59	1946,82	1949,18	1977,41	1986,66
Cápsula No	18	15	13	33	21	32	13	34	21
Peso suelo hum.+cápsula	451,00	459,00	471,00	500,00	550,00	530	500	670	700
Peso suelo seco.+ cápsula	410,00	411,00	416,00	435,00	457,00	432,7	400	524	555
Peso del agua	41,00	48,00	55,00	65,00	93,00	97,3	100	146	145
Peso de la cápsula	93,40	95,80	99,40	94,00	43,43	43,43	43,43	43,43	90
Peso suelo seco	316,60	315,20	316,60	341,00	413,57	389,27	356,57	480,57	465
Contenido de humedad (%h)	12,95	15,23	17,37	19,06	22,49	25,00	28,04	30,38	31,18
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1696,53	1732,01	1708,79	1656,88	1599,02	1557,51	1522,26	1516,65	1514,42



P. esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G. Esp= 1,732

D.MAX.= 1732,000 Kr/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 15,300 %



**COMPACTACION T-180**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

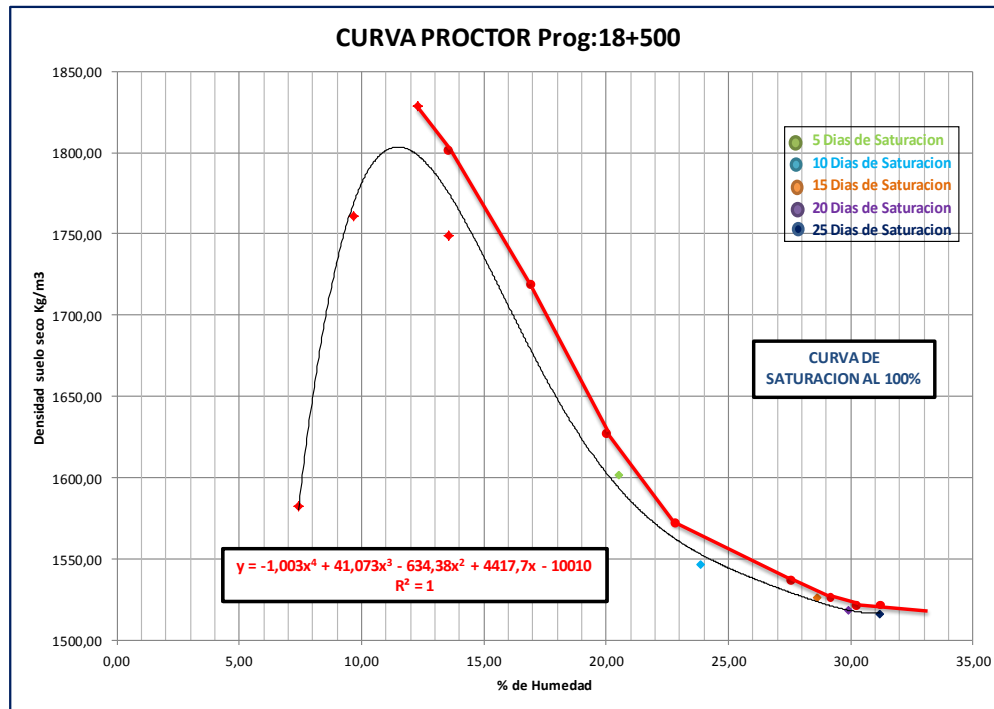
Fecha: 05/08/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificación: Muestra Saturada en Dias

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

MUESTRA SATURADA EN DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO					5 DIAS	10 DIAS	15 DIAS	20 DIAS	25 DIAS
No de capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
No de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Peso suelo hum.+ molde	6930,00	7422,00	7682,00	7538,00	7420,00	7389	7490	7510	7460
Peso del molde	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318,00	3318	3318	3318	3261
Peso suelo húmedo	3612,00	4104,00	4364,00	4220,00	4102,00	4071	4172	4192	4199
Volumen de la muestra	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125,00	2125	2125	2125	2111
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1699,76	1931,29	2053,65	1985,88	1930,35	1915,76	1963,29	1972,71	1989,10
Cápsula No	33	23	17	35	23,00	24,00	12,00	15,00	3,00
Peso suelo hum.+ cápsula	372,00	392,40	389,00	470,00	565,00	483,60	730,00	523,00	700,00
Peso suelo seco.+ cápsula	352,80	365,60	356,40	425,80	478,50	401,40	580,20	415,70	555,00
Peso del agua	19,20	26,80	32,60	44,20	86,50	82,20	149,80	107,30	145,00
Peso de la cápsula	94,00	89,00	91,20	99,80	56,87	56,87	56,87	56,87	90,00
Peso suelo seco	258,80	276,60	265,20	326,00	421,63	344,53	523,33	358,83	465,00
Contenido de humedad (%h)	7,42	9,69	12,29	13,56	20,52	23,86	28,62	29,90	31,18
Densidad de suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1582,37	1760,70	1828,84	1748,78	1601,75	1546,74	1526,38	1518,60	1516,28



P.esp Agua= 1000kg/m<sup>3</sup>

G.Esp= 1,836

D.MAX.= 1836,000 Kg/m<sup>3</sup>

H.OPT. = 11,900 %

## **ENSAYO California Bearing Ratio CBR**

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

### **EQUIPO**

El material que se utilizó para este ensayo es el siguiente:

- Moldes de compactación de 15.2 cm de diámetro por 17.8 cm. de altura (o equivalente, con collarín).
- Disco espaciador de 15.1 cm. de diámetro por 6.14 cm. de altura
- Martillo de compactación de 10 lb y de 15-18 pulg de caída.
- Balanza de precisión 0.1 gr.
- Horno eléctrico.
- Taras.
- Pesos para sobrecargar.
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración
- Piscina para la inmersión de suelos

### **Condiciones de la Muestra.**

- Se prepara un molde “Molde N°” de peso “Peso del Molde N°” y volumen “Volumen de la Muestra” conocidos, ajustándolo a su base y colocándole su respectivo collarín.
- Se deposita dentro el molde un disco espaciador con un papel filtro que evitará que la muestra compactada se pegue al disco.

- dentro el molde de añade un poco del suelo húmedo y se procede a compactar la 1ra capa de 56 golpes cabe recalcar que se realiza la compactación de 3 moldes de 5 capas cada uno a 56-25-12 golpes por molde.
- Una vez terminada la compactación, se saca el collarín y se enrasa con una regla metálica el sobrante tratando de dejar una superficie lisa.
- Se deja libre el molde del disco espaciador, collarín y se lo pesa.
- Restando el peso del molde del peso muestra húmeda más molde, tendremos el peso muestra húmeda.
- El peso unitario de la muestra húmeda será el peso muestra húmeda sobre el volumen de la muestra.
- Con la muestra sobrante se realiza la determinación del contenido de humedad para el molde de 56-25 y 12 golpes.

### **C.B.R.**

- Se pesa el molde libre del disco espaciador, plato con vástago y pesos, y se anota el resultado en la casilla correspondiente de la columna “Después de mojarse”.
- Se coloca el molde en la base y se lo lleva a la prensa de ensayo provista del aro dinamométrico adecuado. Se pone la sobrecarga anular de ensayo, sobre la superficie y se asienta el pistón de penetración a través del orificio central.
- Se regula la altura del conjunto tal que el dial del extensómetro que mide la resistencia a la deformación del aro dinamométrico esté en cero. El extensómetro que mide las penetraciones y que está sujeto al marco, apoyará su vástago sobre el borde la base haciendo coincidir su dial a cero.
- Se aplicarán cargas a una velocidad de avance del pistón igual a 1.27 mm./min. (0.5 pulg./min.), anotándose las lecturas del dial del aro dinamométrico obtenidas para penetraciones de 0.025”; 0.05”; 0.075”; 0.1”; 0.2”; 0.3”; 0.4”; 0.5”.

- Las cuatro primeras lecturas servirán posteriormente para efectuar la corrección de la curva penetración-cargas en el caso de que la misma resulte cóncava hacia arriba.
- Se descarga la prensa a penetración, se retira el molde y se quitan las sobrecargas. Se toma una muestra de suelo del lugar donde penetró el pistón y, en una cápsula de peso conocido, se hace secar en horno y se anota todos los valores encontrados.
- En caso de que la curva penetración vs. Carga diseñada se corrija, se anotaran los valores de corrección.
- Sabiendo que la resistencia que presenta el material de comparación a la línea del pistón de 0.1” y 0.2” de penetración y el área del pistón tendremos que para sacar el CBR de la carga unitaria correspondiente a dichas penetraciones expresado en porcentaje, debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

**Curva: CBR % – Peso Unitario.**

- Tomando los “Pesos Unitarios Secos” de cada una de las muestras, se busca una escala apropiada a los mismos; de igual manera para los % de CBR de 0.2” de penetración.
- Luego definidos los puntos, se los unirá mediante una curva que se denominará Curva % CBR – Peso Unitario.
- Sabiendo el valor de la densidad máxima, hallada mediante el ensayo de compactación, se traza una recta horizontal que lo defina, siendo la proyección vertical de la intersección de ésta y la curva diseñada, el valor porcentual de CBR al 100% de la densidad máxima, en igual forma se puede trazar para una compactación del 95%

### ENSAYO CBR ANALISIS DE MUESTRAS SATURADAS

Fotografía III-30. Contenido de humedad CBR  
Prog:17+500



Fotografía III-31. Pesaje de muestra secada al horno  
Prog:16+500



**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Peso del plato más suelo húmedo de muestra saturada de 5 días, para obtención del contenido de humedad Prog: 17+500

**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Peso del plato más suelo seco de muestra saturada de 5 días, para obtención del contenido de humedad Prog: 16+500

Fotografía III-32. Muestra de 10 días de saturación  
Prog:15+500



Fotografía III-33. Compactación 10 días de saturación  
Prog:15+500



**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Muestra saturada a 10 días, es una masa pastosa y pegajosa, con textura de pasta dental, Prog:15+500, muestra de color rojizo.

**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Compactación de muestra Prog: 15+500. Muestra muy complicada de compactar debido a su textura, se observa el rebalse de material por los costados del molde

Fotografía III-34. Muestra saturada a 15 días Prog:18+500



Fotografía III-35. Compactación CBR 1ra capa Prog:12+500



**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Muestra saturada a 15 días, es una masa pastosa con alto contenido de humedad, con textura de manteca al tacto.

**Ensayo de CBR**  
**Observaciones:** Muestra saturada a 10 días, es una masa blanda color amarillo, se procede a compactar la 1ra capa de 25 golpes Prog: 12+500.

*Nota: Todas las fotografías de ENSAYO CBR ANALISIS DE MUESTRAS SATURADAS son de : Fuente : Elaboración Propia*

**LABORATORIO  
ENSAYO DE SUELOS  
DE  
MUESTRAS  
SATURADAS  
CBR**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 10+760**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificación: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Días de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1599Kg/m3	% HUMEDAD	24,77
---------------	-----------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11554	11428	11298
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4201	3978	3794
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2033,40	1933,88	1827,55

**COMPACTACIÓN T-180**

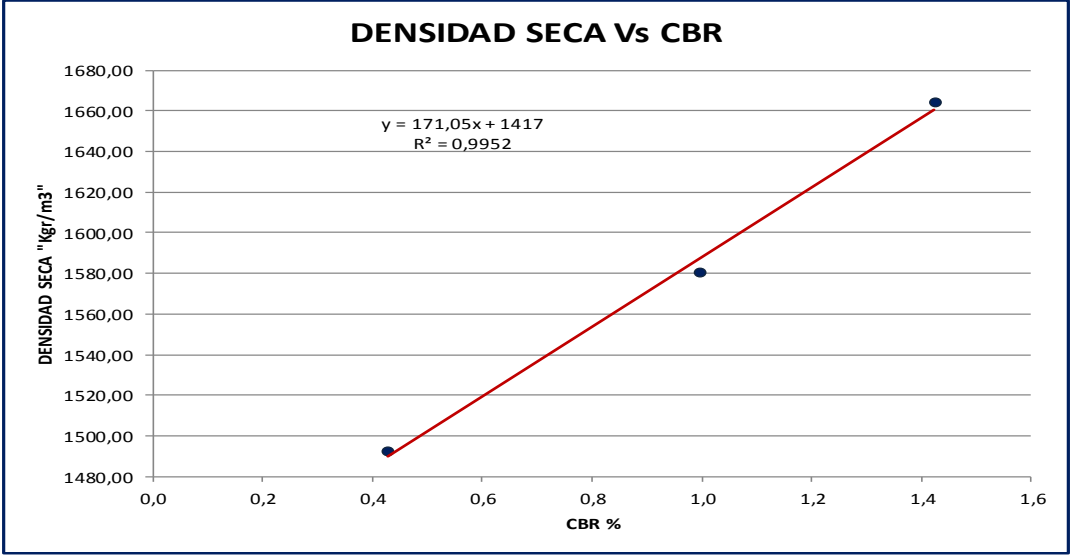
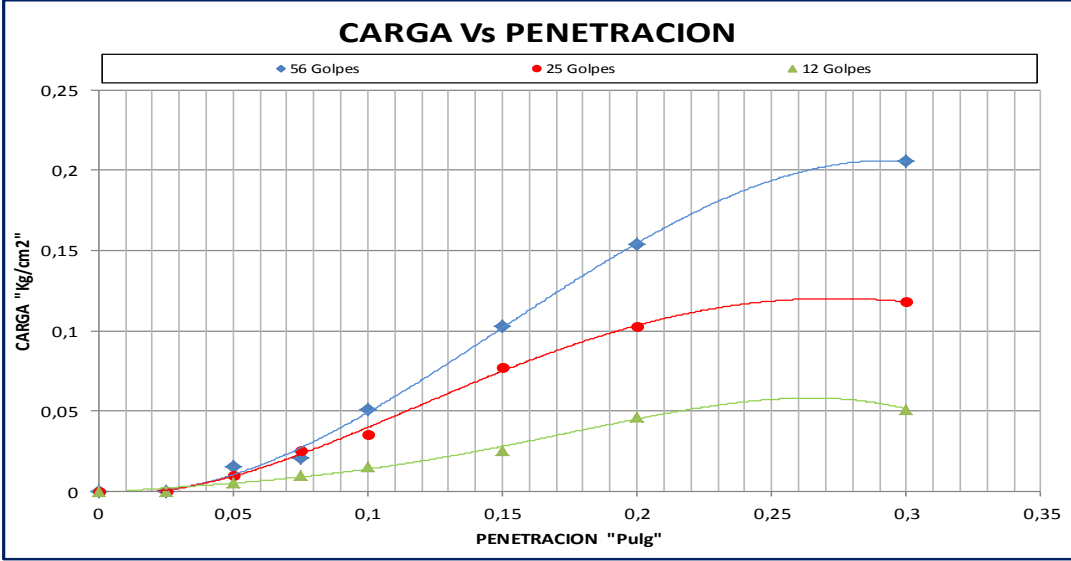
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	510	562,00	524,00
Peso Suelo Seco + Tara	436	476,00	446,00
Peso Agua	74	86	78,00
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	333,6	384,6	348,00
% de Humedad	22,18	22,36	22,41
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1664,23	1580,48	1492,93
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1599	1599,00	1599,00
% De Compactación	104,08	98,84	93,37

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.			
0	0			0	0		0	0		0	0				
0,5	0,025	0,635		0	0,000		0,0	0,000		0,0	0,000				
1	0,05	1,27		0,3	0,015		0,2	0,010		0,1	0,005				
1,5	0,075	1,905		0,4	0,021		0,5	0,026		0,2	0,010				
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,7	0,036	0,7	1,0	0,3	0,015	0,3	0,4
3	0,15	3,81		2	0,103			1,5	0,077			0,5	0,026		
4	0,2	5,08	105,5	3	0,154			2,0	0,103			0,9	0,046		
6	0,3	7,62		4	0,205			2,3	0,118			1,0	0,051		
8	0,4	10,16		5	0,257			2,3	0,118			1,5	0,077		
10	0,5	12,7		6	0,308			2,3	0,118			2,0	0,103		



DENSIDAD	CBR
1664,23	1,4
1580,48	1,0
1492,93	0,4

DENS. AL 90% :	1439 Kg/m³
DENS. AL 95% :	1519 Kg/m³
DENS. AL 100% :	1599 Kg/m³

C. B. R.. AL 90% :	0,129
C. B. R.. AL 95% :	0,597
C. B. R.. AL 100% :	1,064

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 12+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1672 Kg/m3	% HUMEDAD	20,54
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11528	11428	11298
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4175	3978	3794
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2020,81	1933,88	1827,55

**COMPACTACIÓN T-180**

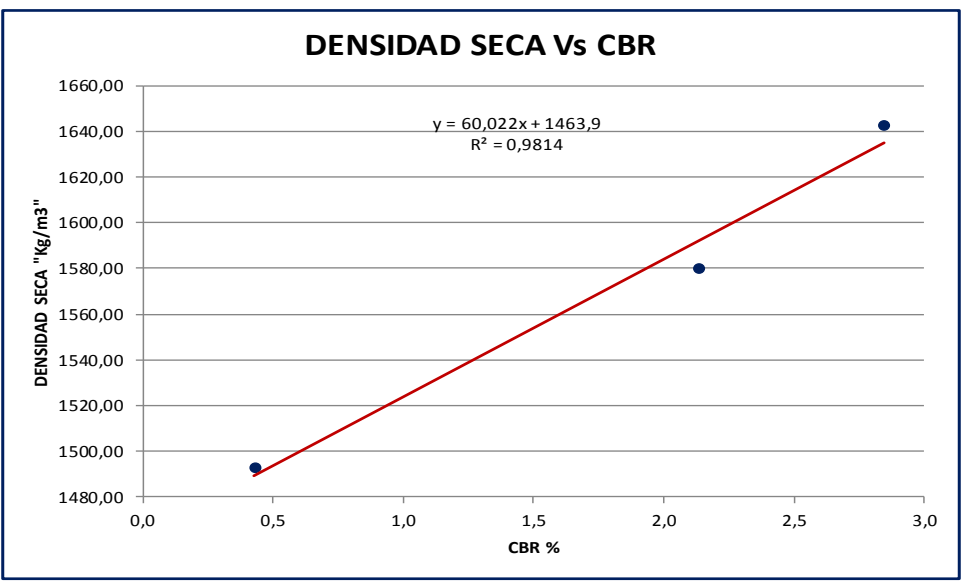
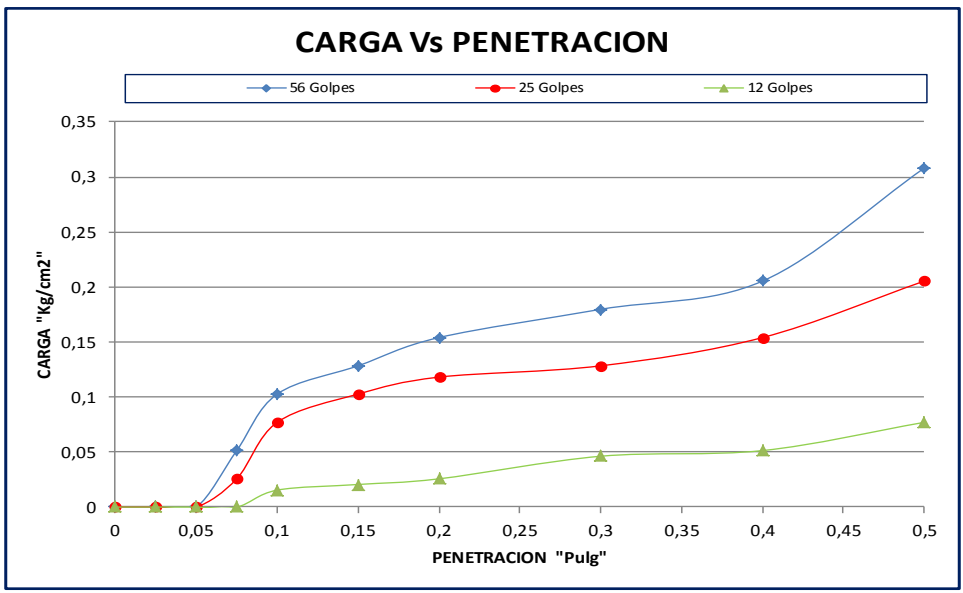
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	376	562,00	524,00
Peso Suelo Seco + Tara	324	476,00	446,00
Peso Agua	52	86	78,00
Peso Tara	98	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	226	384,6	348,00
% de Humedad	23,01	22,36	22,41
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1642,82	1580,48	1492,93
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1672	1672	1672
% De Compactación	98,25	94,53	89,29

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.			
0	0			0	0		0	0		0	0				
0,5	0,025	0,635		0	0,000		0,0	0,000		0,0	0,000				
1	0,05	1,27		0	0,000		0,0	0,000		0,0	0,000				
1,5	0,075	1,905		1	0,051		0,5	0,026		0	0,000				
2	0,1	2,54	70,3	2	0,103	2,0	2,8	1,5	0,077	1,5	2,1	0,3	0,015	0,3	0,4
3	0,15	3,81		2,5	0,128			2,0	0,103		0,4	0,021			
4	0,2	5,08	105,5	3	0,154			2,3	0,118		0,5	0,026			
6	0,3	7,62		3,5	0,180			2,5	0,128		0,9	0,046			
8	0,4	10,16		4	0,205			3,0	0,154		1,0	0,051			
10	0,5	12,7		6	0,308			4,0	0,205		1,5	0,077			



DENSIDAD	CBR
1642,82	2,8
1580,48	2,1
1492,93	0,4

DENS. AL 90%:	1504,8 Kg/m3	C.B.R.. AL 90%:	0,806
DENS. AL 95%:	1588,4 Kg/m3	C.B.R.. AL 95%:	2,108
DENS. AL 100%:	1672 Kg/m3	C.B.R.. AL 100%:	3,410

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1554Kg/m3	% HUMEDAD	23,83
---------------	-----------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11318	11215	11198
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	3965	3765	3694
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1919,17	1830,34	1779,38

**COMPACTACIÓN-T-180**

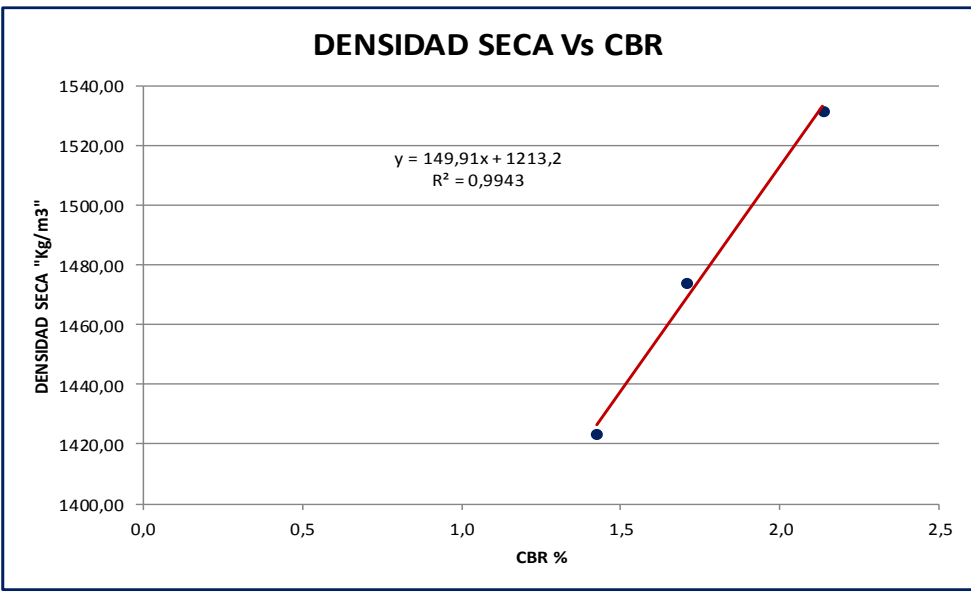
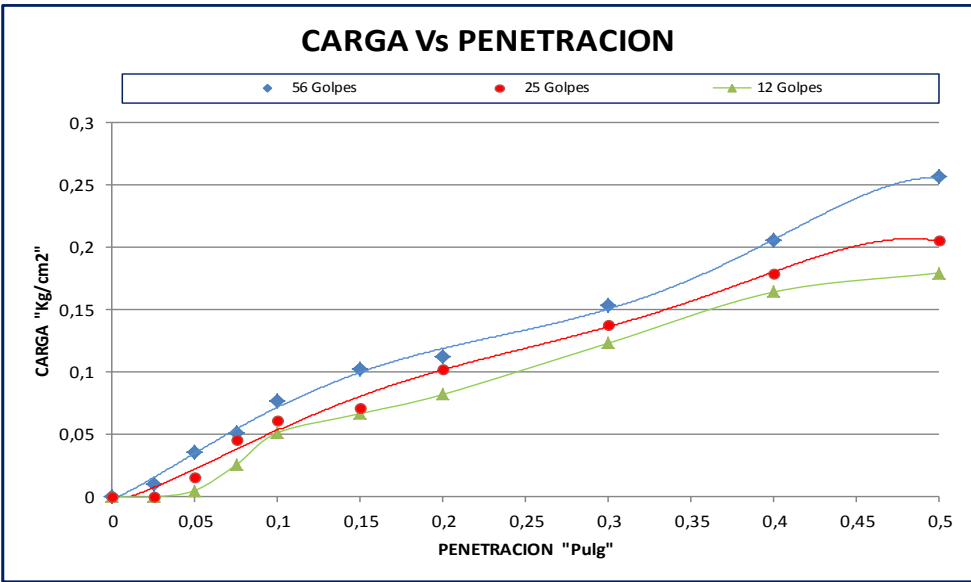
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	278	252,00	276,00
Peso Suelo Seco + Tara	240	222,00	239,10
Peso Agua	38	30	36,90
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	150	124	147,70
% de Humedad	25,33	24,19	24,98
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1531,25	1473,78	1423,70
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1554	1554	1554
% De Compactación	98,54	94,84	91,62

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0,2	0,010			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,7	0,036			0,3	0,015			0,1	0,005						
1,5	0,075	1,905		1	0,051			0,9	0,046			0,5	0,026						
2	0,1	2,54	70,3	1,5	0,077	1,5	2,1	1,2	0,062	1,2	1,7	1,0	0,051	1,0	1,4				
3	0,15	3,81		2	0,103			1,4	0,072			1,3	0,067						
4	0,2	5,08	105,5	2,2	0,113			2,0	0,103			1,6	0,082						
6	0,3	7,62		3	0,154			2,7	0,139			2,4	0,123						
8	0,4	10,16		4	0,205			3,5	0,180			3,2	0,164						
10	0,5	12,7		5	0,257			4,0	0,205			3,5	0,180						



DENSIDAD	CBR
1531,25	2,1
1473,78	1,7
1423,70	1,4

DENS. AL 90% :	1399 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,238
DENS. AL 95% :	1476 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,756
DENS. AL 100% :	1554 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,275

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1680 Kg/m3	% HUMEDAD	19,30
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11450	11320	11220
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4097	3870	3716
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1983,06	1881,38	1789,98

**COMPACTACIÓN T-180**

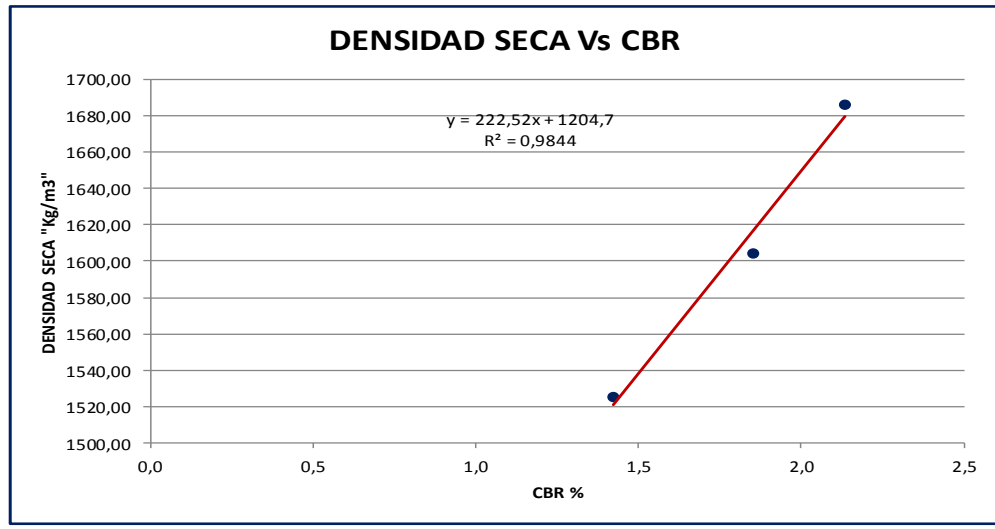
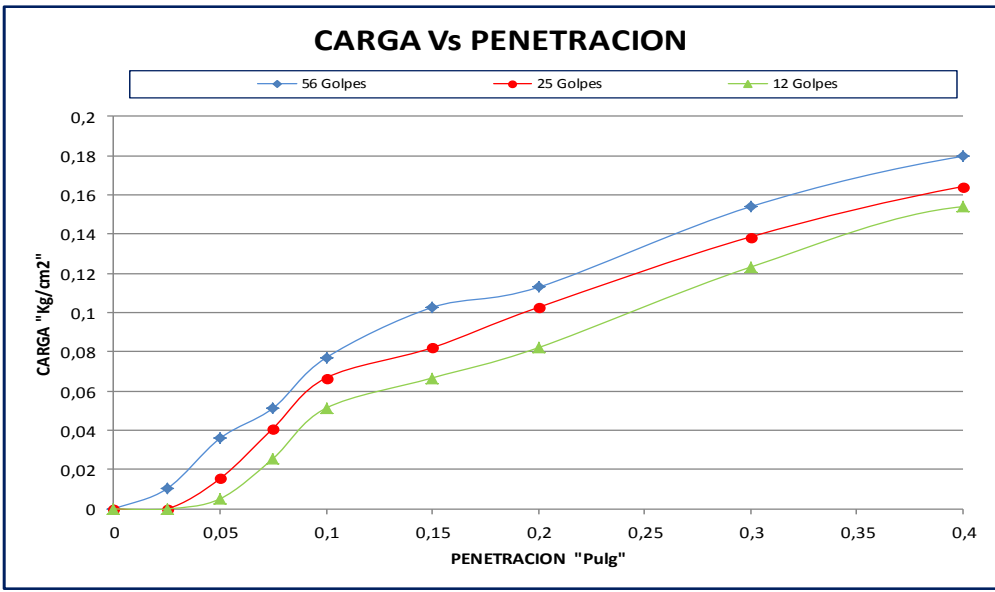
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	578	540,00	559,00
Peso Suelo Seco + Tara	505	475,00	490,00
Peso Agua	73	65	69,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	415	377	398,60
% de Humedad	17,59	17,24	17,31
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1686,41	1604,71	1525,85
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1680	1680	1680
% De Compactación	100,38	95,52	90,82

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.	Dial	Calc.	Correg. C.B.R.
0	0	0		0	0		0	0		0	0	
0,5	0,025	0,635		0,2	0,010		0,0	0,000		0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0,7	0,036		0,3	0,015		0,1	0,005	
1,5	0,075	1,905		1	0,051		0,8	0,041		0,5	0,026	
2	0,1	2,54	70,3	1,5	0,077	1,5	2,1	1,3	0,067	1,3	1,8	1,0
3	0,15	3,81		2	0,103			1,6	0,082		1,3	0,067
4	0,2	5,08	105,5	2,2	0,113			2,0	0,103		1,6	0,082
6	0,3	7,62		3	0,154			2,7	0,139		2,4	0,123
8	0,4	10,16		3,5	0,180			3,2	0,164		3,0	0,154
10	0,5	12,7		3,7	0,190			3,5	0,180		2,8	0,144



DENSIDAD	CBR
1686,41	2,1
1604,71	1,8
1525,85	1,4

DENS. AL 90% :	1512 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,381
DENS. AL 95% :	1596 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,758
DENS. AL 100% :	1680 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,136

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 16+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1731 Kg/m3	% HUMEDAD	16,12
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11542	11450	11270
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4189	4000	3766
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2027,59	1944,58	1814,07

**COMPACTACIÓN T-180**

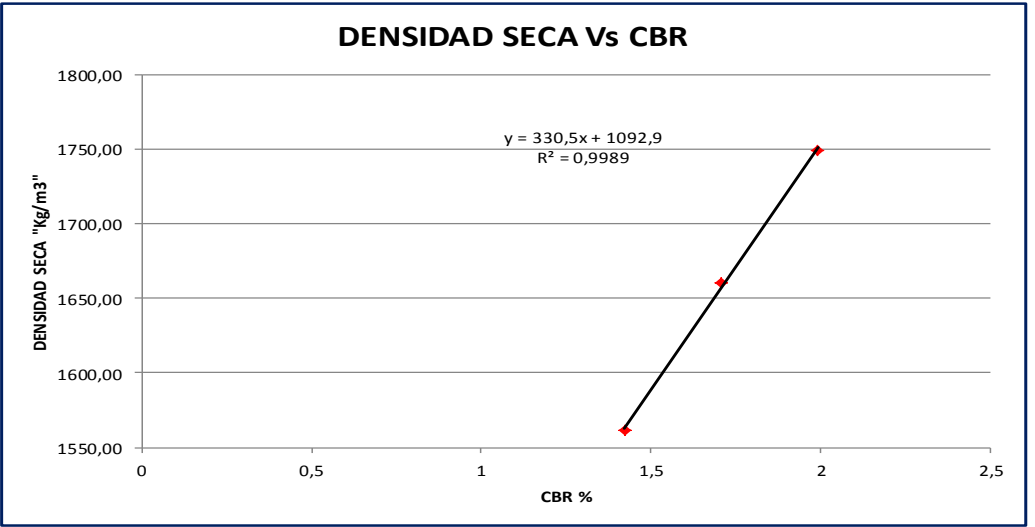
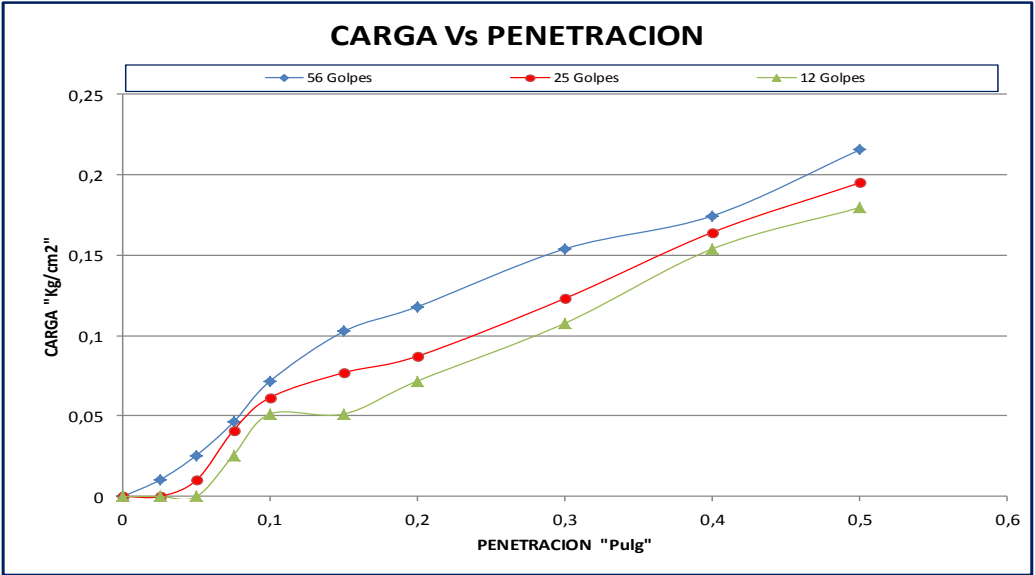
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	630	550,00	590,00
Peso Suelo Seco + Tara	558	484,00	520,50
Peso Agua	72	66	69,50
Peso Tara	105,5	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	452,5	386	429,10
% de Humedad	15,91	17,10	16,20
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1749,26	1660,64	1561,20
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1731	1731	1731
% De Compactación	101,05	95,94	90,19

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0,2	0,010			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,5	0,026			0,2	0,010			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,9	0,046			0,8	0,041			0,5	0,026						
2	0,1	2,54	70,3	1,4	0,072	1,4	2,0	1,2	0,062	1,2	1,7	1,0	0,051	1,0	1,4				
3	0,15	3,81		2	0,103			1,5	0,077			1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	2,3	0,118			1,7	0,087			1,4	0,072						
6	0,3	7,62		3	0,154			2,4	0,123			2,1	0,108						
8	0,4	10,16		3,4	0,175			3,2	0,164			3,0	0,154						
10	0,5	12,7		4,2	0,216			3,8	0,195			3,5	0,180						



DENSIDAD	CBR
1749,26	1,991465149
1660,64	1,706970128
1561,20	1,422475107

DENS. AL 90% :	1558 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,407
DENS. AL 95% :	1644 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,669
DENS. AL 100% :	1731 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,930

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 17+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

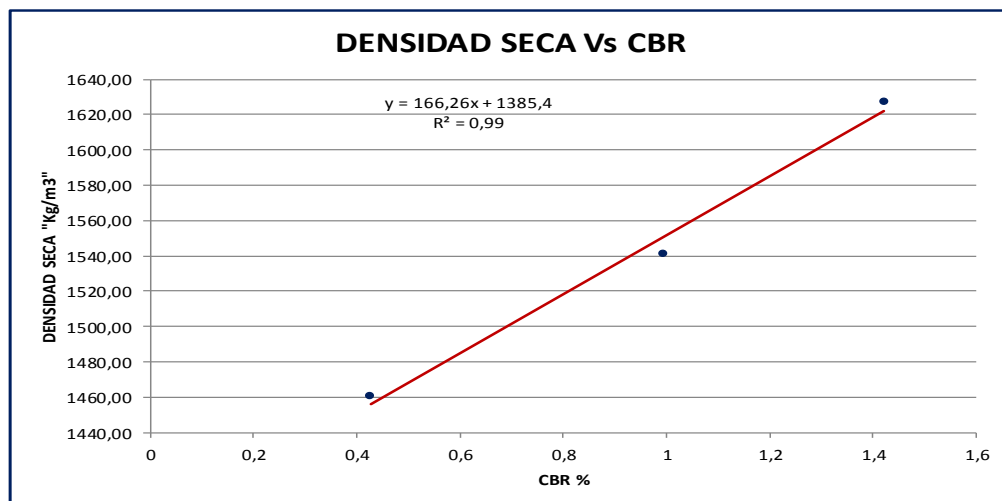
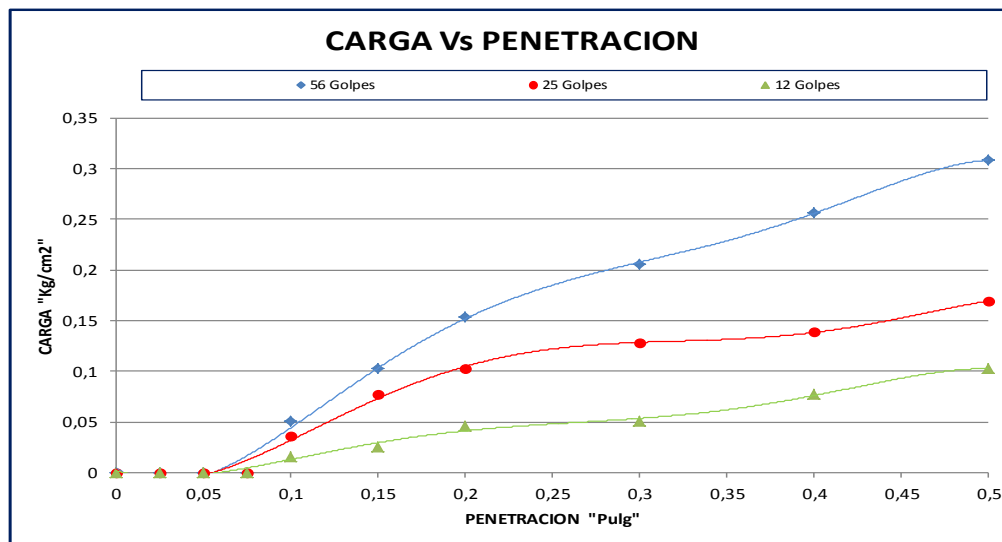
DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION			
DENSIDAD SECA	1557 Kg/m3	% HUMEDAD	25,00

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11570	11380	11320
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4217	3930	3816
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2041,14	1910,55	1838,15

COMPACTACIÓN T-180			
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	559	542,00	550,00
Peso Suelo Seco + Tara	465	456,00	446,00
Peso Agua	94	86	90,00
Peso Tara	95,3	97,00	98,00
Peso Suelo Seco	369,7	359	348,00
% de Humedad	25,43	23,96	25,86
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1627,37	1541,32	1460,45
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1599	1599,00	1599,00
% De Compactación	101,77	96,39	91,34

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN												
Fecha		Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión	Lect.,	mm	% Expansión

DETERMINACION CBR													
PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		
0	0	0		0	0			0	0			0	0
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,7	0,036	0,7	1,0	0,3	0,015
3	0,15	3,81		2	0,103			1,5	0,077			0,5	0,026
4	0,2	5,08	105,5	3	0,154			2,0	0,103			0,9	0,046
6	0,3	7,62		4	0,205			2,5	0,128			1,0	0,051
8	0,4	10,16		5	0,257			2,7	0,139			1,5	0,077
10	0,5	12,7		6	0,308			3,3	0,169			2,0	0,103



DENSIDAD	CBR
1627,37	1,422475107
1541,32	0,995732575
1460,45	0,426742532

DENS. AL 90% :	1439 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,325
DENS. AL 95% :	1519 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	0,806
DENS. AL 100% :	1599 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	1,287

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 18+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 02/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA a 5 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 5 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1601 Kg/m3	% HUMEDAD	20,52
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	MUESTRA SATURADA 5 DIAS	SATURADA 5 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11358	11250	11101
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4005	3800	3597
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1938,53	1847,35	1732,66

**COMPACTACIÓN T-180**

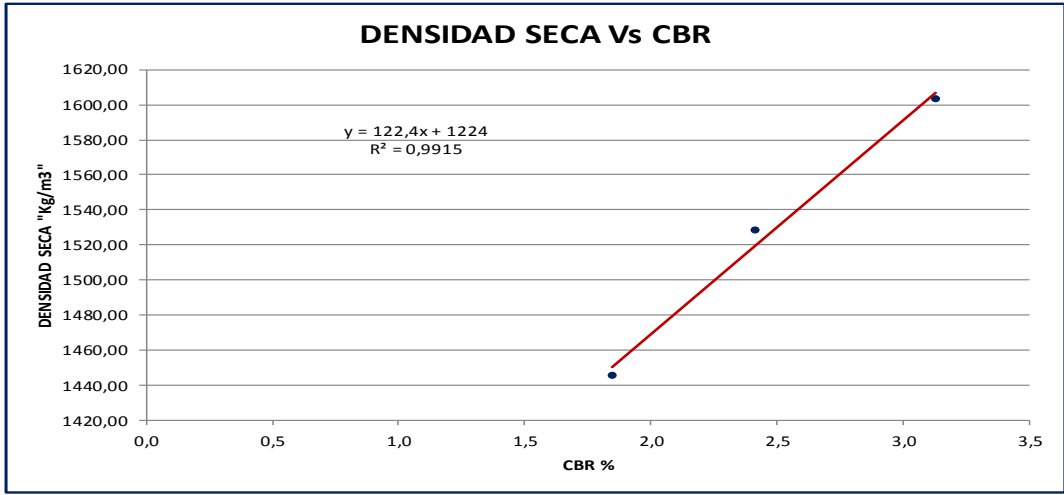
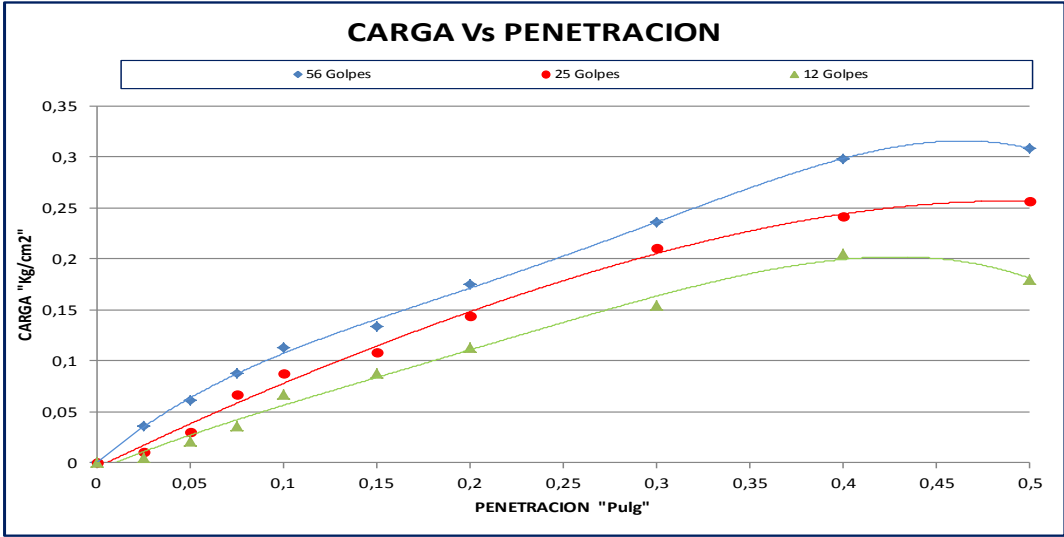
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	432	462,00	424,00
Peso Suelo Seco + Tara	375	398,00	370,00
Peso Agua	57	64	54,00
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	272,6	306,6	272,00
% de Humedad	20,91	20,87	19,85
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1603,29	1528,33	1445,65
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1601	1601	1601
% De Compactación	100,14	95,46	90,30

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión
-------	------	------	-----------	-------------	-----------	-------------	-----------	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg.	C.B.R.
	0	0		0	0			0	0			0	0	
0,5	0,025	0,635		0,7	0,036			0,2	0,010			0,1	0,005	
1	0,05	1,27		1,2	0,062			0,6	0,031			0,4	0,021	
1,5	0,075	1,905		1,7	0,087			1,3	0,067			0,7	0,036	
2	0,1	2,54	70,3	2,2	0,113	2,2	3,1	1,7	0,087	1,7	2,4	1,3	0,067	1,3 1,8
3	0,15	3,81		2,6	0,134			2,1	0,108			1,7	0,087	
4	0,2	5,08	105,5	3,4	0,175			2,8	0,144			2,2	0,113	
6	0,3	7,62		4,6	0,236			4,1	0,211			3,0	0,154	
8	0,4	10,16		5,8	0,298			4,7	0,241			4,0	0,205	
10	0,5	12,7		6	0,308			5,0	0,257			3,5	0,180	



DENSIDAD Y	CBR X
1603,29	3,1
1528,33	2,4
1445,65	1,8

DENS. AL 90% :	1440,9 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,772
DENS. AL 95% :	1520,95 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	2,426
DENS. AL 100% :	1601 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	3,080

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 10+760**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1545Kg/m3	% HUMEDAD	28,21
---------------	-----------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11460	11365	11190
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4107	3915	3686
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1987,90	1903,26	1775,53

**COMPACTACIÓN T-180**

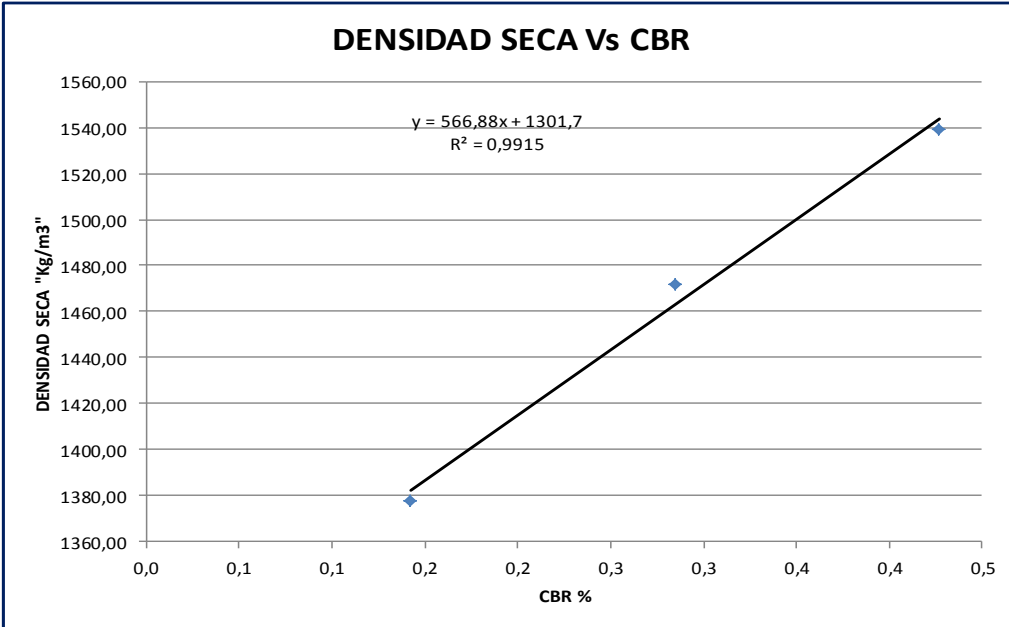
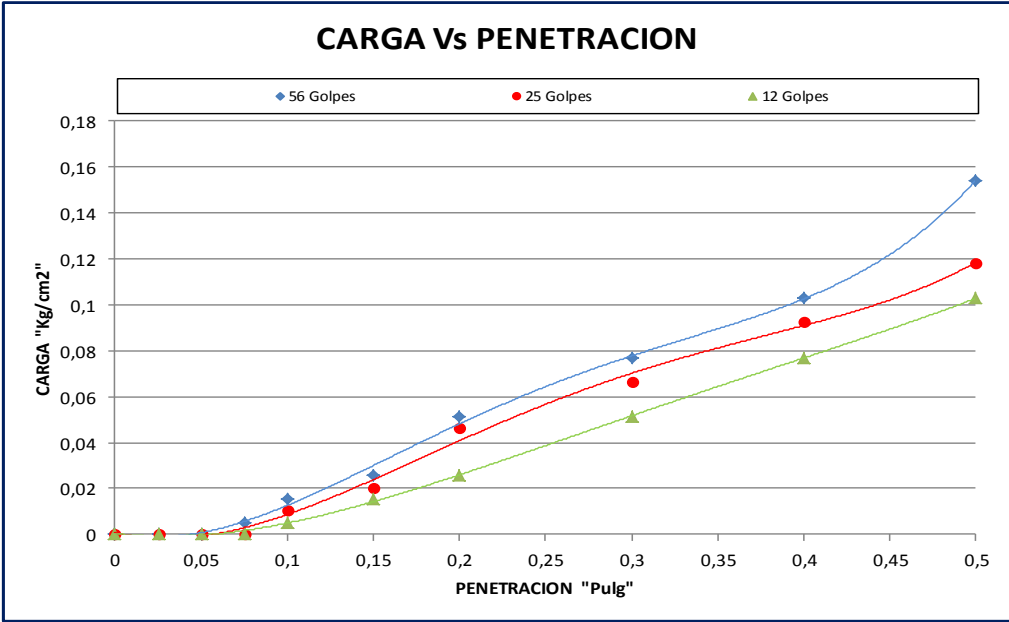
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	535	562,00	500,00
Peso Suelo Seco + Tara	436	455,00	410,00
Peso Agua	99	107	90,00
Peso Tara	96,3	90,20	98,00
Peso Suelo Seco	339,7	364,8	312,00
% de Humedad	29,14	29,33	28,85
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1539,30	1471,62	1378,02
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1545	1545	1545
% De Compactación	99,63	95,25	89,19

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0	
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1,5	0,075	1,905		0,1	0,005			0,0	0,000			0,0	0,000	
2	0,1	2,54	70,3	0,3	0,015	0,3	0,4	0,2	0,010	0,2	0,3	0,1	0,005	0,1
3	0,15	3,81		0,5	0,026			0,4	0,021			0,3	0,015	
4	0,2	5,08	105,5	1	0,051			0,9	0,046			0,5	0,026	
6	0,3	7,62		1,5	0,077			1,3	0,067			1,0	0,051	
8	0,4	10,16		2	0,103			1,8	0,092			1,5	0,077	



DENSIDAD	CBR
1539,30	0,4
1471,62	0,3
1378,02	0,1

DENS. AL 90% :	1391 Kg/m3	C. B. R.. AL 90% :	0,156
DENS. AL 95% :	1468 Kg/m3	C. B. R.. AL 95% :	0,292
DENS. AL 100% :	1545 Kg/m3	C. B. R.. AL 100% :	0,429

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 12+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1605 Kg/m3	% HUMEDAD	24,45
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11525	11430	11290
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4172	3980	3786
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2019,36	1934,86	1823,70

**COMPACTACIÓN T-180**

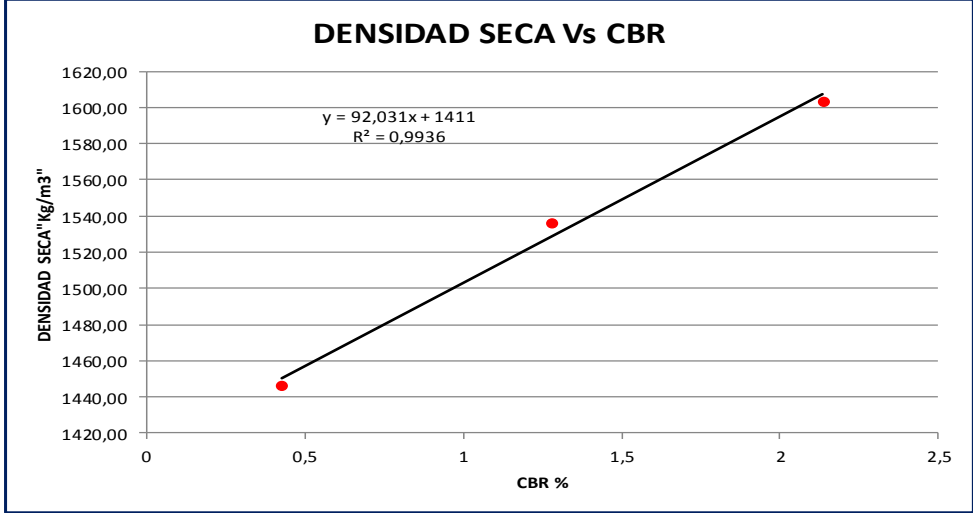
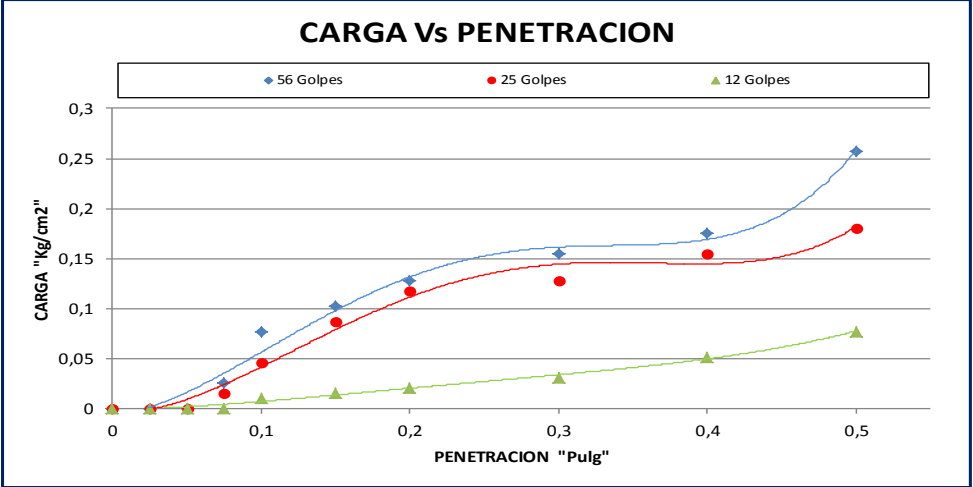
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	380	562,00	630,00
Peso Suelo Seco + Tara	320	465,00	520,00
Peso Agua	60	97	110,00
Peso Tara	88,5	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	231,5	373,6	422,00
% de Humedad	25,92	25,96	26,07
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1603,71	1536,04	1446,62
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1605	1605	1605
% De Compactación	99,92	95,70	90,13

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga			Lect.			Carga (Kg/cm2)			%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0				0	0	
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000	
1,5	0,075	1,905		0,5	0,026			0,3	0,015				0	0,000	
2	0,1	2,54	70,3	1,5	0,077	1,5	2,1	0,9	0,046	0,9	1,3		0,2	0,010	0,3
3	0,15	3,81		2	0,103			1,7	0,087				0,3	0,015	
4	0,2	5,08	105,5	2,5	0,128			2,3	0,118				0,4	0,021	
6	0,3	7,62		3	0,154			2,5	0,128				0,6	0,031	"
8	0,4	10,16		3,4	0,175			3,0	0,154				1,0	0,051	
10	0,5	12,7		5	0,257			3,5	0,180				1,5	0,077	



DENSIDAD	CBR
1603,71	2,13371266
1536,04	1,280227596
1446,62	0,426742532

DENS. AL 90% :	1444,5 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,364
DENS. AL 95% :	1524,75 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,236
DENS. AL 100% :	1605 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,108

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1530Kg/m3	% HUMEDAD	26,22
---------------	-----------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11518	11350	11198
Peso Molde (grs.)	7473	7524	7572
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4045	3826	3626
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1957,89	1859,99	1746,63

**COMPACTACIÓN T-180**

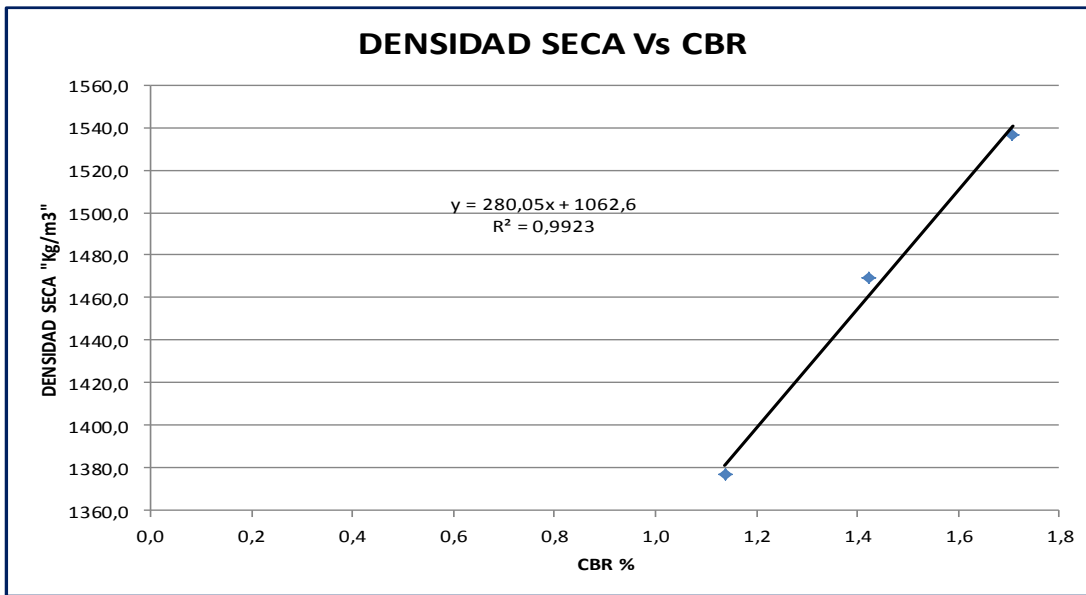
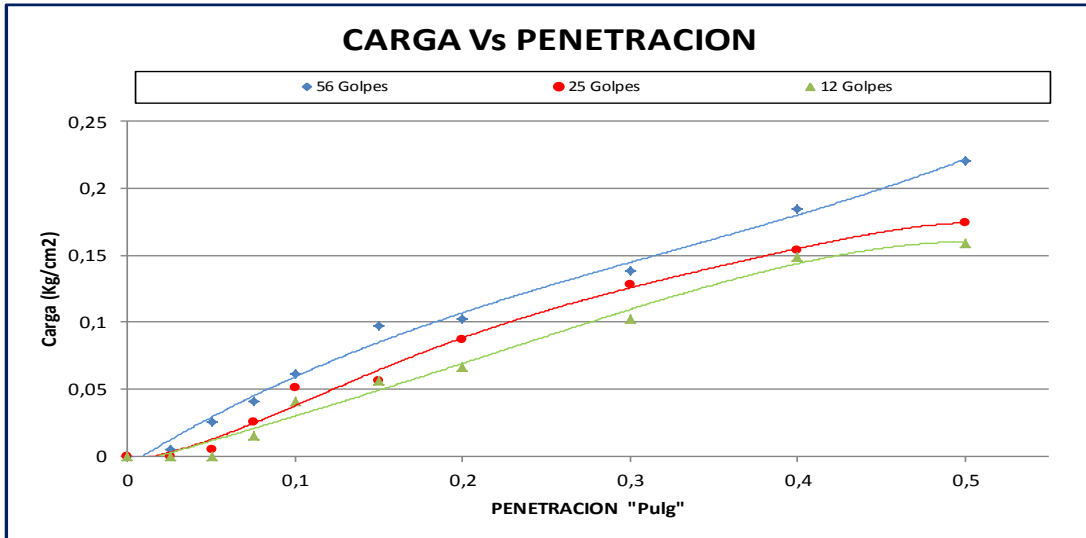
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	490	552,00	540,00
Peso Suelo Seco + Tara	405	455,00	448,00
Peso Agua	85	95	92,00
Peso Tara	95	98,00	105,00
Peso Suelo Seco	310	357	343,00
% de Humedad	27,42	26,61	26,82
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1536,57	1469,06	1377,23
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1530	1530	1530
% De Compactación	100,43	96,02	90,01

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga			Lect.			Carga (Kg/cm2)			%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0,1	0,005			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0,5	0,026			0,1	0,005			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0,8	0,041			0,5	0,026			0,3	0,015		
2	0,1	2,54	70,3	1,2	0,062	1,2	1,7	1,0	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041	0,8	1,1
3	0,15	3,81		1,9	0,098			1,1	0,056			1,1	0,056		
4	0,2	5,08	105,5	2	0,103			1,7	0,087			1,3	0,067		
6	0,3	7,62		2,7	0,139			2,5	0,128			2,0	0,103		
8	0,4	10,16		3,6	0,185			3,0	0,154			2,9	0,149		
10	0,5	12,7		4,3	0,221			3,4	0,175			3,1	0,159		



DENSIDAD	CBR
1536,6	1,7
1469,1	1,4
1377,2	1,1

DENS. AL 90% :	1377 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,121
DENS. AL 95% :	1454 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,394
DENS. AL 100% :	1530 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,668

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION

DENSIDAD SECA	1616 Kg/m3	% HUMEDAD	23,43
---------------	------------	-----------	-------

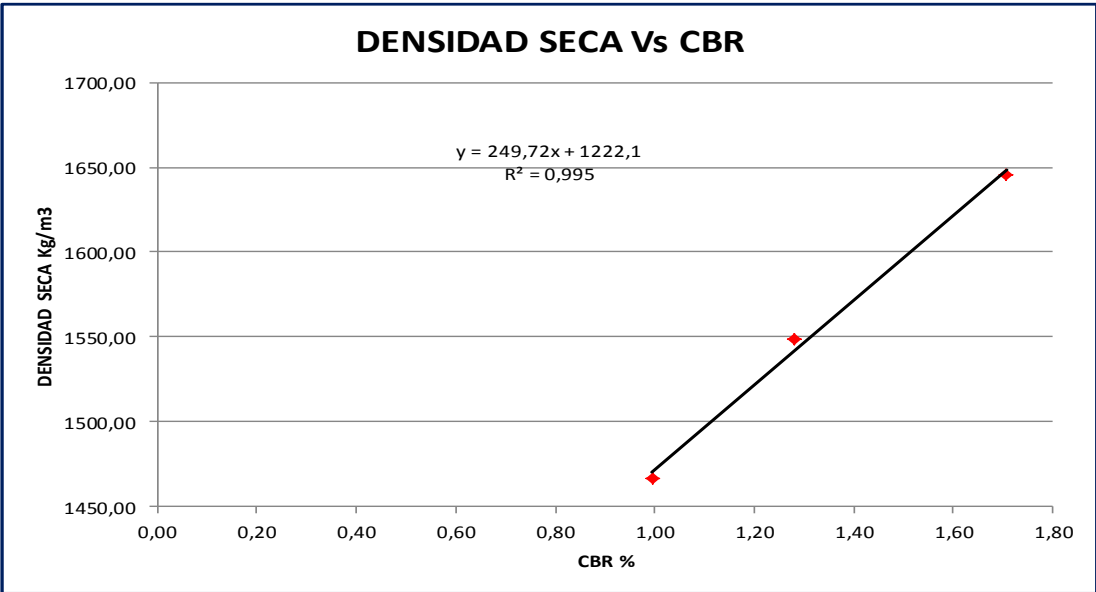
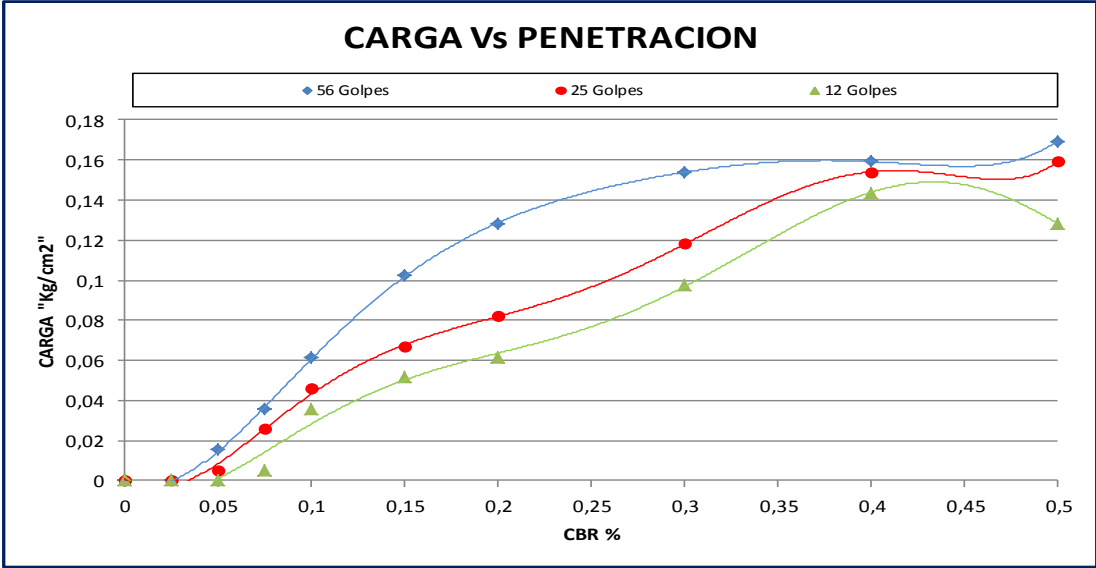
	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12390	12290	10280
Peso Molde (grs.)	8111	8298	6512
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4279	3992	3768
Volumen de la muestra (cm3)	2075	2075	2065
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2062,17	1923,86	1824,70

### COMPACTACIÓN T-180

MUESTRA SATURADA DE 10 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	478	252,00	365,00
Peso Suelo Seco + Tara	400	222,00	311,00
Peso Agua	78	30	54,00
Peso Tara	92	98,00	90,00
Peso Suelo Seco	308	124	221,00
% de Humedad	25,32	24,19	24,43
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1645,46	1549,08	1466,39
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1616	1616	1616
% De Compactación	101,82	95,86	90,74

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión				
DETERMINACION CBR															
PENETRACIÓN			Carga			Lect.			Carga (Kg/cm2)			%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0,3	0,015			0,1	0,005			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0,7	0,036			0,5	0,026			0,1	0,005		
2	0,1	2,54	70,3	1,2	0,062	1,2	1,7	0,9	0,046	0,9	1,3	0,7	0,036	0,7	1,0
3	0,15	3,81		2	0,103			1,3	0,067			1,0	0,051		
4	0,2	5,08	105,5	2,5	0,128			1,6	0,082			1,2	0,062		
6	0,3	7,62		3	0,154			2,3	0,118			1,9	0,098		
8	0,4	10,16		3,1	0,159			3,0	0,154			2,8	0,144		
10	0,5	12,7		3,3	0,169			3,1	0,159			2,5	0,128		



DENSIDAD Y	CBR X
1645,46	1,71
1549,08	1,28
1466,39	1,00

DENS. AL 90% :	1454 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,931
DENS. AL 95% :	1535 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,254
DENS. AL 100% :	1616 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,578

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION

DENSIDAD SECA	1660 Kg/m3	% HUMEDAD	21,05
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11650	12960	11350
Peso Molde (grs.)	7447	8850	7567
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4203	4110	3783
Volumen de la muestra (cm3)	2071	2099	2060
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2029,45	1958,08	1836,41

### COMPACTACIÓN T-180

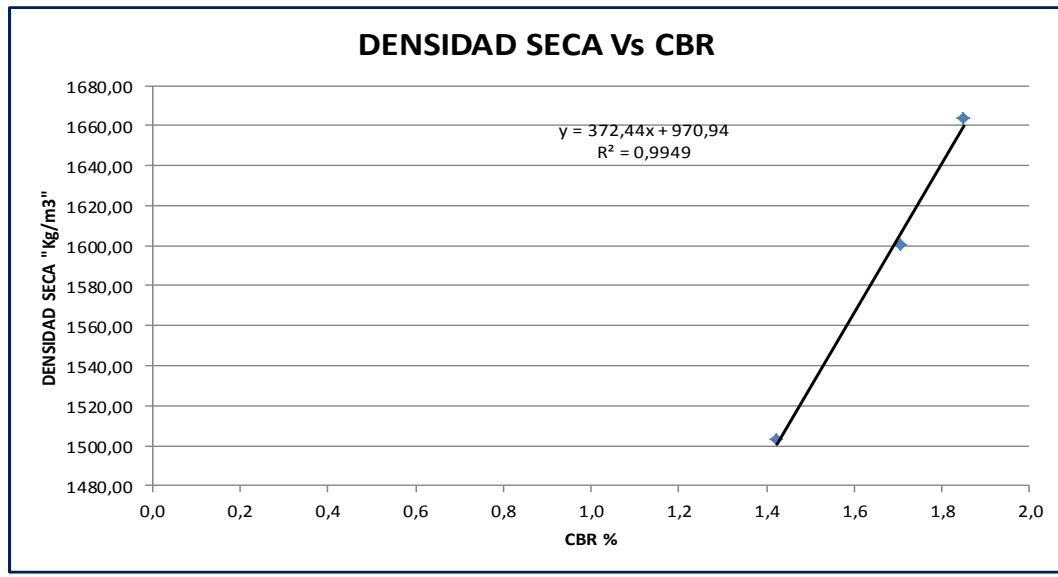
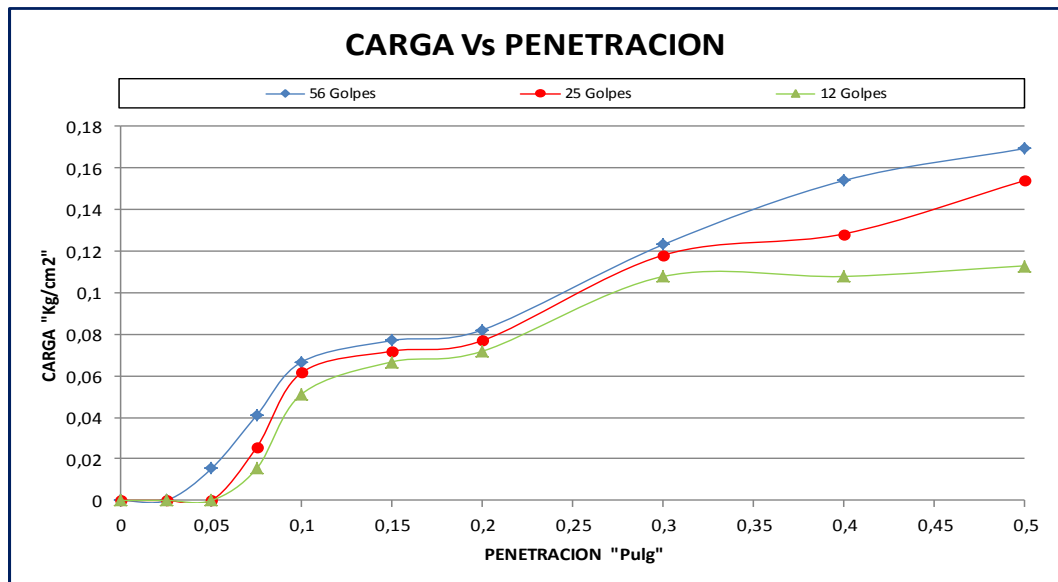
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	450	560,00	505,00
Peso Suelo Seco + Tara	385	475,00	430,00
Peso Agua	65	85	75,00
Peso Tara	89	95,00	92,00
Peso Suelo Seco	296	380	338,00
% de Humedad	21,96	22,37	22,19
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1664,04	1600,15	1502,92
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1660	1660	1660
% De Compactación	100,24	96,39	90,54

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,3	0,015			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,8	0,041			0,5	0,026			0,3	0,015						
2	0,1	2,54	70,3	1,3	0,067	1,3	1,8	1,2	0,062	1,2	1,7	1,0	0,051		1,0	1,4			
3	0,15	3,81		1,5	0,077			1,4	0,072			1,3	0,067						
4	0,2	5,08	105,5	1,6	0,082			1,5	0,077			1,4	0,072						
6	0,3	7,62		2,4	0,123			2,3	0,118			2,1	0,108						
8	0,4	10,16		3	0,154			2,5	0,128			2,1	0,108						
10	0,5	12,7		3,3	0,169			3,0	0,154			2,2	0,113						



DENSIDAD Y	CBR X
1664,04	1,8
1600,15	1,7
1502,92	1,4

DENS. AL 90% :	1494 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,404
DENS. AL 95% :	1577 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,627
DENS. AL 100% :	1660 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,850

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 17+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

**DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION**

DENSIDAD SECA	1557Kg/m3	% HUMEDAD	25,00
---------------	-----------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11380	11256	11190
Peso Molde (grs.)	7353	7450	7504
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4027	3806	3686
Volumen de la muestra (cm3)	2066	2057	2076
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1949,18	1850,27	1775,53

**COMPACTACIÓN T-180**

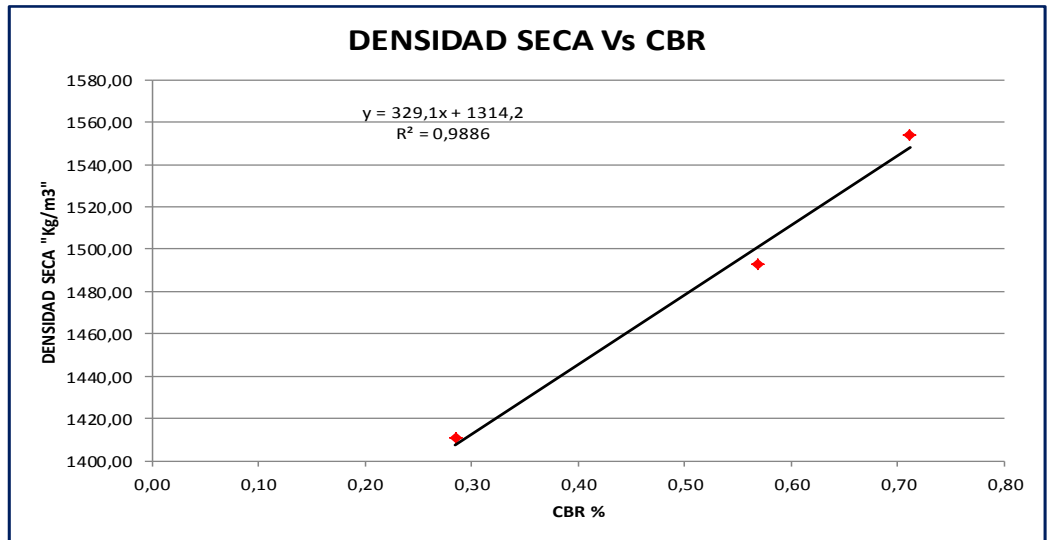
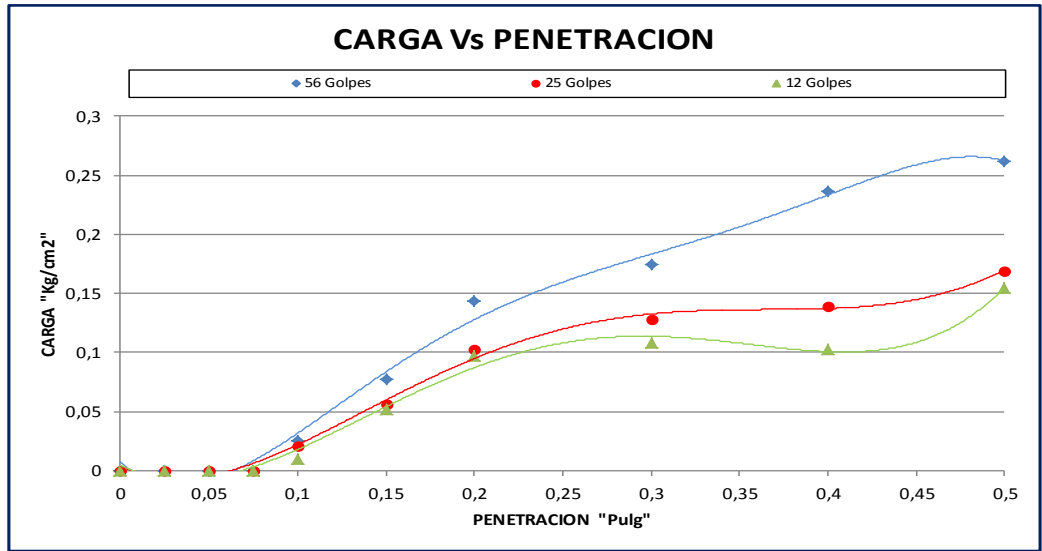
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	559	542,00	550,00
Peso Suelo Seco + Tara	465	456,00	446,00
Peso Agua	94	86	90,00
Peso Tara	95,3	97,00	98,00
Peso Suelo Seco	369,7	359	348,00
% de Humedad	25,43	23,96	25,86
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1554,05	1492,69	1410,69
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1557	1557,00	1557,00
% De Compactación	99,81	95,87	90,60

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%					
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.	
0	0	0		0	0			0	0				0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	0,5	0,026	0,5	0,7	0,4	0,021	0,4	0,6		0,2	0,010		0,2	0,3			
3	0,15	3,81		1,5	0,077			1,1	0,056				1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	2,8	0,144			2,0	0,103				1,9	0,098						
6	0,3	7,62		3,4	0,175			2,5	0,128				2,1	0,108						
8	0,4	10,16		4,6	0,236			2,7	0,139				2,0	0,103						
10	0,5	12,7		5,1	0,262			3,3	0,169				3,0	0,154						



DENSIDAD Y	CBR X
1554,05	0,71
1492,69	0,57
1410,69	0,28

DENS. AL 90% :	1401 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,265
DENS. AL 95% :	1479 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,502
DENS. AL 100% :	1557 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,738

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 18+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 07/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificación: MUESTRA SATURADA a 10 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR a 10 Dias de SATURACION

DENSIDAD SECA	1546 Kg/m3	% HUMEDAD	23,86
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS	MUESTRA SATURADA 10 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12248	10955	11688
Peso Molde (grs.)	8232	7214	8019
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4016	3741	3669
Volumen de la muestra (cm3)	2070	2040	2089
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1940,10	1833,82	1756,34

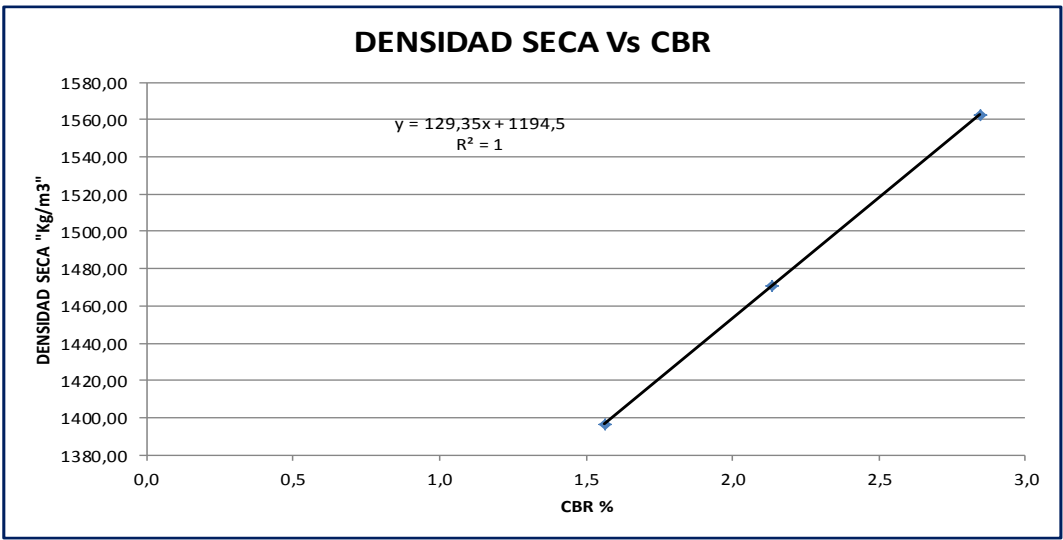
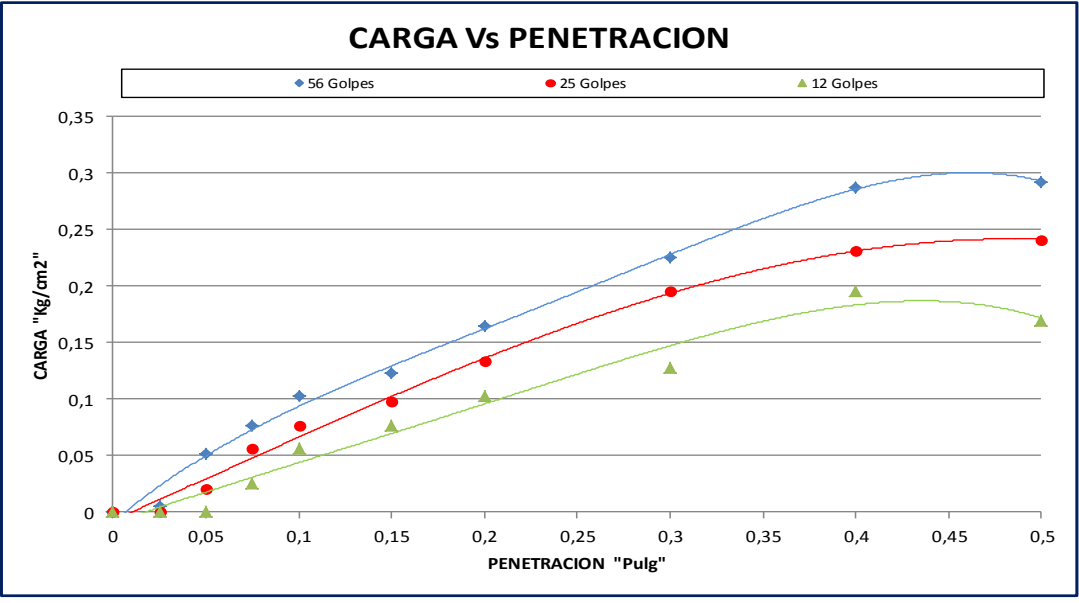
### COMPACTACIÓN T-180

MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	575	460,00	523,00
Peso Suelo Seco + Tara	483	387,00	436,00
Peso Agua	92	73	87,00
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	380,6	295,6	338,00
% de Humedad	24,17	24,70	25,74
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1562,42	1470,64	1396,81
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1546	1546,00	1546,00
% De Compactación	101,06	95,13	90,35

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
DETERMINACION CBR											

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0,1	0,005			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		1	0,051			0,4	0,021			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		1,5	0,077			1,1	0,056			0,5	0,026						
2	0,1	2,54	70,3	2	0,103	2,0	2,8	1,5	0,077	1,5	2,1	1,1	0,056	1,1	1,6				
3	0,15	3,81		2,4	0,123			1,9	0,098			1,5	0,077						
4	0,2	5,08	105,5	3,2	0,164			2,6	0,134			2,0	0,103						
6	0,3	7,62		4,4	0,226			3,8	0,195			2,5	0,128						
8	0,4	10,16		5,6	0,288			4,5	0,231			3,8	0,195						
10	0,5	12,7		5,7	0,293			4,7	0,241			3,3	0,169						



DENSIDAD Y	CBR X
1562,42	2,8
1470,64	2,1
1396,81	1,6

DENS. AL 90% :	1391 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,518
DENS. AL 95% :	1469 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	2,116
DENS. AL 100% :	1546 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,714

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 10+760

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR			
DENSIDAD SECA	1498,59	% HUMEDAD	31,14

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12980	11467	10949
Peso Molde (grs.)	8850	7567	7102
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4130	3900	3847
Volumen de la muestra (cm3)	2099	2060	2137
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1967,60	1893,20	1800,19

### COMPACTACIÓN T-180

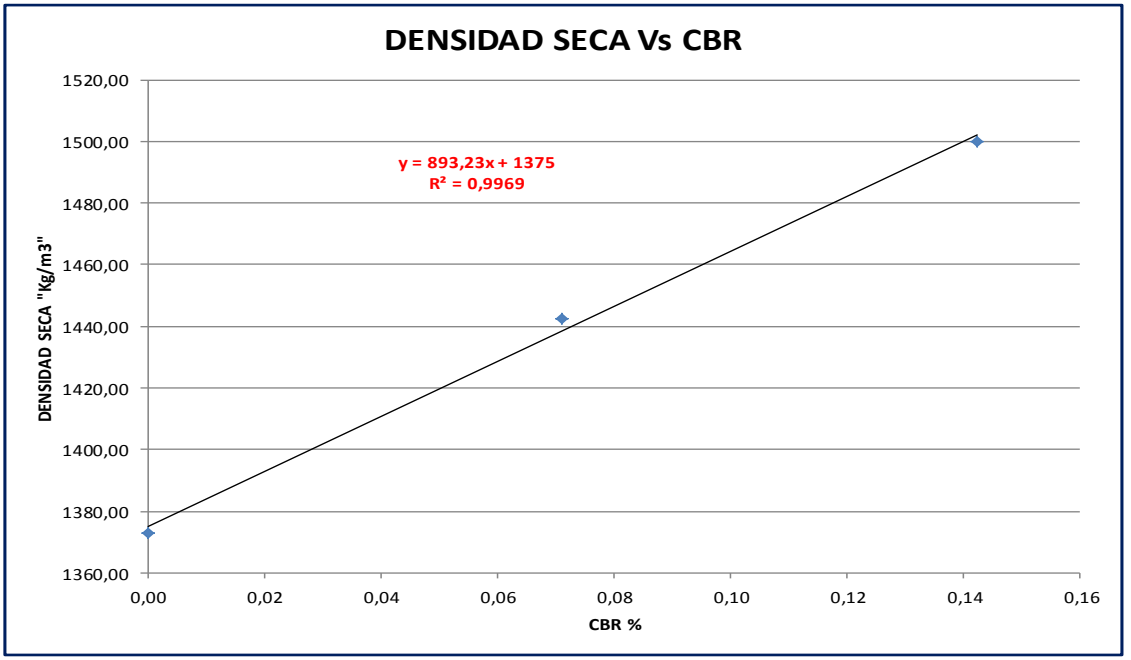
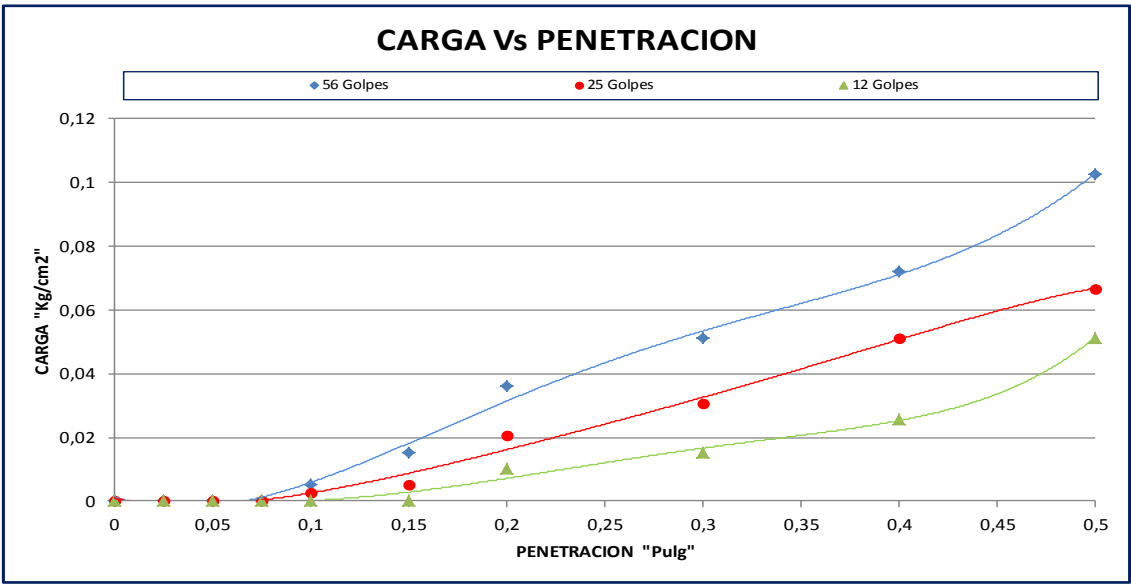
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	540	562,00	554,30
Peso Suelo Seco + Tara	436	450,00	446,00
Peso Agua	104	112	108,30
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	333,6	358,6	348,00
% de Humedad	31,18	31,23	31,12
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1499,98	1442,63	1372,92
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1499	1499	1499,00
% De Compactación	100,07	96,24	91,59

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN		Carga						Lect.							
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	0,1	0,005	0,1	0,1	0,1	0,003	0,1	0,1	0,0	0,000	0,0	0,0
3	0,15	3,81		0,3	0,015			0,1	0,005			0,0	0,000		
4	0,2	5,08	105,5	0,7	0,036			0,4	0,021			0,2	0,010		
6	0,3	7,62		1	0,051			0,6	0,031			0,3	0,015		
8	0,4	10,16		1,4	0,072			1,0	0,051			0,5	0,026		
10	0,5	12,7		2	0,103			1,3	0,067			1,0	0,051		



DENSIDAD Y	CBR X
1499,98	0,14
1442,63	0,07
1372,92	0

DENS. AL 90% :	1349 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,029
DENS. AL 95% :	1424 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	0,055
DENS. AL 100% :	1499 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	0,139

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 12+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1568 Kg/m3	% HUMEDAD	28,49
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11628	11520	11390
Peso Molde (grs.)	7384	7473	7524
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4244	4047	3866
Volumen de la muestra (cm3)	2090	2085	2081
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2030,62	1941,01	1857,76

### COMPACTACIÓN T-180

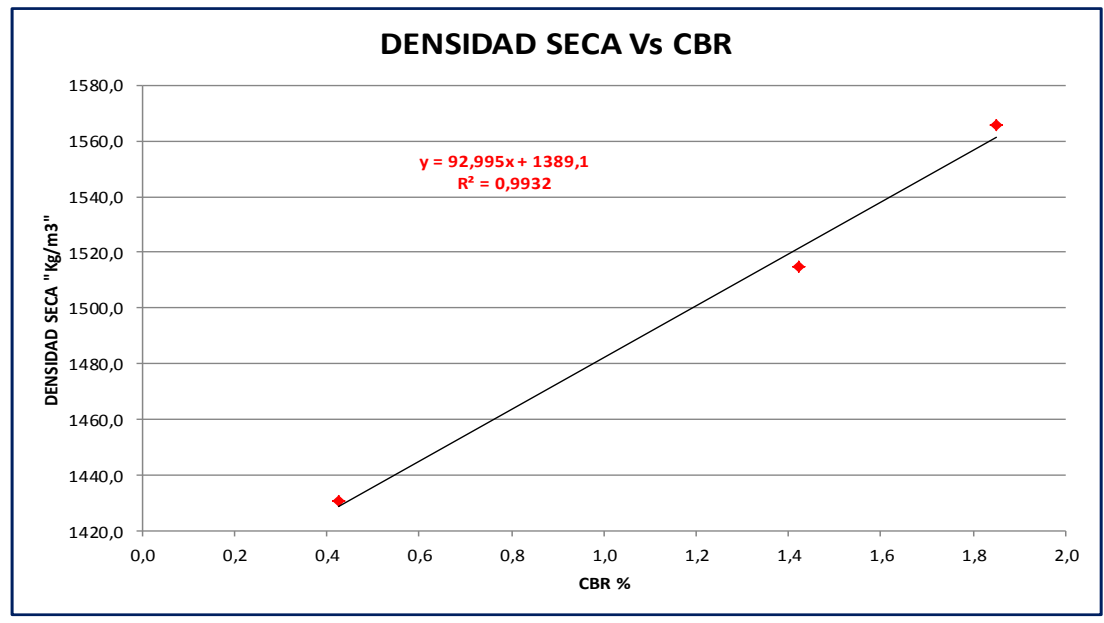
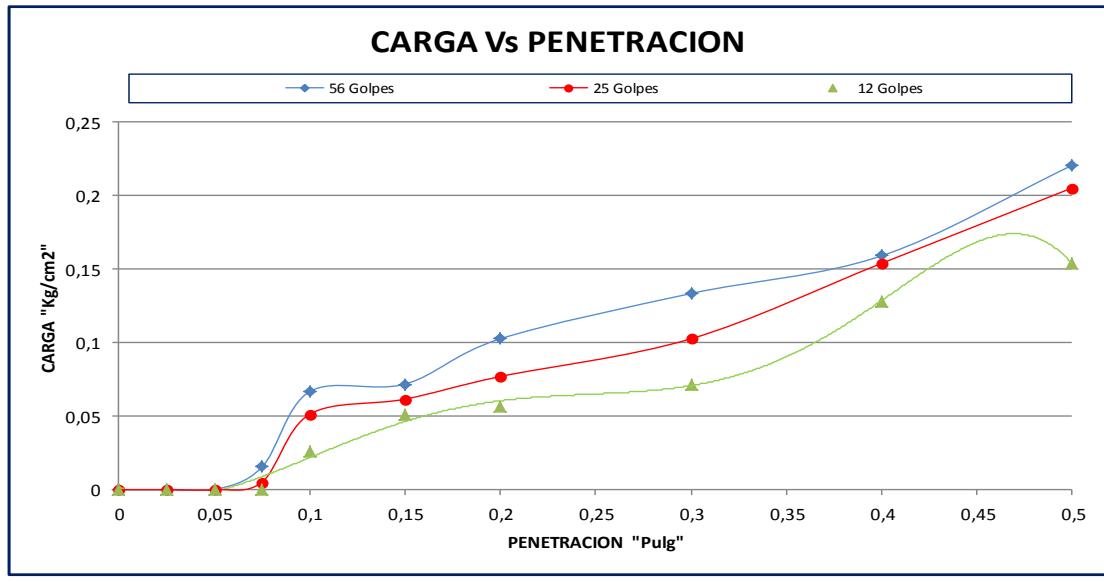
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	456	579,00	610,00
Peso Suelo Seco + Tara	374	472,00	492,30
Peso Agua	82	107	117,70
Peso Tara	98	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	276	380,6	394,30
% de Humedad	29,71	28,11	29,85
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1565,51	1515,07	1430,69
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1568	1568	1568
% De Compactación	99,84	96,62	91,24

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,3	0,015			0,1	0,005			0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	1,3	0,067	1,3	1,8	1,0	0,051	1,0	1,4	0,5	0,026	0,3	0,4				
3	0,15	3,81		1,4	0,072			1,2	0,062			1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	2	0,103			1,5	0,077			1,1	0,056						
6	0,3	7,62		2,6	0,134			2,0	0,103			1,4	0,072						
8	0,4	10,16		3,1	0,159			3,0	0,154			2,5	0,128						
10	0,5	12,7		4,3	0,221			4,0	0,205			3,0	0,154						



DENSIDAD	CBR
1565,5	1,8
1515,1	1,4
1430,7	0,4

DENS. AL 90% :	1411 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,239
DENS. AL 95% :	1490 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	1,082
DENS. AL 100% :	1568 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	1,925

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1521 Kg/m3	% HUMEDAD	29,05
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11624	11423	11278
Peso Molde (grs.)	7527	7503	7569
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4097	3920	3709
Volumen de la muestra (cm3)	2084	2076	2068
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1965,93	1888,25	1793,52

### COMPACTACIÓN T-180

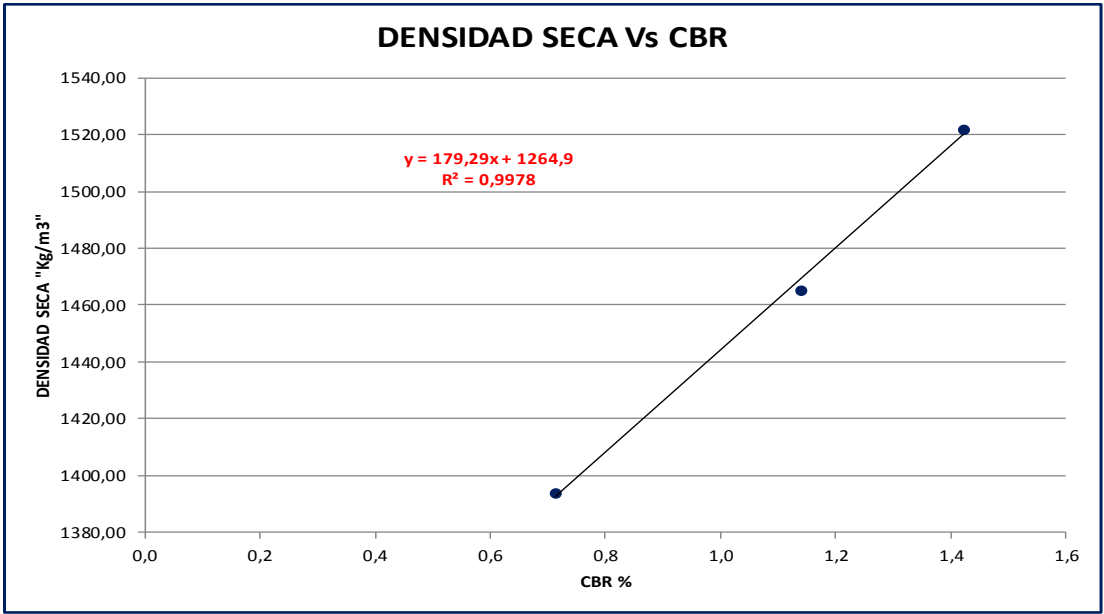
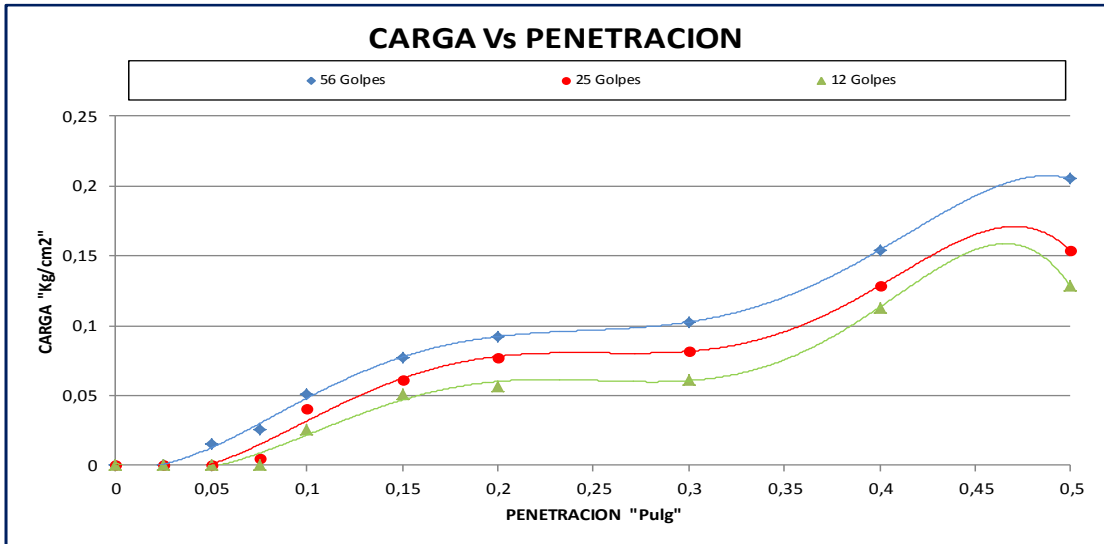
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	400	500,00	576,00
Peso Suelo Seco + Tara	330	410,00	468,00
Peso Agua	70	90	108,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	240	312	376,60
% de Humedad	29,17	28,85	28,68
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1522,01	1465,50	1393,81
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1521	1521	1521
% De Compactación	100,07	96,35	91,64

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,3	0,015			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,5	0,026			0,1	0,005			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041	0,8	1,1	0,5	0,026	0,5	0,7				
3	0,15	3,81		1,5	0,077			1,2	0,062			1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	1,8	0,092			1,5	0,077			1,1	0,056						
6	0,3	7,62		2	0,103			1,6	0,082			1,2	0,062						
8	0,4	10,16		3	0,154			2,5	0,128			2,2	0,113						
10	0,5	12,7		4	0,205			3,0	0,154			2,5	0,128						



DENSIDAD	CBR
1522,01	1,4
1465,50	1,1
1393,81	0,7

DENS. AL 90% :	1369 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,580
DENS. AL 95% :	1445 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	1,005
DENS. AL 100% :	1521 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	1,430

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1564 Kg/m3	% HUMEDAD	28,17
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12234	12896	10927
Peso Molde (grs.)	8019	8695	7042
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4215	4201	3885
Volumen de la muestra (cm3)	2089	2114	2075
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2017,71	1987,23	1872,29

### COMPACTACIÓN T-180

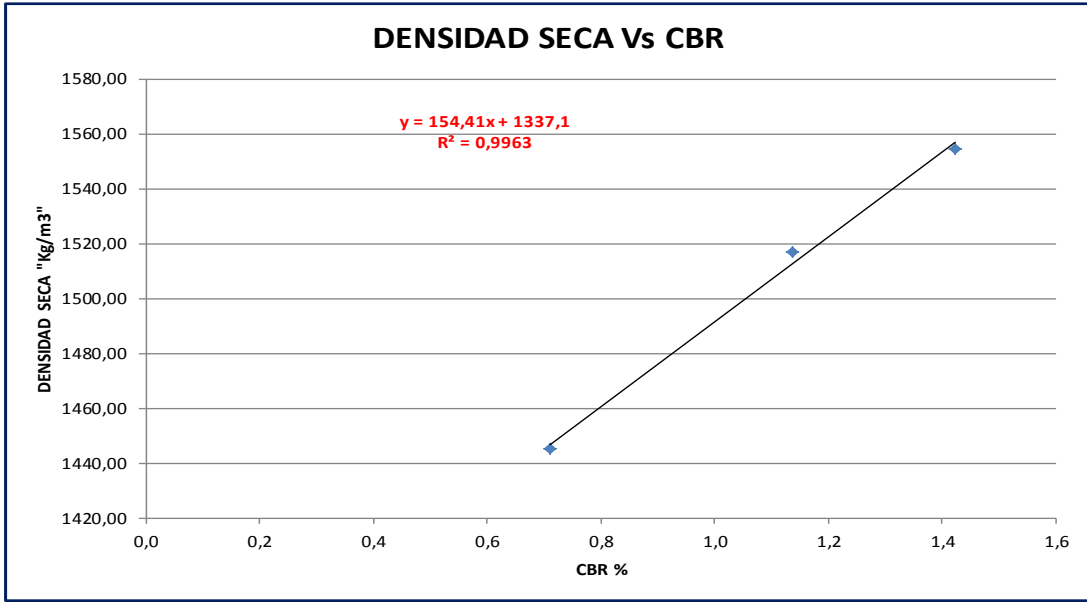
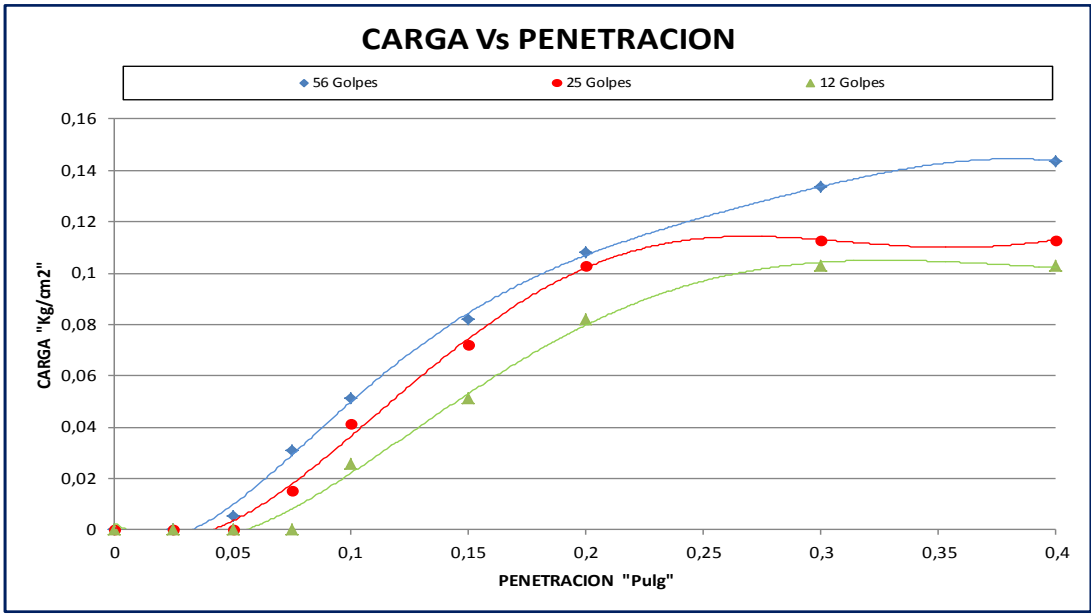
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	678	457,00	530,00
Peso Suelo Seco + Tara	543	372,00	430,00
Peso Agua	135	85	100,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	453	274	338,60
% de Humedad	29,80	31,02	29,53
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1554,46	1516,71	1445,41
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1564	1564	1564
% De Compactación	99,39	96,98	92,42

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,1	0,005			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,6	0,031			0,3	0,015			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041	0,8	1,1	0,5	0,026			0,5	0,026		0,5
3	0,15	3,81		1,6	0,082			1,4	0,072			1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	2,1	0,108			2,0	0,103			1,6	0,082						
6	0,3	7,62		2,6	0,134			2,2	0,113			2,0	0,103						
8	0,4	10,16		2,8	0,144			2,2	0,113			2,0	0,103						
10	0,5	12,7		2,5	0,128			2,0	0,103			2,0	0,103						



DENSIDAD	CBR
1554,46	1,4
1516,71	1,1
1445,41	0,7

DENS. AL 90% :	1408 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,457
DENS. AL 95% :	1486 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	0,964
DENS. AL 100% :	1564 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	1,470

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 16+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1596 Kg/m3	% HUMEDAD	27,35
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12415	12418	10350
Peso Molde (grs.)	8111	8298	6512
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4304	4120	3838
Volumen de la muestra (cm3)	2075	2075	2065
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2074,22	1985,54	1858,60

### COMPACTACIÓN T-180

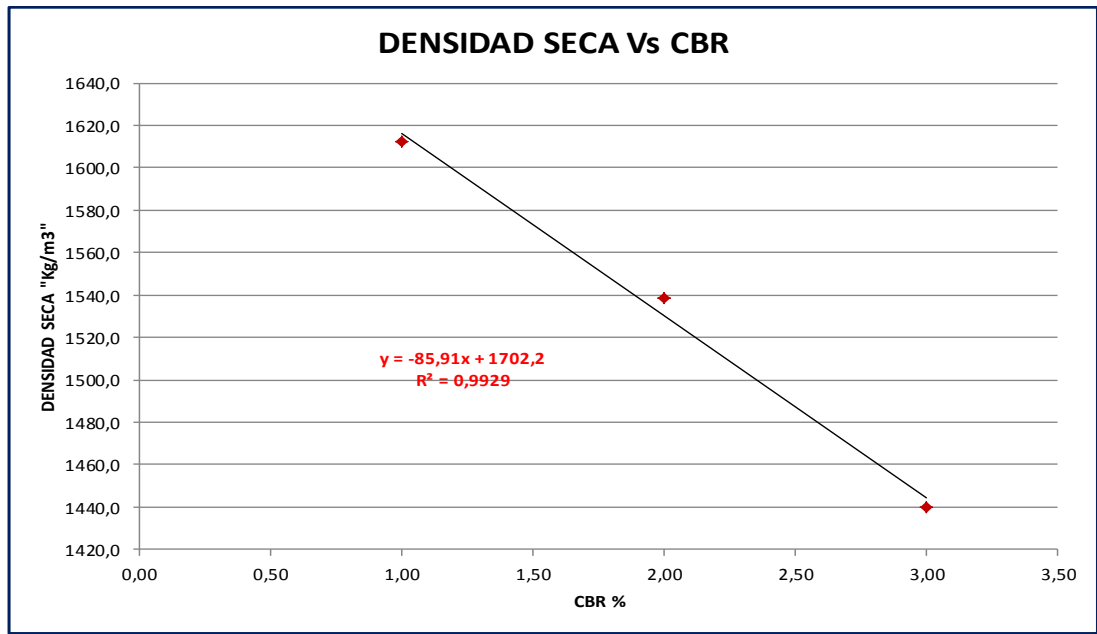
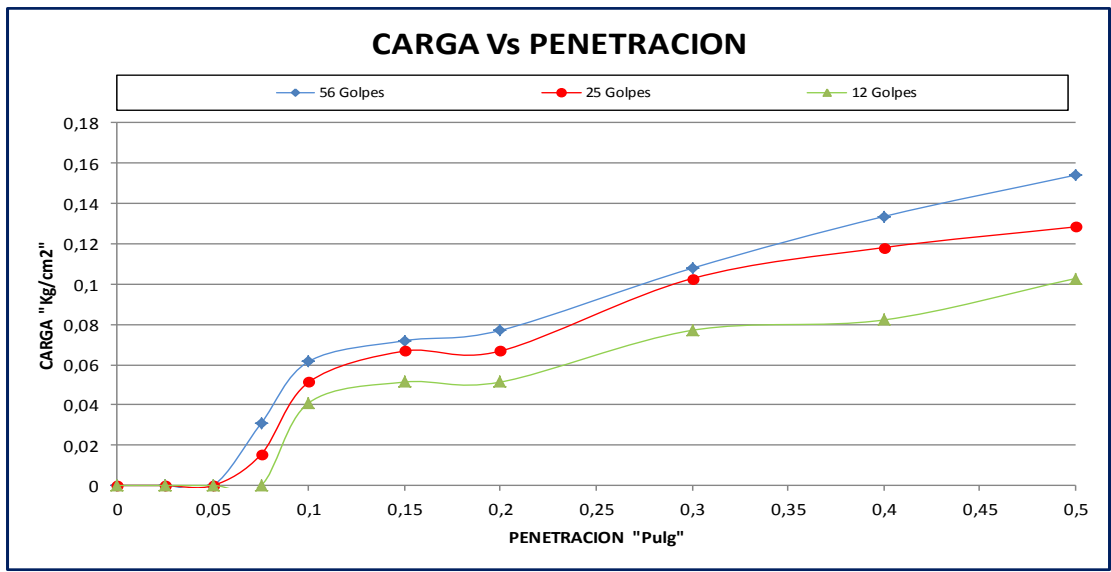
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	283	258,00	282,00
Peso Suelo Seco + Tara	240	222,00	239,10
Peso Agua	43	36	42,90
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	150	124	147,70
% de Humedad	28,67	29,03	29,05
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1612,09	1538,80	1440,27
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1596	1596	1596
% De Compactación	101,01	96,42	90,24

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,6	0,031			0,3	0,015			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	1,2	0,062	1,2	1,7	1,0	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041		0,8	1,1			
3	0,15	3,81		1,4	0,072			1,3	0,067			1,0	0,051						
4	0,2	5,08	105,5	1,5	0,077			1,3	0,067			1,0	0,051						
6	0,3	7,62		2,1	0,108			2,0	0,103			1,5	0,077						
8	0,4	10,16		2,6	0,134			2,3	0,118			1,6	0,082						
10	0,5	12,7		3	0,154			2,5	0,128			2,0	0,103						



DENSIDAD	CBR
1612,1	1,7
1538,8	1,4
1440,3	1,1

DENS. AL 90% :	1436 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	3,092
DENS. AL 95% :	1516 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	2,163
DENS. AL 100% :	1596 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	1,234

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 17+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1522Kg/m3	% HUMEDAD	28,04
---------------	-----------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda + Molde (grs.)	10276	12120	10865
Peso Molde (grs.)	6150	8232	7214
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4126	3888	3651
Volumen de la muestra (cm3)	2039	2070	2040
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2023,54	1878,26	1789,71

### COMPACTACIÓN T-180

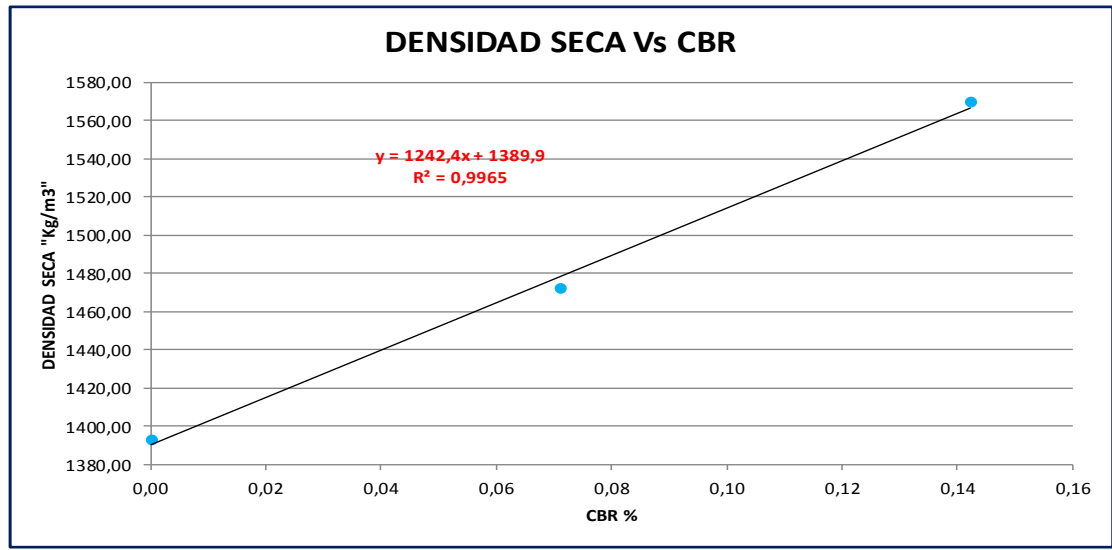
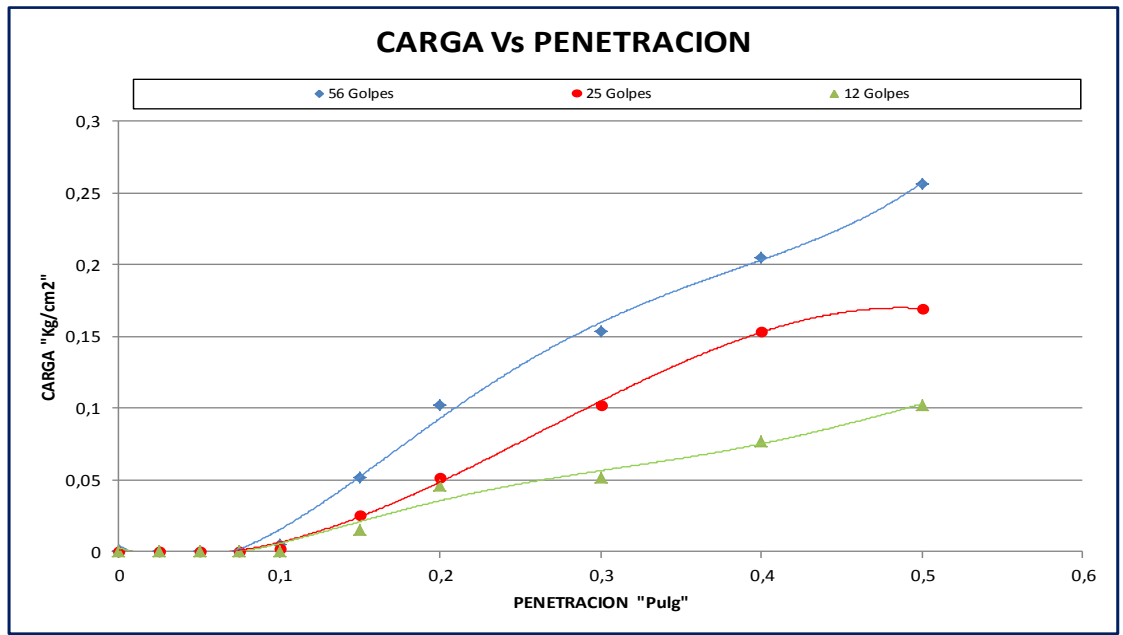
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo + Tara	559	555,00	560,00
Peso Suelo Seco + Tara	455	456,00	414,00
Peso Agua	104	99	90,00
Peso Tara	95,3	97,00	98,00
Peso Suelo Seco	359,7	359	316,00
% de Humedad	28,91	27,58	28,48
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1569,70	1472,26	1392,97
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1522	1522,00	1522,00
% De Compactación	103,13	96,73	91,52

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	0,1	0,005	0,1	0,1	0,1	0,003	0,1	0,1	0,0	0,000	0,0	0,0				
3	0,15	3,81		1	0,051			0,5	0,026			0,3	0,015						
4	0,2	5,08	105,5	2	0,103			1,0	0,051			0,9	0,046						
6	0,3	7,62		3	0,154			2,0	0,103			1,0	0,051						
8	0,4	10,16		4	0,205			3,0	0,154			1,5	0,077						
10	0,5	12,7		5	0,257			3,3	0,169			2,0	0,103						



DENSIDAD Y	CBR X
1569,70	0,14
1472,26	0,07
1392,97	0,00

DENS. AL 90% :	1369,8 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,016
DENS. AL 95% :	1445,9 Kg/m4	C.B.R.. AL 95% :	0,045
DENS. AL 100% :	1522 Kg/m5	C.B.R.. AL 100% :	0,106

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 18+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 12/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 15 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1526 Kg/m3	% HUMEDAD	28,62
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS	MUESTRA SATURADA 15 DIAS
Peso Muestra Húmeda + Molde (grs.)	11494	12800	11390
Peso Molde (grs.)	7447	8850	7567
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4047	3950	3823
Volumen de la muestra (cm3)	2071	2099	2060
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1954,13	1881,85	1855,83

### COMPACTACIÓN T-180

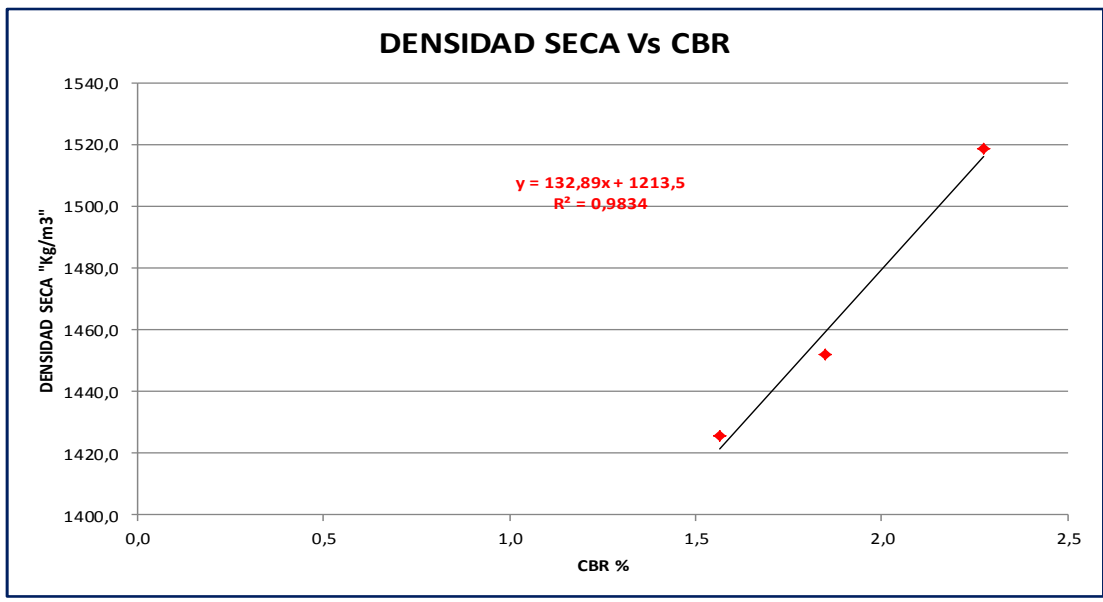
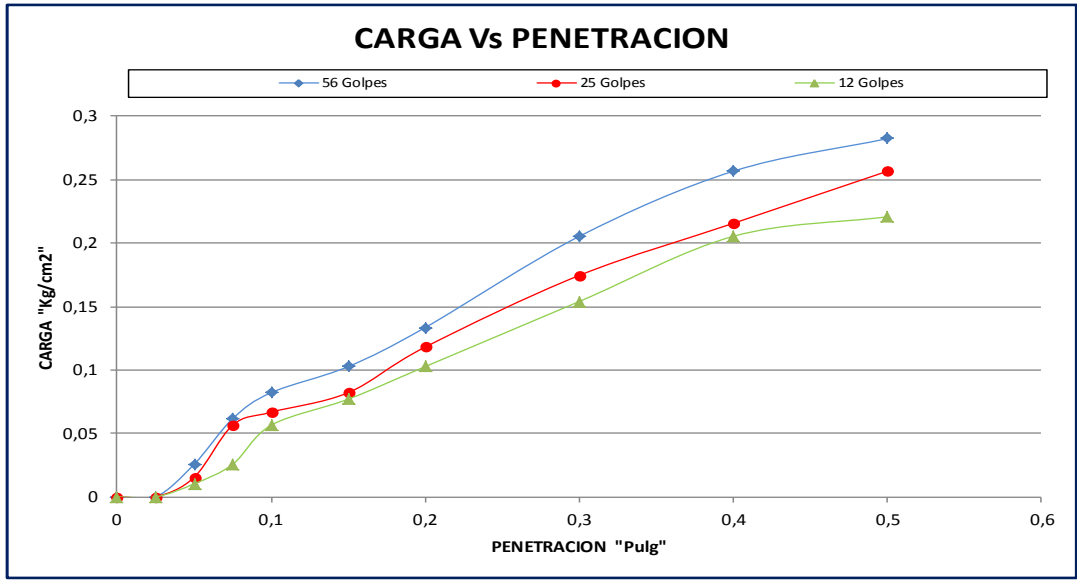
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo + Tara	673	580,00	720,00
Peso Suelo Seco + Tara	543	470,00	575,20
Peso Agua	130	110	144,80
Peso Tara	89,5	98,30	95,30
Peso Suelo Seco	453,5	371,7	479,90
% de Humedad	28,67	29,59	30,17
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1518,76	1452,11	1425,66
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1526	1526,00	1526,00
% De Compactación	99,53	95,16	93,42

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,5	0,026			0,3	0,015			0,2	0,010						
1,5	0,075	1,905		1,2	0,062			1,1	0,056			0,5	0,026						
2	0,1	2,54	70,3	1,6	0,082	1,6	2,3	1,3	0,067	1,3	1,8	1,1	0,056	1,1	1,6				
3	0,15	3,81		2	0,103			1,6	0,082			1,5	0,077						
4	0,2	5,08	105,5	2,6	0,134			2,3	0,118			2,0	0,103						
6	0,3	7,62		4	0,205			3,4	0,175			3,0	0,154						
8	0,4	10,16		5	0,257			4,2	0,216			4,0	0,205						
10	0,5	12,7		5,5	0,282			5,0	0,257			4,3	0,221						



DENSIDAD	CBR
1518,8	2,3
1452,1	1,8
1425,7	1,6

DENS. AL 90% :	1373,4 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,198
DENS. AL 95% :	1449,7 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,772
DENS. AL 100% :	1526 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,346

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 10+760**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1489,00	% HUMEDAD	32,49
---------------	---------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12980	12417	12250
Peso Molde (grs.)	8850	8439	8444
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4130	3978	3806
Volumen de la muestra (cm3)	2099	2103	2107
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1967,60	1891,58	1806,36

COMPACTACIÓN T-180

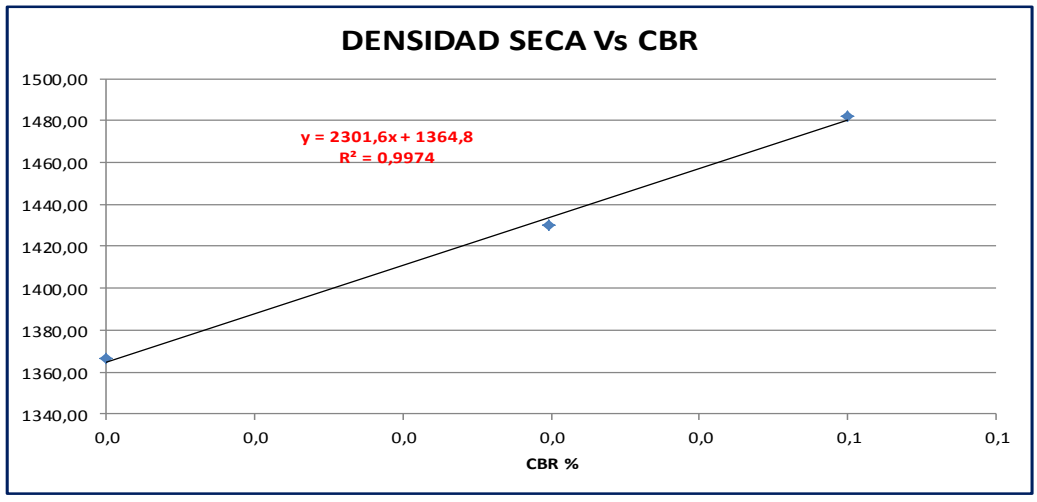
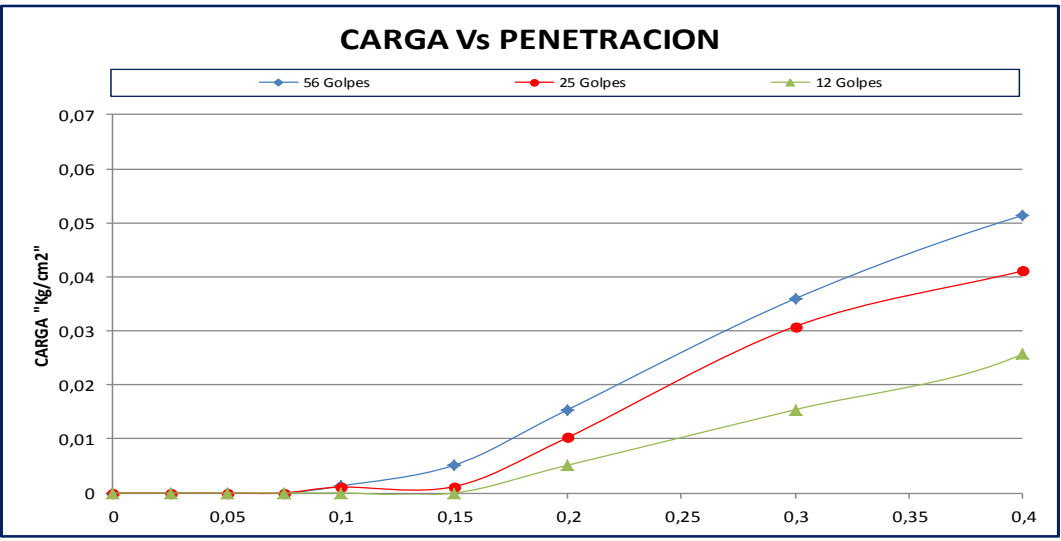
MUESTRASATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	544	565,00	610,00
Peso Suelo Seco + Tara	435	465,00	456,00
Peso Agua	109	100	154,00
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	332,6	310	478,00
% de Humedad	32,77	32,26	32,22
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1481,94	1430,22	1366,20
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1489	1489	1489,00
% De Compactación	99,53	96,05	91,75

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	0,025	0,001	0,0	0,1	0,0	0,001	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
3	0,15	3,81		0,1	0,005			0,0	0,001			0,0	0,000			0,0	0,000		
4	0,2	5,08	105,5	0,3	0,015			0,2	0,010			0,1	0,005			0,1	0,005		
6	0,3	7,62		0,7	0,036			0,6	0,031			0,3	0,015			0,3	0,015		
8	0,4	10,16		1	0,051			0,8	0,041			0,5	0,026			0,5	0,026		
10	0,5	12,7		1,2	0,062			1,0	0,051			1,0	0,051			1,0	0,051		



DENSIDAD Y	CBR X
1481,94	0,1
1430,22	0,0
1366,20	0,0

DENS. AL 90% :	1340,1 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,011
DENS. AL 95% :	1414,55 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,022
DENS. AL 100% :	1489 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,054

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 12+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1548 Kg/m3	% HUMEDAD	32,50
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11728	11627	11400
Peso Molde (grs.)	7384	7473	7524
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4344	4154	3876
Volumen de la muestra (cm3)	2090	2085	2081
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2078,47	1992,33	1862,57

### COMPACTACIÓN T-180

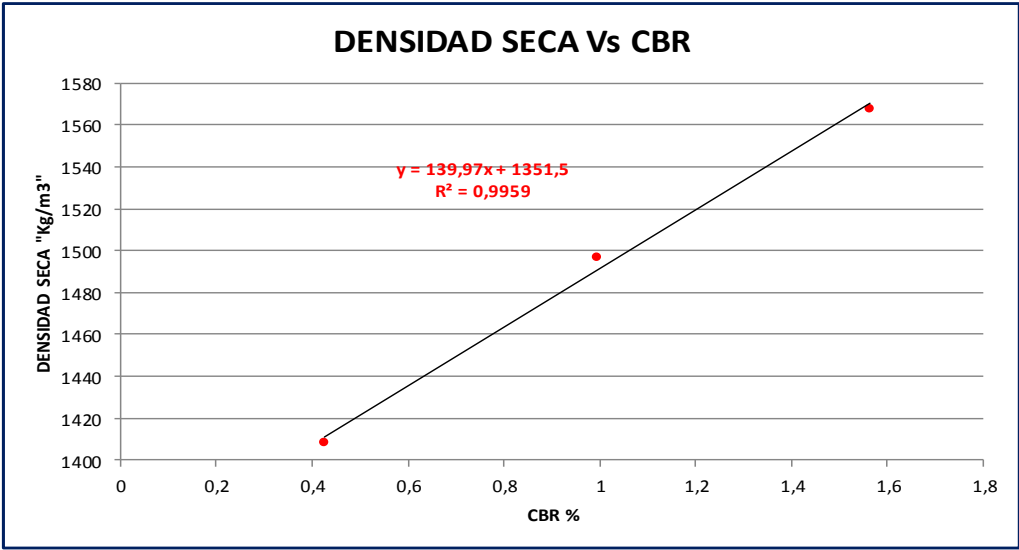
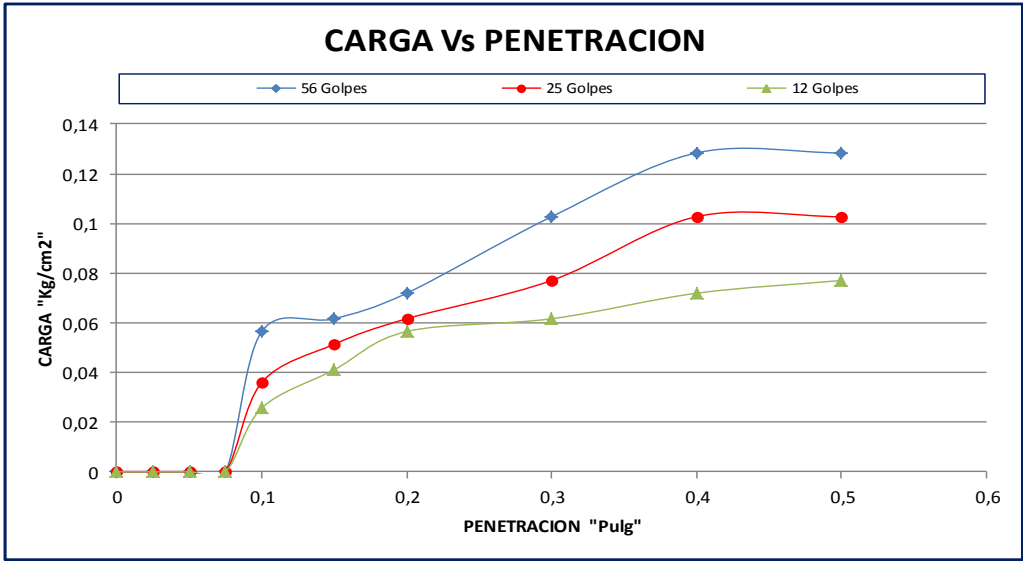
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	456	598,00	467,00
Peso Suelo Seco + Tara	368	472,00	377,00
Peso Agua	88	126	90,00
Peso Tara	98	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	270	380,6	279,00
% de Humedad	32,59	33,11	32,26
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1567,56	1496,80	1408,28
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1548	1548	1548
% De Compactación	101,26	96,69	90,97

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0	
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0	0,000	
2	0,1	2,54	70,3	1,1	0,056	1,1	1,6	0,7	0,036	0,7	1,0	0,5	0,026	0,3 0,4
3	0,15	3,81		1,2	0,062			1,0	0,051			0,8	0,041	
4	0,2	5,08	105,5	1,4	0,072			1,2	0,062			1,1	0,056	
6	0,3	7,62		2	0,103			1,5	0,077			1,2	0,062	
8	0,4	10,16		2,5	0,128			2,0	0,103			1,4	0,072	
10	0,5	12,7		2,5	0,128			2,0	0,103			1,5	0,077	



DENSIDAD Y	CBR X
1567,560343	1,564722617
1496,800885	0,995732575
1408,281666	0,426742532

DENS. AL 90% :	1393,2 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,294
DENS. AL 95% :	1470,6 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,847
DENS. AL 100% :	1548 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,400

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEI SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR			
DENSIDAD SECA	1518 Kg/m3	% HUMEDAD	31,00

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11690	11430	11299
Peso Molde (grs.)	7527	7503	7569
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4163	3927	3730
Volumen de la muestra (cm3)	2084	2076	2068
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1997,60	1891,62	1803,68

**COMPACTACIÓN T-180**

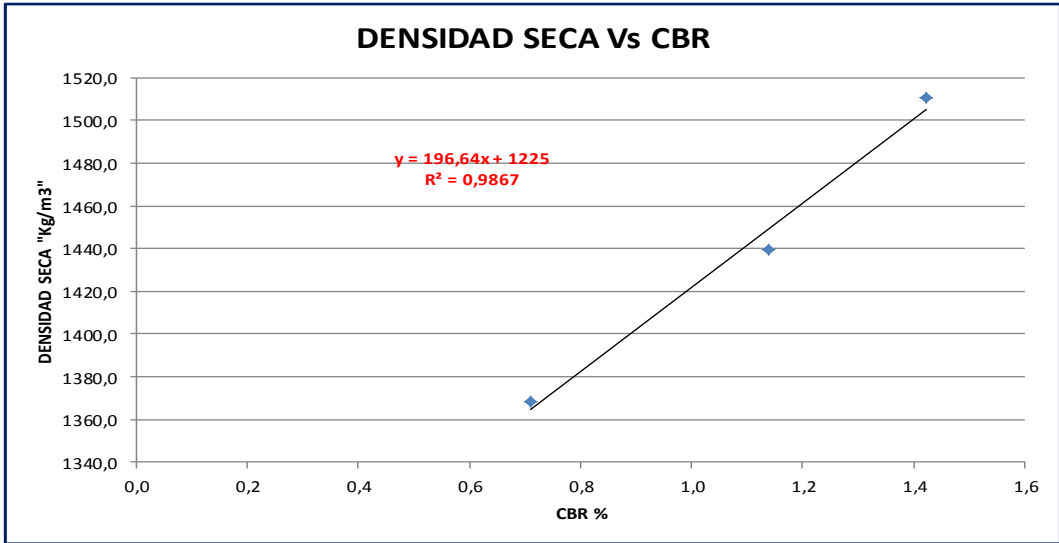
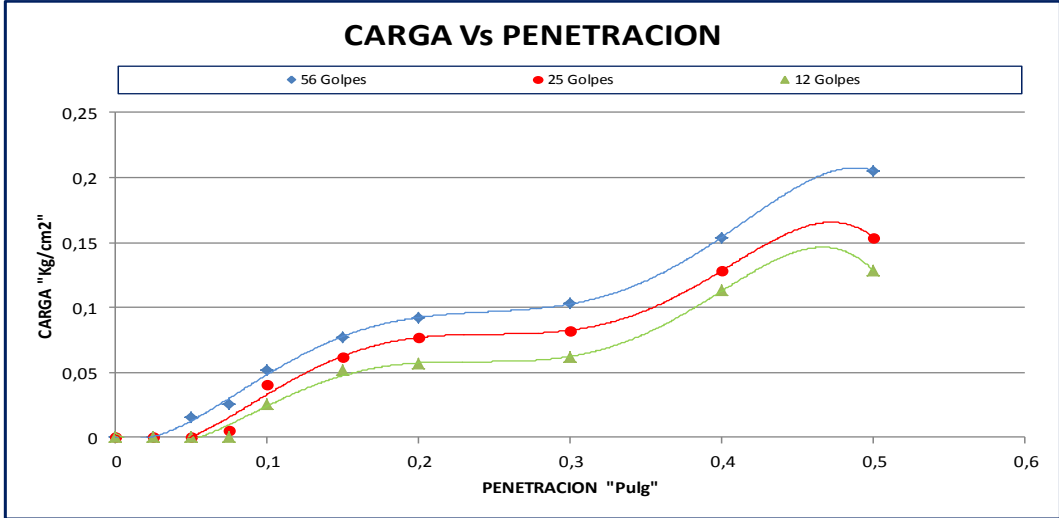
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	500	600,00	676,00
Peso Suelo Seco + Tara	400	480,00	535,00
Peso Agua	100	120	141,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	310	382	443,60
% de Humedad	32,26	31,41	31,79
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1510,38	1439,44	1368,65
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1518	1518	1518
% De Compactación	99,50	94,82	90,16

**DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN**

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión

**DETERMINACION CBR**

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	Lect.	Carga (Kg/cm2)			%	
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0	
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0,3	0,015			0,0	0,000			0,0	0,000	
1,5	0,075	1,905		0,5	0,026			0,1	0,005			0,0	0,000	
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041	0,8	1,1	0,5	0,026	0,5 0,7
3	0,15	3,81		1,5	0,077			1,2	0,062			1,0	0,051	
4	0,2	5,08	105,5	1,8	0,092			1,5	0,077			1,1	0,056	
6	0,3	7,62		2	0,103			1,6	0,082			1,2	0,062	
8	0,4	10,16		3	0,154			2,5	0,128			2,2	0,113	
10	0,5	12,7		4	0,205			3,0	0,154			2,5	0,128	



DENSIDAD Y	CBR X
1510,4	1,4
1439,4	1,1
1368,6	0,7

DENS. AL 90% :	1366 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	1,022
DENS. AL 95% :	1442 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,528
DENS. AL 100% :	1518 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	2,035

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEI SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1544 Kg/m3	% HUMEDAD	30,42
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12486	12890	11264
Peso Molde (grs.)	8111	8695	7447
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4375	4195	3817
Volumen de la muestra (cm3)	2075	2114	2071
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2108,43	1984,39	1843,07

### COMPACTACIÓN T-180

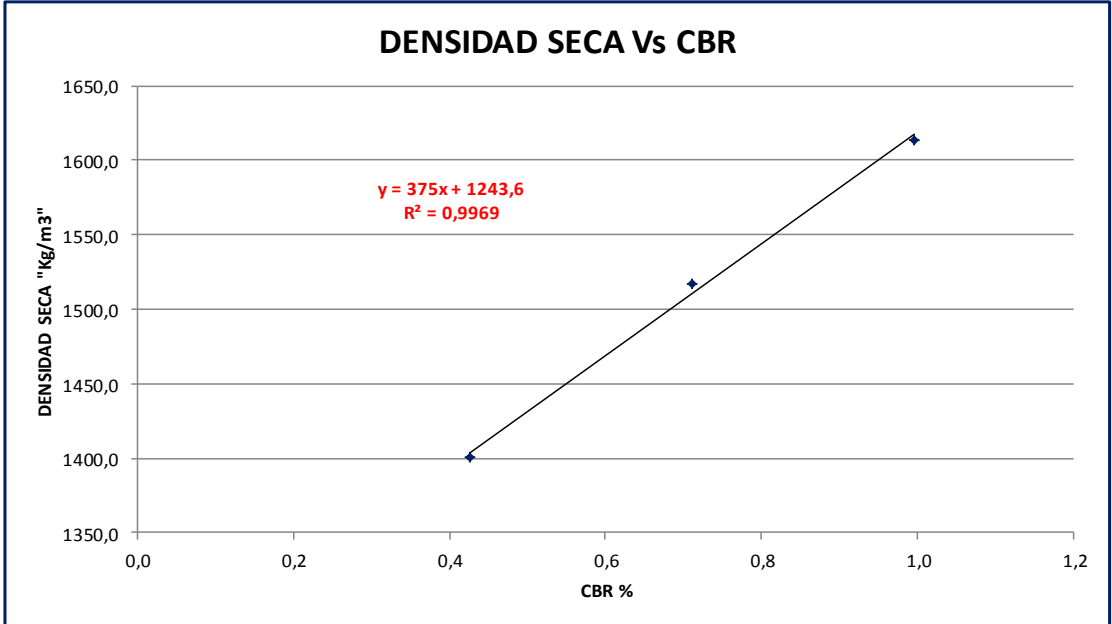
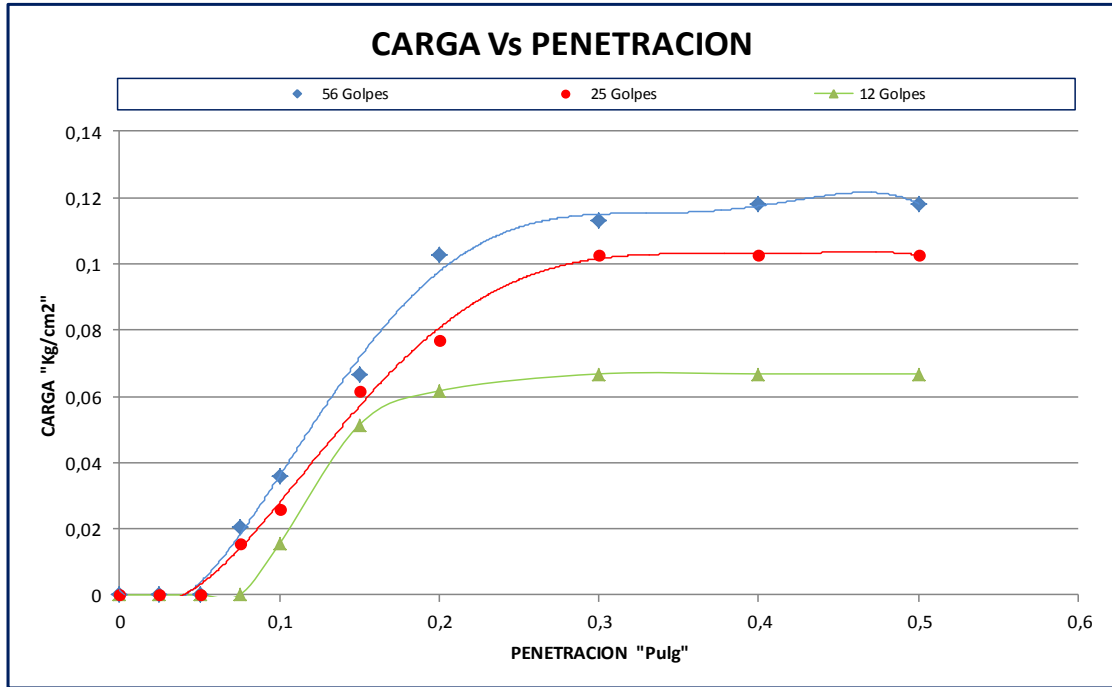
MUESTRAS SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	678	457,00	535,00
Peso Suelo Seco + Tara	540	372,00	430,00
Peso Agua	138	85	105,00
Peso Tara	90	96,00	98,00
Peso Suelo Seco	450	276	332,00
% de Humedad	30,67	30,80	31,63
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1613,60	1517,15	1400,23
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1544	1544	1544
% De Compactación	104,51	98,26	90,69

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				% Expansión				% C.B.R.				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Lect.	Calc.	Correg.	C.B.R.	Lect.	Calc.	Correg.	C.B.R.	Lect.	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0,4	0,021			0,3	0,015			0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	0,7	0,036	0,7	1,0	0,5	0,026	0,5	0,7	0,3	0,015	0,3	0,4
3	0,15	3,81		1,3	0,067			1,2	0,062			1,0	0,051		
4	0,2	5,08	105,5	2	0,103			1,5	0,077			1,2	0,062		
6	0,3	7,62		2,2	0,113			2,0	0,103			1,3	0,067		
8	0,4	10,16		2,3	0,118			2,0	0,103			1,3	0,067		
10	0,5	12,7		2,3	0,118			2,0	0,103			1,3	0,067		



DENSIDAD Y	CBR X
1613,6	1,0
1517,2	0,7
1400,2	0,4

DENS. AL 90% :	1389,6 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,388
DENS. AL 95% :	1466,8 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,594
DENS. AL 100% :	1544 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,800

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1572 Kg/m3	% HUMEDAD	30,41
---------------	------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12893	12675	12347
Peso Molde (grs.)	8613	8554	8445
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4280	4121	3902
Volumen de la muestra (cm3)	2095	2100	2093
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2042,96	1962,38	1864,31

COMPACTACIÓN T-180

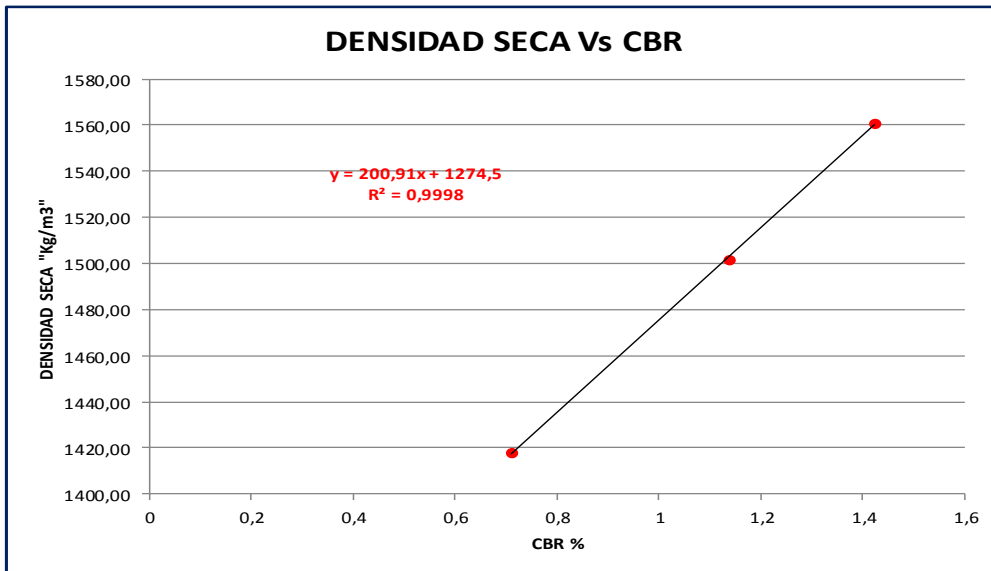
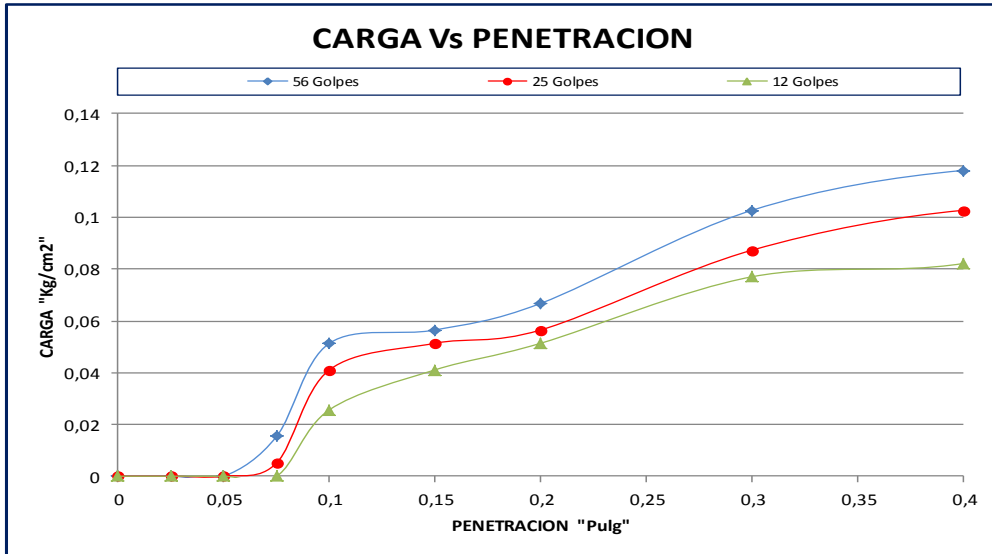
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	675	490,00	580,00
Peso Suelo Seco + Tara	537	398,00	463,00
Peso Agua	138	92	117,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	447	300	371,60
% de Humedad	30,87	30,67	31,49
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1561,03	1501,82	1417,88
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1572	1572	1572
% De Compactación	99,30	95,54	90,20

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0,3	0,015			0,1	0,005			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,8	0,041	0,8	1,1	0,5	0,026	0,5	0,7				
3	0,15	3,81		1,1	0,056			1,0	0,051			0,8	0,041						
4	0,2	5,08	105,5	1,3	0,067			1,1	0,056			1,0	0,051						
6	0,3	7,62		2	0,103			1,7	0,087			1,5	0,077						
8	0,4	10,16		2,3	0,118			2,0	0,103			1,6	0,082						
10	0,5	12,7		2,3	0,118			2,0	0,103			2,0	0,103						



DENSIDAD Y	CBR X
1561,03	1,422475107
1501,82	1,137980085
1417,88	0,711237553

DENS. AL 90% :	1414,8 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,696
DENS. AL 95% :	1493,4 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,087
DENS. AL 100% :	1572 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,478

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAE SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 17+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1517 Kg/m3	% HUMEDAD	30,38
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	10180	12220	10895
Peso Molde (grs.)	6150	8232	7214
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4030	3988	3681
Volumen de la muestra (cm3)	2039	2070	2040
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1976,46	1926,57	1804,41

COMPACTACIÓN T-180

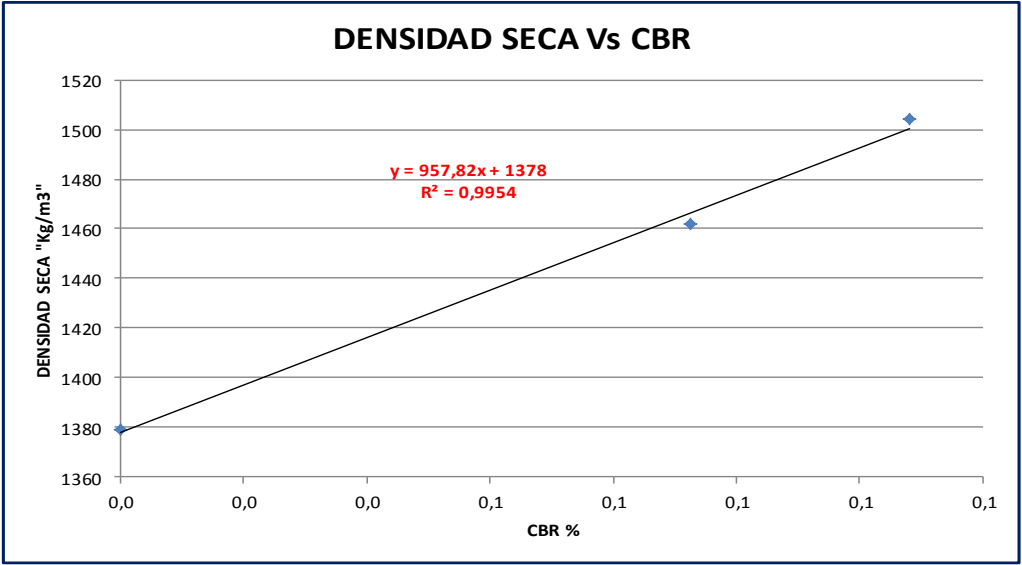
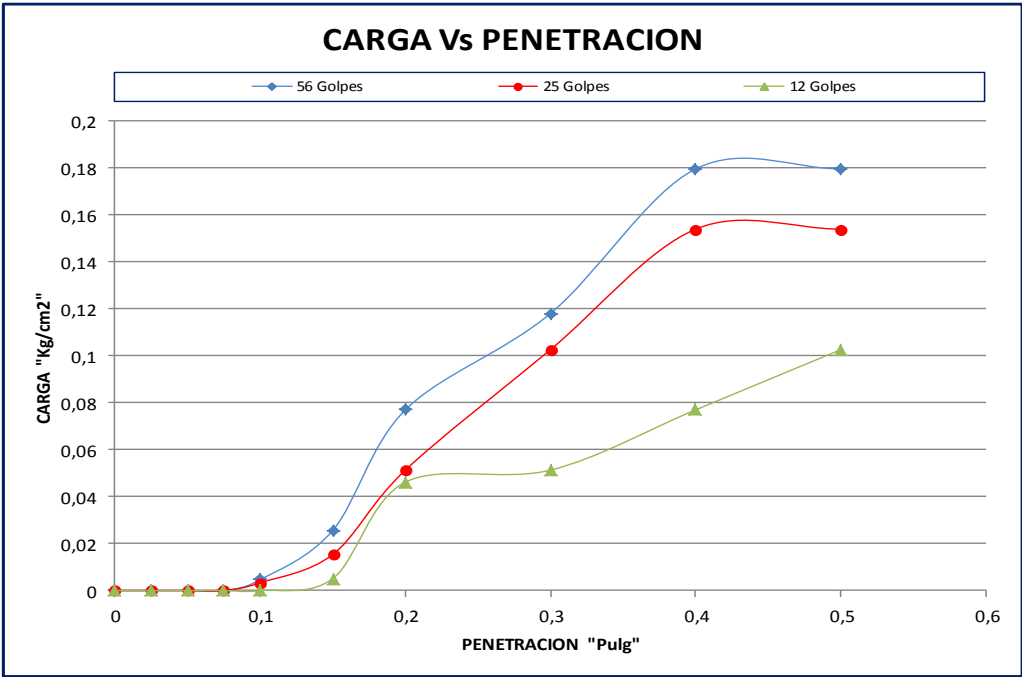
MUESTRAS SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	430	470,00	490,00
Peso Suelo Seco + Tara	350	380,00	390,00
Peso Agua	80	90	90,00
Peso Tara	95,3	97,00	98,00
Peso Suelo Seco	254,7	283	292,00
% de Humedad	31,41	31,80	30,82
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1504,05	1461,71	1379,29
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1517	1517,00	1517,00
% De Compactación	99,15	96,36	90,92

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	0,09	0,005	0,1	0,1	0,1	0,003	0,1	0,1	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
3	0,15	3,81		0,5	0,026			0,3	0,015			0,1	0,005			0,1	0,005		
4	0,2	5,08	105,5	1,5	0,077			1,0	0,051			0,9	0,046			0,9	0,046		
6	0,3	7,62		2,3	0,118			2,0	0,103			1,0	0,051			1,0	0,051		
8	0,4	10,16		3,5	0,180			3,0	0,154			1,5	0,077			1,5	0,077		
10	0,5	12,7		3,5	0,180			3,0	0,154			2,0	0,103			2,0	0,103		



DENSIDAD Y	CBR X
1504,045771	0,1
1461,714004	0,1
1379,288574	0,0

DENS. AL 90% :	1365 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,013
DENS. AL 95% :	1441 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,066
DENS. AL 100% :	1517 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,145

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEI SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 18+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 18/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 20 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutiérrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1519 Kg/m3	% HUMEDAD	30,00
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	10247	12219	10897
Peso Molde (grs.)	6150	8232	7214
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4097	3987	3683
Volumen de la muestra (cm3)	2039	2070	2040
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2009,32	1926,09	1805,39

### COMPACTACIÓN T-180

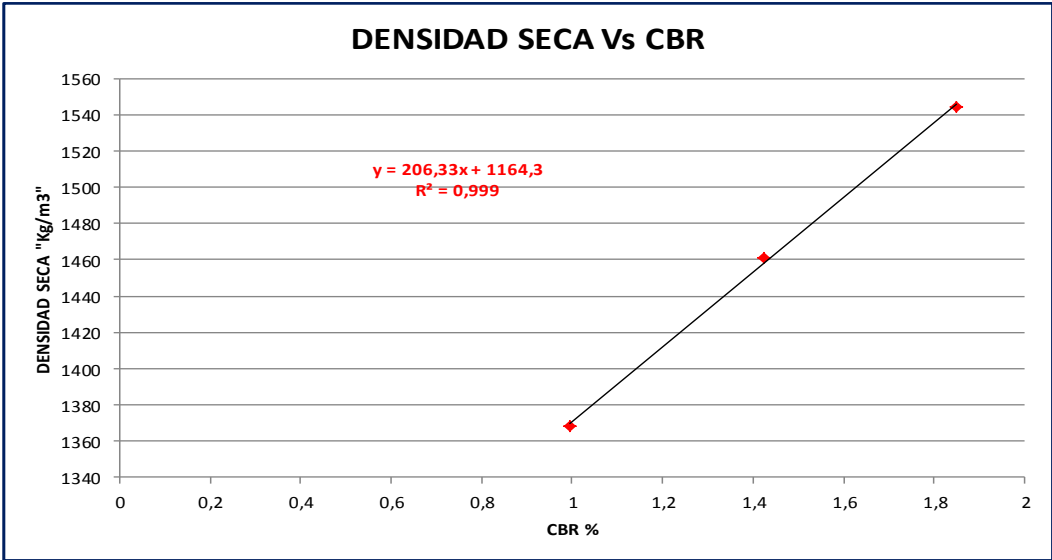
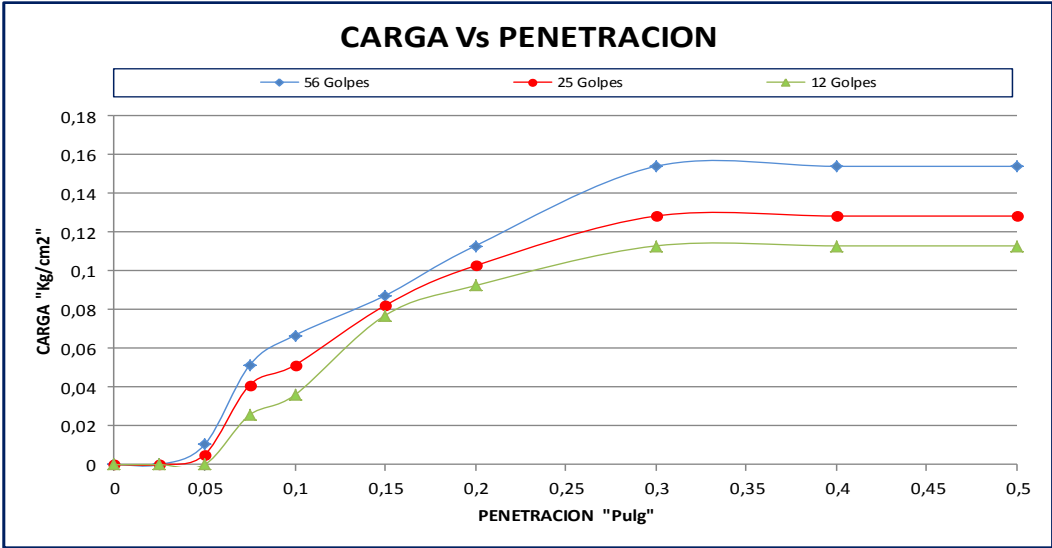
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	500	500,00	500,00
Peso Suelo Seco + Tara	405	403,00	402,00
Peso Agua	95	97	98,00
Peso Tara	89,5	98,30	95,30
Peso Suelo Seco	315,5	304,7	306,70
% de Humedad	30,11	31,83	31,95
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1544,31	1460,99	1368,21
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1519	1519,00	1519,00
% De Compactación	101,67	96,18	90,07

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect. mm	% Expansión	Lect. mm	% Expansión	Lect. mm	% Expansión

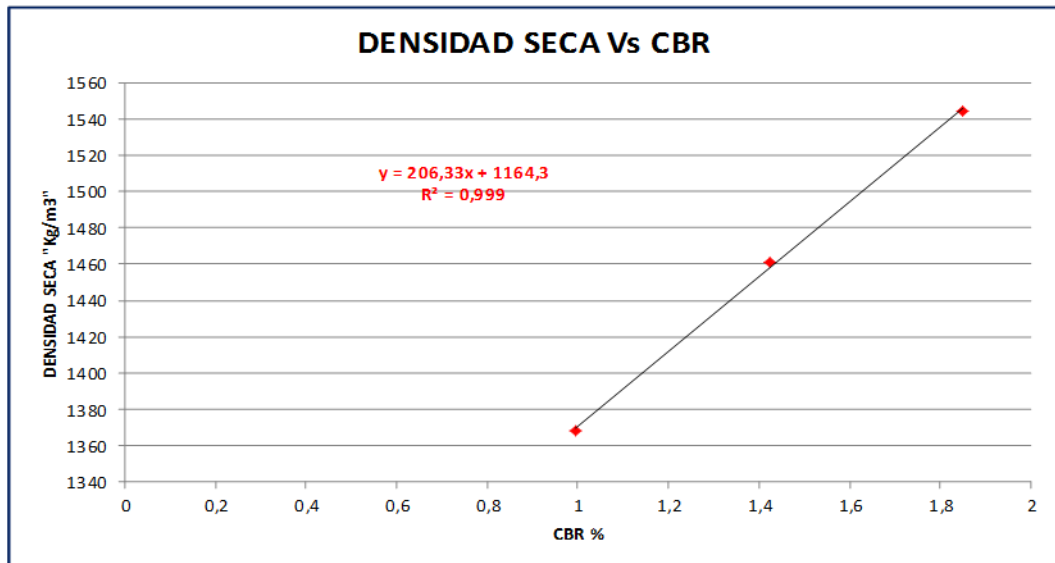
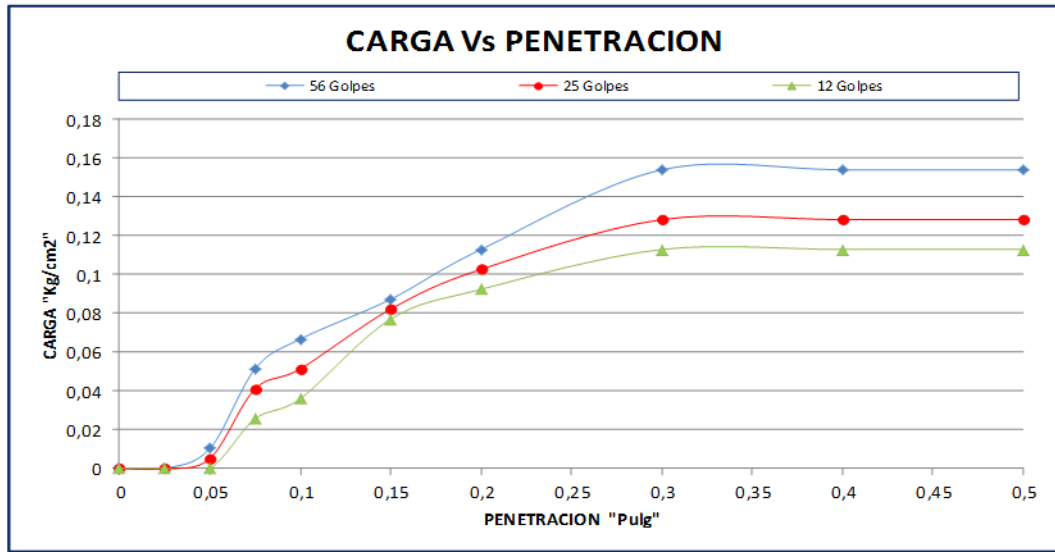
### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0,2	0,010			0,1	0,005			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		1	0,051			0,8	0,041			0,5	0,026						
2	0,1	2,54	70,3	1,3	0,067	1,3	1,8	1,0	0,051	1,0	1,4	0,7	0,036	0,7	1,0				
3	0,15	3,81		1,7	0,087			1,6	0,082			1,5	0,077						
4	0,2	5,08	105,5	2,2	0,113			2,0	0,103			1,8	0,092						
6	0,3	7,62		3	0,154			2,5	0,128			2,2	0,113						
8	0,4	10,16		3	0,154			2,5	0,128			2,2	0,113						
10	0,5	12,7		3	0,154			2,5	0,128			2,2	0,113						



DENSIDAD Y	CBR X
1544,311624	1,849217639
1460,987542	1,422475107
1368,207992	0,995732575

DENS. AL 90% :	1367 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,986
DENS. AL 95% :	1443 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,355
DENS. AL 100% :	1519 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,723



DENSIDAD Y	CBR X
1544,311624	1,849217639
1460,987542	1,422475107
1368,207992	0,995732575

DENS. AL 90% :	1367 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,986
DENS. AL 95% :	1443 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	1,355
DENS. AL 100% :	1519 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,723

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 10+760

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 10+760

Identificación: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1484,00	% HUMEDAD	33,06
---------------	---------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12980	12350	12250
Peso Molde (grs.)	8850	8439	8444
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4130	3911	3806
Volumen de la muestra (cm3)	2099	2103	2107
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1967,60	1859,72	1806,36

### COMPACTACIÓN T-180

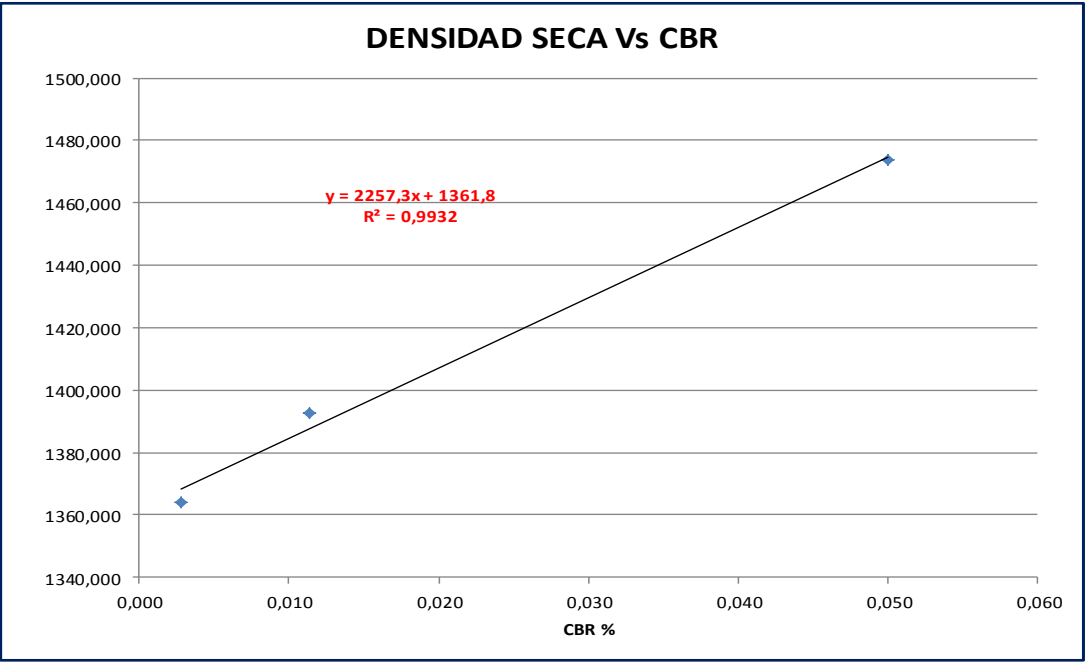
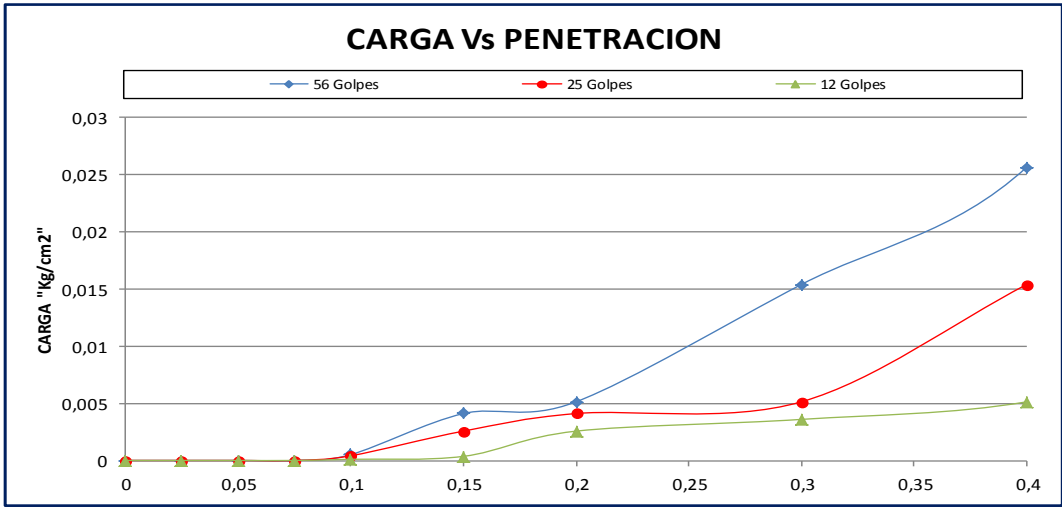
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	700	600,00	500,00
Peso Suelo Seco + Tara	550	496,00	345,00
Peso Agua	150	104	155,00
Peso Tara	102,4	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	447,6	310	478,00
% de Humedad	33,51	33,55	32,43
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1473,73	1392,55	1364,04
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1484	1484	1484
% De Compactación	99,31	93,84	91,92

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg/cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	0,01	0,001	0,0	0,1	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0	0,0
3	0,15	3,81		0,08	0,004			0,1	0,003			0,0	0,000						
4	0,2	5,08	105,5	0,1	0,005			0,1	0,004			0,1	0,003						
6	0,3	7,62		0,3	0,015			0,1	0,005			0,1	0,004						
8	0,4	10,16		0,5	0,026			0,3	0,015			0,1	0,005						
10	0,5	12,7		1	0,051			0,5	0,026			0,2	0,010						



DENSIDAD Y	CBR X
1473,727	0,050
1392,547	0,011
1364,044	0,003

DENS. AL 90% :	1335,6 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,012
DENS. AL 95% :	1409,8 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,021
DENS. AL 100% :	1484 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,054

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 12+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 12+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1542 Kg/m <sup>3</sup>	% HUMEDAD	33,08
---------------	------------------------	-----------	-------

Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11720	11550	11400
Peso Molde (grs.)	7384	7473	7524
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4336	4077	3876
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2090	2085	2081
Densidad Húmeda (grs./cm <sup>3</sup> )	2074,64	1955,40	1862,57

COMPACTACIÓN T-180

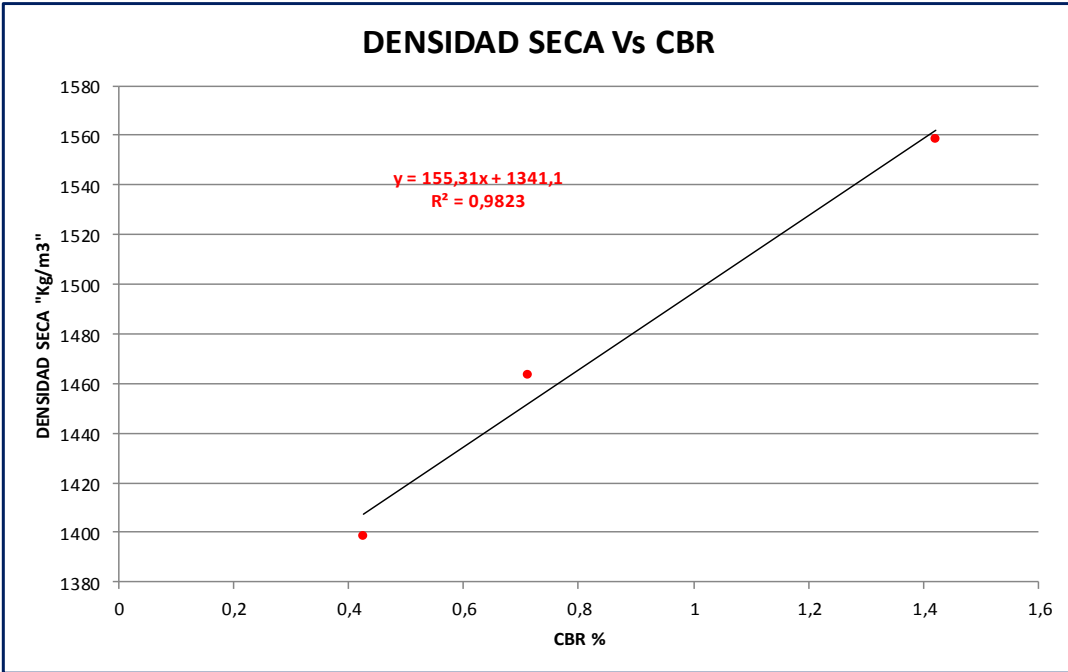
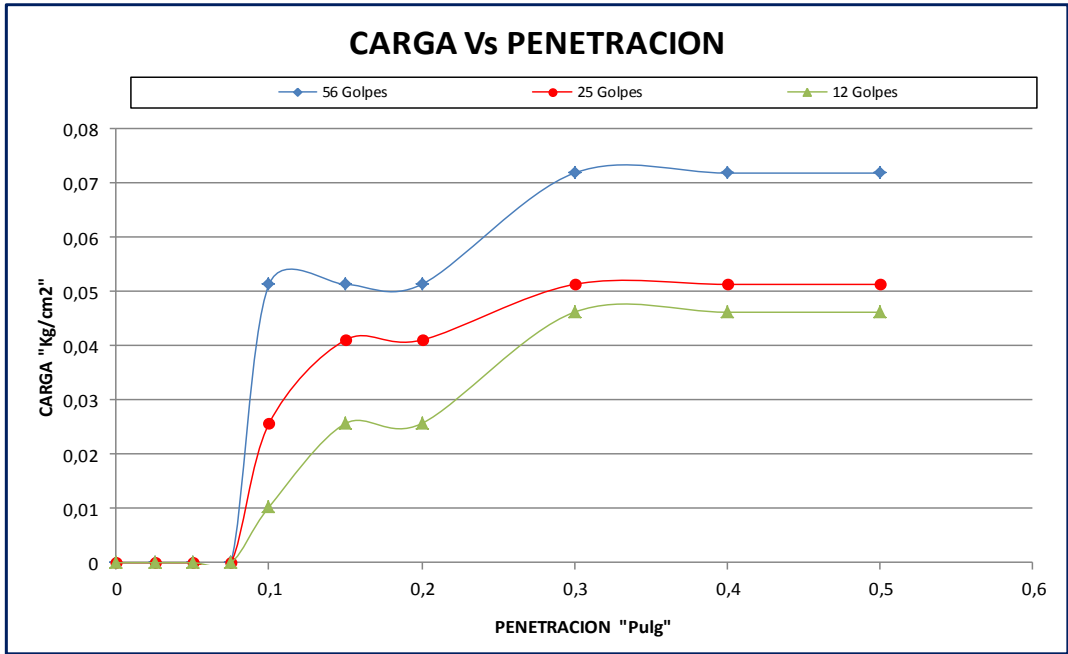
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	500	640,00	600,00
Peso Suelo Seco + Tara	400	502,00	475,00
Peso Agua	100	138	125,00
Peso Tara	98	91,40	98,00
Peso Suelo Seco	302	410,6	377,00
% de Humedad	33,11	33,61	33,16
Densidad Seca Probeta (grs./cm <sup>3</sup> )	1558,56	1463,52	1398,78
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm <sup>3</sup> )	1542	1542	1542
% De Compactación	101,07	94,91	90,71

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN		Carga			Lect.			Carga (Kg/cm <sup>2</sup> )			%					
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm <sup>2</sup>	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg.	C.B.R.	
0	0	0		0	0	0		0	0				0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000				0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,5	0,026	0,5	0,7		0,2	0,010	0,3	0,4
3	0,15	3,81		1	0,051			0,8	0,041				0,5	0,026		
4	0,2	5,08	105,5	1	0,051			0,8	0,041				0,5	0,026		
6	0,3	7,62		1,4	0,072			1,0	0,051				0,9	0,046		
8	0,4	10,16		1,4	0,072			1,0	0,051				0,9	0,046		
10	0,5	12,7		1,4	0,072			1,0	0,051				0,9	0,046		



DENSIDAD Y	CBR X
1558,561261	1,422475107
1463,517076	0,711237553
1398,779701	0,426742532

DENS. AL 90% :	1388 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,302
DENS. AL 95% :	1465 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,799
DENS. AL 100% :	1542 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,297

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 13+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 13+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1516 Kg/m3	% HUMEDAD	31,86
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	11750	11500	11330
Peso Molde (grs.)	7527	7503	7569
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4223	3997	3761
Volumen de la muestra (cm3)	2084	2076	2068
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2026,39	1925,34	1818,67

### COMPACTACIÓN T-180

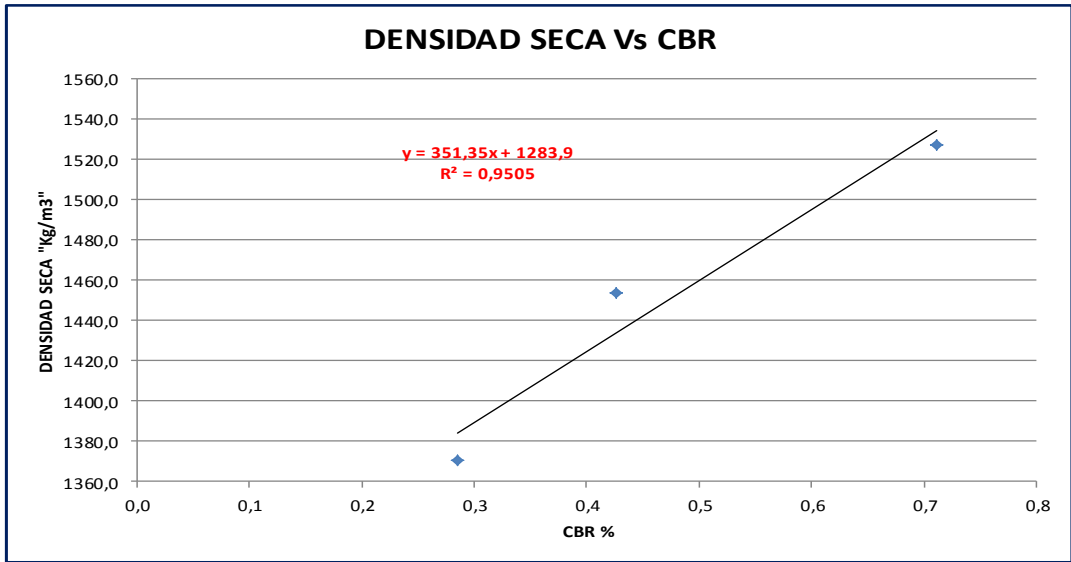
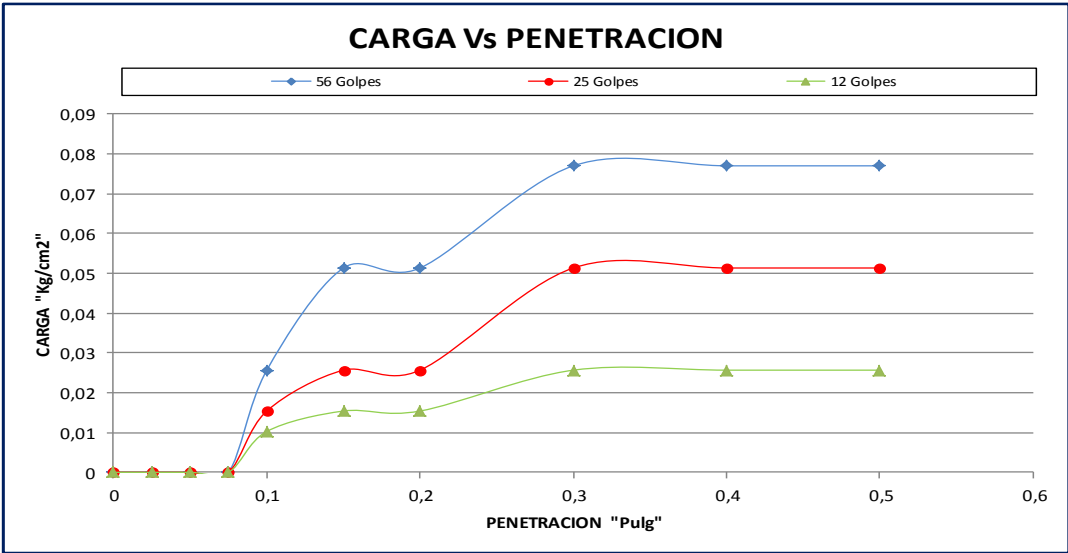
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	500	600,00	676,00
Peso Suelo Seco + Tara	399	477,00	532,00
Peso Agua	101	123	144,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	309	379	440,60
% de Humedad	32,69	32,45	32,68
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1527,21	1453,59	1370,69
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1516	1516	1516
% De Compactación	100,74	95,88	90,41

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%					
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.	
0	0	0		0	0			0	0			0	0				0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000				0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	0,5	0,026	0,5	0,7	0,3	0,015	0,3	0,4	0,2	0,010				0,2	0,010	0,2	0,3
3	0,15	3,81		1	0,051			0,5	0,026			0,3	0,015				0,3	0,015		
4	0,2	5,08	105,5	1	0,051			0,5	0,026			0,3	0,015				0,3	0,015		
6	0,3	7,62		1,5	0,077			1,0	0,051			0,5	0,026				0,5	0,026		
8	0,4	10,16		1,5	0,077			1,0	0,051			0,5	0,026				0,5	0,026		
10	0,5	12,7		1,5	0,077			1,0	0,051			0,5	0,026				0,5	0,026		



DENSIDAD Y	CBR X
1527,2	0,7
1453,6	0,4
1370,7	0,3

DENS. AL 90% :	1364 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,229
DENS. AL 95% :	1440 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,445
DENS. AL 100% :	1516 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,661

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



**ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500**

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 15+500

Identificacion: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1540 Kg/m3	% HUMEDAD	31,29
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS	MUESTRA SATURADA 25 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12310	12780	11264
Peso Molde (grs.)	8111	8695	7447
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4199	4085	3817
Volumen de la muestra (cm3)	2075	2114	2071
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2023,61	1932,36	1843,07

COMPACTACIÓN T-180

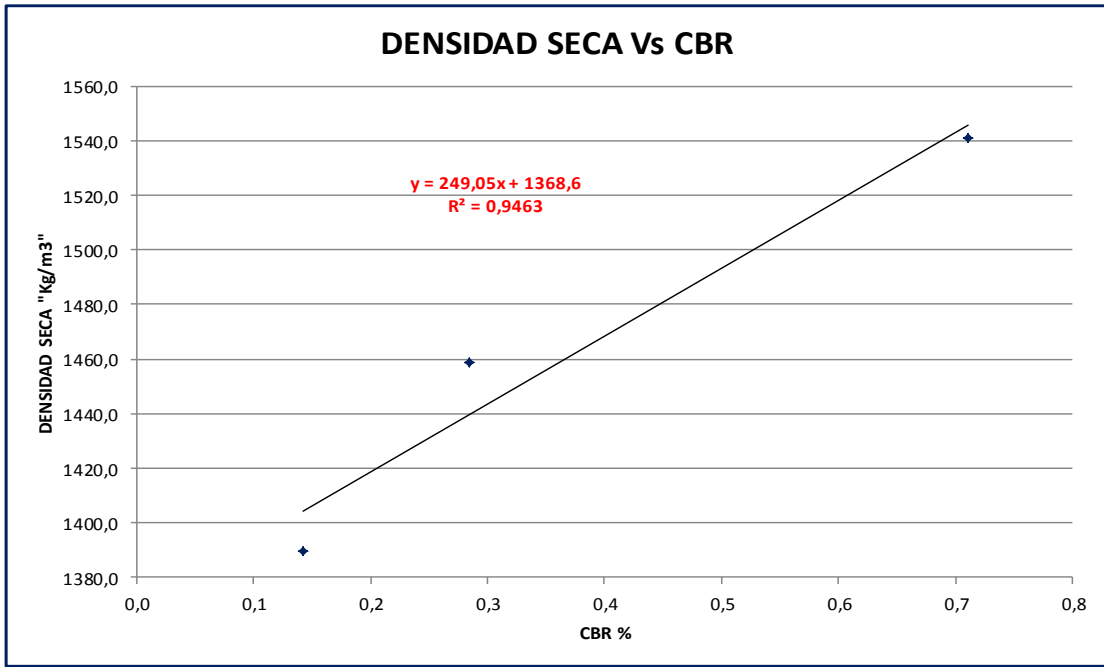
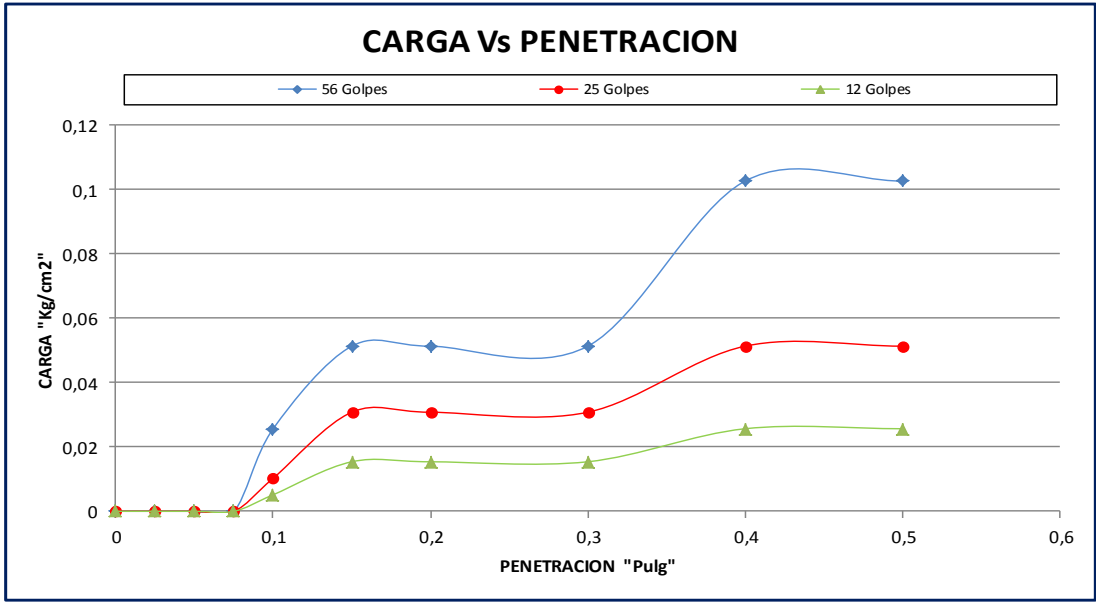
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	600	500,00	550,00
Peso Suelo Seco + Tara	480	402,00	438,00
Peso Agua	120	98	112,00
Peso Tara	97	100,00	95,00
Peso Suelo Seco	383	302	343,00
% de Humedad	31,33	32,45	32,65
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1540,84	1458,93	1389,39
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1540	1540	1540
% De Compactación	100,05	94,74	90,22

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN		Carga			Lect.			Carga (Kg/cm2)			%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0	
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000	
2	0,1	2,54	70,3	0,5	0,026	0,5	0,7	0,2	0,010	0,2	0,3	0,1	0,005	0,1
3	0,15	3,81		1	0,051			0,6	0,031			0,3	0,015	
4	0,2	5,08	105,5	1	0,051			0,6	0,031			0,3	0,015	
6	0,3	7,62		1	0,051			0,6	0,031			0,3	0,015	
8	0,4	10,16		2	0,103			1,0	0,051			0,5	0,026	
10	0,5	12,7		2	0,103			1,0	0,051			0,5	0,026	



DENSIDAD Y	CBR X
1540,8	0,7
1458,9	0,3
1389,4	0,1

DENS. AL 90% :	1386 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,068
DENS. AL 95% :	1463 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,378
DENS. AL 100% :	1540 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,687

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 15+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 16+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1569 Kg/m3	% HUMEDAD	31,41
---------------	------------	-----------	-------

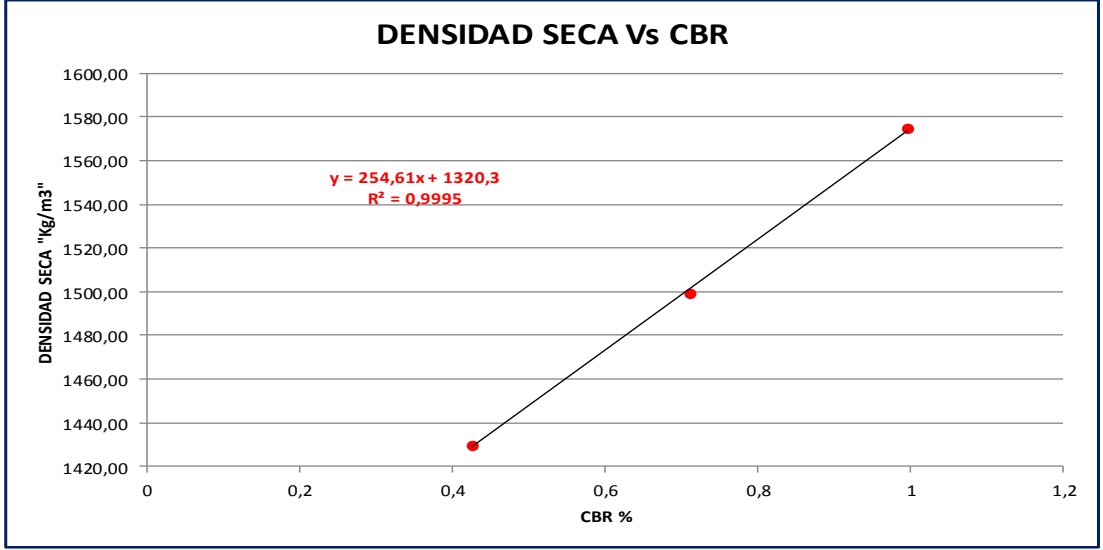
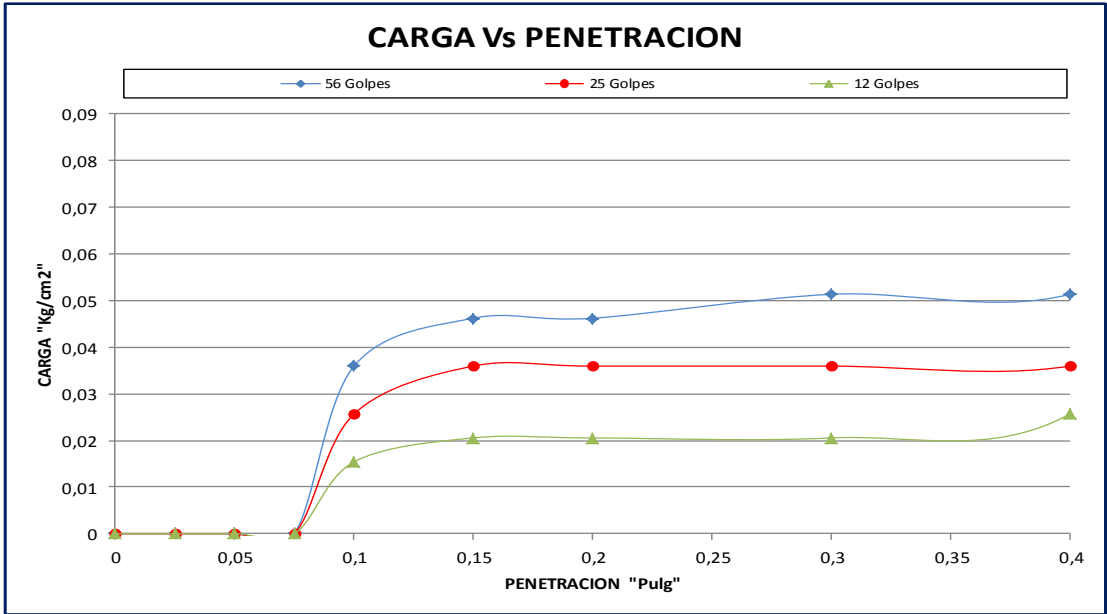
	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12950	12710	12380
Peso Molde (grs.)	8613	8554	8445
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4337	4156	3935
Volumen de la muestra (cm3)	2095	2100	2093
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2070,17	1979,05	1880,08

### COMPACTACIÓN T-180

MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	675	490,00	580,00
Peso Suelo Seco + Tara	535	395,00	463,00
Peso Agua	140	95	117,00
Peso Tara	90	98,00	91,40
Peso Suelo Seco	445	297	371,60
% de Humedad	31,46	31,99	31,49
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1574,74	1499,43	1429,87
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1569	1569	1569
% De Compactación	100,37	95,57	91,13

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	
DETERMINACION CBR												
PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%	Lect.	Carga (Kg/cm2)	%
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	
0	0	0		0	0			0	0			
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			
2	0,1	2,54	70,3	0,7	0,036	0,7	1,0	0,5	0,026	0,5	0,7	0,3
3	0,15	3,81		0,9	0,046			0,7	0,036			0,4
4	0,2	5,08	105,5	0,9	0,046			0,7	0,036			0,4
6	0,3	7,62		1	0,051			0,7	0,036			0,4
8	0,4	10,16		1	0,051			0,7	0,036			0,5
10	0,5	12,7		1,5	0,077			1,0	0,051			1,5



DENSIDAD Y	CBR X
1574,74	0,995732575
1499,43	0,711237553
1429,87	0,426742532

DENS. AL 90% :	1412,1 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,361
DENS. AL 95% :	1490,55 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,669
DENS. AL 100% :	1569 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,976

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 17+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 17+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1514 Kg/m3	% HUMEDAD	31,18
---------------	------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	10200	12160	10895
Peso Molde (grs.)	6150	8232	7214
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4050	3928	3681
Volumen de la muestra (cm3)	2039	2070	2040
Densidad Húmeda (grs./cm3)	1986,27	1897,58	1804,41

### COMPACTACIÓN T-180

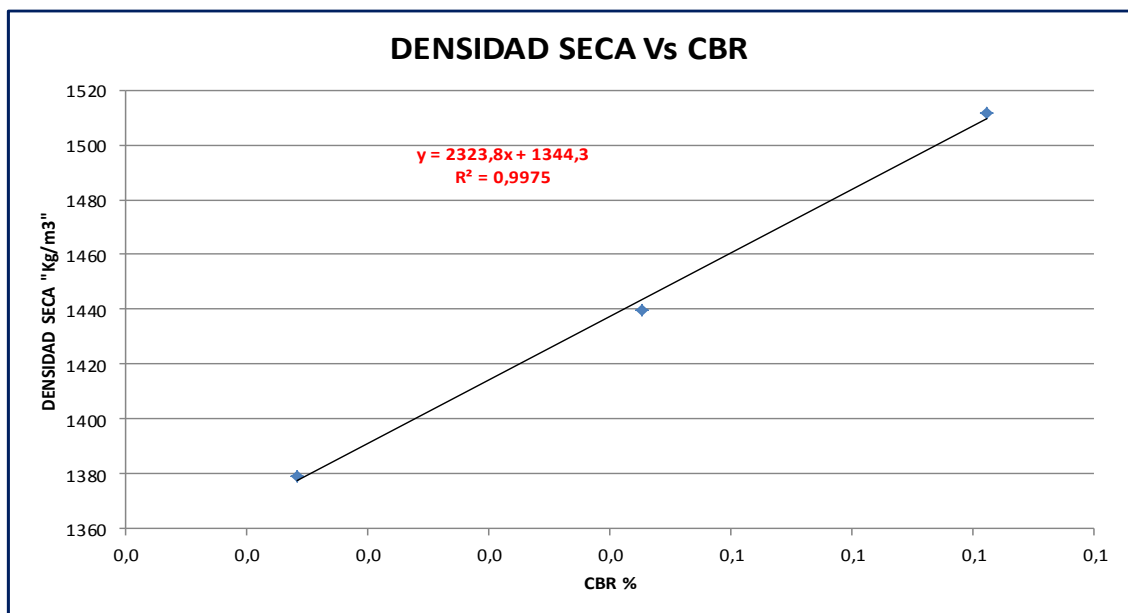
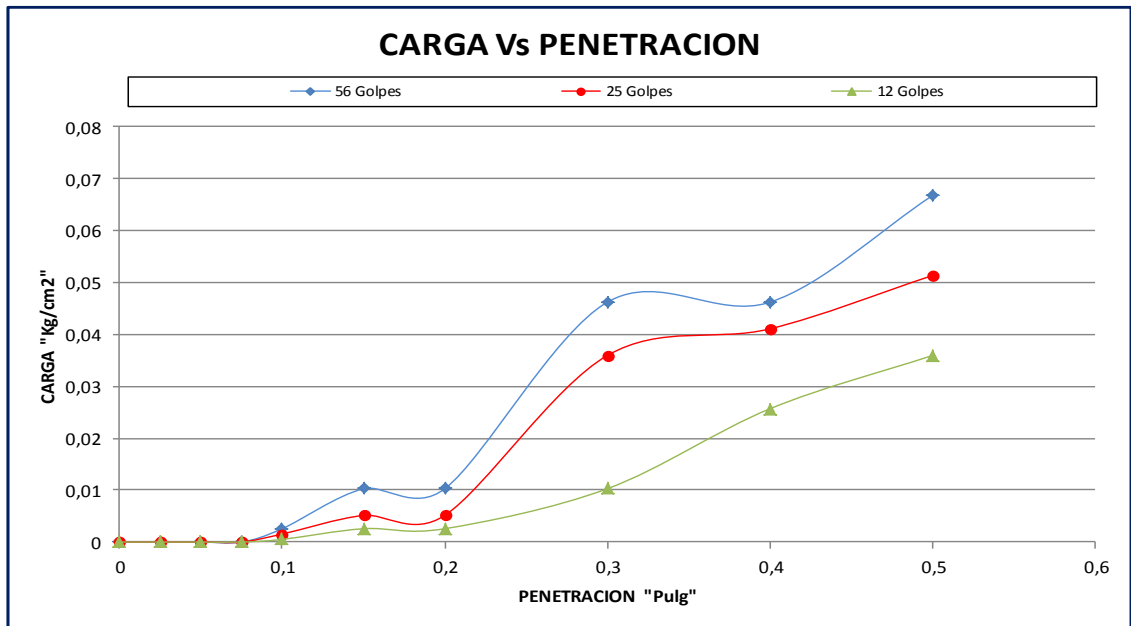
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	430	470,00	490,00
Peso Suelo Seco + Tara	350	380,00	390,00
Peso Agua	80	90	90,00
Peso Tara	95,3	97,00	98,00
Peso Suelo Seco	254,7	283	292,00
% de Humedad	31,41	31,80	30,82
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	1511,51	1439,72	1379,29
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1514	1514,00	1514,00
% De Compactación	99,84	95,09	91,10

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga				Lect.				Carga (Kg/cm2)				%				
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm2	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0						
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000						
2	0,1	2,54	70,3	0,05	0,003	0,1	0,1	0,0	0,002	0,0	0,0	0,0	0,001	0,0	0,0				
3	0,15	3,81		0,2	0,010			0,1	0,005			0,1	0,003						
4	0,2	5,08	105,5	0,2	0,010			0,1	0,005			0,1	0,003						
6	0,3	7,62		0,9	0,046			0,7	0,036			0,2	0,010						
8	0,4	10,16		0,9	0,046			0,8	0,041			0,5	0,026						
10	0,5	12,7		1,3	0,067			1,0	0,051			0,7	0,036						



DENSIDAD Y	CBR X
1511,510018	0,1
1439,722319	0,0
1379,288574	0,0

DENS. AL 90% :	1363 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,008
DENS. AL 95% :	1438 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,041
DENS. AL 100% :	1514 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	0,073

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y HORMIGONES**



## ENSAYO RELACION SOPORTE CALIFORNIA CBR PROG: 18+500

Tema: ANALISIS DE SUBRASANTES DE ROCAS METEORIZADAS Y SU EFECTO EN EL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Fecha: 24/09/2014

Procedencia: Tramo Iscayachi-Final Copacabana Prog 18+500

Identificación: MUESTRA SATURADA A 25 DIAS

Ejecuta: Josue Miguel Gutierrez Calderon

### DATOS PROCTOR

DENSIDAD SECA	1516,28 Kg/m <sup>3</sup>	% HUMEDAD	31,18
---------------	---------------------------	-----------	-------

	1	2	3
Molde Nº	1	2	3
Nº de Capas	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	25	12
Condición de la Muestra	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS	MUESTRA SATURADA 20 DIAS
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	10247	12180	10897
Peso Molde (grs.)	6150	8232	7214
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4097	3948	3683
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2039	2070	2040
Densidad Húmeda (grs./cm <sup>3</sup> )	2009,32	1907,25	1805,39

### COMPACTACIÓN T-180

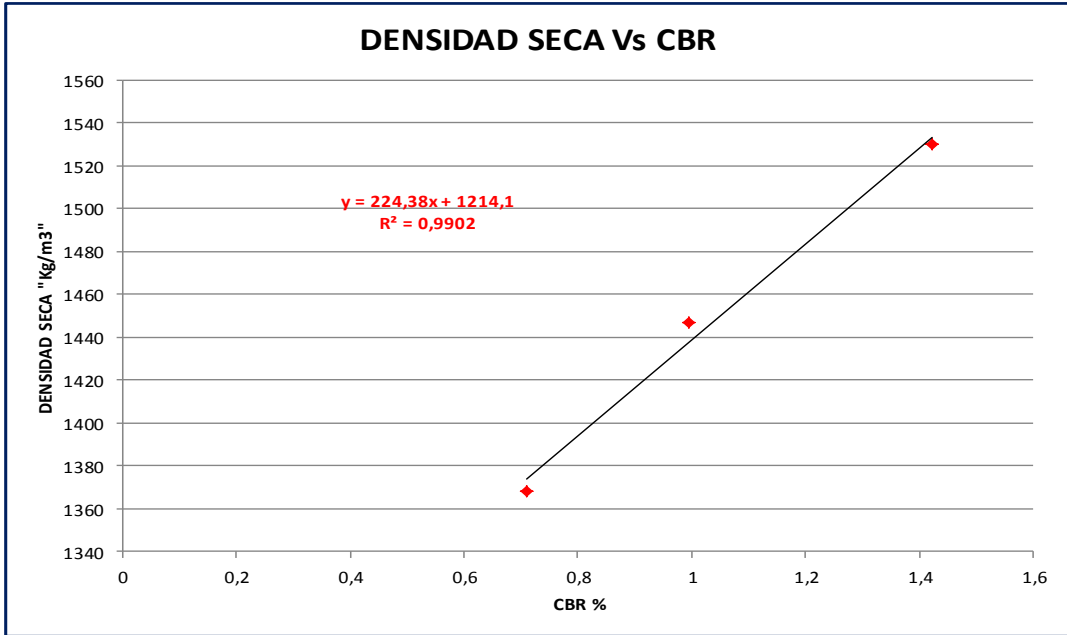
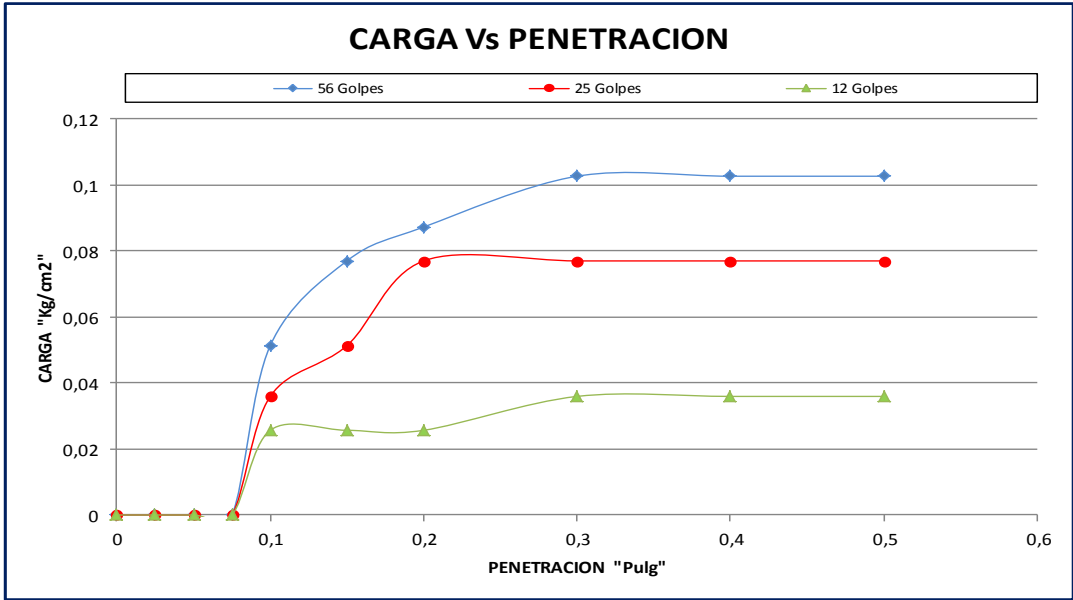
MUESTRA SATURADA DE 5 DIAS	Compactado	Compactado	Compactado
Tara Nº	25	13,00	17,00
Peso Suelo Húmedo+Tara	500	500,00	500,00
Peso Suelo Seco + Tara	402	403,00	402,00
Peso Agua	98	97	98,00
Peso Tara	89,5	98,30	95,30
Peso Suelo Seco	312,5	304,7	306,70
% de Humedad	31,36	31,83	31,95
Densidad Seca Probeta (grs./cm <sup>3</sup> )	1529,63	1446,70	1368,21
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm <sup>3</sup> )	1516	1516,00	1516,00
% De Compactación	100,90	95,43	90,25

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
-------	------	------	--------	----	-------------	--------	----	-------------	--------	----	-------------

### DETERMINACION CBR

PENETRACIÓN			Carga			Lect.			Carga (Kg/cm <sup>2</sup> )			%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm <sup>2</sup>	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.		Calc.	Correg..	C.B.R.
0	0	0		0	0			0	0			0	0		
0,5	0,025	0,635		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1	0,05	1,27		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
1,5	0,075	1,905		0	0,000			0,0	0,000			0,0	0,000		
2	0,1	2,54	70,3	1	0,051	1,0	1,4	0,7	0,036	0,7	1,0	0,5	0,026	0,5	0,7
3	0,15	3,81		1,5	0,077			1,0	0,051			0,5	0,026		
4	0,2	5,08	105,5	1,7	0,087			1,5	0,077			0,5	0,026		
6	0,3	7,62		2	0,103			1,5	0,077			0,7	0,036		
8	0,4	10,16		2	0,103			1,5	0,077			0,7	0,036		
10	0,5	12,7		2	0,103			1,5	0,077			0,7	0,036		



DENSIDAD Y	CBR X
1529,627203	1,422475107
1446,696468	0,995732575
1368,207992	0,711237553

DENS. AL 90% :	1364 Kg/m3	C.B.R.. AL 90% :	0,641
DENS. AL 95% :	1440 Kg/m3	C.B.R.. AL 95% :	0,983
DENS. AL 100% :	1516 Kg/m3	C.B.R.. AL 100% :	1,324



### 3.4. Análisis del comportamiento en condiciones extremas

Después de varios días de estudio a las muestras de suelos que se encontraban en proceso de saturación a 5-10-15-20-25 días. Los ensayos que se realizaron a las muestras saturadas fueron los ensayos de Proctor y CBR.

Se hace notar que solo se explicara el procedimiento de la investigación y resultados de la saturación de la muestra de la Prog:10+760. Las muestras restantes se operó de la misma forma.

Se obtiene los siguientes resultados

PROGRESIVA	CHO (Muestra Natural)	5 DIAS DE SATURACION	10 DIAS DE SATURACION	15 DIAS DE SATURACION	20 DIAS DE SATURACION	25 DIAS DE SATURACION	
10+760	Densidad Seca (Kg/m <sup>3</sup> )	1923	1599	1545,46	1498,59	1488,71	1484,40
	Porcentaje de Humedad	12,60%	24,77%	28,21%	31,14%	32,49%	33,07%

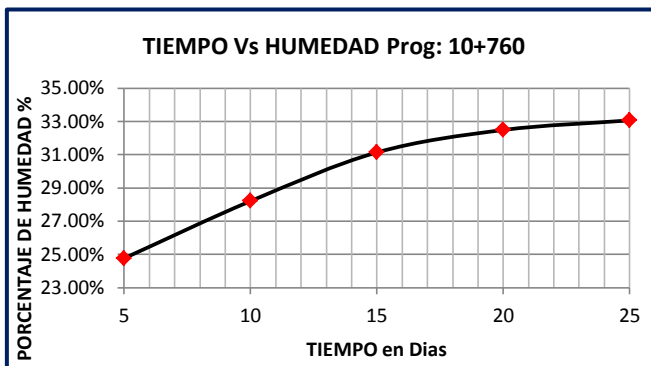
  

CBR (Muestra Natural)	5 DIAS DE SATURACION	10 DIAS DE SATURACION	15 DIAS DE SATURACION	20 DIAS DE SATURACION	25 DIAS DE SATURACION	
90%	2,26	0,13	0,16	0,03	0,01	0,01
95%	2,67	0,60	0,29	0,05	0,02	0,02
100%	3,09	1,06	0,43	0,14	0,05	0,05

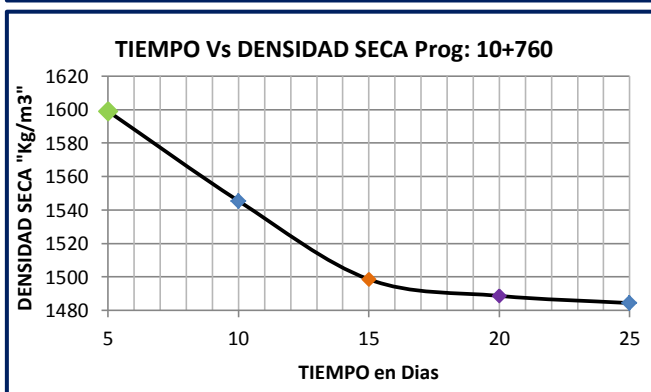
Una vez saturada la muestra por 5 días, se procede a dejar escurrir para realizar el ensayo de contenido de humedad y Proctor, obteniendo de esa forma una humedad para una densidad y así obtener un punto en la curva DENSIDAD-HUMEDAD para un periodo de 5 días.

Con la muestra saturada a 5 días se realizara el ensayo de CBR, obteniendo un CBR para 56-25 y 12 Golpes, y así obtener una curva al 90%-95% y 100% del Proctor para una saturación de muestra para 5 días.

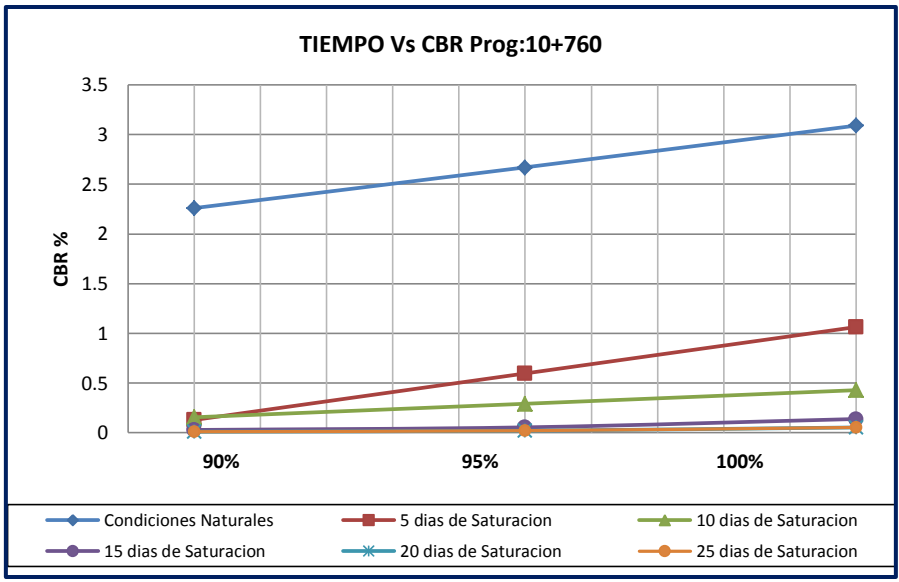
Grafico III-1 Curvas en condiciones extremas Prog:10+760



**Curva Tiempo –Humedad**, esta curva refleja el trabajo realizado en un tiempo de 25 días y claramente se nota que a medida que el tiempo de saturación de la muestra es mayor el porcentaje de humedad también aumenta, esto se debe a que la muestra va absorbiendo humedad a través del tiempo hasta un punto en que la muestra ya no puede absorber más agua debido a que sus partículas ya están completamente saturadas. Y aunque la muestra pase más tiempo en estado de saturación, su contenido de humedad no aumentara.



**Curva tiempo-Densidad Seca**. Esta curva refleja la densidad de la muestra en dependencia del tiempo de saturación. Para una saturación inicial de muestra de 5 días tenemos una densidad. A medida que la muestra pasa más días en estado de saturación, esta va perdiendo sus características mecánicas y físicas, haciéndose más lodosa, y perdiendo resistencia al corte, esto se debe a que la muestra va absorbiendo humedad y sus partículas pasan por un proceso de meteorización extrema. Dando como resultado una muestra con muy baja densidad. Se hace notar que en menos de un mes de saturación, la muestra a perdido un 23% de su densidad inicial. El suelo de la Progresiva : 10+760 al ser afectado por las condiciones climáticas atmosféricas, tendrá este tipo de comportamiento en los resultados de sus densidades.



Curva tiempo-CBR. En esta curva se puede observar el valor CBR de la muestra en condiciones de saturación al 90% 95% y 100% de la densidad Proctor para diferentes días.

Muy claramente se observa que la muestra después de 5 días de saturación a perdido un 98% de su capacidad portante o resistencia al corte y a medida que la muestra se encontraba en proceso de saturación de 10 15 20 y 25 días, su resistencia al corte ha ido disminuyendo muy levemente. La grafica nos muestra que el suelo ensayado a diferentes periodos de saturación es muy malo y que no es apto para una construcción debido a su baja resistencia. En condiciones naturales, el suelo se comportara de la misma forma cuando este se encuentra afectado por las condiciones atmosféricas o lluvias intensas, ya que este suelo se encontrara en estado de saturación y su CBR será afectado por la absorción de agua del suelo.

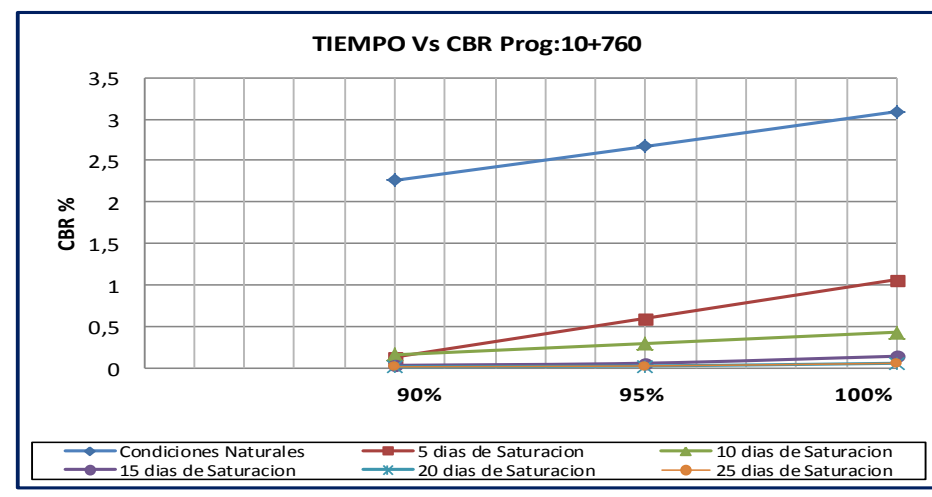
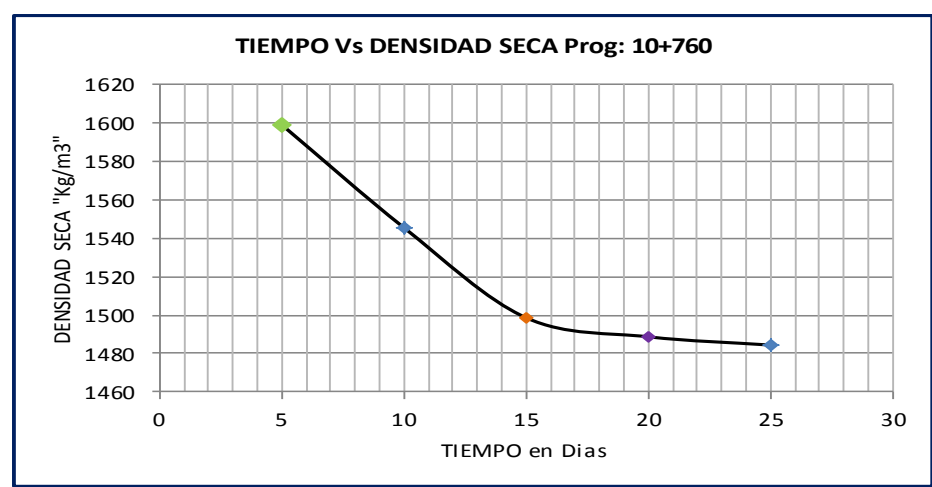
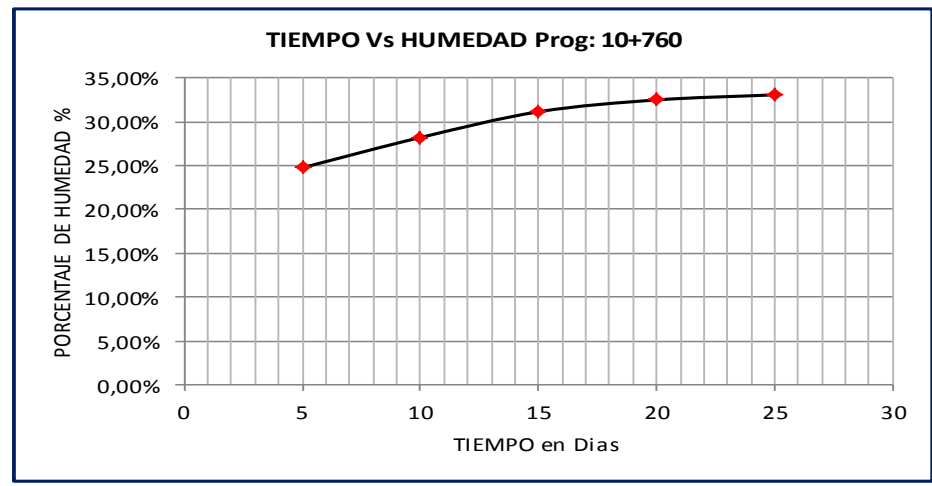
**3.4.1. Valoración de resultados**

En este punto se mostrara las gráficas y los resultados de los ensayos de Proctor y CBR que se realizaron de cada una de las progresivas durante un mes de estudio. Las gráficas que se mostraran a continuación serán:

Tiempo-Humedad Tiempo-Densidad y Tiempo-CBR de cada uno de los suelos de las progresivas estudiadas.

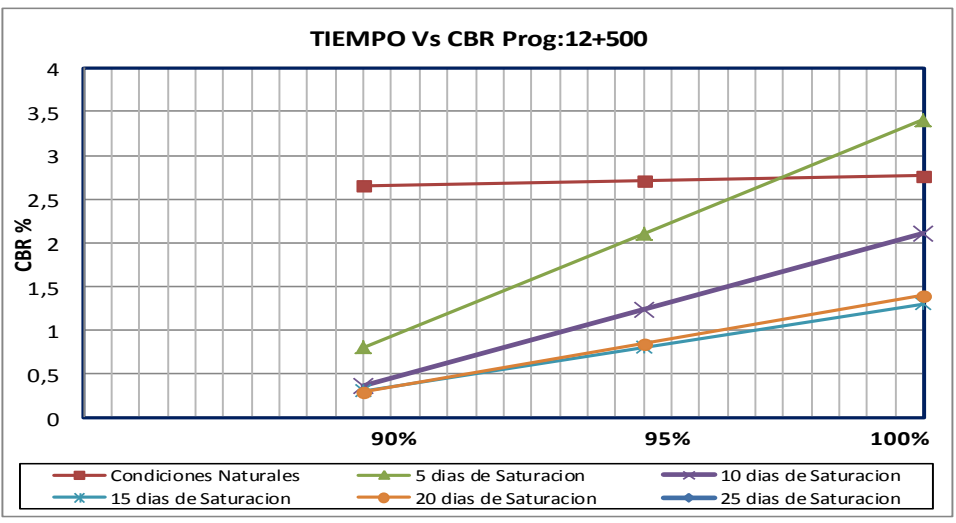
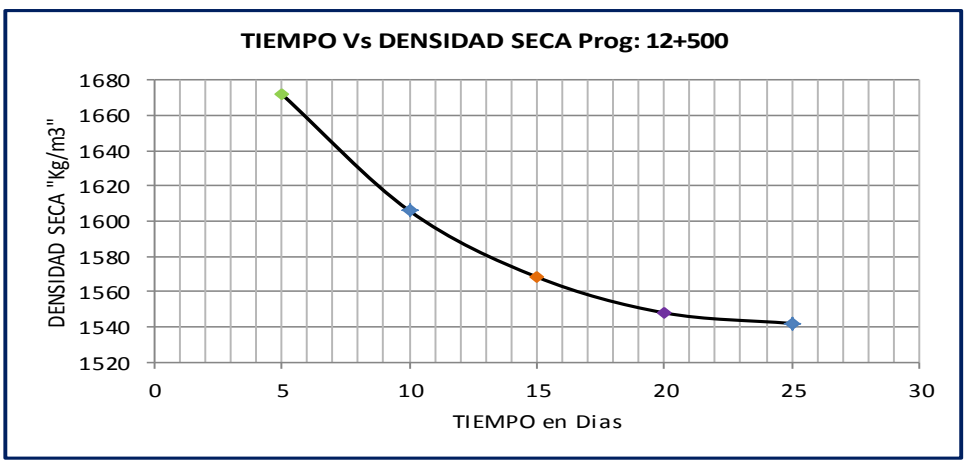
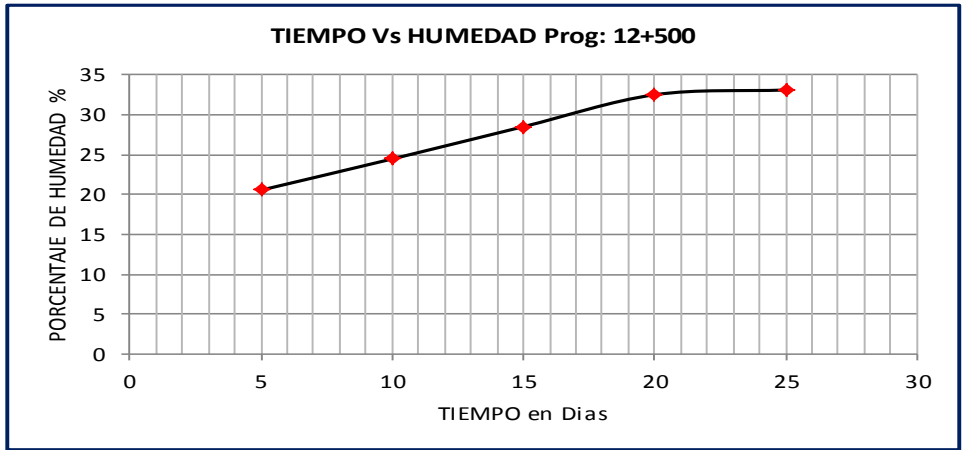
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-2  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva:10+760



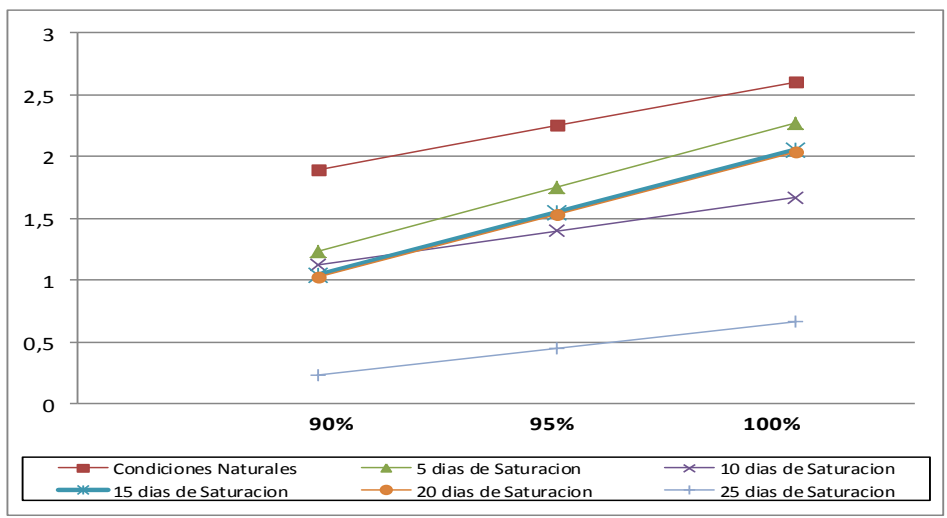
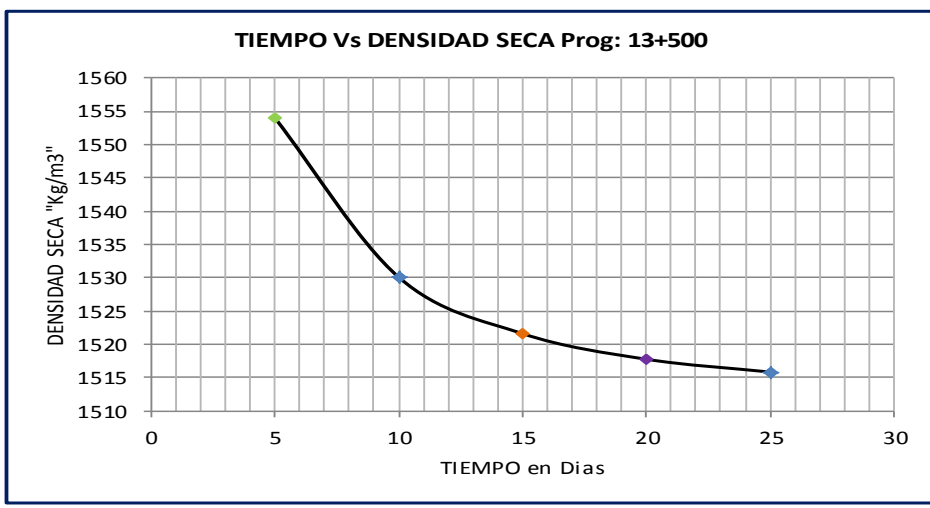
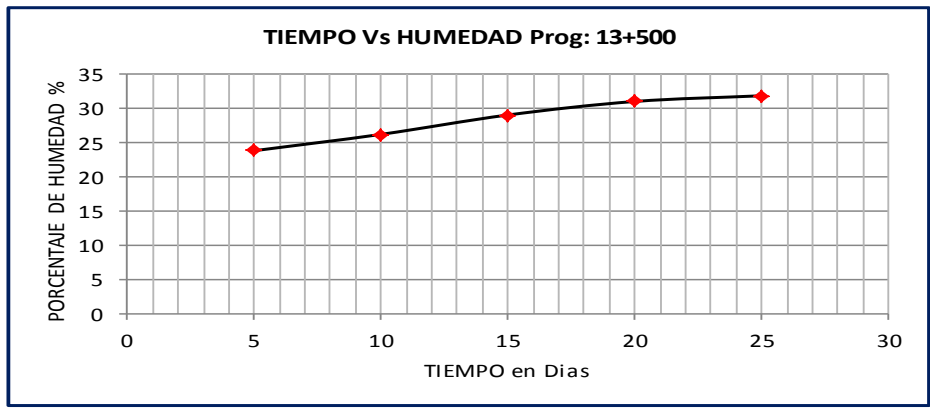
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-3  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva:12+500



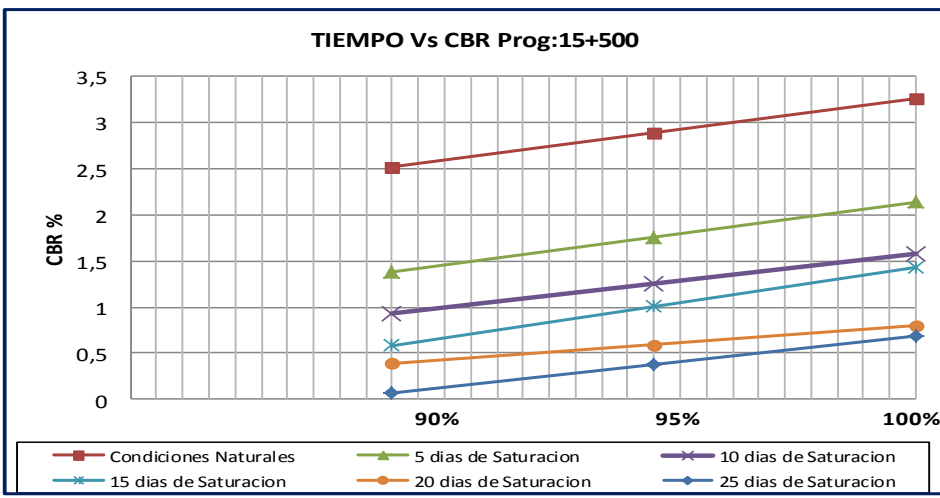
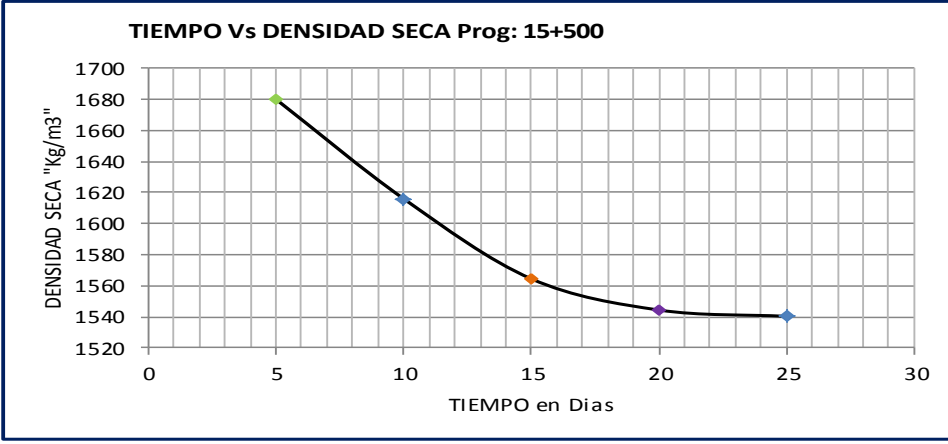
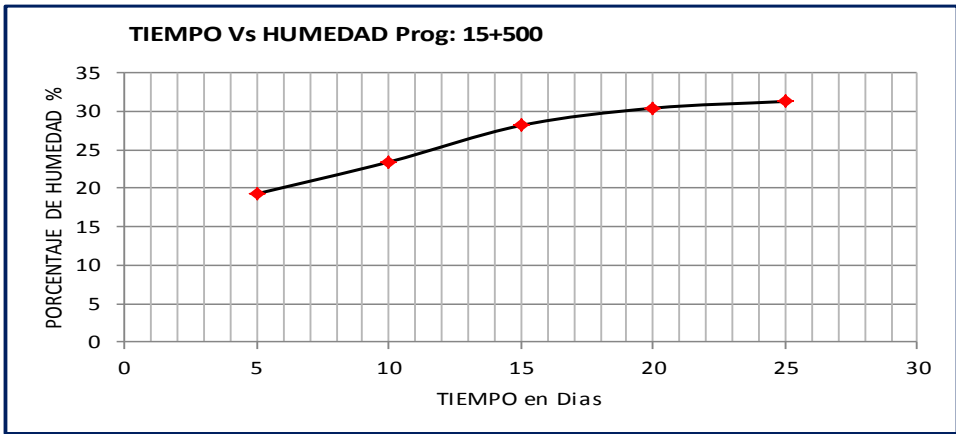
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-4  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva:13+500



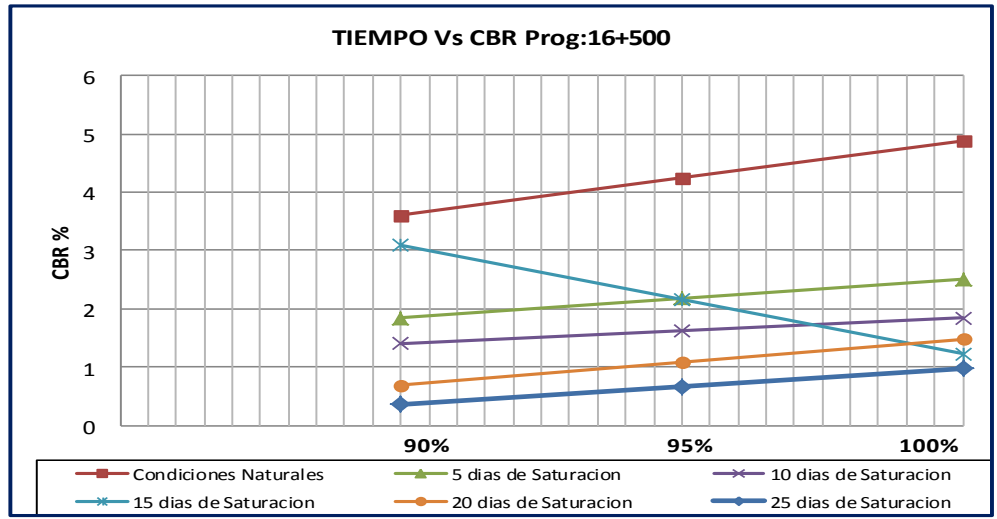
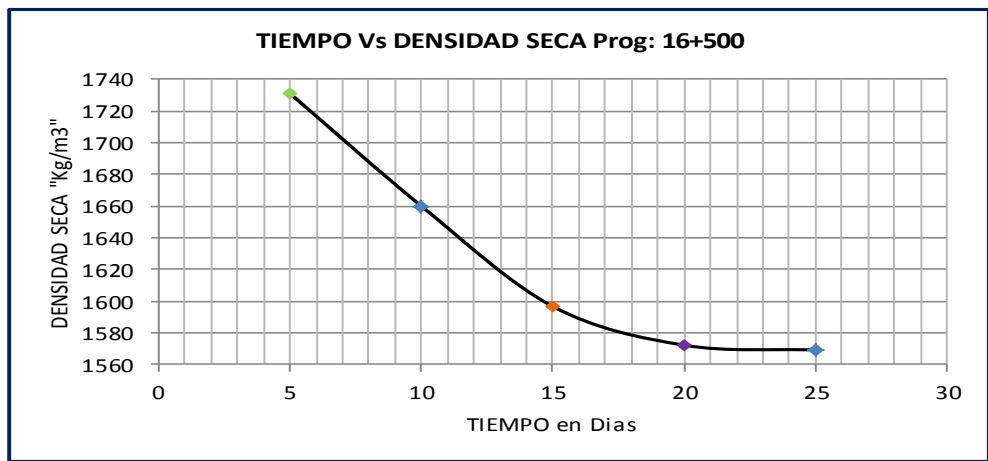
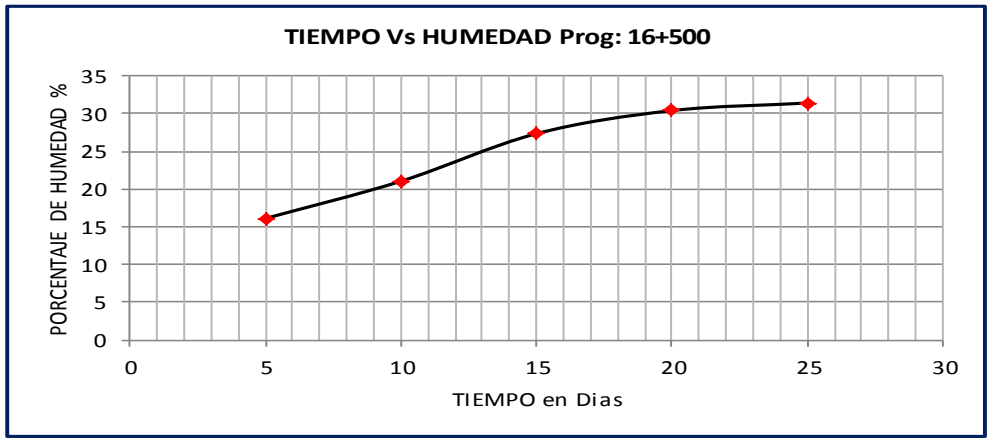
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-5  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva:15+500



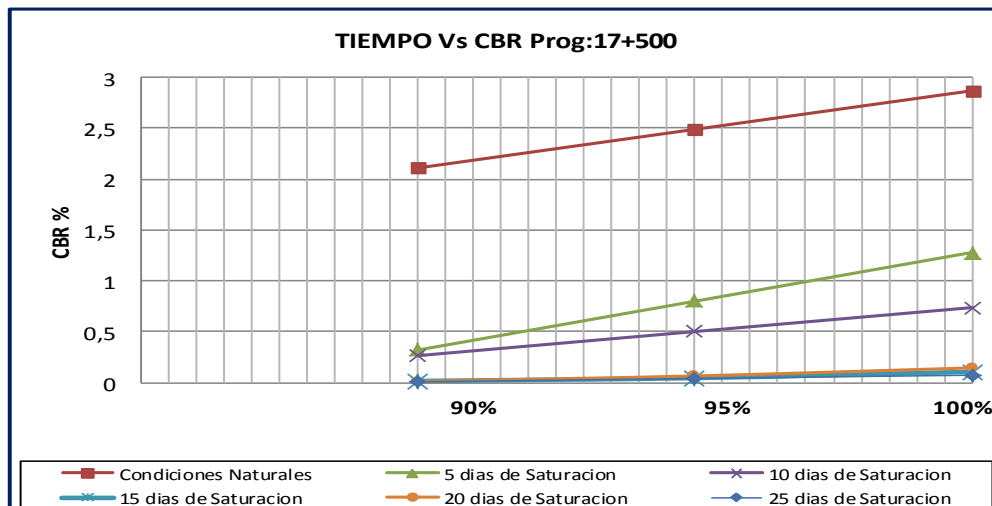
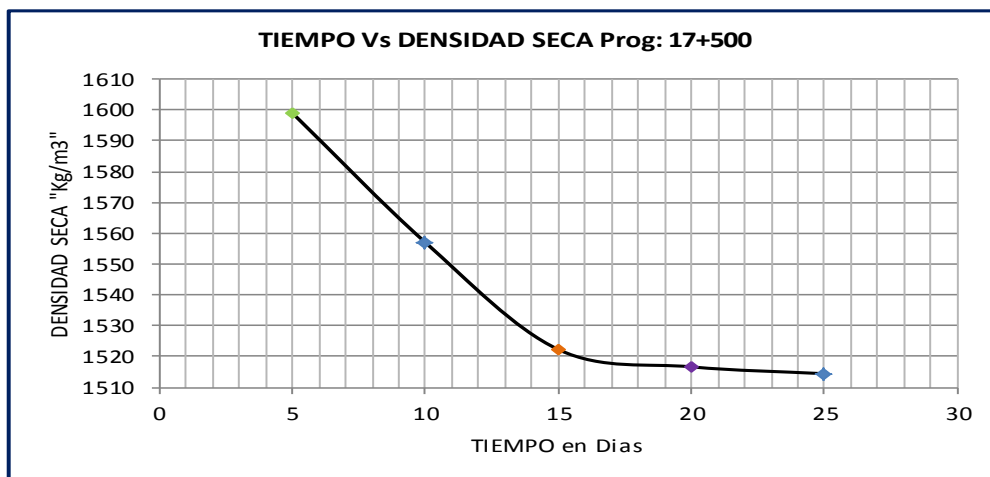
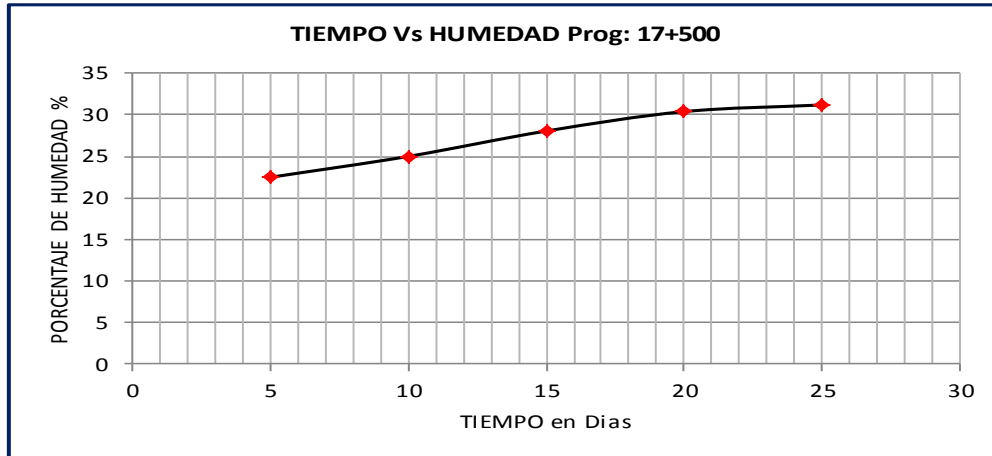
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-6  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva:16+500



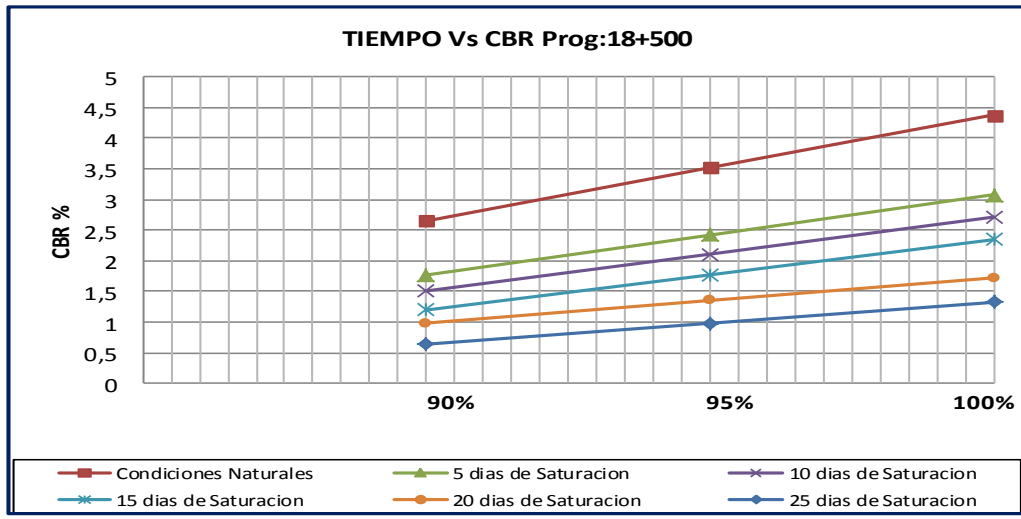
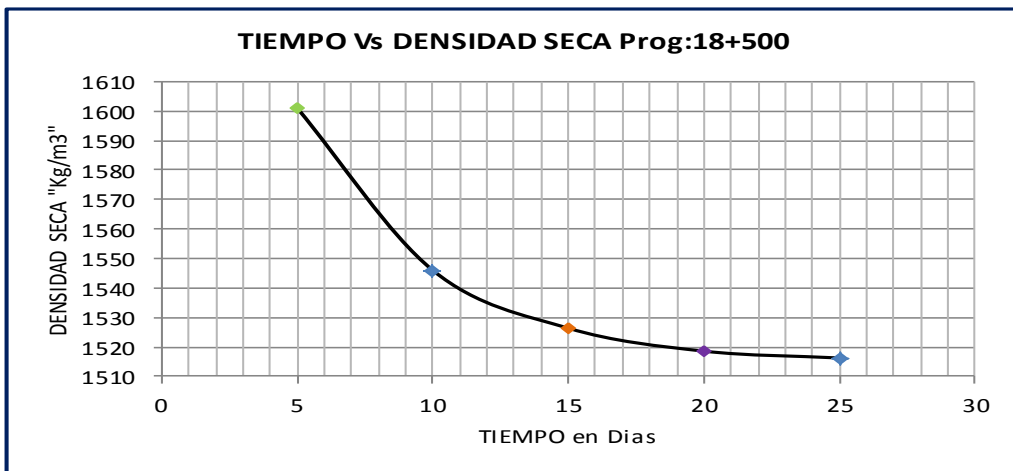
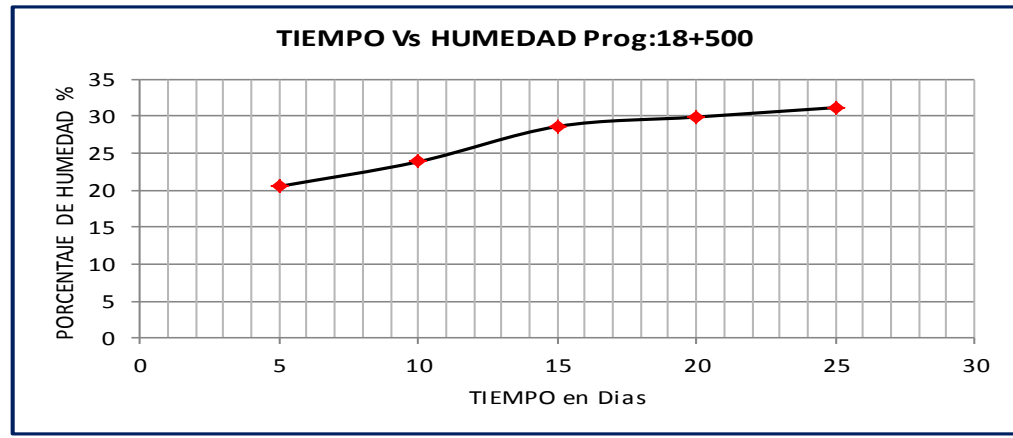
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-7  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva: 17+500



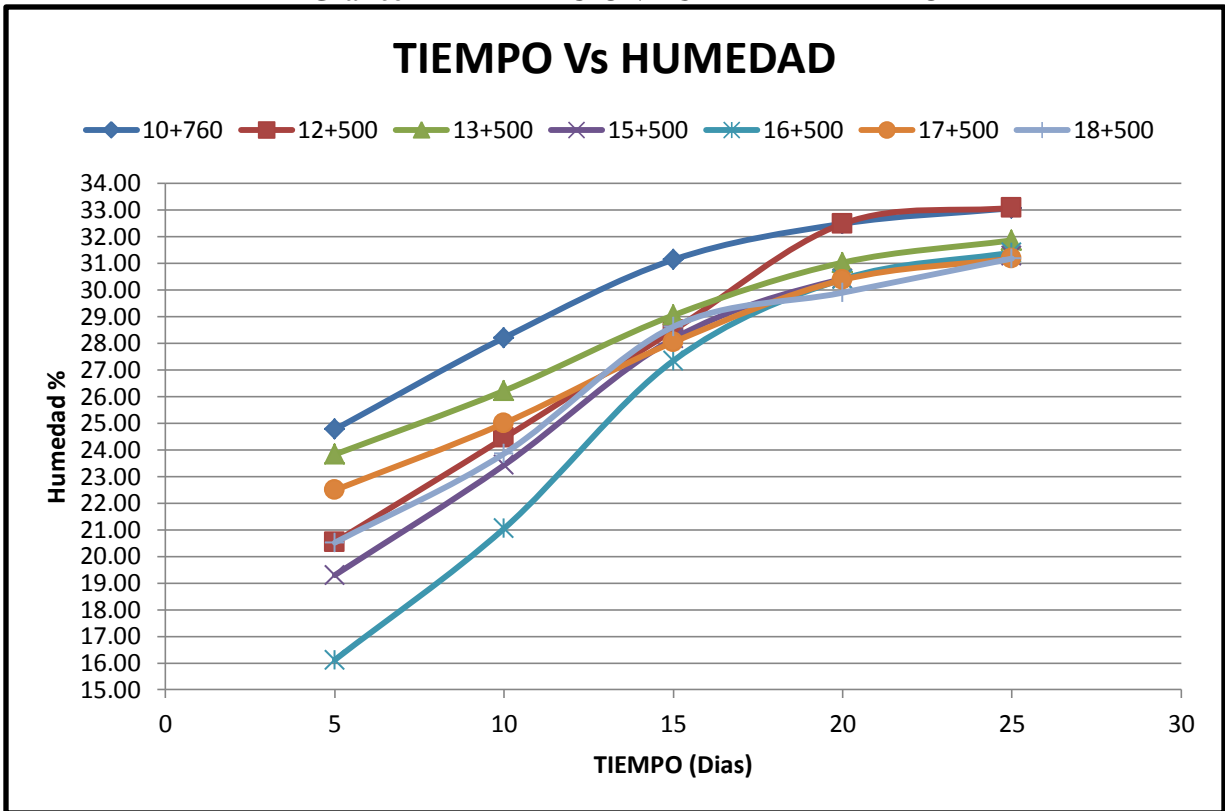
# VALORACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS EN CONDICIONES EXTREMAS

Grafico III-8  
Curvas Tiempo Vs Humedad Tiempo Vs Densidad Tiempo Vs CBR  
Progresiva: 18+500



### 3.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Grafico III-A RELACIÓN HUMEDAD- TIEMPO



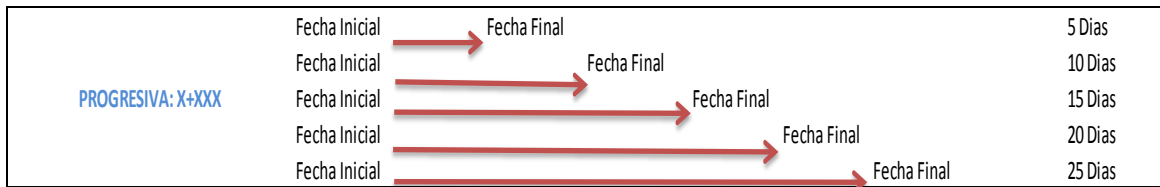
El análisis nos muestra que el comportamiento que sufre un suelo cuando este se encuentra saturado en periodos de tiempo diferentes, las reacciones y cambios que este sufre al ser afectado por el agua, además de valorar su comportamiento mecánico y físico realizando ensayos de laboratorio.

**Procedimiento:** Todas las muestras de las progresivas 10+760; 12+500; 13+500; 15+500; 16+500; 17+500; 18+500 fueron sometidas a las condiciones de investigación del presente proyecto.

**Condiciones de Investigación:** Todas las muestras de las progresivas ya indicadas se encontraran en proceso de saturación en su primera etapa por 5DIAS.

Una vez que las muestras saturan y absorban agua durante 5 días, se dejara escurrir las muestras para realizar los ensayos de CONTENIDO DE HUMEDAD y obtendremos una humedad en porcentaje para un periodo de 5 días para cada una de las muestras extraídas de cada una de las progresivas.

De forma paralela habrá otras muestras que también estarán en estado de saturación como explica el siguiente esquema y de esa forma tener muestras saturadas para 5-10-15-20 y 25 días.



Todas las sub-muestras de la Progresiva empezaran su saturación en una misma fecha y terminaran en fechas diferentes cumpliendo un tiempo de 5-10-15-20 y 25 Días.

Entonces para un periodo de 10 días de saturación, se realiza los ensayos de laboratorio de la sub-muestra y se obtiene los resultados. Se procede de la misma manera para los otros periodos de tiempo.

Claramente se puede notar en la gráfica que a medida que va pasando el tiempo de saturación, las muestras tienen un mayor porcentaje de humedad, esto se debe a que las partículas de la muestra van absorbiendo agua paulatinamente hasta llegar a un punto en que se encuentran completamente saturadas y ya no pueden absorber más agua, este punto se dio a los 25 días de estudio, y tal como refleja la curva el porcentaje de humedad de una muestra entre una saturación de 20 y 25 días varia en menos del 1%. Se puede rescatar que a medida que mayor es el tiempo de saturación de muestras, mayor será el porcentaje de absorción de la muestra hasta llegar a un punto de total saturación.

Cabe recalcar que las muestras estudiadas son de diferentes progresivas y la gráfica nos muestra que las curvas son de orden ascendente en función del tiempo para todas las progresivas.

Como valores mínimos de absorción de agua de la muestra de suelo tenemos:

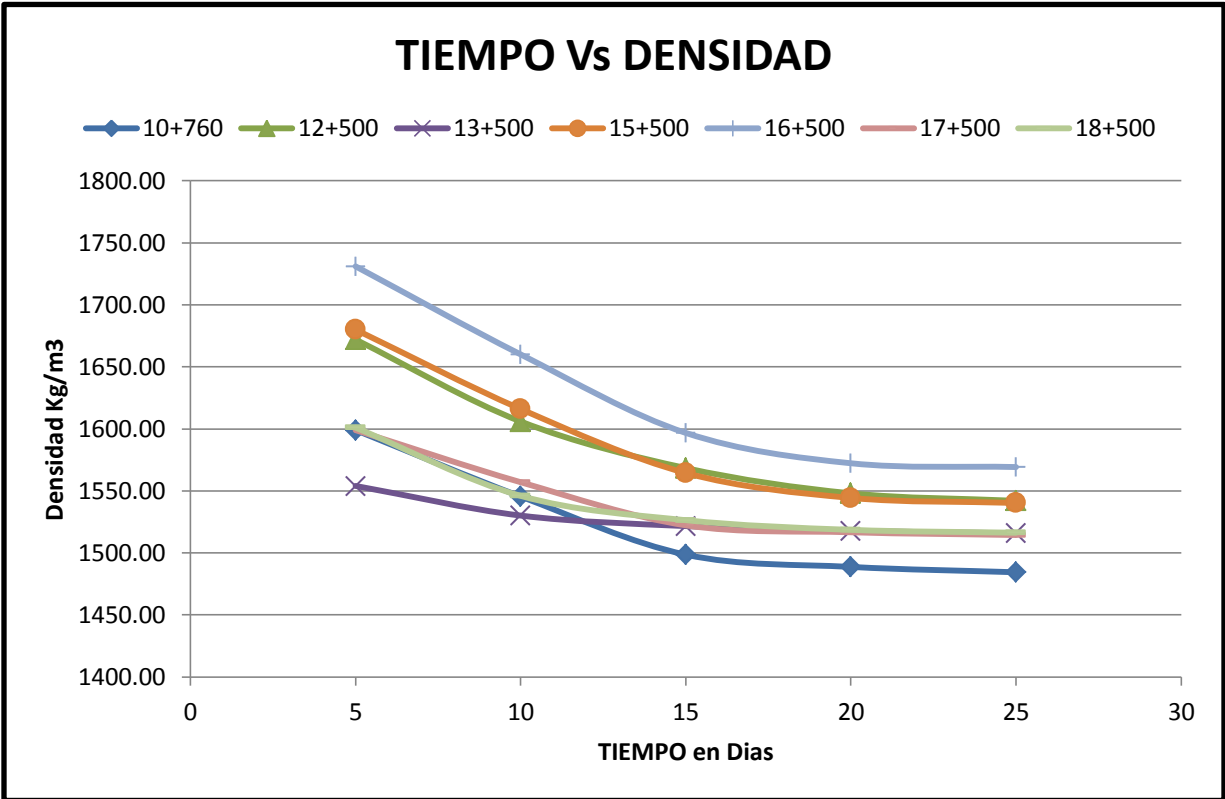
Ejm: La muestra de suelo de la Progresiva :10+760 a los 5 días de saturación, tiene un porcentaje de absorción de agua del 25%, tomaremos como valor medio el dato de una saturación a los 15 días, que en este caso tiene una absorción del 31%, y como valor máximo de absorción de agua será el valor obtenido después de una saturación de 25 días, que en este caso es del 33%.

La absorción de humedad de agua de la muestra entre el valor mínimo y el valor medio varía en un 6% y la variación de absorción de agua del valor medio y el valor máximo es menor al 2%.

PROGRESIVA	Valor mínimo De humedad	Valor medio De humedad	Valor máximo De humedad
10+760	5 días	15 días	25 días
	25%	31%	33%
		6% de variación	2% de variación

Las curvas tienen una misma tendencia pero al ser de progresivas diferentes estas no necesariamente tienen que ser paralelas entre ellas, debido a que cada suelo o muestra de suelo presentan diferentes características y diferente comportamiento, pero al ser suelos de roca meteorizada estos presentan la misma tendencia y sus características físicas y mecánicas no varían mucho entre ellas.

Grafico III-B RELACIÓN DENSIDAD - TIEMPO



**ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

La curva TIEMPO-DENSIDAD nos muestra los resultados de los ensayos que se realizaron a 7 muestras de suelos diferentes a lo largo de un tiempo de 30 días.

En la gráfica se puede observar que hay 7 curvas diferentes que van de forma descendente en función del tiempo. Una vez saturada la sub-muestra por el periodo de 5 días se realiza el ensayo de contenido de humedad y posteriormente el ensayo de PROCTOR T-180.

Las condiciones de la investigación nos indican que el ensayo PROCTOR T-180 se debe realizar a 5-10-15-20 y 25 días de saturación de muestra, entonces se explicara el resultado de las curvas después de realizar los ensayos en sus respectivos tiempos de saturación.

Se puede observar que después de los 5 días de saturación, la densidad de la muestra va disminuyendo, y a medida que pasa el tiempo la curva TIEMPO-DENSIDAD va tomando una forma descendente en función del tiempo, hasta llegar a un punto en que la curva va tomar forma lineal en función del tiempo, o en otras palabras, vamos a encontrar un punto en que la densidad de la muestra ya no va disminuir más y la humedad no va aumentar.

Esto se debe a que las partículas de la muestra a medida que pasa el tiempo estas absorben agua, afectando a la muestra de suelo y modificando sus condiciones físicas y mecánicas de inicio, el agua afectara las partículas del suelo y sufrirán un proceso de meteorización extrema al estar sometidas bajo efectos del agua y la intemperie, dando como resultado una disminución de la densidad del suelo.

Podemos notar que al realizar el ensayo del Proctor T-180 en condiciones naturales se tiene un valor de: para la progresiva 10+760: 1923 kg/m<sup>3</sup>. Al tener una saturación de 5 días este valor se reduce, obteniendo otro resultado Densidad: 1599 Kg/m<sup>3</sup>. Cuando la muestra tiene una saturación de 10 días tenemos el siguiente valor:

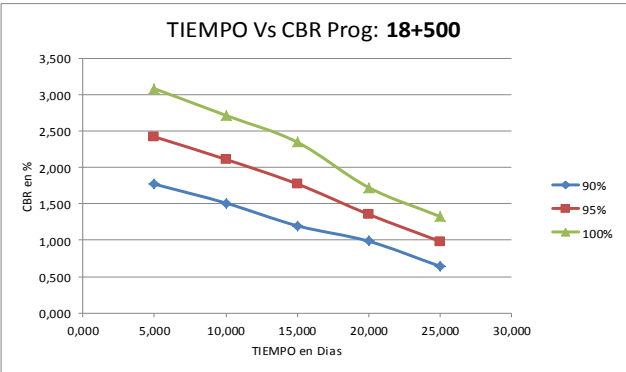
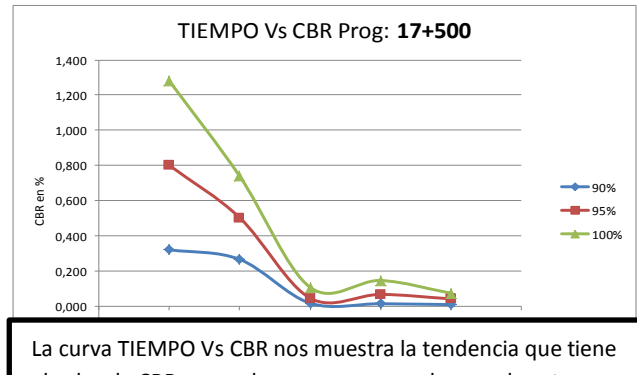
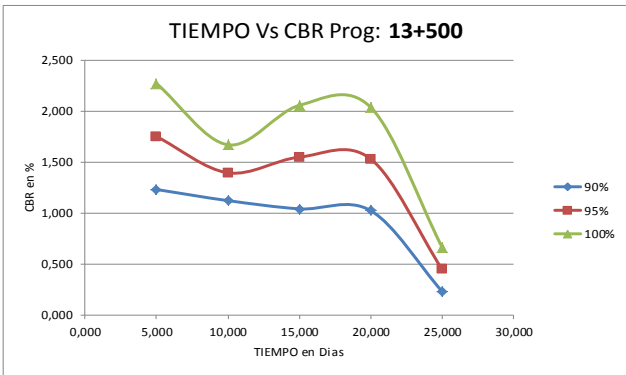
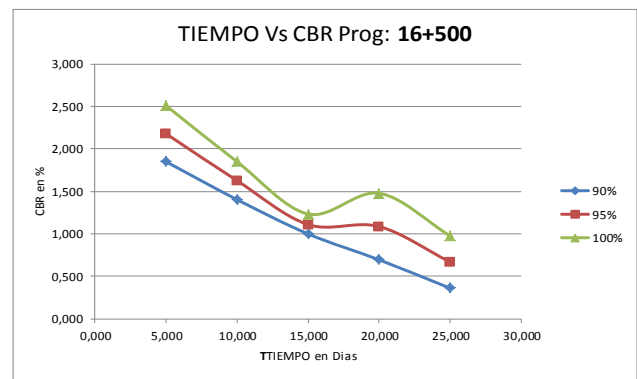
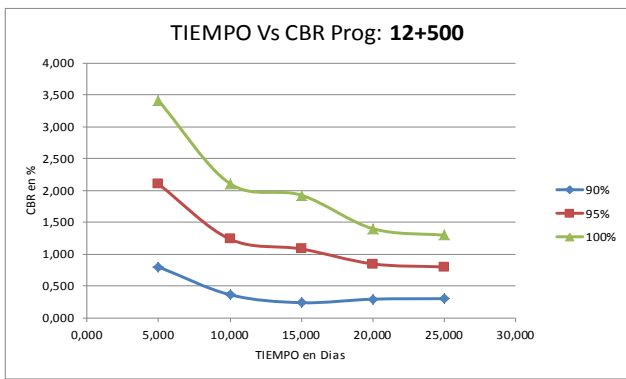
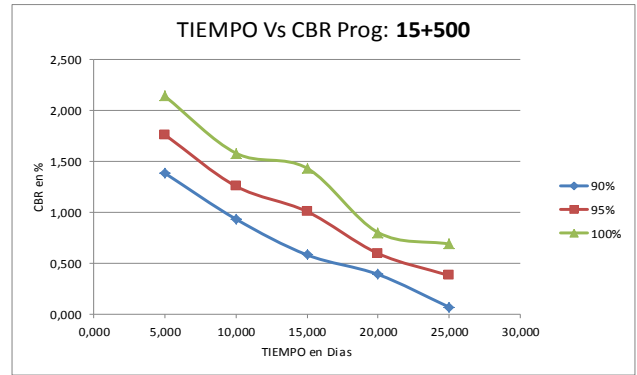
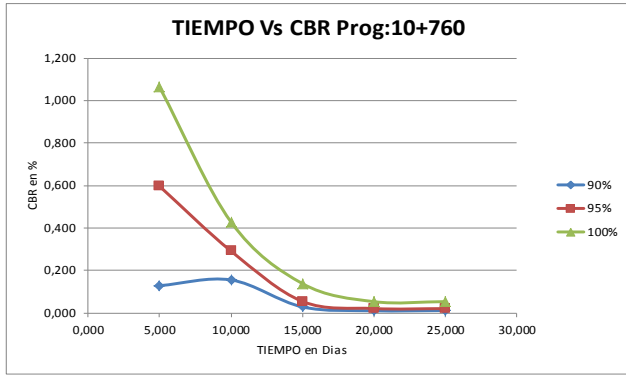
Dens: 1545 Kg/m<sup>3</sup>. A los 15 días de saturación se obtiene la siguiente

Dens: 1498 Kg/m<sup>3</sup>. Cuando el tiempo de saturación es el máximo de 25 días se obtiene la densidad: 1484 Kg/m<sup>3</sup>

PROGRESIVA	Valor máximo	Valor 2	Valor medio	Valor 3	Valor mínimo
10+760	Cond naturales	5 días de saturación	10 días de saturación	15 días de saturación	25 días de saturación
	1923 Kg/m <sup>3</sup>	1599 Kg/m <sup>3</sup>	1545 Kg/m <sup>3</sup>	1498 Kg/m <sup>3</sup>	1484 Kg/m <sup>3</sup>

La muestra de suelo va perdiendo resistencia a medida que pasa el tiempo en estado de saturación.

### Grafico III-C RELACIÓN TIEMPO Vs CBR



La curva TIEMPO Vs CBR nos muestra la tendencia que tiene el valor de CBR que se le ensaya a un suelo cuando este es saturado en diferentes periodos de tiempo, y claramente se puede observar que a medida que aumenta el tiempo de saturación, el valor de CBR va disminuyendo, es decir, la capacidad de soporte del suelo va disminuyendo cuando este es afectado por el agua, porque se trata de material tipo lutita. Las curvas nos muestran una tendencia de un descenso del CBR en función del tiempo de saturación cuando está se encuentra a una compactación del 90% 95% v 100% del PROCTOR.

### 3.5. Efecto en el diseño estructural

La solución para condiciones saturadas se aplica sólo a los tipos de pavimentos con estructuras de sub-rasantes de rocas meteorizadas. Esto último debido a que este tipo de pavimentos son los más afectados en el tiempo por la presencia continua de humedad o condiciones de saturación.

En las bases o sub-bases cementadas, las propiedades mecánicas no son susceptibles al agua. No obstante a lo anterior, todo pavimento expuesto a condiciones de saturación debería considerar un adecuado diseño de drenaje. La razón principal es la probabilidad de la presencia de una sobrecarga, lo que sumado a condiciones de saturación y problemas de variabilidad de la calidad constructiva, pueden producir fallas importantes en toda la sección estructural del pavimento.

El drenaje de un pavimento, para efectos del diseño estructural, es evaluado por medio del tiempo que demora una determinada estructura en drenar el agua libre a partir de un estado de humedad dado. El tiempo que una estructura de pavimento permanece con humedades cercanas a la saturación dependerá principalmente de los siguientes factores:

- ✚ Tipo de Material de **Subrasante**.
- ✚ Ancho de Base (ancho plataforma).
- ✚ Pendiente Transversal (bombeo).
- ✚ Existencia de Terraplén.
- ✚ Precipitación Media Anual.

Para los suelos que posean un CBR menor o igual a 3% de capacidad de soporte, se recomienda realizar algún tipo de mejoramiento que permita obtener una plataforma de apoyo para el pavimento con CBR mayor a 3%. Dependiendo del tipo de estructura, el mejoramiento propuesto por la guía es de una capa de espesor variable con propiedades de terraplén según Manual de Carreteras Volumen 5.

## **Presencia de agua en el terreno de fundación**

La presencia de agua en el terreno de fundación afecta:

- a) La capacidad de soporte del suelo
- b) El diseño de la fundación
- c) La materialización de la fundación

Dependiendo de la clasificación del suelo, afectará sus propiedades de diferentes formas, por ejemplo, en terrenos donde predomina la granulometría gruesa (ripio, arena gruesa), el comportamiento será el mismo como si fuese seco.

Cuando se está construyendo una obra sobre suelos parcialmente saturados, es preciso tener en cuenta que el proceso de saturación en sí mismo puede inducir efectos más importantes que si el suelo hubiera estado saturado desde antes de construir una cimentación. Como luego se verá, la saturación implica cambios de volumen del suelo, que en determinados casos pueden ser importantes. En estas condiciones, es más perjudicial que dichos cambios tengan lugar cuando la obra ya está construida y en servicio.

Los suelos granulares (gravas y arenas) apenas sufren cambios de volumen al saturarse. El problema se reduce a los suelos de grano fino como es nuestro caso, subrasantes de rocas meteorizadas.

### **3.5.1. Dimensionamiento en condiciones extremas**

Se puede decir que un pavimento pertenece a la categoría de “pavimento en zona de altura” cuando se encuentra ubicado por encima de los 3,500 msnm. Sin embargo, esta es una referencia altimétrica que de ninguna manera pretende ser limitativa, ya que el problema de un pavimento asociado a la altura está relacionado con una serie de factores hidro-meteorológicos que pueden darse a alturas menores o, caso contrario, pueden no darse a alturas mayores. Este criterio se fijó durante las investigaciones de campo llevadas a cabo para el proyecto de la Carretera Ilo-

Desaguadero (Bolivia), teniendo en consideración los datos climatológicos recopilados para diferentes alturas, y, como una manera de adecuar los criterios de diseño a lo largo de todo el tramo. La problemática de un pavimento en zona de altura está asociada directamente con los factores hidro-meteorológicos y escasez de materiales, que suelen producirse en tales regiones, y que afectan el normal desarrollo del proceso constructivo, la durabilidad y el comportamiento en servicio de las diversas capas que lo componen.

En este punto se realizara el diseño del pavimento que en nuestro caso se encuentra a una altura mayor a los 3500 msnm en la zona alta de la ciudad de Tarija del tramo Iscayachi- Final Copacabana, sabiendo que esta zona de altura está sujeta durante todo el año a dos estaciones marcadamente definidas, la estación lluviosa o verano y la estación fría o invierno. La estación de lluvias suele presentarse entre los meses de Noviembre hasta Abril, llegando a acumularse una precipitación media mensual entre 400 y 600 mm, en los meses de mayor incidencia. La precipitación media anual característica suele estar entre 500 y 1500 mm.

Entre los meses de Junio y Setiembre se produce la estación invernal o de “heladas”, en donde se producen temperaturas mínimas absolutas de hasta  $-20^{\circ}\text{C}$  por las madrugadas, mientras que durante el día la temperatura ambiente media se eleva hasta los  $20^{\circ}\text{C}$ ; el gradiente térmico, que es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja que se produce al interior de una capa asfáltica, en un determinado intervalo de tiempo, llega hasta los  $60^{\circ}\text{C}$  en 8 horas. La radiación solar en las zonas de altura tiene una intensidad 4 a 5 veces mayor que la correspondiente al litoral.

La presencia de depósitos de agua subterránea es característica de las zonas de altiplano o de las denominadas “pampas”, en donde, por falta de drenaje natural, los suelos suelen mantener acumulada importantes cantidades de agua durante todo el año.

## EJEMPLOS:

Fotografía III-36 Filtración de Agua en la Subrasante



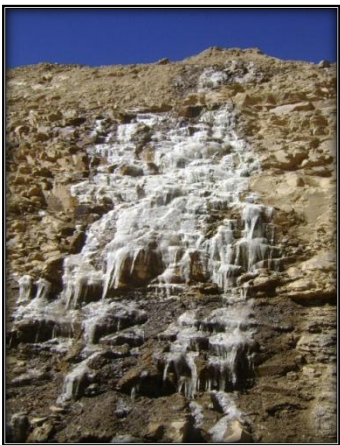
**Observaciones:** Eje de filtración de agua subterránea de la capa sub-rasante en la Progresiva: 15+600  
Profundidad de 60cm

Fotografía III-37 Agua congelada en talud Prog:12+800



**Observaciones:** Agua congelada en el talud de la progresiva: 12+800 debido a las bajas temperaturas de la zona.

Fotografía III-38 Deshielo en Talud



**Observaciones:** Agua congelada en el Talud de la progresiva 12+700 debido a las bajas temperaturas.

Fotografía III-39 Rocas Meteorizadas al pie del Talud



**Observaciones:** Muestra de suelo al pie del talud totalmente meteorizada debido al escurrimiento de agua por el deshielo del talud y cambios extremos de temperatura de la Progresiva: 14+200

Fotografía III-40 Filtración de Agua por el Talud



**Observaciones:**  
filtración de agua del talud (construcción de alcantarilla. Prog: 7+300)



**Observaciones:**  
Fotografía ampliada del talud para una mejor observación de la filtración de agua. Prog: 7+300

### 3.5.2 DISEÑO DE PAVIMENTO

#### DATOS:

#### DATOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ISCAYACHI - FINAL COPACABANA.

Los materiales a ser empleados en la sub-base deben presentar un Índice de Soporte de California (CBR) igual o mayor a 60% y una expansión máxima de 1% determinados con la energía de compactación de la AASHTO T-180 D.

El índice de Soporte de California para base no deberá ser inferior a 80% y la expansión máxima será de 0.5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180.

#### Los índices de destrucción son los siguientes:

*Índice de serviciabilidad inicial 4,2*

*Índice de serviciabilidad final 2,5*

*Periodo de vida útil: 20 años*

*Nivel de Confianza R compuesto, o sea,  $0.80 \times 0.5$  que da un valor final de 89.44%.*

*Desviación Estándar Para el proyecto en este caso el valor recomendado es de -0.49.  
-1,282*

#### **FACTORES DE TRANSITO**

*Factor Camión: 0,69*

*Fd:50%*

*Fc:1*

*Factor de crecimiento: 24,3*

*Tasa de crecimiento:2%*

*TPD:586(trafico para el 2030)*

*Transito de Diseño : 18 Kips*

*Esals:  $10 \times 10 \exp 6$*

Para realizar el diseño de pavimento flexible en el tramo Iscayachi- Final Copacabana, primeramente obtendremos los datos de entrada o las condiciones de diseño establecidas por el DBC del Proyecto.

Como se trata de una carretera con baja intensidad de tránsito se establece un periodo de diseño de 20 años

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño en Años
Urbana de Tránsito Elevado	30-50
Interurbana de Tránsito Elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de Tránsito	15-25
De baja intensidad de tránsito, Pavimentación con grava	10 - 20

El índice de destrucción o deterioro la norma establece que para pavimentos flexibles se debe tomar  $P_o=4,2$   $P_f=2,5$

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy Buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

para una tasa de crecimiento del 2% anual y un periodo de diseño de 20 años se tiene un factor de crecimiento de:  $FC=24,30$

Periodo de diseño, años (n)	Tasa de crecimiento anual, g en porcentaje								
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10	
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31	
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64	
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11	
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72	
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49	
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44	
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58	
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94	
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53	
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38	
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52	
14	14.0	15.97	18.29	19.18	21.01	22.55	24.21	27.97	
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77	
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95	
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55	
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60	
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16	
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28	
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35	
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49	
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02	

### Factor De Distribución Por Carril.

La carretera en construcción presenta un carril por sentido, como valor se toma 100

Nro de carriles en cada Dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 Kips en el carril de diseño (Fe)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o mas	50 - 75

### Valores Del Nivel De Confianza R De Acuerdo Al Tipo De Camino.

Se tomara una confiabilidad en función de la carretera, para el diseño de toma una confiabilidad de 90%.

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y Autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales/ carretera de 1er orden	80 – 99	75 – 99
Colectoras/ carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Locales/ caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

### FACTORES DE DESVIACION NORMAL

El factor de desviación normal estará en función de la confiabilidad, en nuestro caso se toma una desviación

normal de:  $Z_r = -1,28$

Confiabilidad (R%)	Desviación Normal
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751

97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Para los valores de la desviación estándar se obtuvo el dato de la siguiente tabla: sabiendo que el diseño es para un pavimento flexible con Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito

Condición de Diseño	Desvío Standard
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34 (Pav. Rígidos)
	0,44 (Pav. Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,39 (Pav. Rígidos)
	0,49 (Pav. Flexibles)

### Capacidad del Drenaje

La capacidad de drenaje para nuestra investigación, trabajara como un suelo saturado de agua con calidad de drenaje pobre, y como nuestro estudio fue de alrededor de un mes, se tomara el siguiente valor:

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

### Coefficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles.

Los resultados de humedad que se tomaron de todas las muestras saturadas de todas las progresivas fueron mayor a 25% de saturación después de someterlas al agua durante un mes, con calidad de drenaje pobre, por lo tanto se tomara el valor de:

### Coefficientes de drenaje para pavimentos Flexibles

Calidad de Drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles			
	< 1% m <sub>2</sub> ,m <sub>3</sub>	1 – 5% m <sub>2</sub> ,m <sub>3</sub>	5 – 25% m <sub>2</sub> ,m <sub>3</sub>	>25% m <sub>2</sub> ,m <sub>3</sub>
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

$m_1 = m_3 = 0,6$

#### Valor del Coeficiente Estructural Capa de Rodadura-Concreto Asfáltico.

El índice de Soporte de California para Capa de rodadura deberá ser mínimo 60%

Valor C.B.R. (%)	a1
10	0,33
20	0,36
30	0,39
40	0,41
50	0,43
> 60	0,45

#### Valor del Coeficiente Estructural para Base Granular

El índice de Soporte de California para base no deberá ser inferior a 80%

Valor C.B.R. (%)	a2
40	0,11
50	0,12
60	0,12
70	0,13
80	0,13
90	0,14
100	0,14

#### Valor del Coeficiente Estructural para Sub-base Granular

Los materiales a ser empleados en la sub-base deben presentar un Índice de Soporte de California (CBR) igual o mayor a 60%

Valor C.B.R. (%)	a3
10	0,08
20	0,09
30	0,11
40	0,12
50	0,12
60	0,13

## Diseño del Paquete Estructural de la Progresiva:10+760 en condiciones Naturales

Para realizar el diseño del Paquete estructural, se usó la Norma de la ASSHTO 93, también se da a conocer que los datos para realizar el diseño del paquete estructural fueron adquiridos de la empresa VIAL COPACABANA.

### Datos:

ESAL's (ejes equiv. 8.2t):	10000000
Serviciabilidad Inicial (pi):	4,2
Serviciabilidad Final (pt):	2,5
Confiabilidad ( R):	90%
Desviación Estándar Total (So):	0,49
Coefficiente de Drenaje (Cd):	0,6
Desviación Estándar Normal (Zr):	-1,282
CBR SUBRASANTE al 90%:	2,26
a1:	0,45
a2:	0,13
a3:	0,13

**Mr: 1500\*CBR Subrasante%(Psi)**

$$Mr=1500*2,26= 3390Psi$$

$$Mr=3390 \text{ Psi.}$$

### Indice de Serviabilidad

$$\Delta PSI = po - pt$$

donde:

*PSI* = Índice de Servicio Presente

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

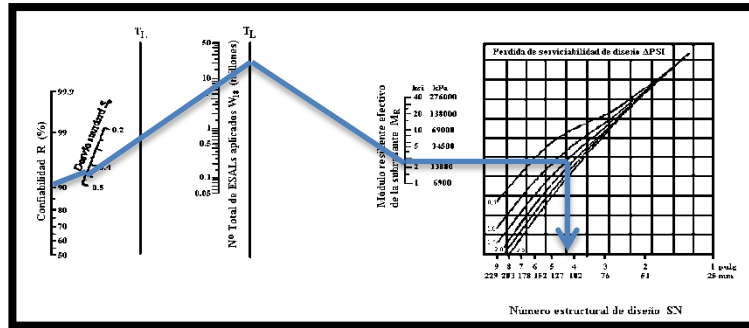
*po* = Índice de servicio inicial

*pt* = Índice de servicio final

$$\Delta PSI = 4,2 - 2,5$$

$$\Delta PSI = 1,7$$

Con los valores ya obtenidos se entra al ábaco y encontramos el número estructural.



SN=4,3

Calculo de espesores.

$$SN = a_1 * e_1 + a_2 * m_2 * e_2 + a_3 * m_3 * e_3$$

Tenemos una relación fija de  $e_3/e_2=3/2$

$$e_3=1,5*e_2$$

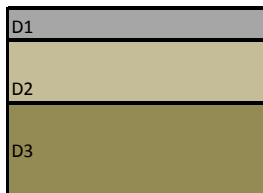
Si damos un valor numérico a la capa de rodadura que por norma puede ser 5-6 o 7 cm, adoptamos  $e_1=5\text{cm}$ .

$$SN=0,45*5+0,13*0,6*e_2+0,13*0,6*1,5*e_2$$

$$e_2= 10,51 \text{ pulg}$$

$$e_3=1,5*10,51 \longrightarrow e_3=15,77\text{pulg}$$

PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>72</b>
10,51	26,2820513	27	
15,77	39,4230769	40	

Tenemos valores de datos que se obtuvo del DBC del Proyecto y valores de datos que se obtuvo a razón de meses de estudio de aforos vehiculares, estudio de suelos y alternativas de diseño de Pavimento Flexible de la Carretera Iscayachi-Final Copacabana. Estos últimos se obtuvo de la Empresa Vial Copacabana.

Se hace notar que todos los valores para realizar el diseño son fijos, el único valor que cambia es el valor de la Subrasante de cada Progresiva, ya que esta fue sometida a distintos días de saturación y al realizar los ensayos de CBR cambia su valor soporte. En este caso se diseñara el Paquete Estructural de Pavimento Flexible de cada progresiva y a distintos días de saturación de muestra.

Por lo tanto se seguirá el mismo procedimiento de Diseño de Pavimentos para las muestras de las Progresivas restantes y se mostrara y explicara los resultados.

#### **3.5.2.1 RESUMEN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS POR PROGRESIVAS Y POR CONDICIONES DE SATURACION**

A continuación se muestra un resumen de espesores del diseño del paquete estructural cuando la subrasante de roca lutita trabaja de forma saturada para diferentes periodos de tiempo.

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG: 10+760

## PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>72</b>
10,51	26,2820513	27	
15,77	39,4230769	40	

## PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 a 10 días de Saturación de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 a 15 días de Saturación de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 a 20 días de Saturación de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL



CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 10+760 a 25 días de Saturación de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG:12+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>52</b>
7,44	18,5897436	19	
11,15	27,8846154	28	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>88</b>
13,08	32,6923077	33	
19,62	49,0384615	50	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>97</b>
14,62	36,5384615	37	
21,92	54,8076923	55	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 12+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>100</b>
15,13	37,8205128	38	
22,69	56,7307692	57	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG:13+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>62</b>
8,97	22,4358974	23	
13,46	33,6538462	34	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>68</b>
10,00	25	25	
15,00	37,5	38	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>72</b>
10,51	26,2820513	27	
15,77	39,4230769	40	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>75</b>
11,03	27,5641026	28	
16,54	41,3461538	42	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>78</b>
11,54	28,8461538	29	
17,31	43,2692308	44	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

## Diseño de Pavimento Flexible Prog: 13+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>82</b>
12,05	30,1282051	31	
18,08	45,1923077	46	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG: 15+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>49</b>
6,92	17,3076923	18	
10,38	25,9615385	26	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>52</b>
7,44	18,5897436	19	
11,15	27,8846154	28	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>68</b>
10,00	25	25	
15,00	37,5	38	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>72</b>
10,51	26,2820513	27	
15,77	39,4230769	40	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>75</b>
11,03	27,5641026	28	
16,54	41,3461538	42	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA  
BASE ESTRUCTURAL  
SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 15+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>97</b>
14,62	36,5384615	37	
21,92	54,8076923	55	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG: 16+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>47</b>
6,41	16,025641	17	
9,62	24,0384615	25	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>55</b>
7,95	19,8717949	20	
11,92	29,8076923	30	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>68</b>
10,00	25	25	
15,00	37,5	38	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>88</b>
13,08	32,6923077	33	
19,62	49,0384615	50	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>97</b>
14,62	36,5384615	37	
21,92	54,8076923	55	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG: 17+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 16+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>47</b>
6,41	16,025641	17	
9,62	24,0384615	25	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>90</b>
13,59	33,974359	34	
20,38	50,9615385	51	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>94</b>
14,10	35,2564103	36	
21,15	52,8846154	53	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>104</b>
15,64	39,1025641	40	
23,46	58,6538462	59	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>107</b>
16,15	40,3846154	41	
24,23	60,5769231	61	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>110</b>
16,67	41,6666667	42	
25,00	62,5	63	

# DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE PROG: 18+500

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 en Condiciones Naturales

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>47</b>
6,41	16,025641	17	
9,62	24,0384615	25	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 a 5 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>62</b>
8,97	22,4358974	23	
13,46	33,6538462	34	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 a 10 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>65</b>
9,49	23,7179487	24	
14,23	35,5769231	36	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 a 15 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>72</b>
10,51	26,2820513	27	
15,77	39,4230769	40	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 a 20 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>88</b>
13,08	32,6923077	33	
19,62	49,0384615	50	

## PAQUETE ESTRUCTURAL

D1
D2
D3

CAPA DE RODADURA

BASE ESTRUCTURAL

SUB-BASE ESTRUCTURAL

### Diseño de Pavimento Flexible Prog: 18+500 a 25 días de Saturacion de muestra

Espesor Pulg	Espesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
2	5	5	<b>100</b>
15,13	37,8205128	38	
22,69	56,7307692	57	

### 3.5.3 Diseño final de pavimento

## DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:10+760</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	27	36	34	36	36	36
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	40	53	51	53	53	53
ESPESOR CARPETA cm	<b>72</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:12+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	19	33	36	36	37	38
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	28	50	53	53	55	57
ESPESOR CARPETA cm	<b>52</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>97</b>	<b>100</b>

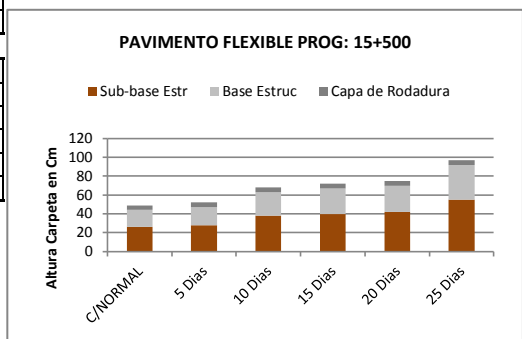
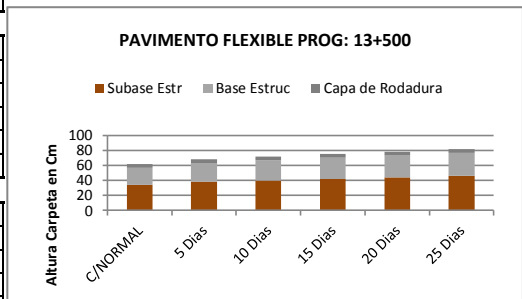
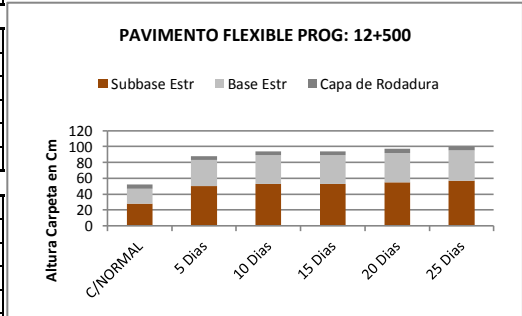
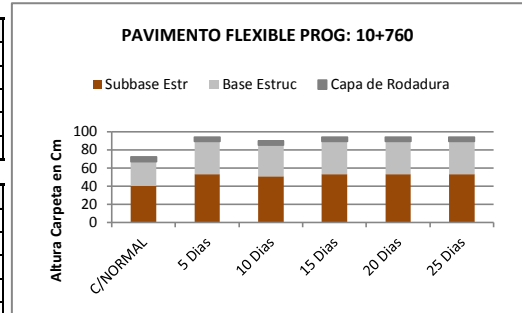
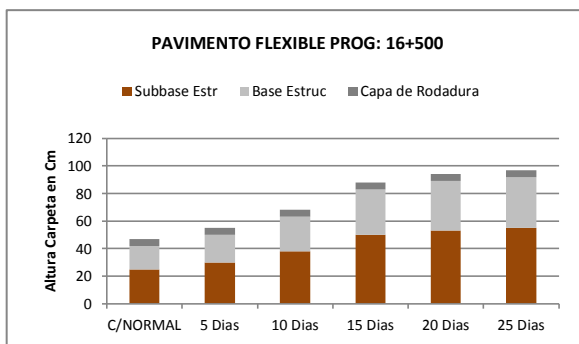
DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:13+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	23	25	27	28	29	31
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	34	38	40	42	44	46
ESPESOR CARPETA cm	<b>62</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>82</b>

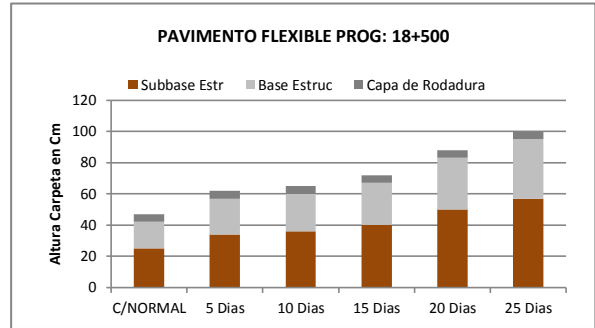
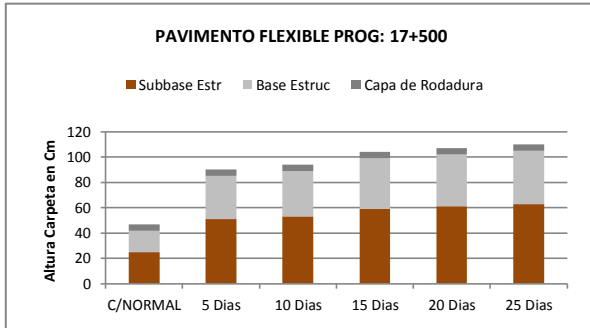
DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:15+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	18	19	25	27	28	37
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	26	28	38	40	42	55
ESPESOR CARPETA cm	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>75</b>	<b>97</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:16+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	20	25	33	36	37
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	30	38	50	53	55
ESPESOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>55</b>	<b>68</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>97</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:17+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	34	36	40	41	42
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	51	53	59	61	63
ESPESOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>104</b>	<b>107</b>	<b>110</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:18+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	23	24	27	33	38
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	34	36	40	50	57
ESPESOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>62</b>	<b>65</b>	<b>72</b>	<b>88</b>	<b>100</b>





Como se puede observar en los resultados y en las gráficas, los primeros diseños de la carpeta de pavimento flexible que se realizó con CBR de muestras en estado natural, tienen un espesor de diseño menor en relación a los posteriores diseños de pavimento flexible.

Al estar una muestra saturada en 5 días y realizar los ensayos de laboratorio, esta muestra pierde sus características iniciales de resistencia al corte, resistencia portante, contenido de humedad, textura, color, disminuye el tamaño de partículas debido a la meteorización, y aún más cuando se la somete a mayores tiempos de saturación.

Después de realizar los ensayos de laboratorio de CBR se obtuvo los resultados ya mencionados con anterioridad y se realizó un *posible diseño* del paquete estructural con cada uno de los CBR obtenidos de las saturaciones a distintos días de cada progresiva del tramo Iscayachi-Final Copacabana.

Recalcando que al estar la muestra en estado de saturación, la misma disminuirá considerablemente sus CBR, y es con esos CBR con los que vamos a realizar un *posible diseño* del paquete estructural.

Como respuesta al *posible diseño* de pavimento flexible se tiene que a medida que más tiempo de saturación se encuentra la muestra, mayor será el espesor de diseño del pavimento flexible, esto se debe a que la muestra está totalmente meteorizada y es un suelo malo para la fundación y a consecuencia los espesores de las capas de

SUBBASE Y BASE serán de mayores dimensiones para garantizar la estabilidad del pavimento.

### **ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL**

Haciendo un análisis del diseño del paquete estructural de la progresiva 18+500 se explicara lo siguiente:

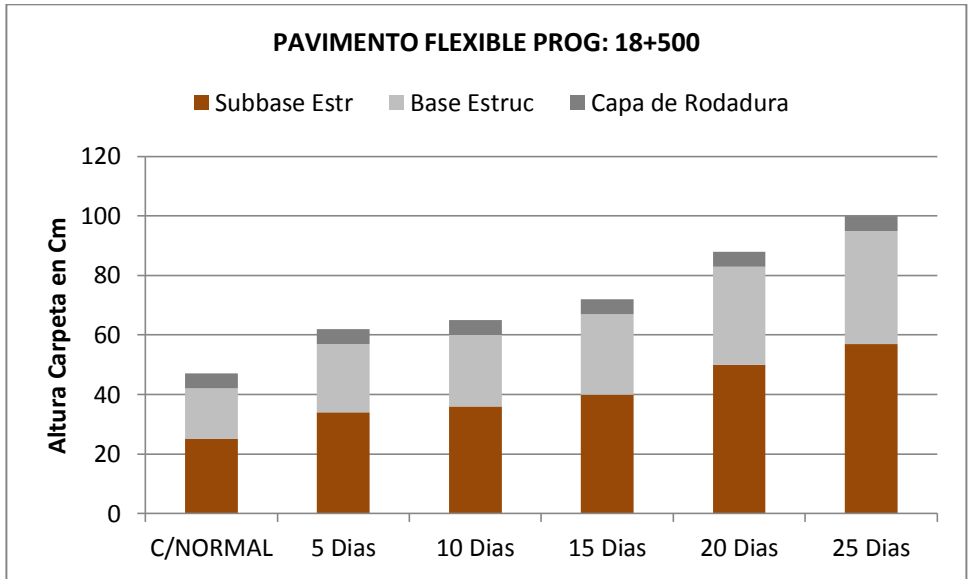
Comúnmente todas las obras de ingeniería civil se las ejecuta con las condiciones más óptimas, o sea primeramente se realiza los ensayos de laboratorio y se las diseña con el contenido de humedad optima y su densidad máxima, si el suelo es inestable o no cumple con las condiciones necesarias para la construcción de cualquier obra civil, se le deberá realizar un mejoramiento de material como ser, una estabilización de suelos o un cambio de material, en nuestro caso se realizara el diseño del paquete estructural con las condiciones más deficientes y no con las condiciones óptimas.

Se realizara el diseño del paquete estructural con las condiciones más deficientes debido a que se trata de subrasantes de rocas meteorizadas, ya que se asume que estas serán afectadas por la ascensión capilar del agua, la ascensión del nivel de las aguas freáticas, la infiltración de las aguas superficiales debido a las precipitaciones y la falta de drenaje, también se tomara en cuenta al congelamiento de la subrasante de roca meteorizada, y los cambios bruscos de temperatura, provocando meteorización de la clase termoclastia, gelifracción, descompresión, hidratación.

Si se diseña el paquete estructural con las condiciones óptimas del suelo que es el material natural y al ser afectado en el tiempo por todos los agentes ya mencionados, la subrasante se verá afectada y las fallas que se produzcan en esta, se reflejaran en la capa de rodadura, produciendo fallas y deterioro del pavimento, ocasionando grandes pérdidas económicas.

Es por esta razón que para evitar el deterioro y las fallas en el pavimento, este se lo diseñara con las condiciones más deficientes, de esta forma se garantizara la estabilidad y serviciabilidad del paquete estructural.

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:18+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
<b>CAPA DE RODADURA cm</b>	5	5	5	5	5	5
<b>BASE ESTRUCTURAL cm</b>	17	23	24	27	33	38
<b>SUB-BASE ESTRUCTURAL cm</b>	25	34	36	40	50	57
<b>ESPESOR CARPETA cm</b>	<b>47</b>	<b>62</b>	<b>65</b>	<b>72</b>	<b>88</b>	<b>100</b>



Si se realiza el diseño del paquete estructural en condiciones naturales (sin estabilizaciones ni mejoramiento de suelos), el espesor total del mismo será de 47cm.

Si la subrasante tiene una saturación de 5 días, para garantizar la estabilización de la misma, el diseño debería ser de un espesor total de 62cm.

Si la subrasante tiene una saturación de 10 días debido a la afectación de los agentes atmosféricos, para garantizar su estabilidad del paquete estructural, este deberá tener una dimensión de 65cm.

Si la subrasante tiene una saturación de 25 días, para garantizar la estabilización del paquete estructural, este deberá tener una dimensión de 100cm.

También se puede observar que el diseño de pavimento para cada progresiva a 25 días de saturación, nos da como resultado distintos espesores, esto es debido a que las muestras al ser de rocas meteorizadas no presentan las mismas características a lo largo del tramo en estudio.

Por uniformidad de dimensionamiento de paquete estructural y fuera del costo económico, se tomara como base el diseño de la progresiva 17+500 a 25 días de saturación, un paquete estructural de:

PAQUETE ESTRUCTURAL

		Diseño de Pavimento Flexible Prog: 17+500 a 25 días de Saturación de muestra			
		Esesor Pulg	Esesor Cm	Diseño cm	Total Carpeta en cm
D1	CAPA DE RODADURA	2	5	5	<b>110</b>
D2	BASE ESTRUCTURAL	16,67	41,66666667	42	
D3	SUB-BASE ESTRUCTURAL	25,00	62,5	63	

Estas dimensiones serán aplicadas a lo largo de todo el tramo de estudio, ya que es el suelo que tiene las mínimas condiciones de estabilidad.

Todo el diseño del paquete estructural realizado para cada una de las progresivas a diferentes tiempos de saturación, solamente es una simulación de un posible diseño del paquete estructural en caso de que no se realizara ninguna clase de tratamiento a la subrasante, ya que ejecutar un diseño de paquete estructural de una dimensión 110cm tendría un costo muy fuerte y no sería factible ni recomendable para su construcción debido a que hay otras opciones más viables para realizar este diseño.

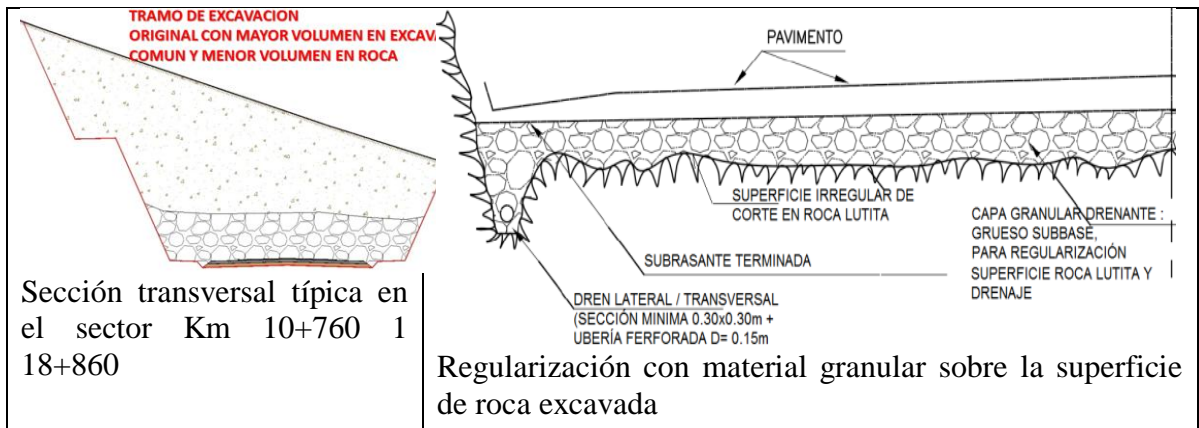
### 3.6 CRITERIOS DE DISEÑO DE DRENAJE SUBTERRANEO Y CAPA DRENANTE

#### Drenes laterales y transversales para la descarga o salida del agua tramo Iscayachi- final Copacabana Prog:10+760 a Prog:18+860

Para la capa drenante, complementariamente se disponen de dos zanjas laterales de sección mínima 030x0.30m dispuestos a los costados de la capa drenante y con tuberías perforadas laterales de 15cm de diámetro. Por la constitución de zanja excavada en roca, la envoltura del material drenante de relleno de la zanja y tubería, no precisa de la envoltura de geo textil. Longitudinalmente, por la configuración del perfil de la carretera, y la irregularidad de la superficie roca excavada, el agua

infiltrada no siempre tendrá la opción de llegar en zanja lateral, sino que se tendrá también escurrimiento longitudinalmente por la plataforma, por lo que es necesario dispones de zanjas transversales de sección mínima 0.30x0.30m con tubería perforada D=15cm dispuestos cada 200m o junto a las alcantarillas que hubiera, esto para forzar la descarga o desfogue del flujo de agua en la capa drenante.

Figura III-1 Sección transversal típica en el sector Km 10+760 a 18+860



**LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO (25 SUBBASE, 17 BASE Y 5 CARPETA ASFÁLTICA) SE MANTIENE INALTERABLE. Prog 17+500**

Por lo tanto, sosteniendo un criterio conservador del control de riesgos, se sugiere disponer de una estructura de pavimento y material de regularización (subrasante y capa drenante) con altura próxima a 1 m de altura sobre la roca lutita, compuesto de las siguientes capas:

- i. Una capa de 30 cm de material granular dispuesto directamente sobre la superficie de la roca excavada, que además de regularización cumplirá la función de capa drenante.
- ii. Sobre la capa drenante se debe disponer de un manto GEOTEXTIL
- iii. Para garantizar la transición de las tensiones, completar con una capa de material seleccionado de consistencia arenosa, siendo lo más recomendable el material de Subbase.

Tabla N° 3.1 . Espesor de estructura recomendada sobre la roca lutita

<b>N° CAPA</b>	<b>ESTRUCTURA</b>	<b>ESPESOR (CM)</b>	<b>ESPESOR (CM) ACUMULADO</b>
1	Carpeta Asfáltica	5	5
2	Capa base granular	17	23
3	Subbase granular	25	45
4	Material subbase (adicional)	20	65
	GEOTEXTIL (Material filtrante)		
5	Capa drenante	30	97
<b>TOTAL ESPESOR HASTA LA FUNDACIÓN (CM)</b>			<b>97</b>

Es menester aclarar que el uso de GEOTEXTIL es necesario para garantizar el control de erosión vertical o control de migración de finos del material de sub-base hacia el material drenante debido a que la constitución del material de sub-base contiene cerca del 30% y 8% pasante los tamices N° 40 y N° 200 respectivamente.

Por la consistencia de los materiales del río, con los finos arenosos disponibles en el río, no es posible disponer de un material intermedio (con menos finos) para determinar un material FILTRO de transición. Por dicha condicionante de materiales disponibles, se recomienda usar una segunda capa de sub-base, salvo que en obra se lograra determinar un material más acorde para el Filtro que cumpla con los criterios de control.

En caso de suelos que sean susceptibles a la helada, tenemos que la expansión puede ser mucho mayor al 10%, de esta manera viéndose afectada cualquier estructura que este cimentada sobre estos suelos.

Pero el problema del congelamiento no solo queda en la expansión que genera, sino que también hay un gran problema cuando este hielo se descongela. Al descongelarse este hielo, se empieza a asentar de nuevo el terreno, al disminuir el volumen del agua

que empieza su proceso de deshielo, además de que empieza a filtrarse el agua que anteriormente había subido por capilaridad, asentándose más el suelo que se encuentra bajo esta situación. También se genera el colapso de las cápsulas de hielo, que ahora son de aire, rebajando la resistencia del suelo.

- ✚ Hay varias formas de solucionar los problemas relacionados con el efecto del congelamiento de los suelos, dentro de las cuales tenemos:
- ✚ Substitución de los suelos susceptibles (suelos finos) a la helada por otros no susceptibles, hasta la profundidad necesaria para llegar a niveles más abajo que la penetración del efecto climático.
- ✚ Excavar hasta el punto donde llega la helada, y colocar un material que no permita la capilaridad, como grava, por lo tanto no permite la subida de aguas freáticas por capilaridad.
- ✚ Se debe tener en cuenta la clase de material que está compuesta la subrasante. Si tenemos arcillas plásticas, o limos, es muy probable que por la acción del agua freática, estos limos o arcillas ganen plasticidad, perdiendo resistencia al corte, lo que generaría el colapso de la misma.
- ✚ Se recomienda hacer filtros dentro la subrasante, el cual sacará el agua de este. Estos filtros se deben diseñar para las épocas de invierno, ya que en ese momento los niveles freáticos suben y se corre el mayor de los riesgos de colapso de la estructura en cuestión.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

A la finalización del presente proyecto de grado, se llegaron a las siguientes conclusiones

- ✚ Según las gráficas “Tiempo Vs CBR” “Tiempo Vs Humedad” “Tiempo Vs Densidad” se pudo observar que mientras más tiempo pasaba la muestra en estado de saturación, esta absorbía más humedad disminuía su densidad y su valor soporte, cambiaba su textura, se volvía más lodosa e inestable.
- ✚ Se logró investigar el comportamiento de los materiales de sub-rasantes tipo lutitas (rocas meteorizadas) las cuales se las ensayo en condiciones extremas de saturación y como resultado de cada ensayo de suelos, se observó que las características de las muestras iban perdiendo sus propiedades físicas y disminuyendo sus propiedades mecánicas como el valor soporte y la resistencia al corte.

PROGRESIVA	CHO (Muestra Natural)	5 DIAS DE SATURACION	10 DIAS DE SATURACION	15 DIAS DE SATURACION	20 DIAS DE SATURACION	25 DIAS DE SATURACION	
10+760	Densidad Seca (Kg/m3)	1923	1599	1545,46	1498,59	1488,71	1484,40
	Porcentaje de Humedad	12,60%	24,77%	28,21%	31,14%	32,49%	33,07%
11+500	Densidad Seca (Kg/m3)	2085	2085	2085	2085	2085	2085
	Porcentaje de Humedad	8%	8%	8%	8%	8%	8%
12+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1860	1672	1605,94	1568,39	1548,04	1542,00
	Porcentaje de Humedad	12,60%	20,54	24,45	28,49	32,49	33,09
13+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1674	1554	1530,09	1521,63	1517,78	1515,86
	Porcentaje de Humedad	18,30%	23,83	26,22	29,05	31,03	31,87
14+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1989	1989	1989	1989	1989	1989
	Porcentaje de Humedad	10,50%	10,50%	10,50%	10,50%	10,50%	10,50%
15+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1820	1680	1616	1564,43	1544,34	1540,29
	Porcentaje de Humedad	13,4	19,3	23,43	28,17	30,42	31,29
16+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1888	1731	1660	1596,73	1572,27	1569,22
	Porcentaje de Humedad	10,90%	16,12	21,05	27,35	30,41	31,41
17+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1723	1599	1557	1522,26	1516,65	1514,42
	Porcentaje de Humedad	15,30%	22,49	25	28,04	30,38	31,18
18+500	Densidad Seca (Kg/m3)	1836	1601	1546	1526,38	1518,60	1516,28
	Porcentaje de Humedad	11,90%	20,52	23,86	28,62	29,90	31,18

- ✚ “Cuando medimos las rocas por primera vez, tenían una resistencia al 100% dentro su rango de valores para roca meteorizada, pero, después de haberlas sometido a ciclos de saturación y humedecimiento por un mes, la resistencia se había reducido un 90% de su valor inicial”. En este sentido, se puede afirmar que las condiciones atmosféricas intensas son las principales causantes del deterioro rocoso, logrando hasta un 100% en la reducción a la resistencia, es decir, pasan de roca a suelo frágil en poco tiempo.
  
- ✚ Según los análisis de resultados en la relación TIEMPO Vs HUMEDAD todas las muestras de suelo saturadas de las progresivas estudiadas tienden a aumentar el nivel de absorción de agua según se incrementa el tiempo de saturación, formando una curva ascendente en el porcentaje de humedad en función del tiempo de saturación.
  
- ✚ Después de un intenso estudio se concluye que en la relación TIEMPO Vs DENSIDAD va tomando una tendencia de forma descendente o disminuyendo el valor de la densidad de la muestra en función del tiempo de saturación, hasta llegar a un punto en que la densidad será la misma.
  
- ✚ La relación TIEMPO Vs CBR nos muestra la tendencia que tiene el valor del CBR de cada uno de los suelos ensayados en diferentes periodos de saturación, dando como resultado una curva descendente en función del tiempo, perdiendo su capacidad soporte de hasta el 90 % de su valor inicial.
  
- ✚ Realizando el diseño del paquete estructural en condiciones extremas, se observó que a medida que más tiempo de saturación se encontraba la muestra, más dimensión tenía el diseño del paquete estructural.

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:10+760</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	27	36	36	36	36	36
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	40	53	53	53	53	53
ESPEJOR CARPETA cm	<b>72</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>94</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:12+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	19	33	36	36	37	38
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	28	50	53	53	55	57
ESPEJOR CARPETA cm	<b>52</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>97</b>	<b>100</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:13+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	23	25	27	28	29	31
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	34	38	40	42	44	46
ESPEJOR CARPETA cm	<b>62</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>82</b>

✚ Según el grado de saturación de las rocas, estas sufren una meteorización de leve a extrema, la cual influye en el diseño del paquete estructural, dando como resultado diseños con dimensiones muy elevadas.

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:16+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	20	25	33	36	37
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	30	38	50	53	55
ESPEJOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>55</b>	<b>68</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>97</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:17+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	34	36	40	41	42
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	51	53	59	61	63
ESPEJOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>90</b>	<b>94</b>	<b>104</b>	<b>107</b>	<b>110</b>

DISEÑO CARPETA	CBR	CBR EN CONDICIONES DE SATURACION				
<b>PROG:18+500</b>	C/NORMAL	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias
CAPA DE RODADURA cm	5	5	5	5	5	5
BASE ESTRUCTURAL cm	17	23	24	27	33	38
SUB-BASE ESTRUCTURAL cm	25	34	36	40	50	57
ESPEJOR CARPETA cm	<b>47</b>	<b>62</b>	<b>65</b>	<b>72</b>	<b>88</b>	<b>100</b>

La roca lutita presenta una alta meteorización/fragmentación, misma que es propicio para la re-infiltración (recarga) de agua en la ladera superior, para luego, en la sección de corte de la carretera se presenten filtraciones de agua tanto en el talud de corte y en

la superficie de la plataforma excavada, esto debido a la variación de las presiones establecidas por la excavación y la dinámica del paso vehicular.

Por el criterio de diseño del pavimento según el método AASHTO 93, misma que basa sus cálculos en módulos resilientes de las capas granulares y fundación, que si éstos presentan incremento de la humedad, se reduce sensiblemente el módulo resiliente, por ende el pavimento estaría debilitado para resistir a las cargas vehiculares, peor si éstos son sobrecargados. La otra premisa del método AASHTO 93 es la salida de agua de las capas granulares (capa base y subbase) en un máximo de 5 días.

Ambas condicionantes exigen que el agua de la fundación sea debidamente drenada, es decir, disponer de un dispositivo de drenaje eficiente.

Como tercera exigencia es la roca lutita, misma que tiene riesgo de disgregarse al estar sometido a prolongados periodos de saturación, por ende necesita que el agua sea drenada al menor tiempo posible.

Una subrasante de roca lutita, es una composición de partículas finas como las arcillas y los limos que se encuentran consolidadas o en proceso de consolidación, sus partículas en sí, no son definidas y pueden tener distintos tamaños al machucar un bloque de lutita, ya que se fractura en bloques o laminas, un arcilla tiene sus partículas definidas y con las mismas características.

Este tramo Iscayachi-Final Copacabana especialmente el tramo 10+760 al 18+860 debido a los problemas de los suelos ensayados, fueron sometidas a otros ensayos y estudios especiales como ser, los estudios geológicos y estudios de geotecnia y ensayos adicionales como ser Ensayo Desgaste Los Angeles y un Análisis Petrográfico en SERGEOMIN(Servicio Geológico Minero)en la ciudad de La Paz, que caracterizará la composición química de la lutita para verificar la nocividad de la arcilla de la roca Lutita.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- ✚ La roca lutita del sector Km 10+860 a 18+860 presenta un alto riesgo de disgregación ante la presencia de agua por su constitución de arcilla consolidada, propiedad que lleva a considerar a este material como un material inadecuado para la fundación.
- ✚ El material utilizado para rellenar hasta la línea del terreno o nivel de agua el que sea mayor, deberá ser roca u otro material granular apropiado escogido de la excavación del camino, si hay disponible. Si no hay disponible, el material apropiado deberá obtenerse de otras fuentes aprobadas
- ✚ Una recomendación importante, es la de establecer las características y el diseño adecuado de sistemas de drenaje que mejor se adaptan a las condiciones particulares de cada problema, en función a las propiedades hídricas de los materiales, el clima, los agentes atmosféricos de la zona, el tipo de estructura de pavimento y la ubicación del nivel freático.
- ✚ Una fundación en roca tipo lutita presenta un alto el riesgo de disgregación ante la presencia de agua y efecto de presión dinámica de los vehículos, por lo que se debe considerar una altura mínima de material de relleno de manera tal que se evite el efecto de la disgregación de lutita.
- ✚ Se puede realizar una estabilización mecánica “suelo – suelo” o una estabilización química “suelo- cemento” para que la sub-rasante mejore sus propiedades mecánicas y físicas y sea estable para la fundación de una carretera.
- ✚ Para un mejor tratamiento de la sub-rasante se puede disponer de un manto de geo textil sobre la capa drenante.