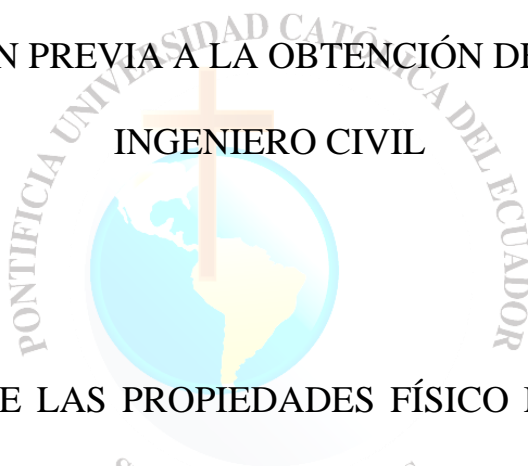


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL



“MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS  
SUELOS ARENOSOS DEL SECTOR DE POMASQUI PARA  
CIMENTACIONES SUPERFICIALES Y CONTRAPISOS, MEDIANTE EL USO  
DE CEMENTO TIPO MH. “

AUTOR: MARCO ANTONIO LÓPEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS MONTERO

QUITO, 2017

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres José Fausto López y Marina Martínez, por brindarme su apoyo incondicional para cumplir esta meta en mi vida.*

*A mis hermanos, que con su ejemplo me han impulsado a ser siempre mejor.*

*A mis amigos, que me han alegrado y apoyado, y con quienes he crecido como persona y como profesional a lo largo de la vida universitaria.*

*Al Ing. Juan Carlos Montero, quien me ha guiado y apoyado desde el inicio para culminar satisfactoriamente este trabajo.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3 ANTECEDENTES .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 MARCO TEÓRICO.....	4
1.5.1 SUELOS ARENOSOS .....	4
1.5.2 SUELOS COLAPSABLES.....	5
1.5.3 SUELOS LICUABLES.....	10
1.5.4 MEJORAMIENTO DE SUELOS.....	12
1.5.5 USO DE CEMENTO TIPO MH.....	20
<b>CAPÍTULO 2: CIMENTACIONES Y CONTRAPISOS SOBRE SUELOS ARENOSOS. 21</b>	
2.1 CIMENTACIONES SUPERFICIALES SOBRE SUELOS ARENOSOS .....	21
2.1.1 GENERALIDADES .....	21
2.1.2 CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA Y ADMISIBLE DEL SUELO ( $q_u$ y $q_{adm}$ ).....	22
2.1.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE CIMENTACIONES SOBRE SUELOS ARENOSOS. .	29
2.2 CONTRAPISOS SOBRE SUELOS ARENOSOS .....	30
2.2.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE CONTRAPISOS .....	30

<b>CAPITULO 3: RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO.....</b>	<b>35</b>
3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO.....	35
3.1.1 ÁREA DE INVESTIGACIÓN PRIMARIA.....	36
3.1.2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN SECUNDARIA O COMPLEMENTARIA.....	37
3.1.3 USO DE SUELO EN EL SECTOR DE POMASQUI.....	37
3.2 TRABAJOS DE CAMPO.....	38
3.2.1 ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.....	39
3.2.2 TOMA DE MUESTRAS ALTERADAS.....	45
3.2.3 EVALUACIÓN VISUAL DE TALUDES EN LA VÍA.....	46
<b>CAPÍTULO 4: ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>48</b>
4.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DE LOS ENSAYOS .....	49
4.1.1 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	49
4.1.2 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN: PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 – 12) .....	56
4.1.3 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE (ASTM D1633 – 00).....	60
4.1.4 ENSAYO TRIAXIAL TIPO UU (ASTM D2850 – 15) .....	61
4.1.4 ENSAYO CBR (ASTM D1883 – 15).....	64
4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO .....	66
4.2.1 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	66
4.2.2 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADA .....	67
4.2.3 ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE .....	73
4.2.4 ENSAYOS TRIAXIALES UU .....	75
4.2.5 ENSAYOS CBR .....	76

<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
5.1 INFLUENCIA DEL CEMENTO EN PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SUELO .....	77
5.1.1 MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	78
5.1.2 MEJORAMIENTO DE LA COHESIÓN ( $c'$ ).....	78
5.1.3 INFLUENCIA EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ ).....	79
5.1.4 MEJORAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (E) .....	79
5.1.5. MEJORAMIENTO DEL CBR .....	81
5.1.6 MEJORAMIENTO EN LA DENSIDAD SECA MÁXIMA ( $\gamma$ ) .....	82
5.2 RESUMEN DE RESULTADOS .....	83
5.3 ANÁLISIS ECONÓMICO: MEJORAMIENTO DE SUELO CON CEMENTO VS MEJORAMIENTO DE SUELO CON MATERIAL DE SUBBASE (LASTRE).....	84
COSTO: USO DE MATERIAL DE SUBBASE (LASTRE) PARA MEJORAMIENTO .....	84
5.4 EJEMPLO DE CÁLCULO.....	86
DATOS DE CÁLCULO .....	86
ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA POR FALLA LOCAL.....	87
ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS: MÉTODO DE MEYERHOFF PARA $N_{60}$ DEL SPT .....	90
CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS POR FACTORES DE INFLUENCIA.....	93
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
CONCLUSIONES .....	95
RECOMENDACIONES .....	96
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- REPORTES DE ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	99
ANEXO 2.- REPORTES DE ENSAYOS DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO .....	102
P1 (0.00 A 1.50).....	102
P1 (1.50 A 3.00).....	107
P2 (0.00 A 1.50).....	112
P2 (1.50 A 3.00).....	117
P3 (0.00 A 1.50).....	122
P3 (1.50 A 3.00).....	127
ANEXO 3.- REPORTES DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE 7 DIAS .....	132
ANEXO 4.- REPORTES DE ENSAYOS TRIAXIALES UU .....	156
ANEXO 5.- REPORTES DE ENSAYOS CBR.....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ZONAS DE POMASQUI AFECTADA POR LA AMPLIACIÓN DE LA AUTOPISTA SIMÓN	
BOLÍVAR.....	2
FIGURA 2.- EJEMPLO DE LA CURVA DE COMPRESIÓN DE UN ENSAYO DE POTENCIAL DE	
COLAPSIBILIDAD .....	8
FIGURA 3.- GRÁFICO SIMPLIFICADO PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELO.....	15
FIGURA 4.- ETAPAS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	19
FIGURA 5.- TIPOS DE FALLA SEGÚN EL TIPO DE SUELO .....	22
FIGURA 6.- “VARIACIÓN DEL FACTOR DE INFLUENCIA DE DEFORMACIÓN UNITARIA CON LA	
PROFUNDIDAD Y L/B”.....	25
FIGURA 7.- TIPOS DE CARGAS PARA EL DISEÑO DE CONTRAPISOS.....	33
FIGURA 8.- GRÁFICO DE DISEÑO DE LOSAS DE CONTRAPISO PARA EJES SENCILLOS, MÉTODO PCA	34
FIGURA 9.- UBICACIÓN REFERENCIAL DEL SECTOR DE POMASQUI.....	35
FIGURA 10.- ÁREA DE INVESTIGACIÓN PRIMARIA .....	36
FIGURA 11.- UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO .....	38
FIGURA 12.- ESPECIFICACIONES Y DIMENSIONES NORMADAS PARA MOLDE DE 4” DE PROCTOR	
MODIFICADO. ....	56
FIGURA 13.- CURVA DE COMPACTACIÓN DEL SUELO NATURAL EN P1 (0.00 A 1.50) .....	59
FIGURA 14.- OBTENCIÓN DE CBR PARA LA DENSIDAD DESEADA.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.- CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO (Ie) .....	8
TABLA 2 .- CEMENTO REQUERIDO EN VOLUMEN PARA LA ESTABILIZACIÓN EFECTIVA DE SUELOS .	17
TABLA 3.- VALORES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES PARA EL USO DE CEMENTO COMO ESTABILIZADOR DE SUELO. ....	20
TABLA 4.- MALLAS UTILIZADAS PARA LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA EN LA INVESTIGACIÓN .....	50
TABLA 5.- MASA MÍNIMA RECOMENDADA PARA ENSAYOS DE HUMEDAD NATURAL.....	52
TABLA 6.- MASAS RECOMENDADAS PARA ESPECÍMENES DE PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA POR PICNÓMETRO.....	54
TABLA 7.- TIEMPOS DE ESPERA PARA EL “CURADO” DE LA MUESTRA ANTES DE LA COMPACTACIÓN .....	57
TABLA 8.- RESUMEN DE CLASIFICACIONES SUCS Y AASHTO DE LAS MUESTRAS DE CAMPO.....	67
TABLA 9.- RESUMEN COMPRESIONES SIMPLES A LOS 7 DÍAS EN PROBETAS DE SUELO CEMENTO. ...	74
TABLA 10.- RESUMEN COMPRESIONES SIMPLES A LOS 7 DÍAS EN PROBETAS DE SUELO CEMENTO ..	75
TABLA 11.- RESUMEN ENSAYOS TRIAXIALES EN SUELO NATURAL REMOLDEADO (INMEDIATO) Y SUELO CEMENTO (7 DÍAS) .....	76

## CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Las propiedades físico mecánicas de los suelos son parámetros fundamentales para el diseño de la cimentación de cualquier estructura, de manera que la misma cumpla parámetros de calidad, servicialidad, y economía. El tipo de cimentación se selecciona de acuerdo a dos parámetros fundamentales: la carga que la estructura transmite al suelo, y al tipo de suelo y su capacidad portante. Los contrapisos por otro lado son elementos estructurales que se asientan y transmiten la carga directamente contra el suelo.

En ciertas circunstancias es necesario realizar un mejoramiento de suelo para disminuir la profundidad de la cimentación, o para homogenizar el suelo a lo largo de la misma. En el caso de los contrapisos muchas veces también es necesario hacerlo para disminuir el grosor de la losa de contrapiso y evitar posibles fisuras en la misma durante su uso.

El sector de Pomasqui ubicado al norte de la ciudad de Quito, presenta suelos de tipo arenoso suelto en estratos superiores que, por sus características físicas y mecánicas, muchas veces es necesario reemplazarlo y realizar un mejoramiento de suelo para poder construir una cimentación superficial o un contrapiso de calidad.

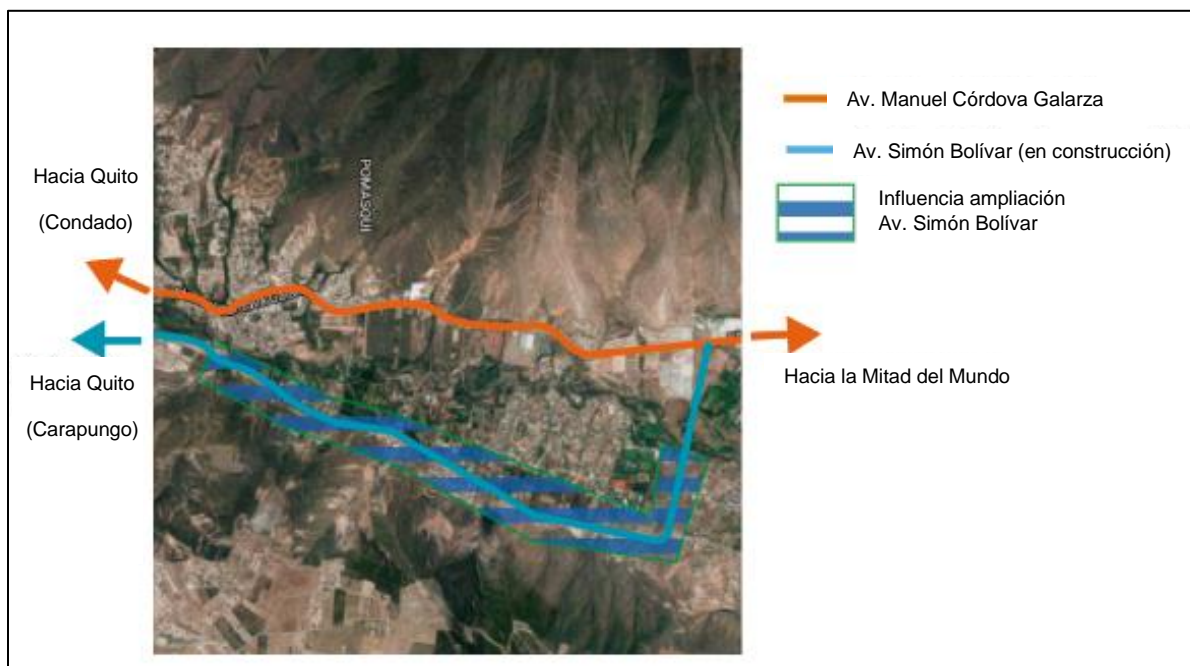
El procedimiento de mejoramiento de suelo por compactación tradicionalmente consiste en una remoción del suelo malo y un reemplazo posterior del mismo con un suelo más competente aplicado en capas con un determinado grosor y compactación definidos de acuerdo al material utilizado. Sin embargo, a pesar de que esta metodología cumple con el propósito, hace que el constructor tenga que recurrir en gastos de movimiento de tierra para desalojar el suelo descalificado, además de un gasto por la compra del nuevo material. Este proceso de mejoramiento de suelo suele ser común en estructuras pequeñas como las ubicadas en Pomasqui.

En la presente investigación se analizará la posibilidad de utilizar el mismo suelo del sitio para realizar el mejoramiento, mezclándolo con cemento tipo MH<sup>1</sup> y colocándolo en capas adecuadamente compactadas, con la idea de que esta metodología ahorraría gastos de desalojo y de compra de suelo calificado que mencionamos anteriormente.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación buscará encontrar soluciones alternativas a problemas frecuentes que se suscitan en las cimentaciones y contrapisos sobre suelos arenosos sueltos de estratos superficiales, ubicados en el sector de Pomasqui. Se plantea el mejoramiento de los suelos arenosos superficiales con cemento tipo MH como alternativa.

La construcción actual de la avenida Simón Bolívar que cruza por el lado Oriental del sector de Pomasqui nos hace pensar que en el futuro zonas aledañas a dicha avenida serán pobladas rápidamente como consecuencia de su construcción. Por lo que esta investigación se enfocará en las zonas aledañas a esta.



**Figura 1. Zonas de Pomasqui afectada por la ampliación de la autopista Simón Bolívar**

Fuente: Google Maps, edición por Marco López

<sup>1</sup> Cemento tipo MH: Cemento de moderado calor de hidratación

### 1.3 ANTECEDENTES

La zona de Pomasqui se caracteriza entre otras cosas por tener un suelo superficial de tipo arenoso suelto, que dificulta en cierta manera la cimentación de estructuras livianas ubicadas en el sitio, ocasiona problemas frecuentes como la baja capacidad portante a profundidades menores a 3 metros, posibilidad de asentamientos diferenciales por las características del suelo, mismas que pueden causar grietas en paredes, así como también grietas en contra pisos.

Comúnmente se realizan reemplazos de suelo utilizando lastre (material de mejoramiento de sub-base clase 3 o clase 2), lo cual significa incurrir en gastos de desalojo e importe de material. La presente investigación pretende determinar la posibilidad de utilizar el mismo material excavado en el proyecto mejorado con cemento en lugar del lastre. En este plan de disertación se desea determinar la proporción adecuada de cemento tipo MH mezclada con el material arenoso presente en el sector de Pomasqui, de manera que garantice un material que tenga iguales o mejores características que los materiales pétreos tipo subbase.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH.

#### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje óptimo de cemento para mezcla que brinde la mejor resistencia sin concurrir en costos excesivos.
- Evaluar las ventajas y limitaciones de un mejoramiento de suelo con cemento en la construcción de cimentaciones superficiales y contrapisos.

- Realizar un análisis comparativo de costos entre el lastre de las minas del sector y el mejoramiento de suelos con el uso de cemento tipo MH

## 1.5 MARCO TEÓRICO

### 1.5.1 SUELOS ARENOSOS

Un suelo arenoso es aquel que se encuentra conformado predominantemente por arena, se caracteriza principalmente por su plasticidad nula. Según la clasificación SUCS se considera a un suelo como arena cuando más de la mitad del suelo se retiene en el tamiz número 200 y a la vez más de la mitad de la muestra pasa el tamiz número 4. Existen cuatro sub clasificaciones de suelos arenosos según la SUCS: SW, SP, SM, SC.

Las cimentaciones sobre suelos arenosos sueltos son propensas a la existencia de asentamientos excesivos, asentamientos diferenciales, y en casos extremos son suelos colapsables y propensos a una licuefacción en caso de existir nivel freático. Produciendo daños de tipo no estructural y estructural a las estructuras que sostienen.

En caso de que un suelo presente propiedades desfavorables para la cimentación, como los ya mencionados, existen varias opciones:

- Mejorar el suelo en los estratos superiores para mejorar sus características.
- Reemplazar el suelo malo por uno más competente.
- Realizar la cimentación en estratos más profundos donde el suelo natural brinde las características necesarias.

En esta tesis se plantea del mejoramiento de los estratos superiores del suelo mediante el mejoramiento de sus características físico mecánicas con el uso del cemento MH. A continuación, se presentan las distintas técnicas de mejoramiento en el suelo, su aplicación y metodología de uso. También más adelante se describe la técnica de reemplazo de suelo en sitio por un suelo más competente

### 1.5.2 SUELOS COLAPSABLES

Los suelos colapsables son suelos no saturados que al saturarse experimentan una variación considerable en su volumen. En este tipo de suelos, las cimentaciones que se construyen pueden experimentar repentinamente un gran asentamiento si el suelo se satura con de manera súbita. Ejemplos comunes donde sucede esto puede ser una tubería de agua rota, alcantarillado con fugas, drenaje de cisternas, entre otros. La identificación en campo de un suelo colapsable es de vital importancia ya que los asentamientos de este tipo suelen causar daños estructurales considerables.

Los suelos colapsables en su mayoría son de un origen eólico, es decir, limos o arenas depositados en sitio por el viento. La forma en que estos suelos se establecen hacen que los mismos tengan relaciones de vacío altas, pesos específicos bajos y un poca o nula cohesión.

#### IDENTIFICACIÓN DE SUELOS COLAPSABLES

A partir de la década de los 50, varios investigadores a nivel mundial iniciaron su proceso de crear metodologías para identificar y clasificar el potencial del colapso de distintos suelos. Estas investigaciones que se llevaron a nivel mundial tuvieron algunas limitaciones debido principalmente a dos razones fundamentales: 1) Existe una gran variedad de suelos que colapsan por humedecimiento, por lo que metodologías válidas para algunas zonas a veces no pueden ser utilizadas en otras. 2) Los suelos colapsables son frecuentemente heterogéneos, por lo que los ensayos de laboratorio no suelen ser representativos para estratos de gran espesor.

A lo largo de los años se han desarrollado una serie de metodologías para la identificación de suelos colapsables que pueden ser clasificadas de forma general como sigue:

- Métodos basados en ensayos mecánicos, principalmente ensayos de consolidación.
- Métodos basados en parámetros físicos de los suelos, como Granulometría, Límites de Atterberg, Peso unitario, Relación de poros, etc.

## IDENTIFICACIÓN DE SUELOS COLAPSABLES A PARTIR DE ENSAYOS MECÁNICOS

### MÉTODO DE KNIGHT

Varios investigadores han propuesto metodologías para la identificación de los suelos colapsables, basándose en parámetros físicos de los mismos. En 1975, Jennings y Knight establecieron un procedimiento para definir el “potencial de colapso” de un suelo. La técnica trata de tomar una muestra inalterada con su contenido de humedad natural en un anillo de consolidación. A esta se le aplican cargas de forma escalonada hasta llegar a un nivel de presión  $\sigma'w = 200 \text{ kN/m}^2$ . En esta presión, se satura la muestra y se deja reposar durante 24 horas. A partir de esto se puede obtener las relaciones de vacíos antes ( $e_1$ ) y después ( $e_2$ ) de la saturación de la muestra. El potencial de colapso se lo define matemáticamente como:

$$C_p = \Delta\varepsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0}$$

Donde:

$e_0$  = relación de vacíos natural del suelo

$\Delta\varepsilon$  = deformación unitaria vertical

En 1981, Clemence y Finbarr realizaron una investigación donde llegaron a determinar una serie de rangos que definen la posible severidad del problema de una cimentación sobre un suelo colapsable correlacionándolo con el potencial de colapso ( $C_p$ ) definido anteriormente. El resultado de su investigación se encuentra resumido de la siguiente manera:

$C_p$ (%)	Severidad del problema
0 – 1	Sin problema
1 – 5	Problema moderado
5 – 10	Problema considerable
10 – 20	Problema severo
> 20	Problema muy severo

## MÉTODO ASTM PARA CUALQUIER ESFUERZO (ASTM D 5333)

El método de la ASTM nos permite calcular el potencial de colapso ( $I_c$ ) del suelo para cualquier esfuerzo vertical que quiera aplicarse al suelo, gracias a esto es posible calcular la colapsabilidad del suelo para el esfuerzo que la cimentación transmite al mismo. Si el esfuerzo elegido para realizar el ensayo es de 200kPa, al parámetro obtenido se lo denomina índice de colapso ( $I_e$ ).

### Procedimiento del Ensayo

- Se prepara la muestra y los equipos como si se tratara de un ensayo de consolidación unidimensional (Según Normativa ASTM D 2435).
- Sin saturar el suelo, se aplica el esfuerzo de contacto de 5kPa por 5 minutos y se aplican los incrementos de carga cada hora hasta llegar a la carga de diseño. Los estados de carga serán 0.12, 0.25, 0.50, 1.00, 2.00 de la carga de diseño. Se deben registrar las deformaciones antes de aplicar un nuevo incremento de carga.
- Una vez aplicada la carga de diseño, se espera una hora, se registra la deformación y se procede a inundar a la muestra. Y se toman medidas de deformación a 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos y 1, 2, 4, 8, y 24 horas.
- Posterior a esto se procede con los estados de carga superiores como si se tratara de un ensayo de consolidación normal.

### Cálculos

- Potencial de Colapso

$$I_c = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100$$

### Donde

$h_0$  = altura inicial del espécimen, mm.

$\Delta h$  = cambio en la altura del espécimen al momento de la inundación, mm.

### Interpretación de resultados

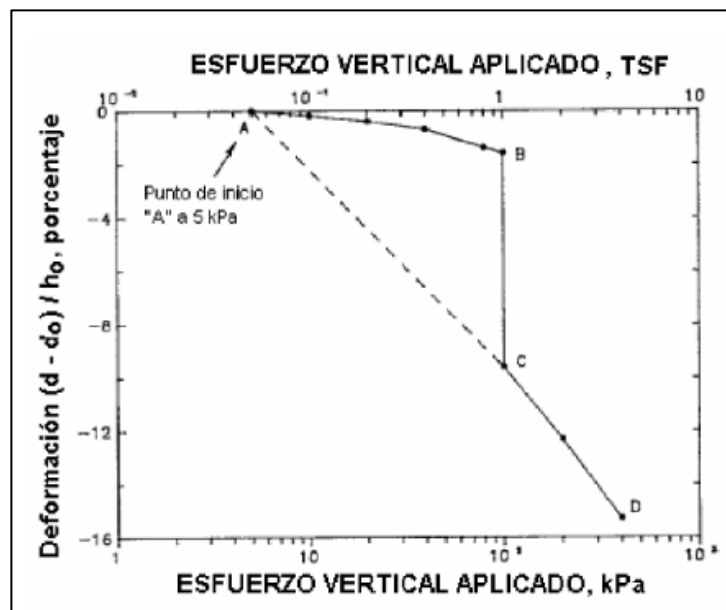
El potencial de colapsibilidad ( $I_c$ ), o el índice de colapso ( $I_e$ ) determinan que tan severo es el problema. Los resultados pueden ser interpretados según los siguientes rangos:

<i>Grado de Colapso</i>	<i>Índice de Colapso (<math>I_e</math>) %</i>
Ninguno	0
Ligero	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderadamente Severo	6.1 a 10.0
Severo	>10

*Tabla 1.- Clasificación del índice de colapso ( $I_e$ )*

Fuente: Normativa ASTM D 5333

**Ejemplo** A continuación, se presenta el ejemplo de un gráfico esfuerzo deformación resultado del ensayo. En este caso el Potencial de Colapsibilidad es de  $I_c = (9.6 - 1.5) = 8.1$  para un esfuerzo predeterminado de 100kPa. Este resultado se interpreta como “Moderadamente Severo” según la tabla 1. Además, es posible determinar ( $I_c$ ) para esfuerzos menores al de diseño calculando la diferencia entre la línea sólida (no inundada) y la línea punteada (inundada).



*Figura 2.- Ejemplo de la curva de compresión de un ensayo de potencial de colapsibilidad*

Fuente: Normativa ASTM D 5333

## IDENTIFICACIÓN DE SUELOS COLAPSABLES A PARTIR DE PARÁMETROS FÍSICOS

Estas metodologías tienen un carácter más cualitativo, donde los autores señalan la probabilidad de colapso del suelo de acuerdo con ciertos rangos y valores establecidos a partir de las características físicas del suelo. A continuación, se mencionan algunos de los criterios proporcionados por distintos autores

### PARA SUELOS ARENOSOS (SIMILARES A LOS DE POMASQUI):

- Soviet Building Code (1962) define índice de colapso (L)

$$L = \frac{e_0 - e_L}{1 + e_0}$$

Donde ( $e_0$ ) es igual a la relación de vacíos al natural y ( $e_L$ ) es la relación de vacíos en el límite líquido. El suelo se considera colapsable cuando  $L > -0.10$ , teniendo un grado de saturación natural menor al 60%

### PARA SUELOS COHESIVOS

- Denislov (1951) define el coeficiente de hundimiento “K” como:

$$K = \frac{e_L}{e_0} = \frac{\text{Relación de vacíos en límite líquido}}{\text{Relación de vacíos natural}}$$

El colapso del suelo según Denislov ocurrirá cuando  $k < 1.00$ , es decir cuando la relación de vacíos en estado natural ( $e_0$ ) es mayor a la relación de vacíos correspondiente al límite líquido ( $e_L$ ).

- Gibbs (1961) define una relación de colapso (R)

$$R = \frac{W_{SAT}}{W_L} = \frac{\text{Humedad de saturación del suelo}}{\text{Límite líquido}}$$

El suelo será colapsable cuando la humedad de saturación es mayor al límite líquido.

Al igual que estos métodos existen también otros que relacionan parámetros como el límite plástico, el índice de plasticidad, la humedad natural, entre otros.

### 1.5.3 SUELOS LICUABLES

Se conoce como licuefacción a “la transformación de un material granular de un estado sólido a un estado licuado como consecuencia del incremento de la presión de agua de poros.” Es decir, es un fenómeno en el cual un suelo de naturaleza contractiva (es decir que tiene una tendencia a una disminución de volumen durante el corte) pierde su resistencia y rigidez durante la ocurrencia de un terremoto severo. Esto se debe al incremento gradual de las presiones de poros.

La licuefacción ocurre en **suelos saturados poco cohesivos**. En condiciones normales, la presión de poros es relativamente baja, sin embargo, el movimiento sísmico puede llegar a causar que se incremente la presión de agua hasta un punto tal donde las partículas del suelo pueden desplazarse fácilmente entre sí reduciendo el esfuerzo efectivo. Los suelos de Pomasqui no tienen nivel freático apreciable, por lo que no se consideran licuables.

#### FACTORES QUE DETERMINAN EL FENÓMENO DE LICUACIÓN <sup>2</sup>

**Magnitud del Movimiento Sísmico:** La magnitud del movimiento sísmico está directamente ligada a la magnitud de los esfuerzos y las deformaciones producidas en el terreno. Eventos sísmicos de baja intensidad no serán capaces de inducir un fenómeno de licuación.

**Granulometría del suelo:** Desde el punto de vista de la distribución granulométrica los suelos más susceptibles a la licuación son las arenas finas uniformes. Un suelo bien gradado, con contenido de gravas y también de finos serán menos propensas a una licuefacción. Autores señalan que el problema de licuación será considerablemente mayor en suelos con coeficiente de uniformidad mayor o igual a 2.

**Densidad Relativa:** Mientras más suelta se encuentre la arena, mayores serán los posibles efectos de la licuefacción. Por ejemplo, investigaciones han demostrado que una arena con un

---

<sup>2</sup> Fuente: “Procesos de licuefacción del suelo”, Ing. Augusto Leoni, Universidad Nacional de la Plata, Argentina

valor de  $N_{60}$  de 40 puede experimentar una licuación con una deformación por corte no mayor del 10%. En cambio, en arenas con un  $N_{60}$  de 10, se pueden experimentar deformaciones por corte muy grandes en el orden de 25 al 30%.

**Profundidad del nivel freático:** El nivel freático es una condición necesaria para la saturación completa del suelo y por lo tanto para la licuefacción. A mayor profundidad de nivel freático, menor será el riesgo de licuefacción en un suelo.

### DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCIÓN <sup>3</sup>

La metodología para evaluar la susceptibilidad de un suelo a licuefacción es determinada por algunos criterios propuestos por Kramer y Stewart (2004 pág. 38), estos son:

1. Criterios históricos: Se evalúa si ha ocurrido licuefacción anteriormente en el sitio que se evalúa. La evidencia histórica de este fenómeno puede ser interpretada como prueba de susceptibilidad.
2. Criterios geológicos: El tipo de depósito que se halla en el sitio. Depósitos fluviales y eólicos saturados tienen una alta susceptibilidad a la licuefacción. También es importante la edad del depósito, depósitos jóvenes suelen ser más susceptibles.
3. Criterios basados en el estado del suelo: Suelos sueltos son más susceptibles a la licuación que suelos densos.
4. Criterios basados en la composición del suelo: Arenas limpias uniformemente graduadas son más susceptibles que arenas bien graduadas. La presencia apreciable de finos disminuye la susceptibilidad a la licuación.

Según Brades (2000, pág. 31), los suelos granulares no cohesivos con  $(N_1)_{60}SPT^4 > 30$  son considerados lo suficientemente compactos para no tener riesgo de licuefacción. En caso de que un suelo sea susceptible a la licuefacción, su potencial a la licuefacción es frecuentemente

---

<sup>3</sup> Fuente: Kramer, S.L. and Stewart, J.P. (2004). Capítulo 4: "Geotechnical Aspects of Seismic Hazards"

<sup>4</sup>  $(N_1)_{60}SPT$ : Corrección de  $N_{60}$  por presión efectiva en suelos granulares

analizado con el método de Seed et al (1971). En nuestro caso no es necesario debido a la ausencia de nivel freático.

#### 1.5.4 MEJORAMIENTO DE SUELOS

El suelo donde se va a cimentar cualquier tipo de construcción no siempre puede tener las condiciones adecuadas para soportar las cargas que la estructura transmite al suelo. Por ejemplo, un suelo granular puede estar muy suelto y provocar un asentamiento grande, en este caso debe buscarse la manera de densificar el suelo y aumentar su resistencia.

En general los mejoramientos de suelo se realizan con los siguientes objetivos:

- Mejorar la resistencia a corte general del suelo y así conseguir aumentar su capacidad de carga.
- Disminuir los asentamientos de las estructuras.
- Reducir la expansión y contracción de suelos en el caso de arcillas.

El tipo de mejoramiento de suelo dependerá del tipo de suelo y del tipo de estructura que va a asentarse sobre el mismo. Existen varios procedimientos para mejoramiento del suelo como son la compactación, la pre compresión, el reemplazo de suelo, la vibro flotación, estabilización con aditivos, drenes de arena, entre otros. A continuación, se describen varios de los métodos más comunes para el mejoramiento del suelo.

##### 1.5.4.1 MEJORAMIENTO DE SUELOS POR COMPACTACIÓN

Un suelo compacto tiene mayor densidad y mejor resistencia al corte que un suelo suelto, por lo que la compactación del suelo in situ es uno de los métodos de mejoramiento de suelos más usados, especialmente en la construcción de terraplenes y subrasante para autopistas. Un principio básico de la compactación es la humedad del suelo al compactarse.

Si se aumenta el contenido de humedad gradualmente manteniendo la misma energía de compactación, el peso específico del suelo del suelo seco aumentará también hasta un punto

desde el cual aumentar el contenido de humedad significaría un descenso en el peso específico del suelo. A este punto se lo conoce como “humedad óptima” y al peso específico alcanzado en esta condición se lo conoce como “densidad seca máxima”.

El contenido de humedad óptima y la densidad seca máxima se pueden obtener mediante los ensayos de laboratorio siguientes:

- Ensayo del Proctor Estándar (ASTM D-698)
- Ensayo del Proctor Modificado (ASTM D-1557)

La diferencia fundamental entre dichos ensayos es la energía de compactación administrada a la muestra. Teniendo  $600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  para el ensayo Proctor estándar y  $2700 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$  para el ensayo Proctor modificado. Detalles de los ensayos de laboratorio se encuentran en el Capítulo 4 del presente documento.

## COMPACTACIÓN EN CAMPO

La compactación en campo comúnmente se lo realiza mediante maquinarias para compactación: rodillos de compactación, vibroapisonadores o planchas vibratorias. El tipo de maquinaria dependerá del tipo de suelo que se quiere compactar, por ejemplo, los vibroapisonadores y las planchas vibratorias son adecuadas para áreas limitadas, sin embargo, el primero es más útil en suelos cohesivos y el segundo en suelos granulares.

De igual manera existen varios tipos de rodillos, cada uno indicado para un tipo de suelo distinto, por ejemplo, los rodillos pata de cabra son excelentes para compactar suelos cohesivos y los rodillos vibratorios para suelos granulares. La densidad alcanzada en campo debe ser mayor al 90% o 95% de la densidad alcanzada en laboratorio según las especificaciones del diseñador, y esto se verifica mediante ensayos de densidad in situ del cono y arena o del densímetro nuclear.

#### 1.5.4.2 MEJORAMIENTO DE SUELOS POR PRECOMPRESIÓN

Cuando se encuentran estratos de suelo arcilloso muy compresible y normalmente consolidado a una profundidad limitada, estos pueden causar un gran asentamiento por consolidación como resultado de la construcción de cualquier tipo de estructura sobre dicho suelo. La precompresión busca minimizar los asentamientos posteriores a la compresión.

El procedimiento consiste en aplicar una sobrecarga temporal sobre la superficie del suelo que se quiere tratar durante un tiempo. Posteriormente se retira la sobrecarga y se procede a la construcción de la estructura, misma que tendrá asentamientos menores. Este procedimiento no funciona en suelos granulares ya que en los mismos no es común la existencia de asentamientos secundarios.

#### DRENES DE ARENA

La construcción de drenes de arena es un procedimiento adicional complementario al mejoramiento de suelos por precompresión. Se utilizan para acelerar el asentamiento por consolidación primaria de estratos de arcilla suaves que se encuentran normalmente consolidados. De esta forma es posible lograr la precompresión antes de llevar a cabo la construcción de la cimentación propuesta. Los drenes de arena son básicamente agujeros en los estratos de arcilla que posteriormente se rellenan con arena, permitiendo así eliminar la presión de poros en el suelo natural de una forma más rápida, acelerando también el asentamiento.

#### 1.5.4.3 MEJORAMIENTO DE SUELOS POR VIBROFLOTACIÓN

La vibroflotación es un procedimiento utilizado para la densificación in situ de capas gruesas de estratos de material granular suelto. La técnica trata del uso de una unidad vibratoria de aproximadamente 2m de longitud, mismo que entra en el terreno ayudado por un chorro de agua y de esta forma densifica el suelo a su alrededor. El nivel de éxito del proceso de densificación depende de varios factores, entre ellos el más importante es la distribución

granulométrica del suelo natural y la naturaleza del suelo empleado para rellenar los agujeros durante el retiro de la unidad vibratoria.

La vibroflotación es altamente recomendada en suelos licuables y colapsables debido a la densificación que proporciona a los estratos arenosos sueltos.

#### 1.5.4.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON ADITIVOS

En ocasiones es conveniente el uso de aditivos para estabilizar los suelos en campo, los aditivos más utilizados son la cal, el cemento y la ceniza. Los objetivos de la estabilización del suelo son:

- Modificar las características del suelo
- Agilizar el proceso de construcción
- Mejorar las características del suelo, resistencia y durabilidad.

La selección del aditivo adecuado depende del tipo de suelo que se quiera mejorar; el uso de cal es más adecuado para suelos arcillosos, y el uso de cemento resulta más conveniente para suelos granulares, en el siguiente gráfico podemos ver una pequeña guía del uso de ambos aditivos dependiendo de las características del suelo.

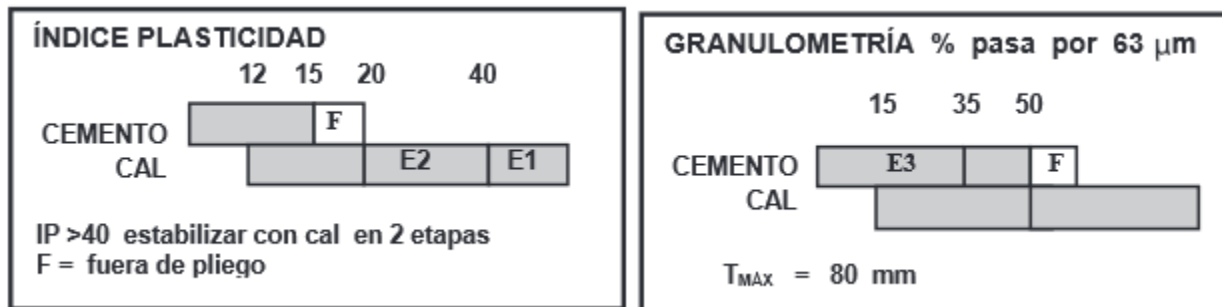


Figura 3.- Gráfico simplificado para estabilización de suelo

Fuente: Manual técnico de estabilización de suelos con cemento, IECA, 2013

## ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL

La estabilización con cal suele aplicarse en suelos arcillosos, durante la estabilización se producen dos reacciones químicas puzolánicas que producen que las partículas de arcilla tiendan a unirse para formar partículas mayores, ofreciendo los siguientes beneficios:

- Reducción del límite líquido
- Aumento del límite plástico
- Se reduce el índice de plasticidad
- Incrementa la trabajabilidad.
- Mejora las propiedades de deformación y resistencia del suelo.

El proceso de mejoramiento en campo puede realizarse de tres maneras, ya sea utilizando una mezcla de la cal y compactación en campo, una mezcla en planta para posterior transporte al sitio, o la inyección de lechada de cal en el suelo hasta una profundidad máxima de 4 a 5 m.

## ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON CEMENTO PORTLAND

El mejoramiento de suelo con cemento se utiliza principalmente en la construcción de presas de tierra y carreteras. Su uso es más adecuado en suelos arenosos, debido a su facilidad de mezclado en sitio.

La cantidad de cemento necesario para mejorar el suelo en campo puede ser determinado por varios ensayos de laboratorio. Donde se determina la humedad óptima y densidad máxima de compactación de la mezcla suelo-cemento, además de su resistencia a la compresión simple mediante los ensayos de Proctor modificado y la elaboración de probetas para su posterior ensayo. Una investigación realizada por Mitchell J. K. en 1959 para la American Society of Civil Engineers (ASCE). Señala unos rangos recomendados de la cantidad de cemento en volumen para el mejoramiento de distintos tipos de suelos.

Tipo de Suelo		Porcentaje de cemento en volumen
Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	
A-2 y A-3	GP, SP y SW	6-10
A-4 y A-5	CL, ML, y MH	8-12
A-6 y A-7	CL, CH	10-14

*Tabla 2 .- Cemento requerido en volumen para la estabilización efectiva de suelos*

Fuente: "A review and Evaluation of Soil-Cement Pavements", ASCE.

El mejoramiento de suelos con cemento para cimentaciones no es una técnica convencional, por lo que existen pocas investigaciones para esa aplicación en específico, sin embargo, si existen investigaciones para su uso en la construcción de carreteras y presas, por lo que el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) define una serie de ventajas y limitaciones del uso de cemento para estabilización y mejoramiento del suelo in situ:

#### VENTAJAS <sup>5</sup>

- Permite el empleo de los suelos en sitio, mejorando sus propiedades físico mecánicas hasta el punto deseado.
- Proporciona una capacidad de soporte elevada, disminuyendo los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del suelo
- Incrementa la estabilidad de los suelos, debido a que disminuye su sensibilidad al agua, y por lo tanto incrementa su resistencia a la erosión.
- El empleo del suelo en sitio evita explotar canteras y disminuye también la necesidad de desalojo de material.

#### LIMITACIONES

<sup>5</sup> Basado en la Guía técnica: Estabilización de suelos con cemento, IECA, 2013

- Agrietamiento por contracción, mismo que puede reflejarse en capas superiores, en el caso de pavimentos.
- Dificultad de mezclado, especialmente con suelos plásticos.
- Limitación en la construcción debido a tiempos de fraguado.

Cabe señalar que la dificultad de mezcla in situ no representa una limitación en el caso de los suelos arenosos sueltos del sector de Pomasqui, que por sus características permite una fácil escarificación y mezclado.

### PROCEDIMIENTO IN SITU DE MEJORAMIENTO DE SUELOS CON CEMENTO

El uso más común de cemento para la estabilización de los suelos se lo hace en las carreteras, por lo que el IECA proporciona un manual práctico de la estabilización de suelos para estos propósitos.

En esta investigación se buscará implementar la técnica a la estabilización de suelos para contrapisos y cimentaciones, por lo que se realizará un procedimiento similar, pero a una escala menor.

A continuación, se muestra un cuadro con las etapas de estabilización del suelo haciendo referencia a obras viales, en nuestro estudio las etapas y objetivos serán similares, no así los equipos.

ETAPAS	OBJETIVO	EQUIPOS USUALES
Etapas previas a la ejecución		
1. Clasificación del suelo	Identificación de la naturaleza y características del suelo.	- Ensayos de laboratorio (granulometría, plasticidad, humedad, materia orgánica, etc).
2. Elección y estudio de dosificación del conglomerante	Definición del conglomerante y ensayos para definir la dosificación.	- Estudio de laboratorio (Proctor, CBR, resistencia).
Etapas durante la ejecución		
1. Preparación del suelo		
- Escarificado y disgregación	Disgregar el suelo	- Pala, bulldozer o motoniveladora con ripper
- Eliminación de gruesos	Suprimir elementos de tamaño superior a 80 mm	- Equipos mecánicos o agrícolas - Machacadora in situ
- Nivelación	Obtención de la rasante	- Motoniveladora
- Aireación o humectación	Conseguir la humedad óptima Proctor (incluyendo la de aportación en el caso de vía húmeda)	- Aireación: ripper o estabilizadora - Humectación: camión cisterna con barra regadora, distribuidor de lechada
2. Distribución del conglomerante - por vía seca - por vía húmeda	Aporte del conglomerante con la dotación requerida de acuerdo con la fórmula de trabajo y el espesor a tratar	- Manual (cuadrícula de sacos) (solamente en obras de reducido tamaño o importancia) - Distribuidor de conglomerante (en polvo o lechada)
3. Mezclado	Mezcla del suelo con el conglomerante y el agua, logrando una mezcla homogénea	- Pulvimixer o rotavator (solamente en obras de reducido tamaño o importancia) - Recicladora-estabilizadora
4. Compactación inicial	Obtención de la densidad en el fondo de la capa, precompactando el suelo	- Rodillo liso vibrante
5. Refino	Obtención de la rasante definitiva. Mejora de la regularidad superficial	- Motoniveladora
6. Compactación final	Obtención de la densidad requerida ( $\geq 97-98\%$ de la máxima Proctor modificado)	- Rodillo liso vibrante + rodillo de neumáticos en ocasiones - Rodillo mixto
7. Riego de curado - Con agua - Con emulsión	Mantener la superficie húmeda Crear una película impermeable	- Cuba de agua con barra pulverizadora - Cuba de emulsión y lanza - Cuba de emulsión con barra regadora
8. Protección superficial en caso necesario	Proteger el riego de curado con emulsión si va a circular tráfico sobre el mismo	- Extendedora de gravilla y rodillo de neumáticos

*Figura 4.- Etapas de la estabilización de suelos*

Fuente: Manual técnico de estabilización de suelos con cemento, IECA, 2013

### 1.5.5 USO DE CEMENTO TIPO MH<sup>6</sup>

Con el uso de cemento tipo MH, las limitaciones anteriormente mencionadas relacionadas con el uso de cementantes tradicionales en la mejora y estabilización de suelos se ven disminuidas o incluso eliminadas. Esto se debe a que el cemento MH tiene un tiempo de fraguado y endurecimiento a edades tempranas, permitiendo de esta forma optimizar el proceso constructivo, eliminando así la limitación en la construcción debido a tiempos de fraguado.

El cemento tipo MH además brinda un moderado calor de hidratación, por lo que se reduce significativamente la tendencia al agrietamiento por contracción, en comparación con el uso de cementantes tradicionales.

### REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DE LOS SUELOS

Para un óptimo mejoramiento de los suelos con cemento MH, el fabricante nos recomienda los siguientes rangos granulométricos

- Tamaño Máximo = 50 mm
- Pasa malla No.4 = 50 al 100 %
- Pasa malla No.200 = 5 al 35 %

### LIMITANTES POR PLASTICIDAD DEL SUELO O CONTAMINANTES

El fabricante nos recomienda los siguientes límites de contaminantes:

<b>Tipo de Contaminante</b>	<b>Valor máximo permisible de contaminante en el suelo (%)</b>
Finos poco activos (LL<30, IP<7)	30
Arcilla activa (LL<50, IP<12)	25
Arcilla muy activa (LL>50, IP>12)	20
Sulfatos	1
Materia Orgánica	5

*Tabla 3.- Valores máximos de contaminantes para el uso de cemento como estabilizador de suelo.*

Fuente: Manual de Holcim Base Vial, HOLCIM, 2014

<sup>6</sup> Fuente: Manual: Holcim Base Vial, Cemento Hidráulico tipo MH para la estabilización de suelos.

## CAPÍTULO 2: CIMENTACIONES Y CONTRAPISOS SOBRE SUELOS ARENOSOS

### 2.1 CIMENTACIONES SUPERFICIALES SOBRE SUELOS ARENOSOS

#### 2.1.1 GENERALIDADES

Las cimentaciones superficiales deben cumplir con dos características principales para tener un desempeño satisfactorio:

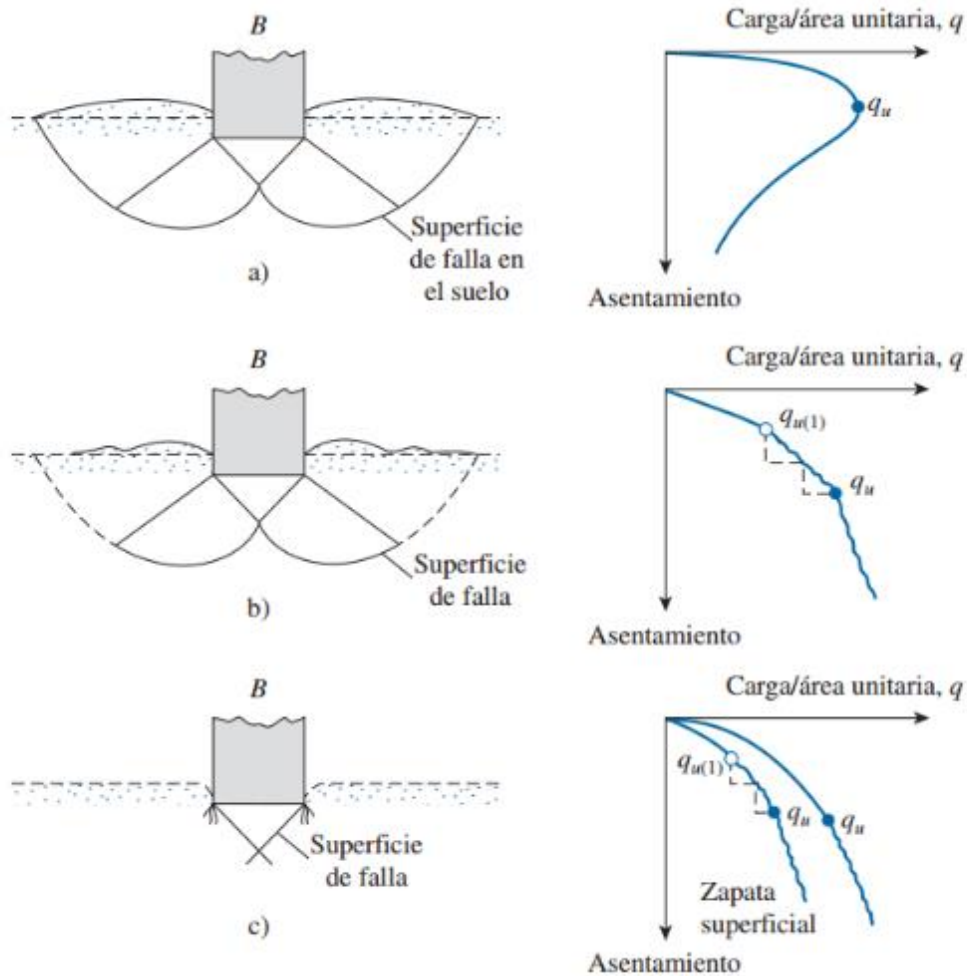
- 1.- Deben ser seguras contra la falla general por corte.
- 2.- No pueden tener asentamientos ni desplazamientos excesivos.

Se denomina capacidad de carga última, a la carga por área unitaria de cimentación a la que ocurre la falla general por corte.

En los gráficos mostrados a continuación se pueden ver los distintos tipos de falla generales posibles en un suelo. Los gráficos se muestran de la siguiente manera:

- a) Cimentaciones sobre suelos cohesivos rígidos: Falla general por corte
- b) Cimentaciones sobre suelos granulares o suelos arcillosos de mediana compactación:  
Falla local por corte
- c) Cimentaciones sobre suelos muy sueltos: Falla de corte por punzonamiento.

Los suelos en el sector de Pomasqui son de tipo arenoso sueltos o de compactación media. Por lo que, de acuerdo al concepto general de cimentaciones tendrán una falla local por corte (Fig.5b), o una falla de corte por punzonamiento (Fig.5c).



**Figura 5.- Tipos de falla según el tipo de suelo**

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 134

### 2.1.2 CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA Y ADMISIBLE DEL SUELO ( $q_u$ y $q_{adm}$ ).

En la mecánica de suelos existe la capacidad de carga última ( $q_u$ ) que es la máxima carga teórica que soporta el suelo antes de la falla, y la capacidad de carga admisible ( $q_{adm}$ ) que es la capacidad de carga última reducida por un factor de seguridad generalmente igual a tres. El factor de seguridad es alto debido a que el suelo es un material no homogéneo y no isotrópico.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.} = \frac{q_u}{3}$$

### 2.1.2.1 CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA DEL SUELO: TEORIA DE TERZAGHI

En 1943 Terzaghi presentó una teoría para la evaluación de la capacidad de carga última en cimentaciones superficiales. Se considera cimentación superficial a aquella que la profundidad de la cimentación es menor a tres veces el ancho de la cimentación<sup>7</sup>. Terzaghi formuló ecuaciones de capacidad de carga basadas en la cohesión ( $c'$ ), el ángulo de fricción ( $\phi$ ), la profundidad de cimentación ( $D_f$ ) y del peso específico del suelo ( $\gamma$ ).

Para propósitos de esta investigación utilizaremos la ecuación de capacidad de carga de cimentaciones continuas, esto debido a que el trabajo de compactación y mejoramiento de suelo en campo es mejor realizado en zanjas continuas.

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (\text{cimentación continua o corrida})$$

donde

$c'$  = cohesión del suelo

$\gamma$  = peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo  $\phi'$

#### *Ecuación 1.- Ecuación de Terzaghi para capacidad de carga ultima en cimentaciones continuas*

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 138

Además, Terzaghi recomienda el uso de la siguiente modificación a la ecuación en caso de prever una falla local por corte:

$$q_u = \frac{2}{3}c'N'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma$$

Donde  $N'_c$ ,  $N'_q$  y  $N'_\gamma$ , son factores de capacidad de carga modificados, el cambio en el cálculo consiste en que  $\phi$  se reemplaza por  $\bar{\phi} = \tan^{-1}(2/3 \tan \phi)$

<sup>7</sup> Fuente: "Fundamentos de ingeniería en cimentaciones", Braja Das, 2012, pág. 136.

### 2.1.2.2 CAPACIDAD PORTANTE POR ASENTAMIENTO MÁXIMO

Las estructuras que se cimientan sobre los suelos deben sufrir un asentamiento máximo que dependerá del tipo de estructura, el valor normal que se utiliza para edificaciones comunes es de una pulgada (25.4mm), sin embargo, estructuras especiales como maquinarias o tanques de combustibles requieren asentamientos menores y muy controlados.

Al contrario de las arcillas, los asentamientos en suelos arenosos se producen únicamente por consolidación primaria y se producen a corto plazo. Existen varias metodologías para calcular la capacidad portante de un suelo según el asentamiento. A continuación, se describen los métodos más utilizados aplicables a suelos arenoso:

#### ASENTAMIENTO EN SUELOS ARENOSOS: FACTOR DE INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA

El método de “*factor de influencia de la deformación unitaria*” es un método semiempírico desarrollado por Schmertmann (1978). De acuerdo con Schmertmann el asentamiento en un suelo arenoso es:

$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_0^{z_2} \frac{I_z}{E_s} \Delta z$$

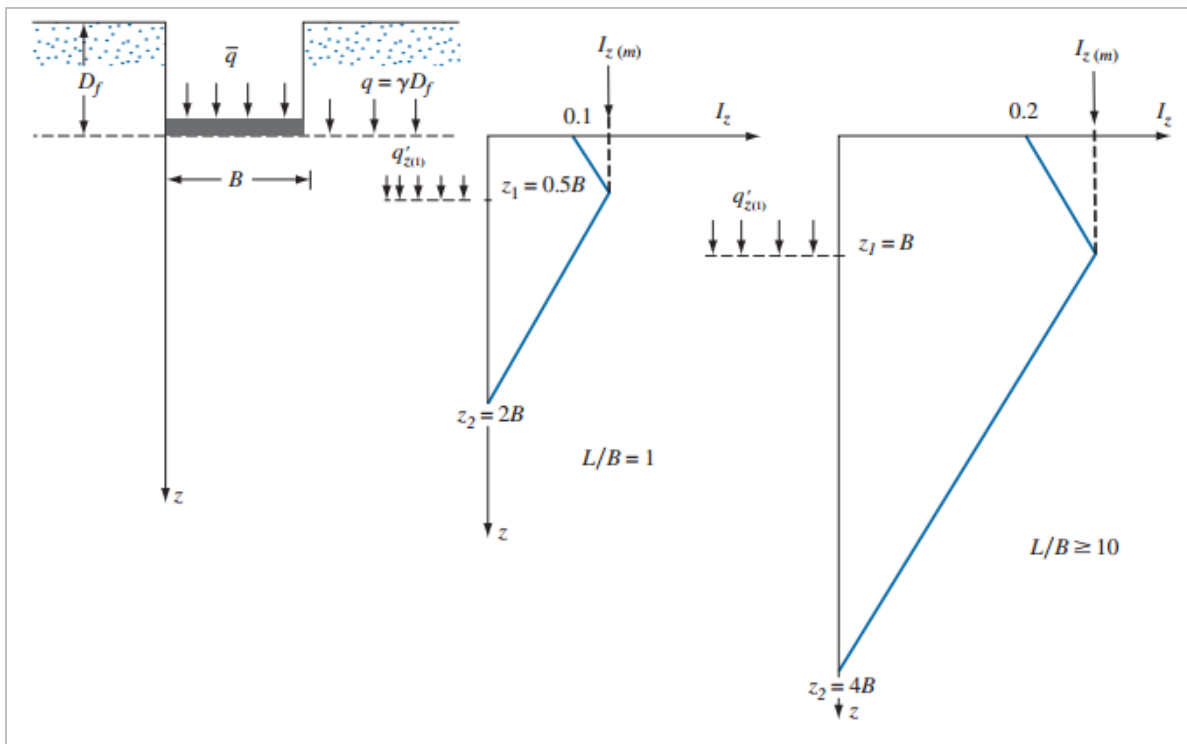
donde

- $I_z$  = factor de influencia de la deformación unitaria
- $C_1$  = un factor de corrección para la profundidad del empotramiento de la cimentación =  $1 - 0.5 [q/(\bar{q} - q)]$
- $C_2$  = un factor de corrección para tomar en cuenta la fluencia plástica del suelo =  $1 + 0.2 \log$  (tiempo en años/0.1)
- $\bar{q}$  = esfuerzo al nivel de la cimentación
- $q = \gamma D_f$  = esfuerzo efectivo en la base de la cimentación
- $E_s$  = módulo de elasticidad del suelo

***Ecuación 2.- Asentamiento de suelos arenosos por el factor de influencia de deformación unitaria***

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 258

Donde el factor de influencia de deformación unitaria varía linealmente respecto a la profundidad, y depende de la relación largo/ancho de la cimentación (L/B). La variación recomendada del valor de  $I_z$  para  $L/B=1$  y  $L/B>10$  se dan por los siguientes diagramas.



**Figura 6.- “Variación del factor de influencia de deformación unitaria con la profundidad y L/B”**

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 259

Nótese que el valor de  $I_z$  para valores diferentes de  $L/B$  se pueden interpolar de estos dos diagramas. También es importante mencionar que el valor de módulo de elasticidad del suelo ( $E_s$ ) puede obtenerse mediante una correlación con el  $N_{60}$  del SPT o con la resistencia al cono de penetración ( $q_c$ ).

La capacidad portante se la puede calcular despejando la Ecuación 2, estableciendo como un valor fijo el asentamiento permisible.

## ASENTAMIENTO DE UNA CIMENTACIÓN BASADO EN EL ENSAYO PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

El ensayo de penetración estándar (SPT) es el ensayo más común utilizado en el país para hallar la compacidad y capacidad portante de un suelo arenoso. Por lo que se han planteado algunas metodologías que permiten calcular la capacidad portante de un suelo según su asentamiento recurriendo al  $N_{60}$  del SPT.

### Método de Meyerhoff

De acuerdo con la teoría de Meyerhoff, modificada posteriormente por Bowles (1977), se propusieron ecuaciones de carga de la siguiente manera:

$$q_{\text{neta}} (\text{kN/m}^2) = \frac{N_{60}}{2.5} F_d \left( \frac{S_e}{25} \right) \quad (\text{para } B \leq 1.22 \text{ m})$$

y

$$q_{\text{neta}} (\text{kN/m}^2) = \frac{N_{60}}{0.08} \left( \frac{B + 0.3}{B} \right)^2 F_d \left( \frac{S_e}{25} \right) \quad (\text{para } B > 1.22 \text{ m})$$

donde

$F_d$  = factor de profundidad =  $1 + 0.33(D_f/B)$

$B$  = ancho de la cimentación, en metros

$S_e$  = asentamiento, en mm

### ***Ecuación 3.- Capacidad portante en función del asentamiento y el $N_{60}$ Bowles (1977)***

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 264

Nótese que el valor de  $N_{60}$  utilizado en la ecuación de Bowles es el correspondiente a profundidades entre el fondo de la cimentación y  $2B$  por debajo del fondo. Es importante señalar que el  $N_{60}$  es distinto al  $N_{\text{SPT}}$ , como se explica a continuación.

## CORRECCIONES $N_{60}$ Y $(N_1)_{60}$ DEL SPT

El ensayo SPT se realiza en todo el mundo, y las condiciones de campo no siempre son las mismas, por lo que la eficiencia energética de los golpes del martillo puede variar entre un 30 a 90%<sup>8</sup>. Actualmente la práctica estándar es el expresar el valor de  $N$  para una eficiencia energética promedio del 60% ( $N_{60}$ ). Por lo que se ha propuesto la siguiente ecuación:

$$N_{60} = \frac{N \eta_H \eta_B \eta_S \eta_R}{60}$$

donde

$N_{60}$  = número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo

$N$  = número de penetración medido

$\eta_H$  = eficiencia del martinete (%)

$\eta_B$  = corrección por el diámetro de la perforación

$\eta_S$  = corrección del muestreador

$\eta_R$  = corrección por longitud de la barra

### *Ecuación 4.- Corrección $N_{60}$ del SPT*

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones, Braja Das, 2012, pág. 83

Las correcciones  $\eta_H$ ,  $\eta_B$ ,  $\eta_S$  y  $\eta_R$  fueron planteadas por Seed (1985) y Skempton (1986), como se muestra a continuación:

#### **Variación de $\eta_H$ : Eficiencia del Martillo**

<b>Tipo de Martillo</b>	<b><math>\eta_H</math> (%)</b>
Safety	60
Donut	45

#### **Variación de $\eta_B$ : Corrección por diámetro de perforación**

<b>Diámetro (mm)</b>	<b><math>\eta_B</math></b>
60 – 120	1
150	1.05
200	1.15

<sup>8</sup> Fuente: “Fundamentos de ingeniería en cimentaciones”, Braja Das, 2012, pág. 83.

### Variación de $\eta_s$ : Corrección por muestreador

Variable	$\eta_s$
Muestreador estándar	1.0
Con recubrimiento para arena y arcilla densas	0.8
Con recubrimiento para arena suelta	0.9

### Variación de $\eta_R$ : Corrección por longitud de la barra

Longitud de la barra (m)	$\eta_R$
> 10	1.0
6 – 10	0.95
4 – 6	0.85
0 – 4	0.75

## CORRECCIÓN $(N_1)_{60}$ DEL SPT PARA SUELOS GRANULARES

En suelos granulares, el valor N del SPT se ve afectado por la presión de sobrecarga efectiva ( $\sigma'_0$ ). Por esa razón los distintos valores en campo se estandarizan para una presión de sobrecarga efectiva de 100 kN/m<sup>2</sup> que es la presión atmosférica aproximada.

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{60}$$

Donde:

$(N_1)_{60}$  = Valor de  $N_{60}$  corregido para la sobrecarga efectiva estándar de 100 kN/m<sup>2</sup>

$C_N$  = Factor de Corrección

Según la relación de Skempton (1986) para arenas finas normalmente consolidadas:

$$C_N = \frac{2}{1 + \left(\frac{\sigma'_0}{P_a}\right)}$$

Donde:

$\sigma'_0$  = Presión de sobrecarga efectiva

$P_a$  = Presión atmosférica = 100 kN/m<sup>2</sup>

## 2.1.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE CIMENTACIONES SOBRE SUELOS ARENOSOS.

### 2.1.2.1 VENTAJAS

Respecto a las cimentaciones sobre suelos arcillosos las ventajas son las siguientes:

- No existe posibilidad de expansión en el suelo.
- El cálculo de asentamientos es más sencillo y preciso en comparación a suelos arcillosos.

### 2.1.2.2 LIMITACIONES

El verdadero problema de las cimentaciones sobre suelos arenosos es cuando su compacidad es baja, por lo que las partículas pueden reacomodarse durante un movimiento, pudiendo presentarse los siguientes problemas.

- Posible colapso del suelo por saturación.
- Mayor tendencia a asentamientos diferenciales por reacomodo de partículas.
- Probabilidad de licuefacción durante un evento sísmico y con presencia de NAF.

Por estas razones es que las cimentaciones sobre suelos arenosos sueltos son frecuentemente diseñadas como zapatas corridas, o losa de cimentación.

Otra opción que se realiza con frecuencia, debido a la baja capacidad portante y a la baja compacidad de los suelos en Pomasqui es realizar un reemplazo de suelo natural por otro con mejores características (generalmente el reemplazo se lo hace por lastre de la zona).

## 2.2 CONTRAPISOS SOBRE SUELOS ARENOSOS

Los contrapisos se diseñan de una forma similar a la que se diseña un pavimento, con consideraciones especiales en las cargas actuantes de acuerdo al uso que se le va a dar a los mismos.

Los suelos arenosos sueltos son igualmente complicados en contrapisos como lo son en cualquier estructura por las razones indicadas anteriormente en 2.1.2.2.

Además de lo ya mencionado, es frecuente encontrar daños no estructurales en elementos asentados directamente sobre el contrapiso. Ejemplos de esto son rupturas de recubrimiento cerámico en piso, fisuramiento de mamposterías de niveles inferiores, o incluso una posible ruptura o daño en tuberías que cruzan el contrapiso o en las paredes apoyadas sobre el mismo (aunque esto último no es frecuente).

### 2.2.1 METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE CONTRAPISOS

#### CONTRAPISOS EN EDIFICACIONES DE VIVIENDA POPULAR

En nuestro medio por lo general los contrapisos para vivienda popular en edificaciones menores a 3 pisos carecen de un diseño técnico y los constructores utilizan losas “tipo” que por experiencia han funcionado en ocasiones anteriores. Frecuentemente se utilizan losas de un espesor de 10 a 15 cm reforzadas con malla electrosoldada construidas sobre un mejoramiento de lastre de un espesor de 20 a 50cm aproximadamente.

Lo que queremos determinar en esta investigación es si el suelo propio del lugar, mejorado con cemento puede sustituir al mejoramiento con lastre que se realiza para los contrapisos, y analizar las ventajas y limitaciones que nos brindaría frente a esta metodología tradicional. Esto se logrará mediante la determinación del valor CBR del suelo natural de la zona compactado y del suelo mejorado con cemento. En comparación con el CBR que proporciona el lastre.

Estos contrapisos “artesanales” funcionan bastante bien en condiciones normales, es decir, si el suelo sobre el que se apoyan reacciona bien, y las cargas aplicadas son relativamente bajas (como automóviles pequeños). En caso de que se sometiera al contrapiso a cargas mayores, este empezaría a presentar fallas estructurales visibles (desniveles localizados, grietas visibles, rotura de la losa, etc.). En el caso de prever cargas grandes, como por ejemplo en una plataforma industrial, los contrapisos deben ser diseñados, como se muestra a continuación:

### DISEÑO DE CONTRAPISOS INDUSTRIALES: MÉTODO DE LA PCA<sup>9</sup>.

El diseño de losas de contrapisos para losas de contrapiso es muy similar al método de diseño para pavimentos rígidos, los factores macro que se deben tener en cuenta para el diseño son:

- Resistencia del concreto.
- Capacidad portante de la subrasante y la sub-base.
- Ubicación, magnitud y frecuencia de las cargas aplicadas.

A continuación, hablaremos brevemente de cada uno de los factores implicados en el diseño:

**Resistencia del Concreto:** Se toma en cuenta tanto la resistencia a la compresión simple a los 28 días ( $f_c$ ) como la resistencia a flexión del hormigón. En el diseño se debe considerar el factor de seguridad que corresponde a la relación de la resistencia a flexión y el esfuerzo de trabajo a flexión. El inverso del factor de seguridad mencionado se conoce como relación de esfuerzos.

La PCA recomienda los siguientes valores de seguridad para el diseño de losas de contrapiso.

- Áreas con gran número de repeticiones de montacargas esperadas, FS=2.0 a 2.2
- Áreas con un número limitado de repeticiones de montacargas, FS= 1.7 a 2.0

---

<sup>9</sup> PCA: Portland Cement Association

- Áreas de almacenamiento sin tráfico constante de montacargas, FS= 1.4 a 1.7

Como se mencionó anteriormente la relación de esfuerzos es el inverso del factor de seguridad, una investigación de la PCA determinó que para una relación de esfuerzos menor o igual a 0.45 el número de repeticiones es ilimitado, es decir no habrá falla por fatiga.

**Ubicación, magnitud y frecuencia de las cargas aplicadas:** El diseño de contrapisos industriales deberá considerar todas las solicitaciones de carga que puedan existir, éstas generalmente son:

- A) Cargas vehiculares: Se deben conocer varios datos para el diseño como son: Carga máxima de eje, área de contacto de la llanta, espaciamiento entre ruedas del eje más pesado y cantidad de repeticiones de la carga. Generalmente se considera como vehículo crítico al montacargas de mayor capacidad.
- B) Cargas distribuidas de almacenamiento: Esto sucede cuando se apilan los objetos directamente sobre la losa de contrapiso. Para este caso deben conocerse los siguientes datos: Carga máxima y ancho crítico del pasillo, carga permisible para prevenir falla en pasillos y si el almacenaje será con arreglo fijo o variable de la carga distribuida.
- C) Cargas puntuales de postes por almacenamiento en “racks”. Comúnmente en las bodegas se procede a almacenar las cosas sobre una serie de estantes o “racks”, mismos que se apoyan sobre postes que transmiten la carga a la losa de contrapiso. Para el diseño de la losa deben conocerse los siguientes datos: Carga máxima del poste, área de contacto de la carga y el espaciamiento entre postes.



*Figura 7.- Tipos de cargas para el diseño de contrapisos*

Fuente: Imágenes de Google

**Capacidad portante de la subrasante:** Todos los esfuerzos que los vehículos o cargas estáticas transmiten a la losa de contrapiso son a su vez transmitidos al suelo, y mientras mejor sea la capacidad portante del mismo, menor será el espesor de la losa. La capacidad portante del suelo para propósitos de diseño de pavimentos se determina mediante el módulo de reacción del suelo “k”, medido en Psi.

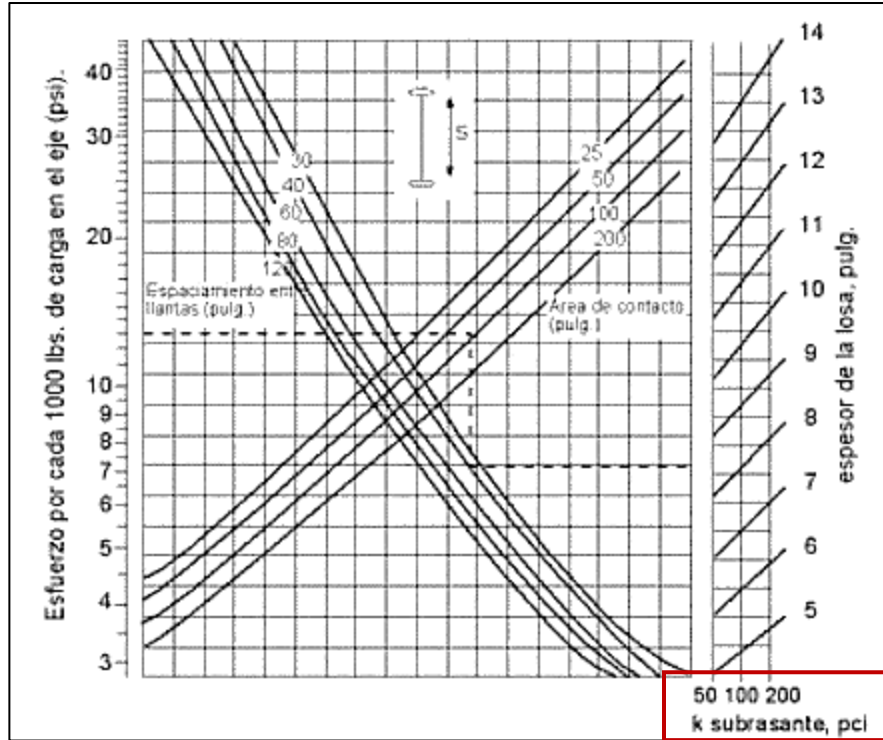


Figura 8.- Gráfico de diseño de losas de contrapiso para ejes sencillos, Método PCA

Fuente: Manual de diseño y construcción de pisos industriales, CEMEX, 2012

Como puede apreciarse en el gráfico, para la misma sollicitación de esfuerzos, un mayor módulo de reacción de la subrasante permitirá reducir el espesor de la losa hasta en una pulgada (2.54 cm), que, en un área grande representa un gran ahorro en términos de costo de hormigón.

## CAPITULO 3: RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO

### 3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

Pomasqui es una población ubicada al norte de la ciudad de Quito, en la vía a la mitad del mundo, actualmente la principal vía de comunicación es la Avenida Manuel Córdova Galarza, misma que comunica a la Mitad del Mundo con Quito. Además, se encuentra en construcción una segunda vía de acceso principal a la población, se trata de la extensión de la Av. Simón Bolívar con tráfico proveniente de los sectores orientales de la ciudad, como Carapungo, Calderón, etc.



**Figura 9.- Ubicación Referencial del sector de Pomasqui**

Fuente: Google Maps

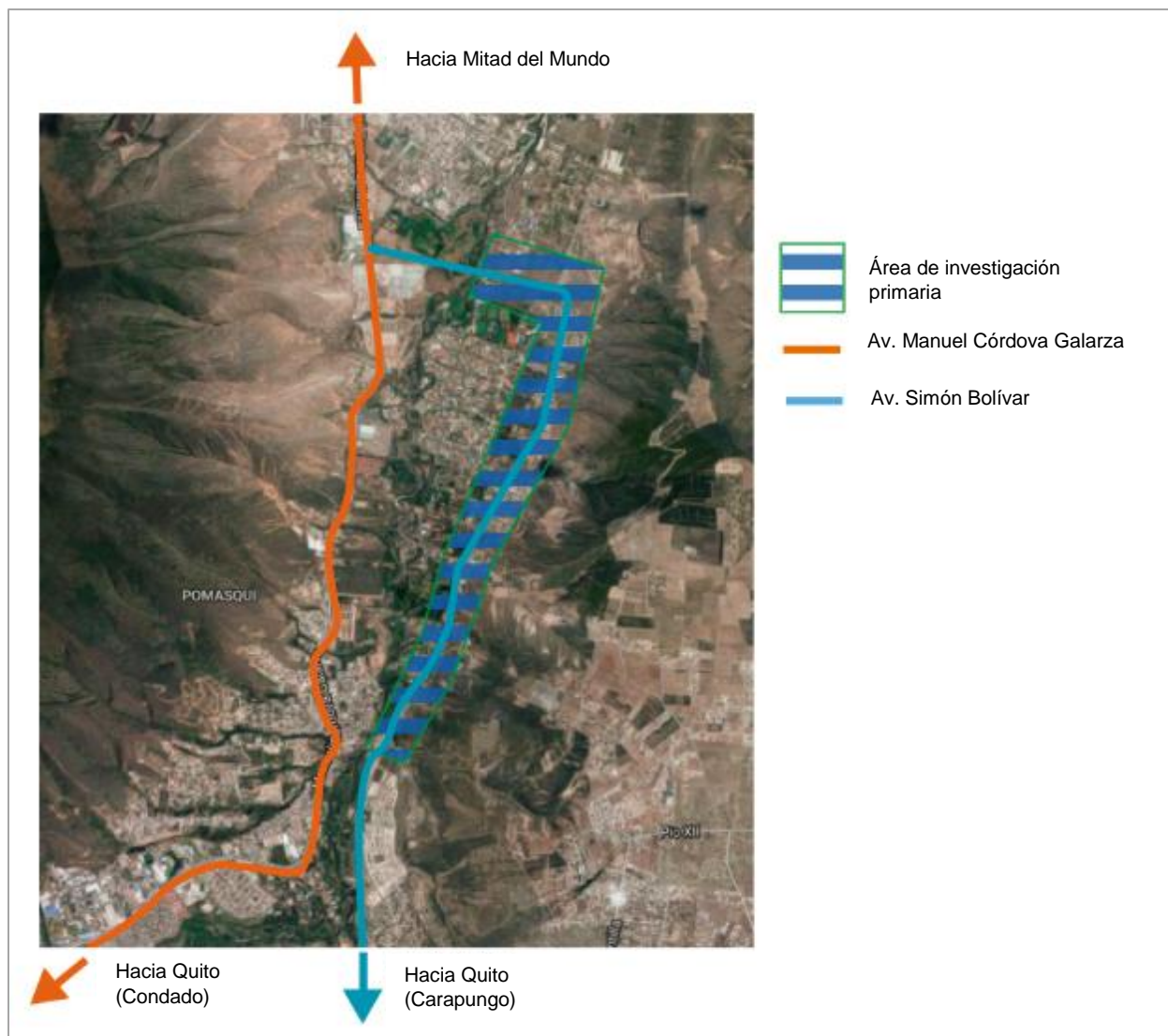
Para la siguiente investigación se ha dividido el sector de Pomasqui en dos Áreas principales:

- Área de investigación primaria: Es el área que abarca todos los estudios de campo realizados directamente en la presente investigación.

- Área de investigación secundaria o complementaria: Es un área extendida, utilizando datos de investigaciones existentes realizadas en la zona.

### 3.1.1 ÁREA DE INVESTIGACIÓN PRIMARIA

La delimitación del área de estudio para la presente investigación se concentra en las zonas no pobladas actualmente, aledañas a la nueva extensión de la Av. Simón Bolívar, tomando como extremo norte al puente que conecta las dos avenidas, y como extremo sur a la población “ciudad Bicentenario” dentro de ésta área se realizaron los muestreos en campo correspondientes para llevar a cabo la investigación. Como se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 10.- Área de investigación primaria**

Fuente: Google Maps, edición por Marco López

### 3.1.2 ÁREA DE INVESTIGACIÓN SECUNDARIA O COMPLEMENTARIA

Con el propósito de extender el área de aplicación de los resultados de la presente tesis, se ha propuesto realizar una comparación de las propiedades del suelo natural del área especificada con el suelo de áreas aledañas de dos maneras posibles:

- Uso de información disponible de estudios de suelos existentes.
- Obtención de muestras alteradas a poca profundidad con barreno (con propósitos de clasificación únicamente.)

De manera que, si el suelo de áreas aledañas tiene características muy similares a las del suelo en estudio, el área de aplicación de los resultados de la investigación presente se ampliaría.

### 3.1.3 USO DE SUELO EN EL SECTOR DE POMASQUI

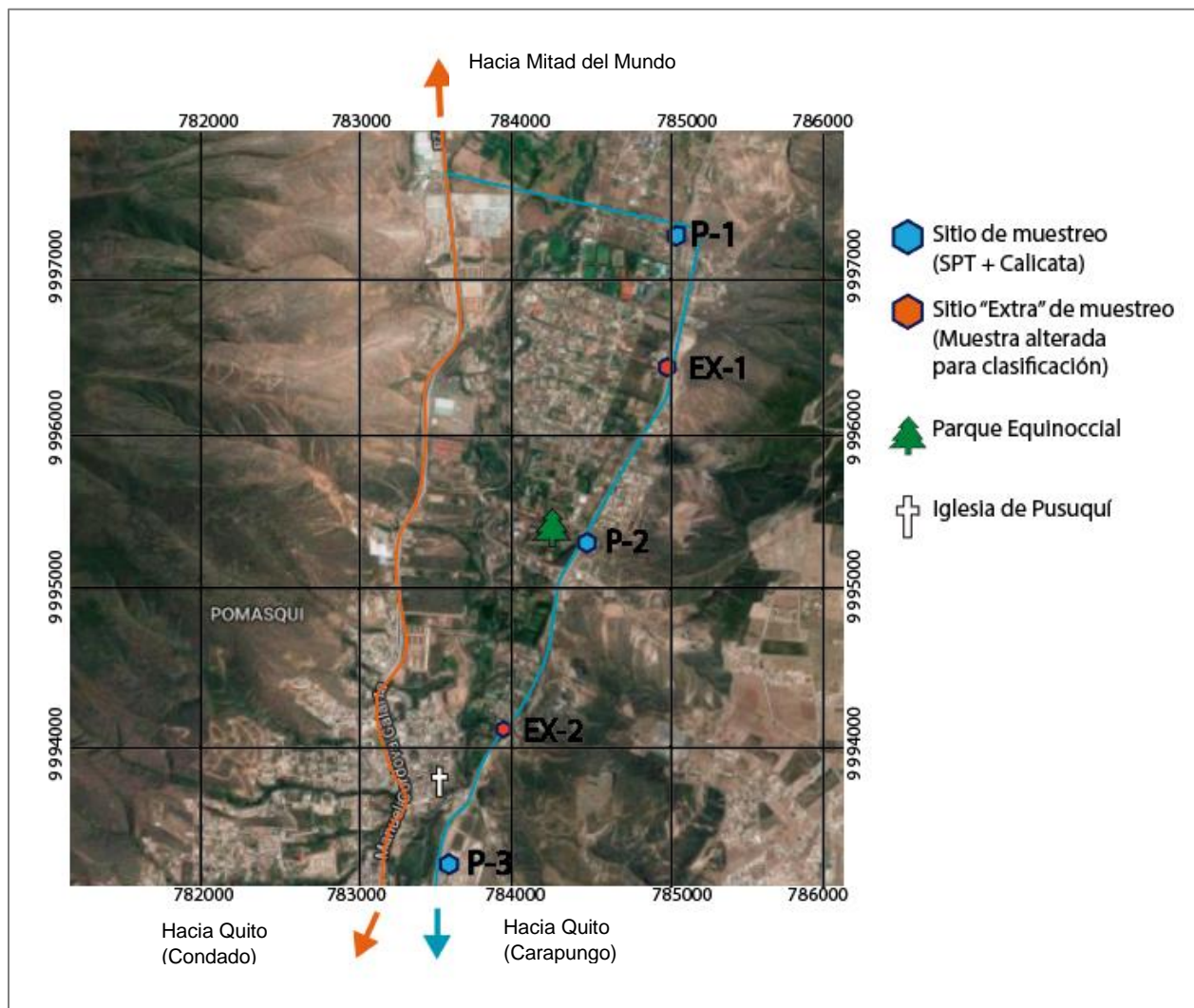
Según el mapa de uso de suelo del DMQ, la parroquia de Pomasqui tiene un uso de suelo principalmente residencial y residencial agrícola. La planificación de suelo no permite el uso de suelo de forma industrial en esta zona. La densidad poblacional de la zona es de 15 a 25 habitantes por hectárea según los datos del DMQ.

### VIVIENDA TIPO EN POMASQUI

La vivienda tipo en el sector, evaluada visualmente mediante análisis de imágenes satelitales acompañadas de un recorrido en automóvil, se puede describir como vivienda popular de una altura promedio de 2 pisos y no mayor a cuatro pisos, sin subsuelos. El material de construcción tipo en la zona es el hormigón, con mampostería de bloque.

### 3.2 TRABAJOS DE CAMPO

Todos los trabajos de campo se realizaron dentro del área de investigación primaria. Los trabajos consistieron en ensayos de penetración estándar (SPT) en tres puntos dentro de la zona, con el propósito de investigar la compacidad y tener una clasificación más detallada de los estratos de suelos. Acompañados de toma de muestras alteradas integrales para los posteriores ensayos de laboratorio. En el siguiente gráfico se pueden apreciar las ubicaciones de los puntos de muestreo correspondientes.



**Figura 11.- Ubicación de puntos de muestreo**

Fuente: Google Maps, edición por Marco López

A continuación, se detallan las coordenadas UTM de los puntos de muestreo:

PUNTO	NORTE	ESTE	DISTANCIA
P - 1	9 997 395 m	785 111 m	
EX - 1	9 996 445 m	785 063 m	951.2 m
P - 2	9 995 360 m	784 482 m	1230.8 m
EX - 2	9 994 151 m	783 973 m	1311.8 m
P - 3	9 993 260 m	783 538 m	991.5 m

### 3.2.1 ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.

Se realizaron tres ensayos de penetración estándar SPT de acuerdo con normativa ASTM D1586-11. Las perforaciones fueron de cinco metros de profundidad, se realizó el ensayo cada 50cm en los primeros tres metros y cada metro en los dos metros siguientes.

A continuación, se detalla el equipo y procedimiento utilizado conforme la normativa. Todos los numerales detallados se refieren a la normativa ASTM D1586-11.

#### Equipo Utilizado:

- Auger Manual: Diámetro de 4 pulgadas (Sección 5.1.4)
- Cuchara Partida: Fabricada en Acero Reforzado, diámetro externo de 2 pulgadas y diámetro interno de 1<sup>1/2</sup> pulgadas (Sección 5.3)
- Martillo “Safety”: Peso normado de 140 ± 2 lb, sistema de golpe con operador manual, utilizando motor y cuerda. (Sección 5.4)

#### Procedimiento de perforación.

- Intervalo de muestreo: Cada 0.5m hasta los 3.0m de profundidad y cada 1.0m en adelante (Sección 6.1)
- Limpieza de perforación: Manual, mediante Auger (Secciones 6.2 y 6.3)

## **Procedimientos de ensayo y muestreo**

- Una vez avanzada la perforación utilizando el Auger hasta la profundidad deseada. Desde el nivel del suelo, se dibujan tres marcas en la tubería cada 15cm, de forma que sean claramente visibles para el operador del equipo. (Sección 7.1)
- Se continúa golpeando hasta hundir la cuchara completamente para todas las marcas dibujadas. A menos que haya un “rechazo” o un hundimiento de la cuchara por peso propio (Sección 7.2)
- Se registran el número de golpes que se requieren para hundir el muestreador cada intervalo. (Sección 7.3)
- La altura de caída del martillo es de  $30 \pm 1.0$  pulgadas ( $0.76 \pm 0.03$  m). En este caso se utilizó el método B, que corresponde al manual con motor y cuerda (Sección 7.4)
- Una vez terminado el ensayo, se extrae el muestreador y se recupera la muestra, detallando el porcentaje de muestra recuperada o la longitud de muestra recuperada. Se realiza una clasificación manual visual según ASTM D2488, y se guarda la muestra en un contenedor que conserve la humedad natural de la misma. (Sección 7.5)

## **Resultados**

- Registro de perforación: En el mismo se incluyen datos relevantes tales como: nombre del proyecto, fecha, ubicación de la perforación, valores de N, clasificación del suelo para cada estrato, etc.
- Valor de  $N_{60}$ : Es el valor de N corregido teniendo en cuenta varios factores, es utilizado para cálculo de capacidad portante y asentamientos.

- Compacidad del suelo: La compacidad del suelo puede ser evaluada según el número de golpes.

## REGISTROS DE PERFORACIÓN

GeoConsult

Teléfono 2234-434

### REGISTROS DE PERFORACIÓN

**PROYECTO:** Mejoramiento del suelo de Pomasqui con cemento

**OBRA:** Sondeo SPT - Medición de Compacidad

Fecha: Oct. de 2016

**SONDEO:** P - 1

**UBICACIÓN:** Sector Norte, Cercano al nuevo puente

PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	S.P.T		N ----	(N1)60 —	10		20	
		De (m)	A (m)						
0.5	Arena limosa pumítica color café grisacea de compacidad suelta y baja humedad.	0	0.45	4	5				
1.0		0.50	0.95	5	6				
1.5	Arena limosa pumítica color gris amarillenta de compacidad suelta y bajo contenido de humedad.	1.00	1.45	7	8				
2.0		1.50	1.95	10	11				
2.5		2.00	2.45	4	4				
3.0		2.50	2.95	8	8				
3.5	Arena limosa pumítica color café grisacea de compacidad suelta a media baja y mediano contenido humedad.	3.00	3.45	10	9				
4.0		4.00	4.45	11	10				
4.5		4.50	4.95	7	6				
5.0									

NIVEL FREÁTICO: No se presenta.

#### Ubicación Geográfica



N 9 997 395 // E 785 111

#### Registro Fotográfico



### REGISTROS DE PERFORACIÓN

**PROYECTO:** Mejoramiento del suelo de Pomasqui con cemento

**OBRA:** Sondeo SPT - Medición de Compacidad

Fecha: Oct. de 2016

**SONDEO:** P - 2

**UBICACIÓN:** Sector Central, Cercano a parque metropolitano Equinoccial

PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	S.P.T		N ----	(N1)60 —	10		20	
		De (m)	A (m)						
0.5	Arena limosa pumítica color café grisacea de compacidad suelta a media baja y bajo contenido de humedad	0	0.45	9	11				
1.0		0.5	0.95	9	11				
1.5		1	1.45	4	4				
2.0	Arena limosa pumítica color café grisacea de compacidad media baja a suelta, con presencia de gravas y gravillas. El conjunto presenta un bajo contenido de humedad	1.5	1.95	13	14				
2.5		2	2.45	7	7				
3.0		2.5	2.95	13	12				
3.5		3	3.45	10	9				
4.0									
4.5		4	4.45	15	14				
5.0		4.5	4.95	16	14				

NIVEL FREÁTICO: No se presenta.

#### Ubicación Geográfica



N 9 996 445 // E 785 063

#### Registro Fotográfico



### REGISTROS DE PERFORACIÓN

**PROYECTO:** Mejoramiento del suelo de Pomasqui con cemento

**OBRA:** Sondeo SPT - Medición de Compacidad

Fecha: Oct. de 2016

**SONDEO:** P - 3

**UBICACIÓN:** Sector Sur, Cercano a Ciudad Bicentenario

PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	S.P.T		N ----	(N1)60 —	10 20 30		
		De (m)	A (m)					
0.5	Arena limosa pumítica color gris amarillenta de compacidad suelta a media baja y bajo contenido de humedad y de plasticidad nula.	0	0.45	4	5			
1.0		0.50	0.95	6	7			
1.5		1.00	1.45	7	8			
2.0		1.50	1.95	9	9			
2.5		2.00	2.45	11	11			
3.0		2.50	2.95	13	12			
3.5		3.00	3.45	17	15			
4.0		4.00	4.45	32	30			
4.5	Arena pumítica blanquecina de compacidad alta y bajo contenido de humedad.	4.50	4.95	11	10			
5.0	Limo arenoso de plasticidad nula y consistencia semidura baja							

NIVEL FREÁTICO: No se presenta.

#### Ubicación Geográfica



N 9 995 360 // E 784 482

#### Registro Fotográfico

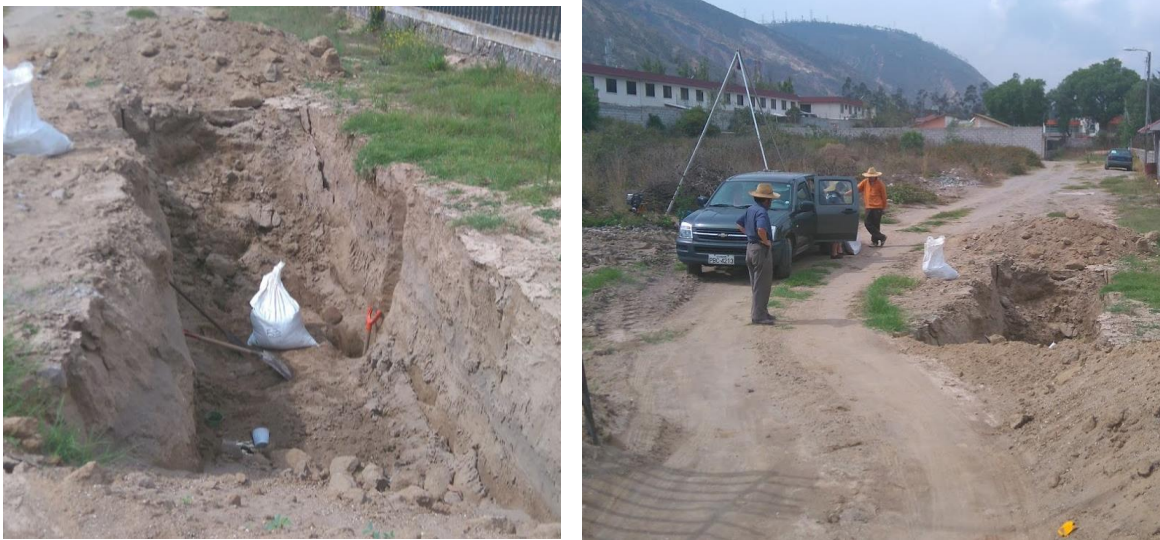


### 3.2.2 TOMA DE MUESTRAS ALTERADAS

Las muestras de campo fueron obtenidas mediante calicatas (ASTM D420). En cada uno de los puntos de investigación se tomaron dos muestras integrales, de 0.0 a 1.5 m y de 1.5 a 3.0m de profundidad. La cantidad de material recolectado corresponde a aproximadamente 60kg por cada muestreo, es decir un total de 360kg.

En cada uno de los puntos de muestreo se realizó primero un ensayo SPT para comprobar la compacidad del suelo. Para P-1 la muestra fue extraída de una excavación en un terreno plano, y el ensayo SPT se lo realizó a 5 metros de la excavación. En el caso de P-2 y P-3 las muestras fueron tomadas de taludes descubiertos, y los ensayos SPT correspondientes se los hicieron en la parte superior del talud.

Debido a las características arenoso sueltas del suelo, no fue posible realizar la obtención de un bloque inalterado de suelo. Por lo que para realizar los ensayos en suelo natural se procedió a remoldear la muestra en laboratorio. A continuación, se presentan las fotografías del muestreo:



**Fotografía 1.- Extracción de muestra integral en P-1**

Fuente: Fotografía propia.



**Fotografía 2.- Extracción de muestras integrales en P-2 y P-3**

Fuente: Fotografía propia.

### 3.2.3 EVALUACIÓN VISUAL DE TALUDES EN LA VÍA

Se pudo observar visualmente la uniformidad del tipo de suelo a lo largo de la vía gracias a los taludes recién excavados que se encontraron a lo largo de la autopista. Además del suelo arenoso típico, se apreciaron pequeños ojos de pómez y gravilla en ciertos lugares a lo largo de Pomasqui. A continuación, se muestran fotografías de taludes en la vía distanciados aproximadamente 1km entre sí:



**Fotografía 3.- Excavación en ampliación de Av. Simón Bolívar, cercana al punto EX1**

Fuente: Fotografía propia.



***Fotografía 4.- Excavación en ampliación de Av. Simón Bolívar, cercana al punto EX2***

Fuente: Fotografía propia.



***Fotografía 5.- Excavación en ampliación de Av. Simón Bolívar, al norte de ciudad Bicentenario***

Fuente: Fotografía propia.

## CAPÍTULO 4: ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio realizados en esta investigación nos proporcionarán las características del suelo en campo, y además, nos ayudarán a predecir el comportamiento en campo tanto del suelo natural como de nuestra propuesta de mejoramiento del suelo natural con cemento MH.

Los ensayos de laboratorio fueron divididos en dos grandes grupos:

- **Ensayos de clasificación del suelo:** Con estos ensayos caracterizaremos el suelo según el SUCS.
- **Ensayos de comportamiento mecánico del suelo:** Con estos ensayos determinaremos algunas propiedades mecánicas tanto del suelo natural como del mejorado con cemento: resistencia a la compresión simple, ángulo de fricción, densidad máxima y humedad óptima de compactación (Proctor modificado) y su durabilidad.

Una vez finalizados todos los ensayos de laboratorio se podrá apreciar mediante parámetros medidos, las características físicas y mecánicas que pudieron ser mejoradas en el suelo natural y la magnitud de dichas mejoras. Cabe señalar que los ensayos de laboratorio escogidos en la presente investigación se centran en el mejoramiento de la capacidad de carga que brinda el suelo bajo cargas estáticas. Sin embargo, es previsible que también mejoren otras características tales como una disminución de permeabilidad, mejoramiento de comportamiento ante cargas dinámicas (menor susceptibilidad a la licuación), disminución de riesgo de colapso de suelo entre otras. La medición de dichas mejoras puede ser un tema de investigación futura.

A continuación, se presenta brevemente la metodología según la normativa ASTM para cada uno de los ensayos de laboratorio realizados en nuestra investigación en los suelos naturales y mejorados con cemento.

## 4.1 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DE LOS ENSAYOS

### 4.1.1 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación del suelo es el primer paso para tener una noción de las características del mismo, y es un requisito esencial para determinar qué tipo de ensayos mecánicos deben aplicarse en los suelos y también que consideraciones deben tomarse durante su manejo tanto en campo como en laboratorio. Por ejemplo, no es conveniente hacer un ensayo de compresión simple en un suelo arenoso, como tampoco es conveniente realizar un ensayo de corte directo en un suelo arcilloso.

Los suelos se clasifican principalmente en base sus características físicas (distribución granulométrica, límites de Atterberg, gravedad específica). Existen dos sistemas de clasificación de suelos utilizados comúnmente en el medio:

- El sistema de clasificación de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO)
- El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

En la presente investigación las clasificaciones de suelos se harán mediante el sistema SUCS, ya que es el más utilizado en obras civiles no viales. Los ensayos requeridos para la clasificación del suelo de acuerdo con cualquiera de los dos sistemas son los siguientes:

- Ensayo de Granulometría (ASTM D6913)
- Ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D4318)
- Ensayo de Contenido de Humedad Natural (ASTM D2216)
- Ensayo de Gravedad Específica del Suelo (ASTM D854)

Con los resultados de los ensayos mencionados puede realizarse efectivamente la caracterización de los suelos por sus propiedades físicas, ya sea por el SUCS, o por la clasificación de la AASHTO.

## GRANULOMETRÍA (ASTM D-6913)

Se ha realizado un análisis granulométrico con mallas, de acuerdo a la normativa vigente ASTM D-6913. Del mismo que se han obtenido las curvas granulométricas para cada muestra obtenida de los muestreos de pozo a cielo abierto (calicatas). La distribución de las mallas utilizadas en los ensayos de granulometría es la siguiente, de acuerdo con la norma:

Malla N°	Apertura (mm)
4	4.76
10	2.00
40	0.42
100	0.149
200	0.074

*Tabla 4.- Mallas utilizadas para la distribución granulométrica en la investigación*

A partir de los datos obtenidos de los ensayos se puede calcular la curva granulométrica, además del coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y coeficiente de graduación ( $C_c$ ). Necesarios para una posterior clasificación del suelo por el SUCS.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

Donde,  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son los tamaños de partícula correspondientes al porcentaje que pasa 10%, 30% y 60% respectivamente en la curva granulométrica.

## LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D4318-10)

Los límites de Atterberg determinan las fronteras en la cantidad de agua necesaria para que un suelo tenga un comportamiento semisólido, plástico o semilíquido. Los ensayos fueron realizados según la normativa vigente ASTM D4318-10. A continuación, se presentan breves resúmenes de la metodología utilizada:

**Ensayo multipunto de límite líquido:** El ensayo se realiza según la normativa ASTM D4318-10, Método A (Sección 11). Con una muestra de suelo que pase el tamiz No.40, utilizando la copa de Casagrande, y un acanalador especificados en la norma, se deben tomar al menos tres puntos con distintos números de golpes en la copa y posteriormente colocarlos en un gráfico “Contenido de agua (W%) vs. Número de golpes (N)”. El límite líquido será la intersección de la línea de tendencia con la abscisa de los 25 golpes.

**Ensayo de límite plástico:** El ensayo se realiza según la normativa ASTM D4318-10 Método Manual (Sección 15 y 16), mismo que indica el uso de 20g o más de la muestra preparada una vez acabado el límite líquido, a la muestra se le quita el contenido de agua mediante un secado en papel. Se toma una porción de suelo y se lo amasa hasta conseguir un cilindro de 3.2mm, una vez conseguido esto se lo divide en varias partes y se lo vuelve a juntar todo en una sola masa. El procedimiento se repite hasta que el suelo se rompa antes de poder convertirse de nuevo en un cilindro de 3.2mm nuevamente. Cuando esto ocurre se toman muestras del suelo para obtener su contenido de humedad, mismo que corresponde al límite plástico.

Los suelos arenosos se caracterizan entre otras cosas por ser suelos no plásticos, por lo que los límites de Atterberg reflejan únicamente un valor “NP” o “No plástico”. Es importante recalcar que los suelos estabilizados con cemento si bien es cierto adquieren una cierta cohesión, siguen siendo suelos no plásticos.

## CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DEL SUELO (ASTM D2216-10)

El contenido de humedad natural del suelo es especialmente importante para determinar la cantidad de agua presente en el suelo y, por consiguiente, la cantidad de agua que debe ser añadida (o sustraída) del mismo para llevar a cabo labores de compactación tanto en laboratorio como en campo, ya que, como veremos posteriormente las probetas de suelo cemento y el proceso de estabilización en campo se lo hace en la humedad óptima del suelo. A continuación, se realiza un breve resumen de la metodología dispuesta por la normativa ASTM

**Muestras:** Las muestras deben ser preservadas y transportadas acorde a la normativa ASTM A4220. Si las muestras se van a almacenar antes de ser ensayadas se deberán guardar en contenedores herméticos que se encuentren en temperaturas de entre 3 y 30 °C. Para los contenidos de humedad que se realizan en conjunción con otros ensayos ASTM, la masa del espécimen a usarse será la requerida por dicho método. Si no se especifica una masa mínima se deberán usar las siguientes masas recomendadas.

<b>Máximo tamaño de partícula (Pasa 100%)</b>	<b>Tamaño de malla estándar</b>	<b>Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a <math>\pm 0.1\%</math></b>	<b>Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a <math>\pm 1\%</math></b>
2 mm o menos	Nº 10	20 g	20 g*
4.75 mm	Nº 4	100 g	20 g*
9.5 mm	3/8"	500 g	50 g
19.0 mm	3/4"	2.5 kg	250 g
37.5 mm	1½"	10 kg	1 kg
75.0 mm	3"	50 kg	5 kg

*Tabla 5.- Masa mínima recomendada para ensayos de humedad natural.*

Fuente: Normativa ASTM D 2216-10, Sección 8

En el caso de nuestra investigación, el tamaño máximo de la partícula fue inferior a 9.5mm por lo que se utilizó una masa de 500g en cada caso para la determinación de la humedad natural de la muestra.

**Procedimiento:** La determinación del contenido de humedad sigue los siguientes pasos, para este y cualquier otro ensayo que requiera la determinación del contenido de humedad.

- Determinar la masa seca del contenedor ( $M_c$ ), g.
- Colocar la muestra húmeda en el contenedor y registrar la masa del conjunto ( $M_{c+s}$ ), g.
- Secar el conjunto en un horno a  $110 \pm 5$  °C, hasta que exista un cambio insignificante en la masa del conjunto ( $<0.1\%$ ) después de haberlos pesado por dos periodos consecutivos (mayores a 1h). Normalmente un periodo de 12 a 16 horas es suficiente.
- Registrar la masa seca del conjunto ( $M_d$ ), g.

**Cálculos:**

$$w = \text{contenido de humedad (\%)} = \frac{M_{c+s} - M_d}{M_d - M_c} \times 100$$

#### GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO. (ASTM D854-14)

La gravedad específica del suelo se determinó mediante el método del picnómetro de agua, siguiendo la normativa ASTM D854 – 14, método A. La gravedad específica del suelo se define como la relación entre la masa de un volumen de sólidos en el suelo con relación a la masa del mismo volumen de agua destilada a 20°C.

**Preparación de las muestras:** La muestra debe ser previamente tamizada por el tamiz N°4 secada al horno antes de realizar el ensayo. En la siguiente Tabla se muestran las masas recomendadas para el ensayo según el tipo de suelo.

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Masa seca del espécimen (g) Para ensayo en picnómetro de 250 mL</b>	<b>Masa seca del espécimen (g) Para ensayo en picnómetro de 500 mL</b>
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Limo o Arcilla	35 ± 5	50 ± 10

**Tabla 6.- Masas recomendadas para especímenes de prueba de gravedad específica por picnómetro**

Fuente: Normativa ASTM D 854-14, Sección 8

**Procedimiento de Ensayo:** El método A, para especímenes húmedos indica en resumen el siguiente procedimiento:

- Determinar el contenido de humedad de la muestra según la metodología D 4216, y a partir de esto calcular la masa necesaria para el ensayo según los rangos especificados en la tabla 4.
- Se agrega aproximadamente 100 mL de agua al suelo y se lo coloca en una mezcladora o un dispositivo similar. Hasta que se forme un lodo.
- Con un embudo se vierte el lodo dentro del picnómetro, y se enjuaga internamente las paredes del mismo vertiendo agua destilada con un rociador. Se agrega agua hasta haber llenado el cuerpo principal del picnómetro entre 1/3 y 1/2 de su volumen.
- Se elimina todo el aire atrapado en el lodo formado previamente. mediante el uso de un aparato de succión o mediante el uso de calor para hervir el agua.
- Se llena el picnómetro hasta la marca y se procede a determinar la masa del picnómetro, suelo y agua con una precisión de 0.01 g. Se debe utilizar la misma balanza que se utilizó para su calibración.
- Finalmente se procede a registrar la temperatura de la muestra con una precisión de 0.1°C.

### Cálculos:

- Cálculo de la masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

Donde:

$M_{pw,t}$  = Masa del picnómetro y agua a la temperatura de ensayo ( $T_t$ ), g.

$M_p$  = Masa promedio calibrada el picnómetro seco, g

$V_p$  = Volumen promedio calibrado del picnómetro, en mL.

$\rho_{w,t}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo ( $T_t$ ), g/mL.

(Proporcionado en la Tabla 2 de la normativa)

- Cálculo de la gravedad específica del suelo a la temperatura de ensayo  $G_t$

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{(M_{pws,t} - (M_{pw,t} - M_s))}$$

Donde:

$\rho_s$  = Densidad de los sólidos del suelo en  $\text{g/cm}^3$ .

$\rho_{w,t}$  = Densidad del agua a la temperatura de ensayo en  $\text{g/cm}^3$ .

(Proporcionado en la Tabla 2 de la normativa)

$M_s$  = Masa de los sólidos del suelo secados al horno, g.

$M_{pws,t}$  = Masa del picnómetro, agua, y sólidos de suelo a la temperatura de ensayo, ( $T_t$ ), g.

- Cálculo de la gravedad específica del suelo a 20 °C

$$G_{20^\circ\text{C}} = k \cdot G_t$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de temperatura (Proporcionado en la tabla 2 de la normativa).

#### 4.1.2 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN: PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 – 12)

El ensayo de compactación del Proctor modificado es la práctica estándar para determinar la relación entre el contenido de agua y la densidad seca de una muestra compactada con un esfuerzo de compactación de 2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 ft-lbf/ft<sup>3</sup>) y de esta forma obtener la curva de compactación, la densidad seca máxima y la humedad óptima de compactación. Datos que sirven para realizar una compactación efectiva en campo, y en este caso también para el posterior moldeo de los especímenes de ensayo de las probetas suelo-cemento.

**Método utilizado:** Método A, éste método es adecuado para nuestro estudio ya que la cantidad de material retenido en la malla No. 4 es menor al 25%. El método tiene las siguientes consideraciones:

- Molde: 4 pulgadas de diámetro (101.6mm), normado (Ver figura)
- Material: Pasa malla No.4
- Capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Martillo de compactación: Peso = 44.48-N (10-lbf), Altura de caída = 457.2 mm (18.00 in)

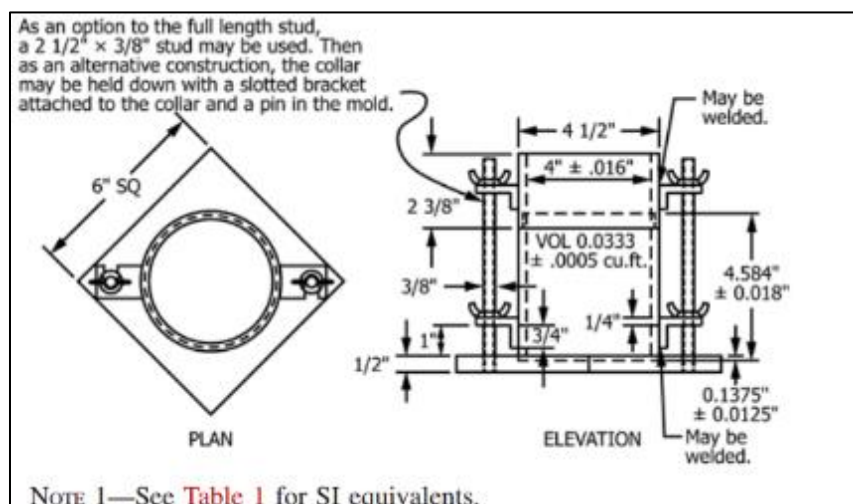


Figura 12.- Especificaciones y dimensiones normadas para molde de 4'' de Proctor modificado.

Fuente: Normativa ASTM D 1557-12, Sección 5

**Preparación de la muestra:** Se utilizó el método de preparación con muestra húmeda, que para este caso sigue en resumen los siguientes pasos:

- El espécimen de prueba debe ser de al menos 23kg para el método A. Sin secar la muestra, se tamiza por la malla No. 4 y se separa el suelo pasante para el ensayo.
- De la fracción para el ensayo se separa en al menos cuatro sub especímenes y se les agrega o quita humedad tratando de que haya una diferencia de humedad de aproximadamente 2% (no se recomienda una diferencia mayor al 4%) entre cada sub espécimen. Para agregar humedad se riega agua sobre el suelo y se lo mezcla, en caso de secado se debe secar en un aparato cuya temperatura no exceda los 60°C y se debe mover constantemente el suelo.
- Una vez alcanzados las humedades deseadas y antes de la compactación debe darse un tiempo de “curado” de la muestra almacenándola en un recipiente cubierto el tiempo de requerido de espera es determinado por la siguiente tabla:

<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Mínimo tiempo de espera, h</b>
GW, GP, SW, SP	No es requerido
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16

*Tabla 7.- Tiempos de espera para el “curado” de la muestra antes de la compactación*

Fuente: Normativa ASTM D 1557-12, Sección 10

**Procedimiento de ensayo:** Una vez cumplido el tiempo de curado de la muestra, se puede proceder a la compactación, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se compacta el suelo en cinco capas. Una vez compactado, cada capa debe ser de aproximadamente el mismo espesor y la última capa debe llenar ligeramente el collar de extensión.

- Para el método A que fue el usado en esta investigación, cada capa se compacta con 25 golpes. En este caso fue usado un martillo de compactación manual.
- Una vez terminada la compactación, se remueve cuidadosamente el collar, y se corta el suelo sobrante en la parte superior del molde donde este se encontraba.
- Se determina la masa del espécimen y el molde junto con la placa base, con una precisión de 1g.
- Se retira el material del molde y se procede a obtener el porcentaje de humedad ya sea tomando muestras representativas o secando todo el espécimen.

### Cálculos:

- **Densidad Húmeda**

$$\rho_m = K \cdot \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

$\rho_m$  = Densidad húmeda del sub espécimen compactado (punto de compactación) , se utilizan 4 dígitos significativos, g/cm<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.

$M_t$  = Masa del conjunto suelo compactado – molde, precisión 1g.

$M_{md}$  = Masa del molde de compactación, precisión 1g.

$V$  = Volumen del molde de compactación, en cm<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

$K$  = Constante de conversión de unidades, K=1 cuando la densidad se encuentra en g/cm<sup>3</sup> y el volumen en cm<sup>3</sup>.

- **Densidad Seca**

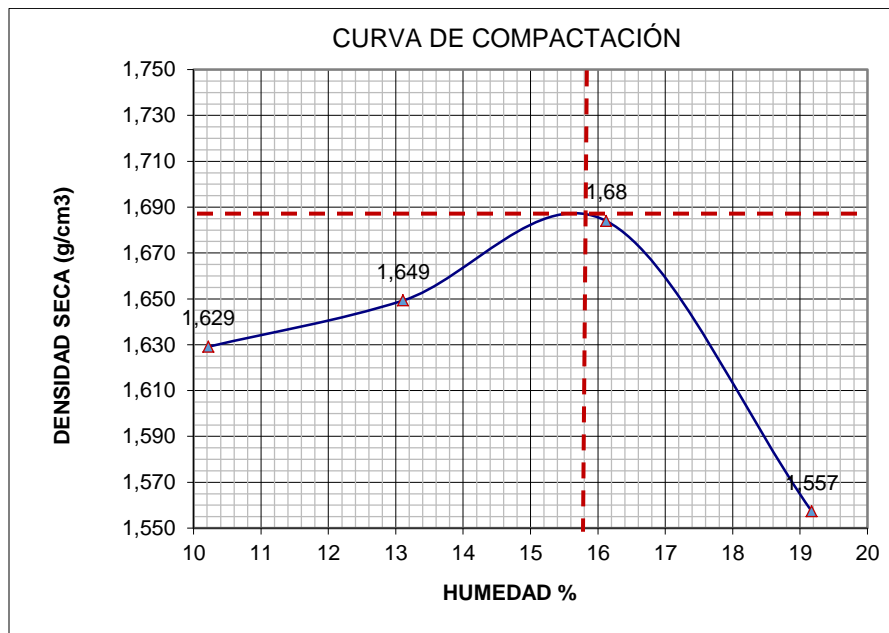
$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del sub espécimen compactado, se utilizan 4 dígitos significativos, g/cm<sup>3</sup> o kg/m<sup>3</sup>.

$w$  = Contenido de humedad del punto de compactación, determinado al 0.1%.

- **Curva de compactación:** La curva de compactación se la construye graficando el contenido de humedad y la densidad seca de cada uno de los sub especímenes (puntos de compactación).



*Figura 13.- Curva de compactación del suelo natural en P1 (0.00 a 1.50)*

Fuente: Gráfico propio

A partir de la curva de compactación se determinan dos parámetros fundamentales: la humedad óptima y la densidad seca máxima. En el ejemplo mostrado para el suelo natural de P1

podemos ver que la **humedad óptima** corresponde al **15,8%** y su **densidad seca** (máxima) es **1.687 g/cm<sup>3</sup>**.

#### 4.1.3 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE (ASTM D1633 – 00)

El ensayo de compresión simple permite obtener la resistencia a la rotura no confinada de los cilindros de suelo cemento, y también su módulo de elasticidad.

**Preparación de la muestra:** Se preparan los cilindros de suelo cemento con el siguiente procedimiento:

- Tamaño del cilindro: Para el ensayo se moldearon cilindros de 71.1 mm de diámetro y 142.2 mm de altura (2.8 pulg. de diámetro y 5.6 pulg. de altura).
- Moldeo de los especímenes: Los especímenes fueron moldeados a la humedad óptima y con la misma energía específica de compactación que el ensayo de Proctor modificado de tal manera que se alcanzó un mínimo de 95% de la densidad seca máxima obtenida previamente.
- Curado de los especímenes: Los cilindros fueron curados hasta su ensayo dentro de una cámara de humedad.

**Procedimiento de ensayo:** Consiste en aplicar esfuerzos de compresión a un espécimen no confinado, en resumen, el procedimiento fue el siguiente:

- Sumergir al espécimen en agua por un periodo de 4h antes del ensayo.
- Someter al cilindro a la acción de una prensa y registrar los valores de esfuerzo y deformación correspondiente.

**Resultados:** A partir de los ensayos se obtuvieron dos parámetros:

- Resistencia a la compresión simple no confinada del suelo cemento [kg/cm<sup>2</sup>]

- Módulo de elasticidad del suelo cemento [kg/cm<sup>2</sup>]

#### 4.1.4 ENSAYO TRIAXIAL TIPO UU (ASTM D2850 – 15)

Mediante estos ensayos pudimos observar el comportamiento del suelo natural y del suelo cemento a distintos porcentajes en los siguientes parámetros:

- Ángulo de fricción del suelo ( $\phi$ )
- Resistencia no drenada del suelo o cohesión (Cu)

El ensayo triaxial se caracteriza por brindar a la muestra un confinamiento ya que el espécimen se encuentra dentro de una cámara presurizada. Se trata de un triaxial tipo UU (Unconsolidated Undrained), es decir que no se permite el drenaje durante el ensayo, y la probeta no es consolidada, por lo que no se disipa la presión de poros producida durante el ensayo. Mediante este ensayo se obtiene una curva esfuerzo desviador – deformación unitaria. Además, con el ensayo de varias probetas del mismo suelo sometidas a distintas presiones pueden obtenerse los círculos de Mohr, de los que se extraen tanto el ángulo de fricción ( $\phi$ ) como la cohesión (Cu) del suelo.

**Preparación de la muestra:** Se ensayan cilindros de suelo inalterado o remodelado que cumplan con las siguientes características:

- Tamaño de la muestra: El cilindro deberá tener un diámetro mínimo de 33mm y la relación altura – diámetro deberá ser de 2 a 2.5. Además, la partícula más grande deberá ser menor a un sexto del diámetro.
- Muestras remodeladas: La humedad y la densidad deseada serán determinadas previas al ensayo, la densidad deseada deberá obtenerse variando el número de capas, el número de compresiones con el pistón, o la fuerza aplicada en el mismo. Para nuestro

estudio se ha decidido remoldear las muestras a la humedad óptima y densidad seca máxima obtenida previamente por el ensayo Proctor modificado (ASTM D – 1557)

**Procedimiento de ensayo:** Consiste en aplicar esfuerzos de compresión a un espécimen confinado en una cámara de agua. En resumen, el procedimiento es el siguiente:

- Se coloca la muestra en la cámara de ensayo entre dos piedras porosas y se recubre el conjunto con una membrana para que el agua no se filtre en la muestra. La membrana debe estar colocada de tal manera que imposibilite la entrada de agua desde cualquier dirección.
- Se procede a llenar la cámara de agua a la presión deseada, en este caso las presiones escogidas para los ensayos fueron 10 Psi, 20Psi y 40Psi. La normativa recomienda esperar antes del ensayo un periodo de 10 minutos una vez presurizada la cámara para que la muestra se estabilice ante la presión del agua.
- Al aplicar la carga axial, la tasa de deformación deberá estar entre un 0.3 a 1.0 % /min. La tasa de deformación deberá ser elegida de tal forma que el espécimen no falle en más de 15 minutos.
- Se registran las medidas de deformación y de esfuerzo axial de la muestra, el número de datos tomados deberá ser suficiente para construir una curva esfuerzo – deformación.
- La carga se continúa aplicando hasta que se haya alcanzado una deformación de 15% o cuando la diferencia de esfuerzos (esfuerzo desviador) haya caído en más de 20%.
- Al finalizar el ensayo, se remueve la membrana y se procede a determinar su humedad según ASTM D2216. Antes de colocar la muestra en el horno debe dibujarse un esquema de falla o tomar una fotografía de la misma.

- El procedimiento se repite tres veces con distintos especímenes del mismo suelo y a presiones de agua distintas.

## Cálculos

- **Deformación axial del espécimen.**

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación axial para un esfuerzo axial dado.

$\Delta H$  = Cambio en la altura del espécimen durante la aplicación de la carga, medido en el deformímetro, mm.

$H_0$  = Altura inicial del espécimen, mm.

- **Área transversal promedio del espécimen para una carga axial dada.**

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Donde:

$A$  = Área transversal promedio para una carga dada, m<sup>2</sup>

$A_0$  = Área inicial promedio del espécimen, m<sup>2</sup>.

- **Esfuerzo Desviador**

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma_1 - \sigma_3$  = Diferencia de esfuerzos (Esfuerzo desviador),  $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$ .

$P$  = Carga axial aplicada medida.  $\text{kN}$ .

$A$  = Área transversal promedio correspondiente,  $\text{m}^2$ .

#### 4.1.4 ENSAYO CBR (ASTM D1883 – 15)

El ensayo permite obtener el CBR de un suelo que va a ser utilizado como parte de la estructura de un pavimento. El valor obtenido determinará qué tan competente es el suelo para cumplir su función ya sea como base, subbase o subrasante.

**Preparación de la muestra:** Se preparan tres especímenes para el CBR en suelo natural y tres más para el CBR en suelo cemento (con un contenido de 3% de cemento al peso seco). El procedimiento en resumen es el siguiente.

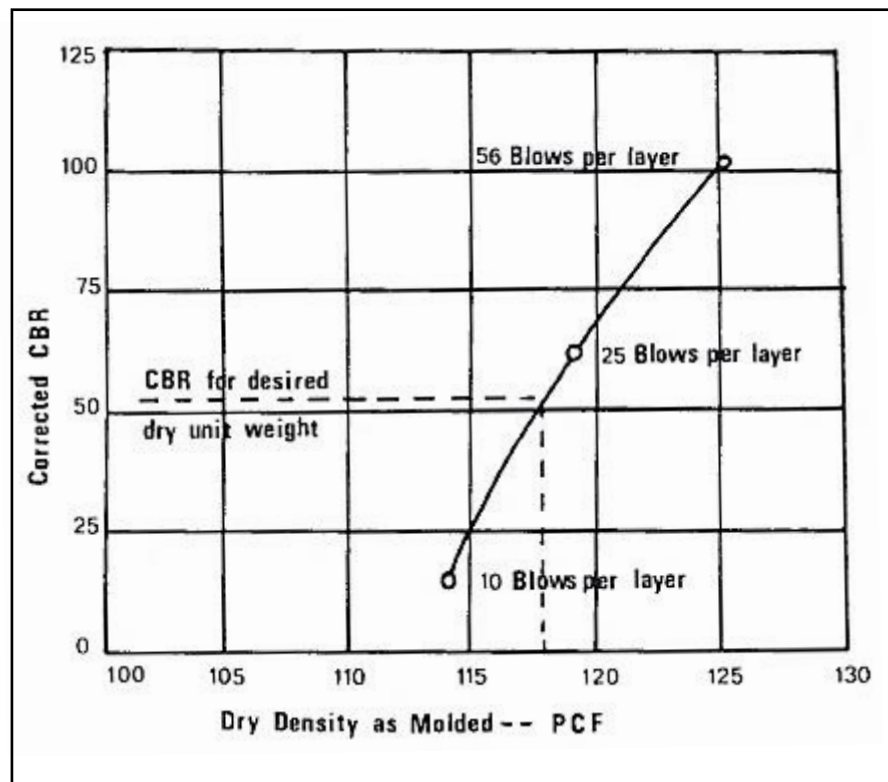
- Se prepara la muestra a la humedad óptima Proctor modificado obtenida previamente.
- Se compacta el cilindro en cinco capas con 56, 25 y 10 golpes por capa respectivamente para cada espécimen.
- Se elimina el suelo sobrante y se sumergen los cilindros por un periodo de 96 horas, se colocan pesas con un total de 10lb sobre el suelo.
- Pasado el periodo de 96 horas se sacan los cilindros del agua y se deja escurrir a los mismos por un periodo de 15 minutos para eliminar el agua en exceso.

**Procedimiento de ensayo:** Consiste en aplicar esfuerzos de compresión con un pistón normado de 1.954 pulgadas de diámetro (3 pulgadas<sup>2</sup> de superficie) a una velocidad de carga constante.

- Una vez escurrido el espécimen se vuelven a colocar las pesas y se lleva el mismo a la prensa para el ensayo. La velocidad de penetración del pistón será de aproximadamente 0.05 in / minuto.
- Se registran los esfuerzos para deformaciones definidas.
- Se repite el ensayo para los tres especímenes

**Resultados:** El CBR es una relación del esfuerzo a una penetración de 0.100 pulg y 0.200 pulg con esfuerzos estándar de 1000 psi y 1500 psi respectivamente.

- Para cada espécimen (56, 25 y 10 golpes) se hallará un valor de CBR distinto, por lo que el CBR que será tomado en cuenta será el correspondiente al 95% de la densidad seca máxima.



*Figura 14.- Obtención de CBR para la densidad deseada*

## 4.2 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, se presentan los resúmenes de todos los resultados de los ensayos de laboratorio. Los resultados han sido tabulados para facilitar la revisión rápida del lector. Reportes individuales de cada uno de los ensayos pueden ser encontrados en la sección de ANEXOS.

### 4.2.1 ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos han sido clasificados según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y siguiendo la metodología ASTM para los ensayos revisados. En general se tiene una arena de grano fino o medio no plástica (SM). A excepción de la última muestra que presenta un porcentaje apreciable de gravas.

Muestra	Límites de Atterberg		Granulometría			Humedad Natural (%)	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
	Límite Líquido	Límite Plástico	Gravas	Arenas	Finos			
<b>P-1</b> <b>0.00 – 1.50</b>	N.P.	N.P.	4.2 %	56.6 %	39.1 %	4.7	<b>SM</b>	<b>A-4</b>
<b>P-1</b> <b>1.50 – 3.00</b>	N.P.	N.P.	4.0 %	60.1 %	35.9 %	8.1	<b>SM</b>	<b>A-2</b>
<b>P-2</b> <b>0.00 – 1.50</b>	N.P.	N.P.	8.4 %	63.1 %	28.5 %	2.2	<b>SM</b>	<b>A-2</b>
<b>P-2</b> <b>1.50 – 3.00</b>	N.P.	N.P.	11.3 %	62.5 %	25.9 %	1.4	<b>SM</b>	<b>A-2</b>
<b>P-3</b> <b>0.00 – 1.50</b>	N.P.	N.P.	4.1 %	65.4 %	30.5 %	3.9	<b>SM</b>	<b>A-2</b>
<b>P-3</b> <b>1.50 – 3.00</b>	N.P.	N.P.	17.5 %	73.3 %	9.2 %	3.6	<b>SM – SW</b>	<b>A-2</b>

**Tabla 8.- Resumen de clasificaciones SUCS y AASHTO de las muestras de campo**

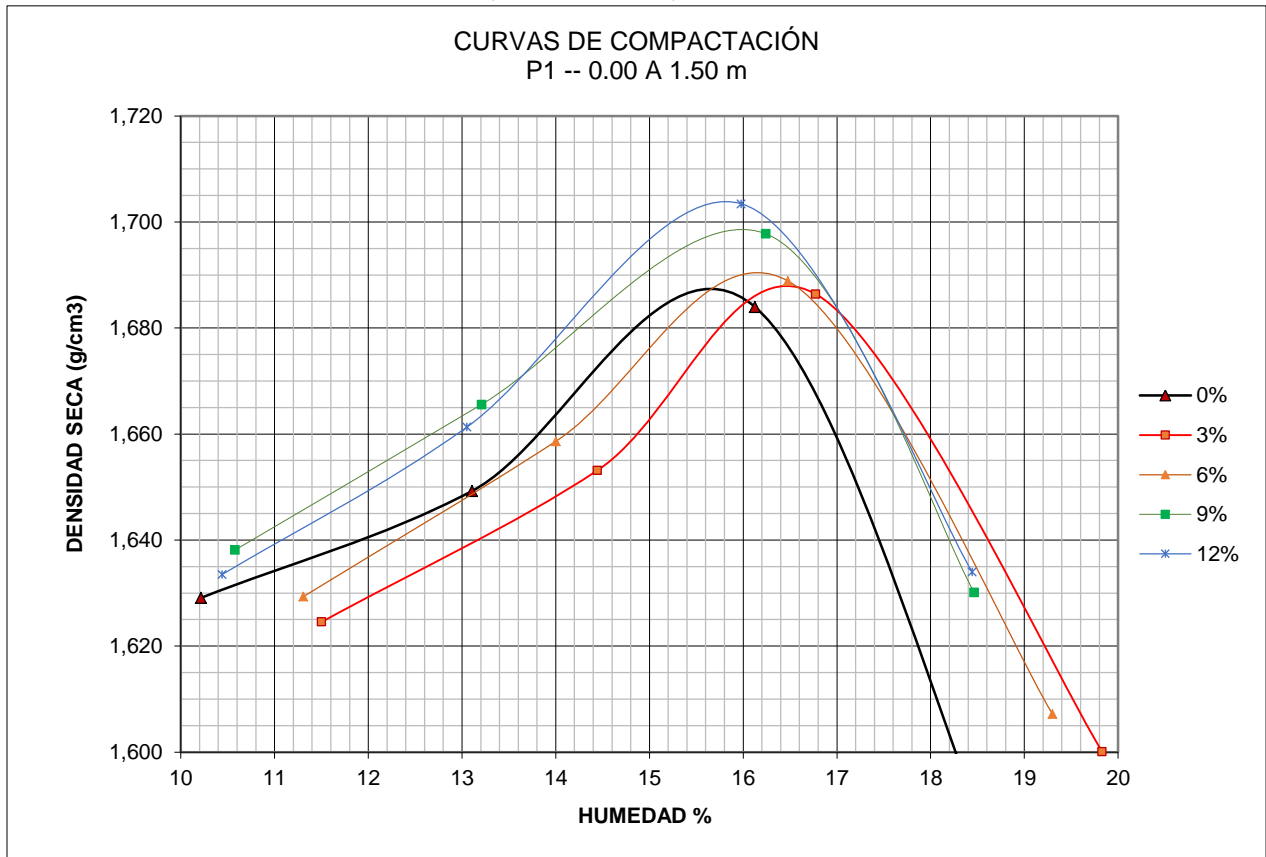
Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en ANEXO 1

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en ANEXO 1

**4.2.2 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADA**

A continuación, se presentan gráficos y tablas resumen que incluyen las curvas de compactación, humedad óptima, y densidad seca máxima proctor modificado para cada porcentaje de cemento en cada una de las muestras tomadas. En la última columna se registra el aumento porcentual en base a la densidad seca máxima en estado natural (0 %). (Reportes detallados en ANEXO 2)

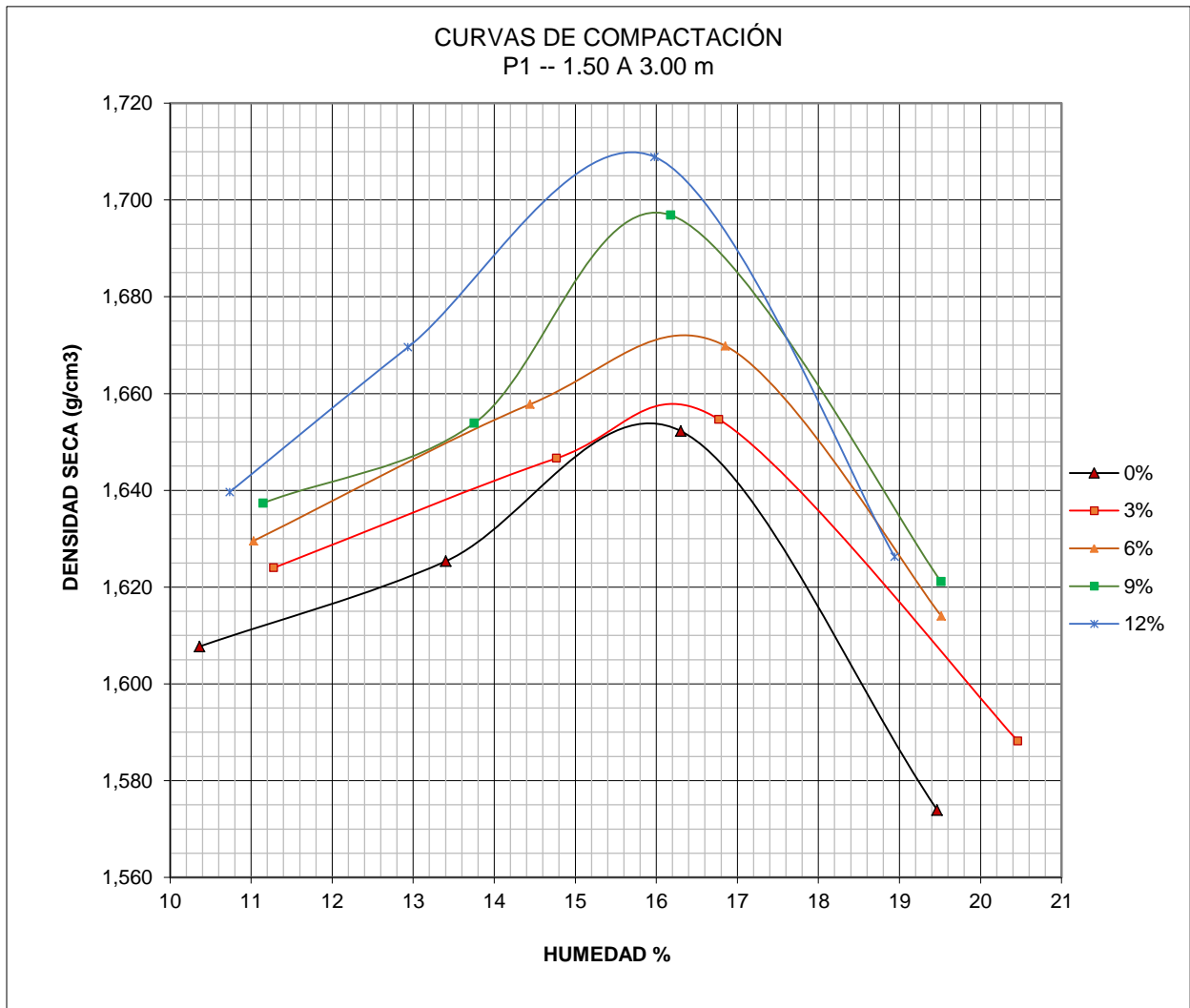
**RESUMEN COMPACTACIÓN P-1 (0.00 – 1.50 m)**



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm3)	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
0%	13.2	1.685	0%
3%	14.5	1.690	~0.5%
6%	15.8	1.695	~1.0%
9%	16.2	1.700	~1.5%
12%	16.5	1.705	~2.0%

0%	15.6	1.686	-
3%	16.5	1.687	0.1%
6%	16.2	1.69	0.2%
9%	16.0	1.698	0.7%
12%	15.8	1.714	1.6%

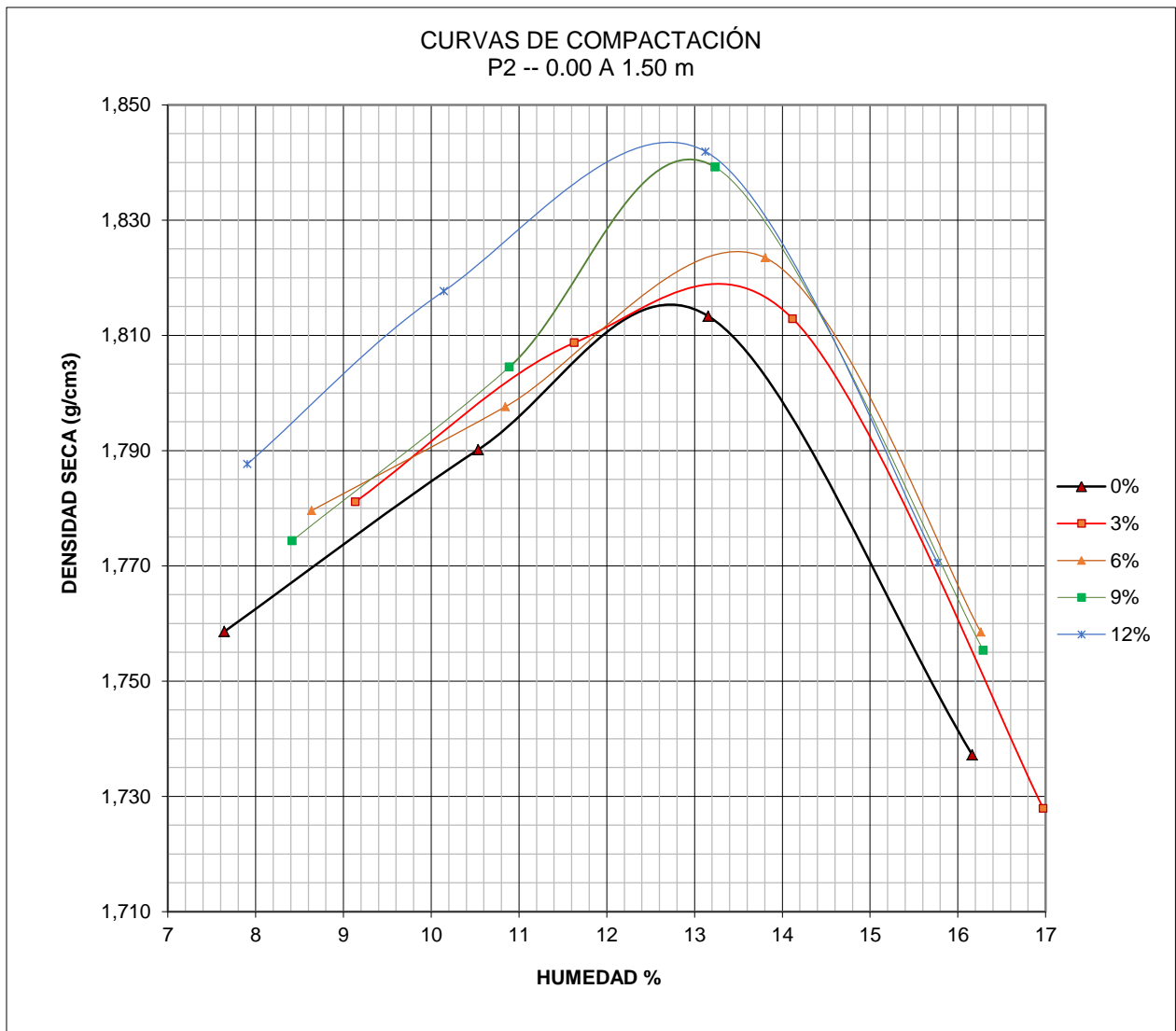
### RESUMEN COMPACTACIÓN P-1 (1.50 – 3.00 m)



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
0.0%	15.9	1.654	-
3.0%	16.3	1.657	0.2%

6.0%	16.2	1.672	1.1%
9.0%	16.0	1.697	2.6%
12.0%	15.7	1.710	3.3%

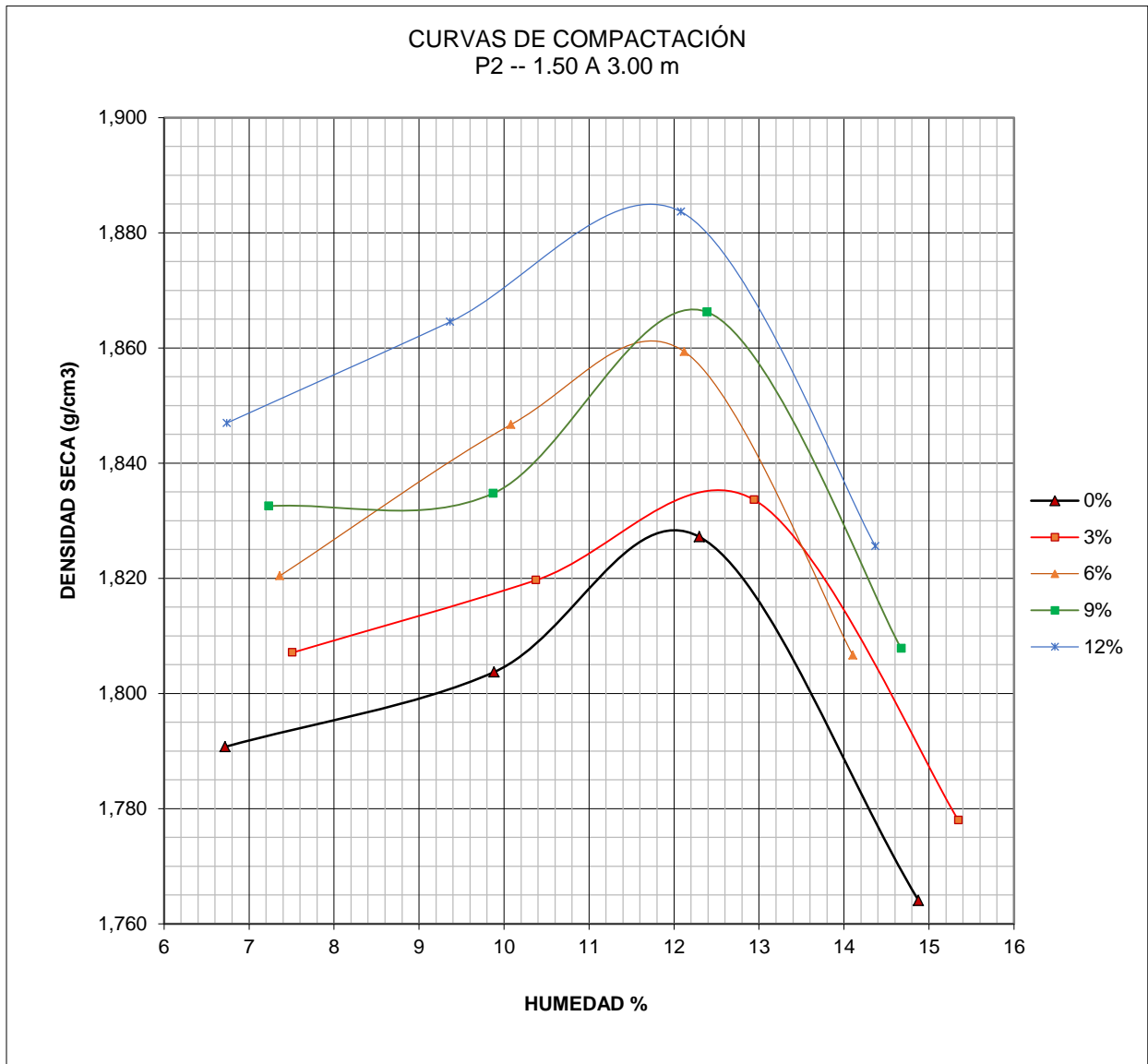
RESUMEN COMPACTACIÓN P-2 (0.00 – 1.50 m)



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm3)	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
0%	12.8	1.815	-

3%	13.4	1.817	0.1%
6%	13.5	1.824	0.5%
9%	13.0	1.84	1.4%
12%	12.7	1.843	1.5%

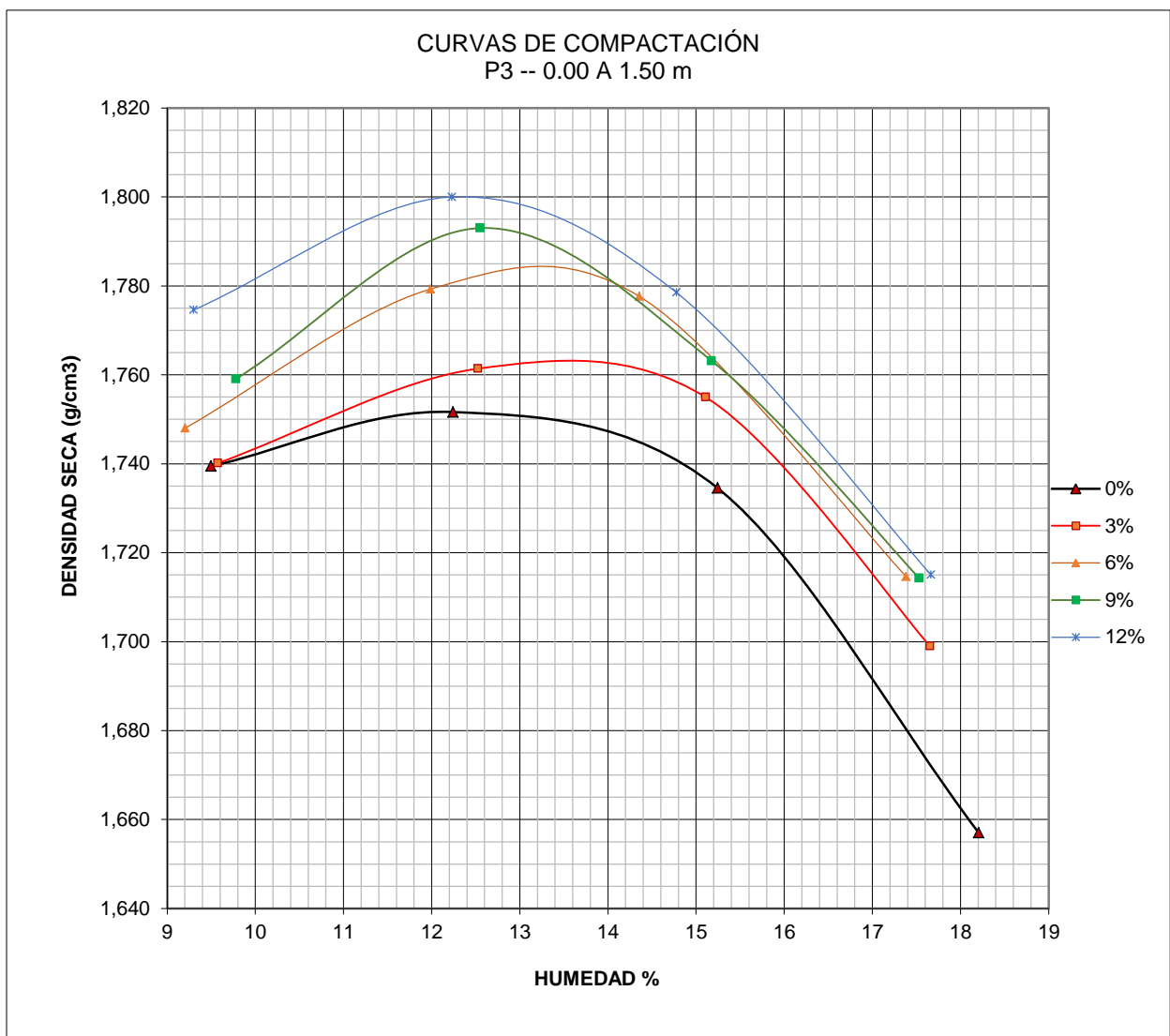
RESUMEN COMPACTACIÓN P-2 (1.50 – 3.00 m)



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm³)	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
3%	13.4	1.817	0.1%
6%	13.5	1.824	0.5%
9%	13.0	1.84	1.4%
12%	12.7	1.843	1.5%

0%	12.0	1.828	-
3%	12.6	1.835	0.4%
6%	11.8	1.862	1.9%
9%	12.2	1.867	2.1%
12%	11.7	1.885	3.1%

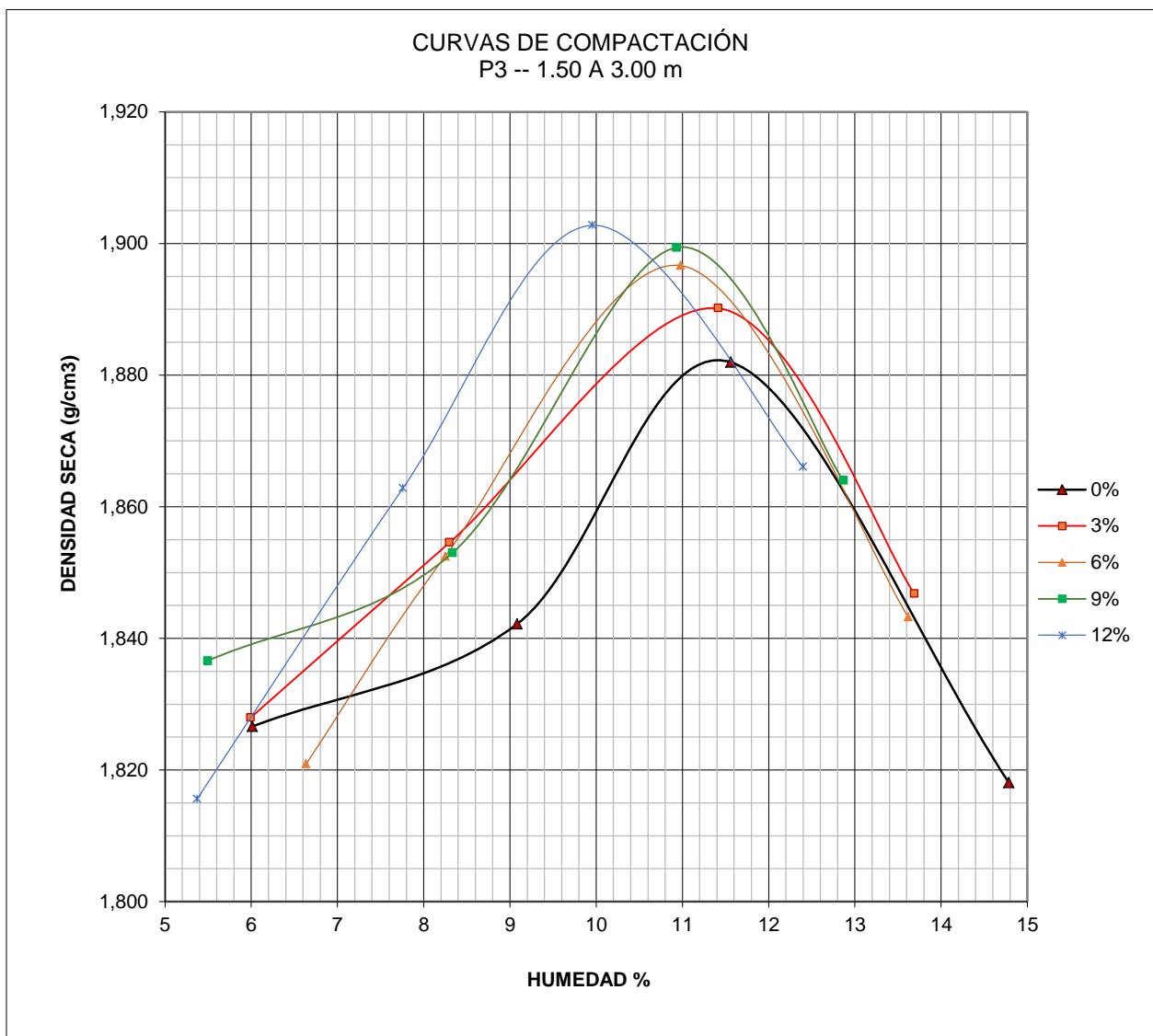
RESUMEN COMPACTACIÓN P-3 (0.00 – 1.50 m)



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
0%	12.4	1.751	-

3%	13.5	1.763	0.7%
6%	13.4	1.784	1.9%
9%	12.6	1.794	2.4%
12%	12.4	1.800	2.7%

RESUMEN COMPACTACIÓN P-3 (1.50 – 3.00 m)



Porcentaje de Cemento	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca Máxima (g/cm³)	Aumento respecto a densidad seca máxima natural (%)
3%	13.5	1.763	0.7%
6%	13.4	1.784	1.9%
9%	12.6	1.794	2.4%
12%	12.4	1.800	2.7%

0%	11.4	1.882	-
3%	11.4	1.890	0.4%
6%	11.0	1.897	0.8%
9%	11.0	1.900	0.9%
12%	10.0	1.903	1.1%

#### 4.2.3 ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Las compresiones simples se realizaron en probetas remoldeadas a un grado de compactación mayor al 95% de la densidad seca máxima, que es la condición que se esperaría en campo. Los ensayos se realizaron a 7 y 28 días contados a partir del remoldeo.

#### RESUMEN COMPRESIONES SIMPLES A LOS 7 DÍAS

Muestra	Porcentaje de Cemento	Densidad seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad seca probeta (g/cm <sup>3</sup> )	Grado de compactación probeta (%)	Deformación Unitaria (%)	Esfuerzo Axial (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>P-1 0.00-1.50</b>	3%	1.687	1.626	96%	1.18	8.7
	6%	1.690	1.625	96%	1.13	20.6
	9%	1.698	1.634	96%	1.23	36.5
	12%	1.714	1.647	96%	1.36	42.1
<b>P-1 1.50 -3.00</b>	3%	1.657	1.592	96%	1.85	9.5
	6%	1.672	1.624	97%	2.65	28.3
	9%	1.697	1.641	97%	4.15	37.1
	12%	1.710	1.653	97%	5.20	42.8
<b>P-2 0.00-1.50</b>	3%	1.817	1.762	97%	1.73	13.6
	6%	1.824	1.752	96%	1.34	31.7
	9%	1.840	1.770	96%	1.02	37.4
	12%	1.843	1.776	96%	1.27	39.7
<b>P-2 1.50 -3.00</b>	3%	1.835	1.798	98%	2.10	13.2
	6%	1.862	1.808	97%	1.66	16.2
	9%	1.867	1.825	98%	1.46	18.1
	12%	1.885	1.827	97%	0.88	29.9
<b>P-3</b>	3%	1.763	1.692	96%	1.04	9.6

<b>0.00-1.50</b>	<b>6%</b>	1.784	1.713	96%	0.88	15.9
	<b>9%</b>	1.794	1.705	95%	0.99	17.2
	<b>12%</b>	1.800	1.716	95%	0.76	22.5
<b>P-3 1.50 -3.00</b>	<b>3%</b>	1.890	1.798	95%	0.26	11.8
	<b>6%</b>	1.897	1.801	95%	0.39	20.8
	<b>9%</b>	1.900	1.807	95%	0.51	23.1
	<b>12%</b>	1.903	1.810	95%	1.04	30.0

*Tabla 9.- Resumen compresiones simples a los 7 días en probetas de suelo cemento.*

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 3

## RESUMEN COMPRESION SIMPLE A LOS 28 DÍAS

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 3

<b>Muestra</b>	<b>Porcentaje de Cemento</b>	<b>Densidad seca máxima (g/cm3)</b>	<b>Densidad seca probeta (g/cm3)</b>	<b>Grado de compactación probeta (%)</b>	<b>Deformación Unitaria (%)</b>	<b>Esfuerzo Axial (kg/cm2)</b>
<b>P-1 0.00-1.50</b>	<b>3%</b>	1.687	1.623	96%	1.23	10.7
	<b>6%</b>	1.690	1.625	96%	1.76	27.6
	<b>9%</b>	1.698	1.635	96%	1.59	47.1
	<b>12%</b>	1.714	1.640	96%	1.41	50.3
<b>P-1 1.50 -3.00</b>	<b>3%</b>	1.657	1.603	97%	1.23	11.3
	<b>6%</b>	1.672	1.613	96%	1.41	42.4
	<b>9%</b>	1.697	1.644	97%	1.41	52.6
	<b>12%</b>	1.710	1.651	97%	1.23	68.4
<b>P-2 0.00-1.50</b>	<b>3%</b>	1.817	1.744	96%	1.76	22.1
	<b>6%</b>	1.824	1.758	96%	1.06	40.0
	<b>9%</b>	1.840	1.768	96%	1.76	51.6
	<b>12%</b>	1.843	1.781	97%	1.06	67.0
<b>P-2 1.50 -3.00</b>	<b>3%</b>	1.835	1.773	97%	1.41	15.3
	<b>6%</b>	1.862	1.778	95%	1.59	14.9
	<b>9%</b>	1.867	1.813	97%	1.76	53.5
	<b>12%</b>	1.885	1.823	97%	0.88	59.3
<b>P-3 0.00-1.50</b>	<b>3%</b>	1.763	1.695	96%	0.92	16.2
	<b>6%</b>	1.784	1.706	96%	1.59	28.9
	<b>9%</b>	1.794	1.702	95%	1.41	40.4
	<b>12%</b>	1.800	1.723	96%	1.06	47.8

<b>P-3</b> <b>1.50 -3.00</b>	<b>3%</b>	1.890	1.773	94%	1.18	22.6
	<b>6%</b>	1.897	1.798	95%	1.48	42.4
	<b>9%</b>	1.900	1.805	95%	1.76	43.4
	<b>12%</b>	1.903	1.811	95%	1.76	54.8

**Tabla 10.- Resumen compresiones simples a los 7 días en probetas de suelo cemento**

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 3

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 3

#### 4.2.4 ENSAYOS TRIAXIALES UU

A continuación, se presenta la tabla resumen de todos los parámetros obtenidos de los ensayos triaxiales. Las probetas fueron remoldeadas al 95% de la densidad seca máxima Proctor modificada. Probetas de suelo natural fueron ensayadas inmediatamente después del moldeo y probetas de suelo cemento fueron ensayadas después de 7 días de curado. (Reportes detallados pueden encontrarse en ANEXO 4.)

	<b>Porcentaje de Cemento</b>	<b>Densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad seca promedio probeta (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Grado de compactación probeta (%)</b>	<b>Cohesión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ángulo de fricción <math>\phi</math> (grados)</b>
<b>P1</b> <b>0.00 - 1.50</b>	<b>0%</b>	1.686	1.603	95%	0.00	48
	<b>3%</b>	1.687	1.575	93%	2.50	42
	<b>6%</b>	1.69	1.590	94%	6.50	41
	<b>9%</b>	1.698	1.612	95%	8.00	48
<b>P2</b> <b>0.00 - 1.50</b>	<b>0%</b>	1.815	1.701	94%	0.00	46
	<b>3%</b>	1.817	1.741	96%	3.00	50
	<b>6%</b>	1.824	1.699	93%	6.00	53
	<b>9%</b>	1.84	1.748	95%	7.50	53
<b>P1</b> <b>0.00 - 1.50</b>	<b>0%</b>	1.828	1.666	91%	0.00	48
	<b>3%</b>	1.835	1.699	93%	3.00	48

	<b>6%</b>	1.862	1.721	92%	5.00	51
	<b>9%</b>	1.867	1.710	92%	6.00	50

**Tabla 11.- Resumen ensayos triaxiales en suelo natural remoldeado (inmediato) y suelo cemento (7 días)**

Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 4

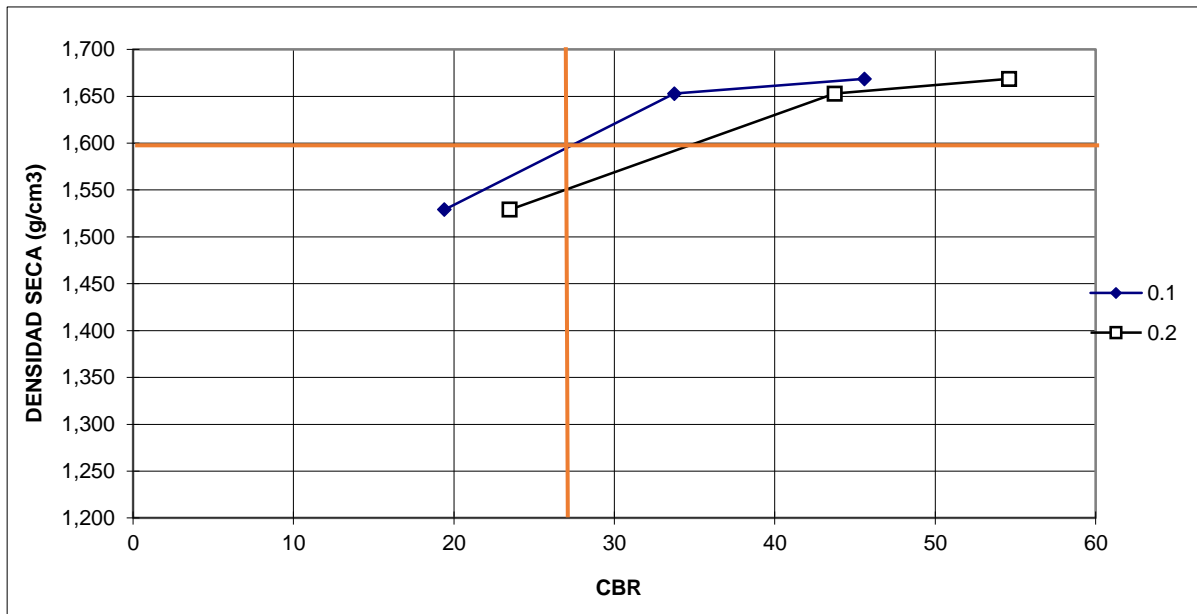
Fuente: Ensayos de Laboratorio, reportes detallados en Anexo 4

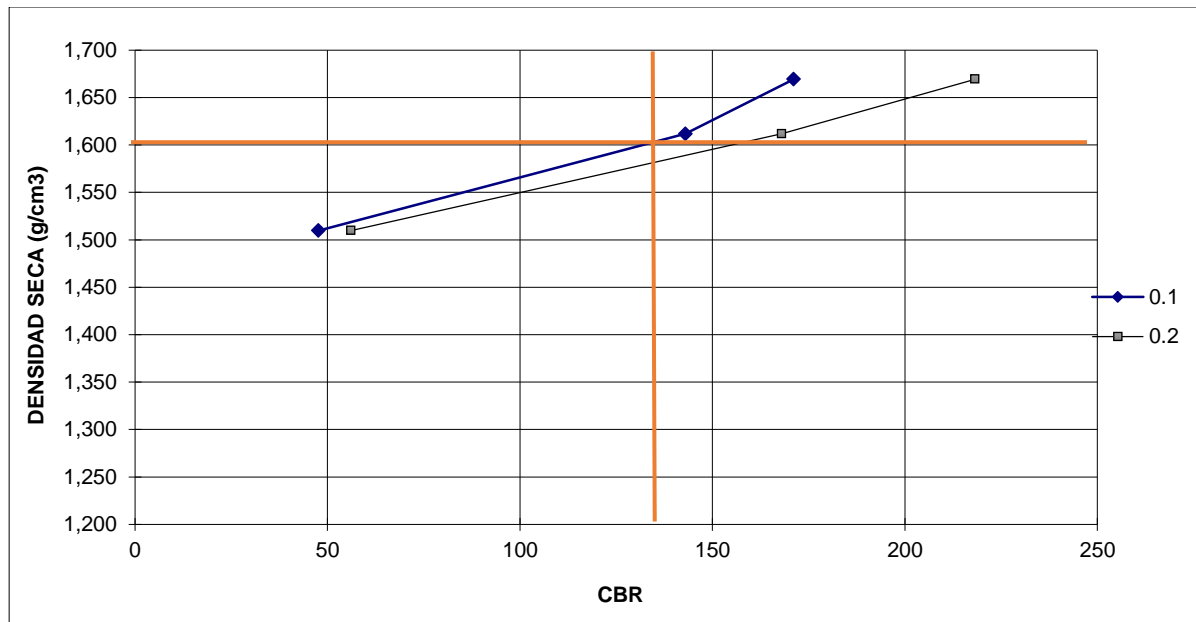
#### 4.2.5 ENSAYOS CBR

Utilizando la muestra de P-1, se realizaron ensayos CBR en el suelo natural compactado a la densidad Proctor modificada y en el suelo con 3% de cemento (ensayado a los 7 días de sumergido). Estos fueron los resultados.

CBR Suelo Natural: 27%

CBR Suelo Cemento al 3%: 130%





## CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

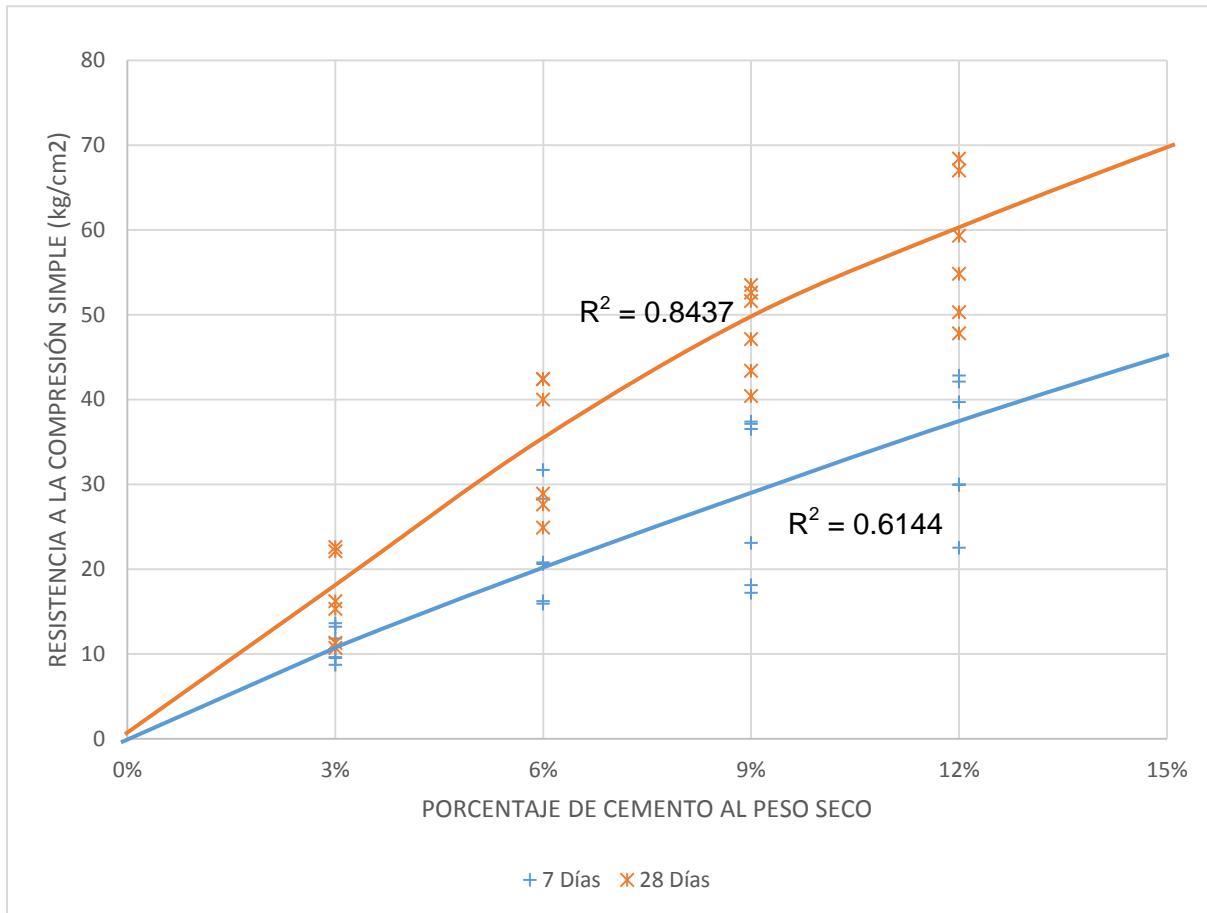
A continuación, se analiza el mejoramiento del suelo arenoso del sector de Pomasqui con cemento, tanto de forma técnica, como económica (en comparación al mejoramiento con material de subbase).

### 5.1 INFLUENCIA DEL CEMENTO EN PARÁMETROS TÉCNICOS DEL SUELO

Uno por uno se analizarán los parámetros técnicos del suelo que han mejorado con la adición de cemento.

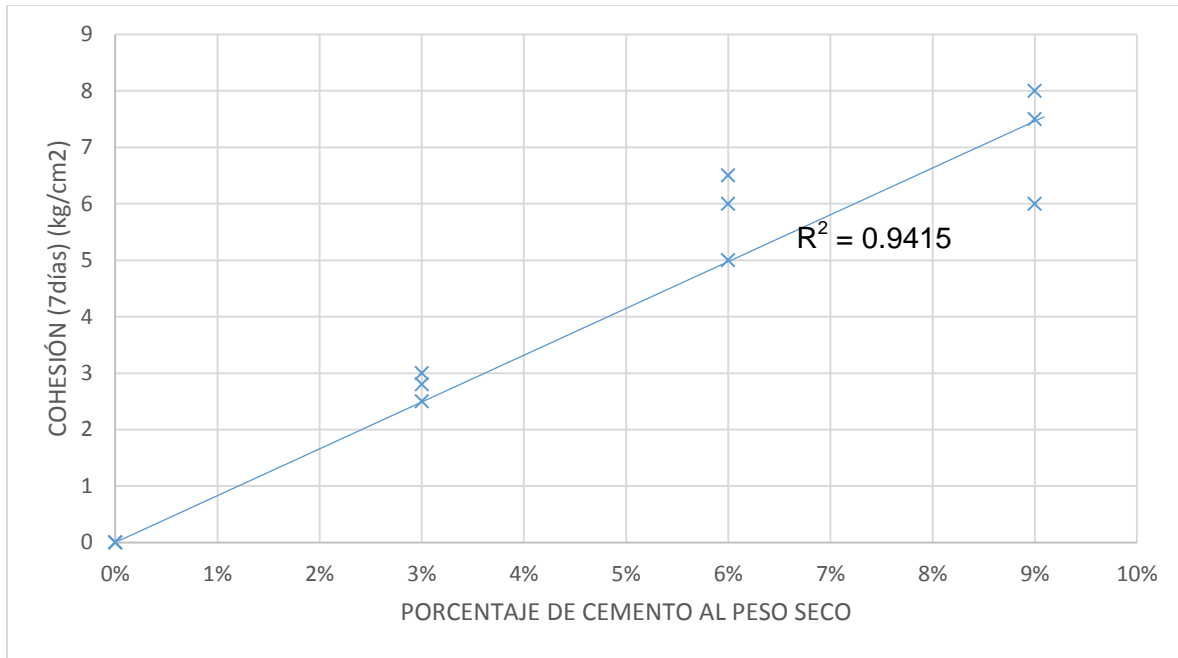
### 5.1.1 MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Este es quizás el parámetro más importante del suelo natural que se ve ampliamente mejorado por el cemento. Como puede apreciarse a continuación:



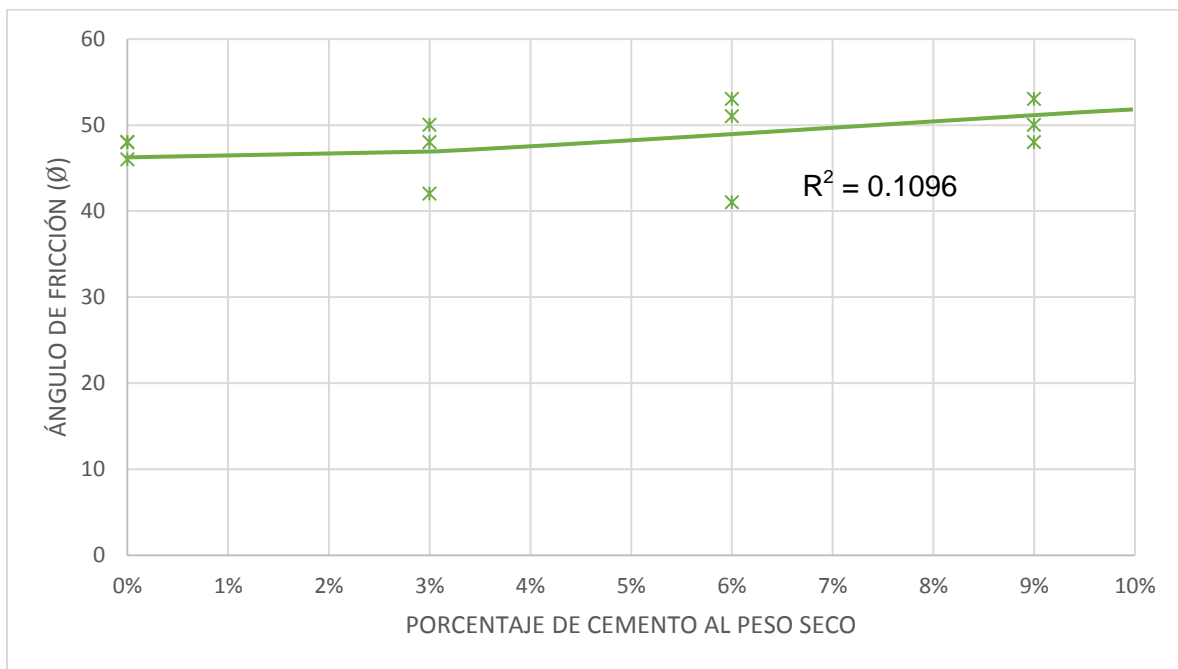
### 5.1.2 MEJORAMIENTO DE LA COHESIÓN ( $c'$ )

La cohesión del suelo obtiene un aumento considerable gracias al uso del cemento, incluso para porcentajes pequeños como se puede apreciar a continuación:



### 5.1.3 INFLUENCIA EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ )

El ángulo de fricción prácticamente se mantiene con la adición de cemento.



### 5.1.4 MEJORAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (E)

El módulo de elasticidad mejora considerablemente respecto al suelo natural y a medida que aumenta el porcentaje de cemento. En el gráfico a continuación, los módulos de elasticidad del

suelo natural fueron estimados a partir de los ensayos SPT utilizando la relación de Kulhawy y Mayne (1990)

$$E_s = P_a \propto N_{60}$$

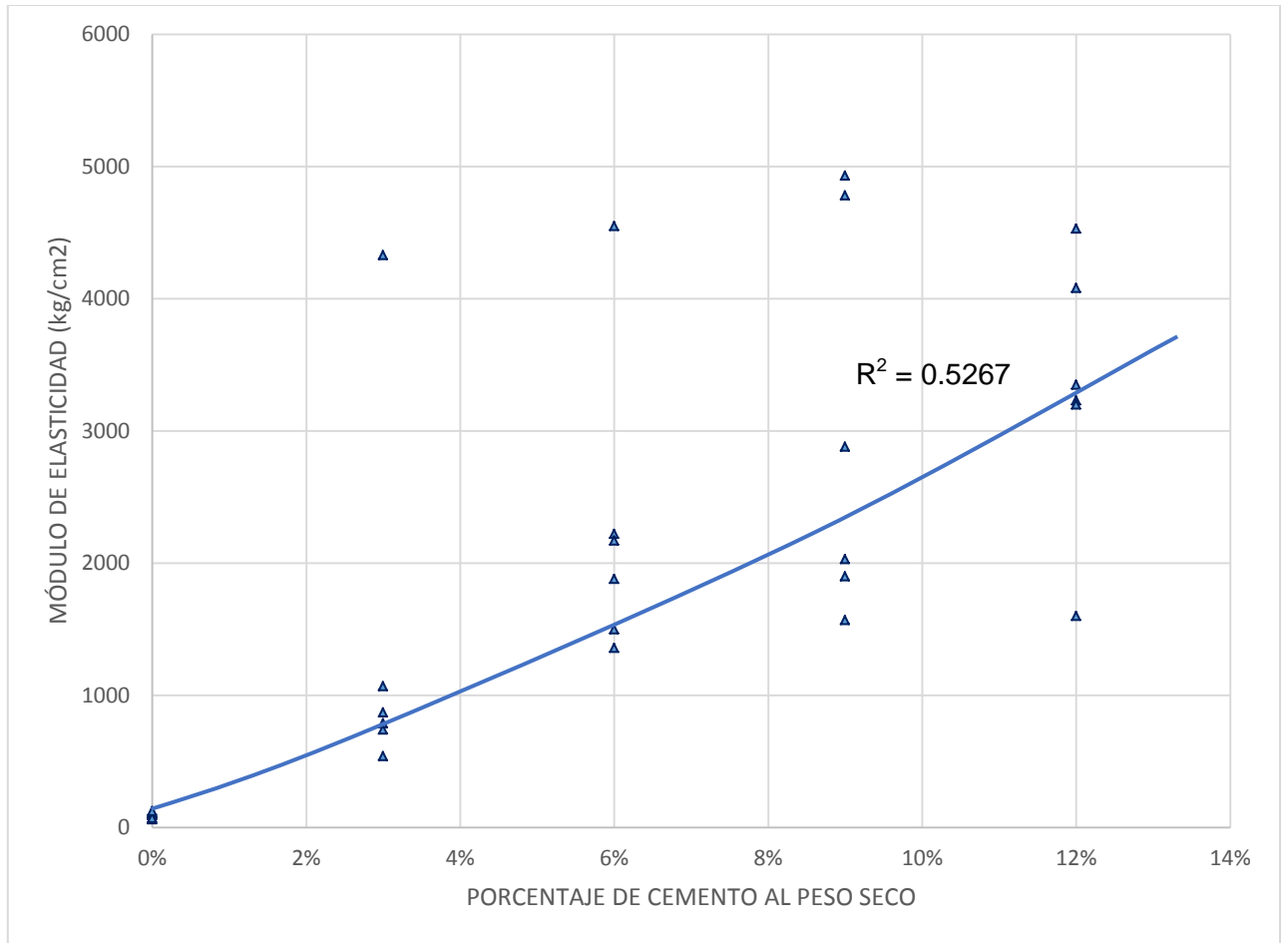
Donde:

$$P_a = \text{Presión atmosférica} = 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$\propto = \begin{cases} 5 & \text{para arenas con finos} \\ 10 & \text{para arena limpia normalmente consolidada} \\ 15 & \text{para arena limpia sobreconsolidada} \end{cases}$$

Quedándonos los siguientes valores para el análisis

PORCENTAJE DE CEMENTO	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm2)					
	P-1 (0.0 -1.5m)	P-1 (1.5 -3.0m)	P-2 (0.0 -1.5m)	P-2 (1.5 -3.0m)	P-3 (0.0 -1.5m)	P-3 (1.5 -3.0m)
0%	65	105	95	115	75	125
3%	870	540	790	740	1070	4330
6%	2220	1360	2170	1500	1880	4550
9%	1570	4930	2030	1900	4780	3230
12%	3230	1600	3350	4530	4080	3200

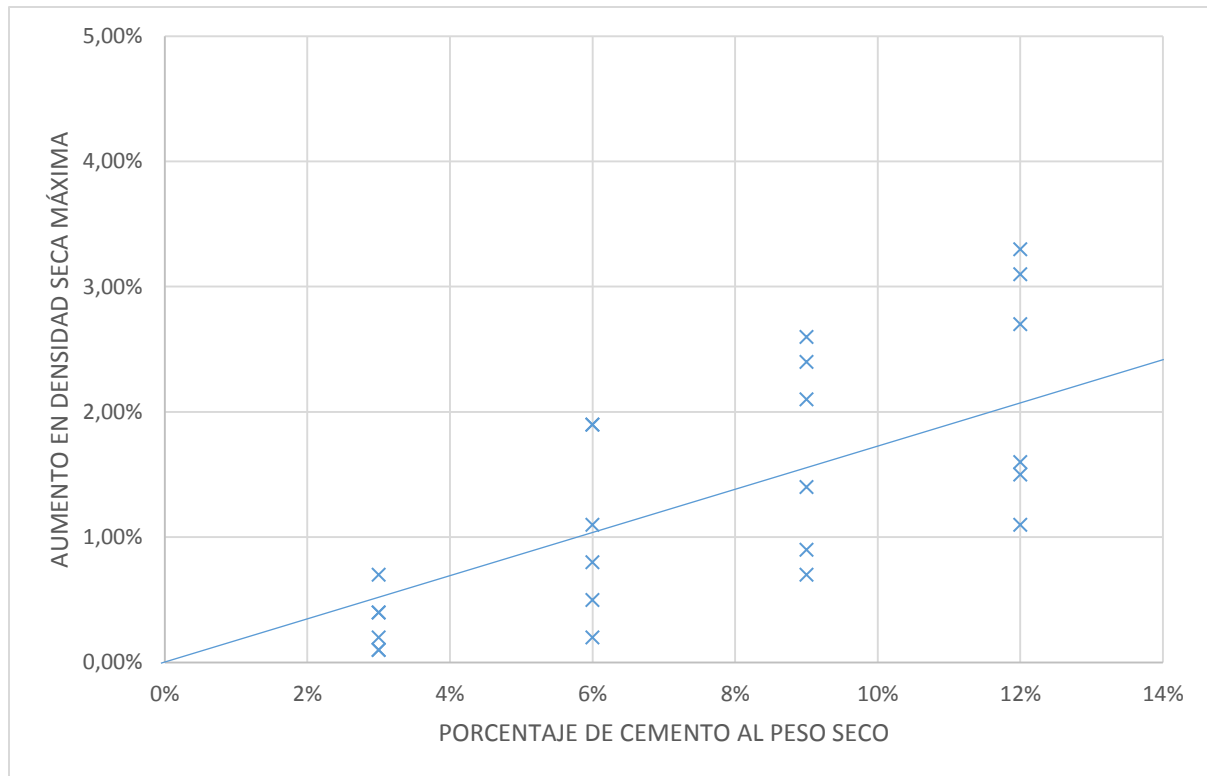


### 5.1.5. MEJORAMIENTO DEL CBR

El valor de CBR del suelo natural aumenta drásticamente con la añadidura de 3% de cemento, a dicho porcentaje se obtiene un valor de CBR de 130, mismo que sobrepasa con creces el mínimo requerido para ser utilizado como material de subbase.

### 5.1.6 MEJORAMIENTO EN LA DENSIDAD SECA MÁXIMA ( $\gamma$ )

La densidad tiene un aumento muy bajo (entre el 0.1% y 3.2%)



## 5.2 RESUMEN DE RESULTADOS

Una vez analizado todos los parámetros se considera que un porcentaje de cemento de 3% al peso seco es suficiente para realizar un mejoramiento de suelo para cimentaciones superficiales y para ser utilizado como subrasante de contrapisos. Los parámetros de diseño correspondientes son:

	<b>3% de Cemento MH</b>	<b>Suelo Natural Compactado</b>	<b>Suelo Natural Suelto</b>
<b>Cohesión (c'):</b>	≈ 2.5 kg/cm <sup>2</sup>	≈ 0.0 kg/cm <sup>2</sup>	≈ 0.0 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ángulo de Fricción (φ'):</b>	≈ 45°	≈ 45°	≈ 25° a 30°
<b>Módulo de elasticidad:</b>	≈ 700 kg/cm <sup>2</sup>	≈ 150 kg/cm <sup>2</sup>	≈ 100 kg/cm <sup>2</sup>
<b>CBR (%):</b>	≈ 25	≈ 130	N/A

Además, se brindan los siguientes criterios para compactación y mezclado en campo:

- Densidad seca máxima:** Igual que la densidad seca máxima del suelo natural
- Humedad óptima de mezclado:** Ligeramente superior a la humedad óptima del suelo natural (aprox. 0.5% mayor)
- Relación de cemento en campo:** Un saco (50kg) por metro cúbico de suelo en estado natural. Lo que equivale a un saco de cemento por cada 30 sacos de suelo natural aproximadamente.

Aunque los parámetros técnicos para el suelo cemento al 3% exceden con creces los requerimientos para mejoramiento, no es recomendable utilizar menos de un saco de cemento por metro cúbico, para evitar problemas en el mezclado.

### 5.3 ANÁLISIS ECONÓMICO: MEJORAMIENTO DE SUELO CON CEMENTO VS MEJORAMIENTO DE SUELO CON MATERIAL DE SUBBASE (LASTRE)

El siguiente análisis general brinda una idea de los posibles beneficios en costo que la metodología propone frente al mejoramiento de suelo con material de subbase.

Es muy importante recalcar que el presente análisis económico no considera necesidades específicas o complicaciones de un proyecto en particular y se lo ha realizado utilizando cotizaciones reales con profesionales de la construcción a diciembre del 2016. El costo considera los materiales, distancias y precios de la zona de Pomasqui. Por lo que los resultados se ajustan a las condiciones mencionadas.

#### COSTO: USO DE MATERIAL DE SUBBASE (LASTRE) PARA MEJORAMIENTO

Es importante mencionar que los precios corresponden a material de lastre de la mina de Pifo, misma que cumple con los requerimientos del MTOP.

<b>Rubro</b>	<b>Incluye</b>	<b>Costo por m3 (aproximado)</b>
<b>Remoción de material</b>	Costos de Maquinaria de Excavación Costo diario: 200 Aprox. Rendimiento diario: 150m3 Aprox.	\$ 1,33
<b>Desalojo de Material</b>	Costos de transporte en volqueta Costo por volqueta: 35 Capacidad: 8 m3	\$ 4,37
<b>Importación de material</b>	Compra de material de subbase de minas competentes que cumplan con la norma, como la mina de Pifo	\$ 18,00
<b>Colocación y compactación de material</b>	Costos de maquinaria de compactación (Incluye Operador) Costo diario: 50 Aprox Rendimiento: 25 m3 Aprox	\$ 2,00
	<b>COSTO TOTAL APROXIMADO</b>	\$ 25,70

<b>Rubro</b>	<b>Incluye</b>	<b>Costo por m3 (aproximado)</b>
<b>Compra de cemento para la mezcla</b>	Costos de cemento incluido transporte a sitio Costo saco: Aprox. Rendimiento: 1 saco / m3	\$ 8,00
<b>Remoción y mezcla de material</b>	Costos de Maquinaria de Excavación Costo diario: 200 Aprox. Rendimiento diario: 50m3 Aprox.	\$ 4,00
<b>Colocación y compactación de material</b>	Costos de maquinaria de compactación (Incluye Operador) Costo diario: 50 Aprox Rendimiento: 25 m3 Aprox	\$ 2,00
	<b>COSTO TOTAL APROXIMADO</b>	\$ 14,00

Con los análisis realizados podemos concluir que el uso de suelo cemento es considerablemente más económico al uso de lastre para el mejoramiento de suelos y contrapisos. Por lo que se tiene un ahorro de aproximadamente el 40% en comparación al uso de lastre.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> El porcentaje de ahorro presentado es solo un valor referencial calculado con parámetros simples, este variará para cada proyecto en particular

## 5.4 EJEMPLO DE CÁLCULO

### DATOS DE CÁLCULO

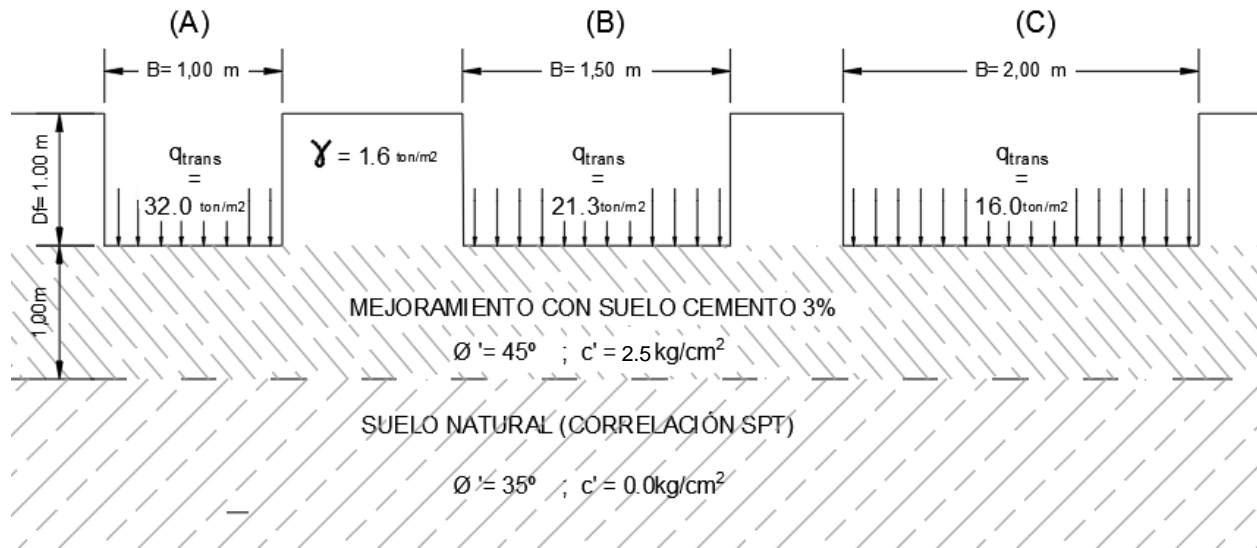
En los ejemplos de cálculo se proponen las siguientes condiciones:

- Datos Generales
  - Uso de la edificación, edificios de vivienda popular. Similares a los de la zona
  - Número de pisos: 4 (Máximo en la zona)
  - Sin subsuelos
- Datos de la estructura
  - Material: Hormigón Armado
  - Distancia entre columnas: 4.00m
  - Carga Viva: 0.2 T/m<sup>2</sup> (Ocupación Residencial - NEC 2014)
  - Carga Muerta: 0.6 T/m<sup>2</sup>
- Datos de la Cimentación
  - Profundidad de Cimentación ( $D_f$ ) = 1m
  - Tipo de cimentación: Corrida Unidireccional ( $L/B > 10$ )
  - $B = 1.0\text{m}, 1.5\text{m}$  y  $2.0\text{m}$
- Presión transmitida al suelo  $q_{\text{trans}}$

Ancho de Cimentación B	Presión Transmitida $q_{\text{trans}}$
1.00 m	32.00 T/m <sup>2</sup>
1.50 m	21.33 T/m <sup>2</sup>
2.00 m	16.00 T/m <sup>2</sup>

- Espesor del mejoramiento: 1.00m.

## ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA POR FALLA LOCAL



$$q_u = \frac{2}{3} c' N'_c + q N'_q + \frac{1}{2} \gamma B N'_\gamma$$

### CARGA PERMISIBLE EN EL ESTRATO DE SUELO CEMENTO

Para  $\phi = 45^\circ$ ,  $N'_c = 51.17$ ,  $N'_q = 35.11$  y  $N'_\gamma = 36.00$  teniendo:

$$q_u = \left[ \frac{2}{3} \cdot 2.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot (51.17) \right] + \left[ \frac{1.6 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \cdot (35.11) \right] + \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{1.6 \times 10^{-3} \text{ kg}}{\text{cm}^3} \cdot 100 \text{ cm} \cdot (36.00) \right]$$

$$q_u = 143.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{143.8 \text{ kg/cm}^2}{3} = 47.9 \text{ kg/cm}^2$$

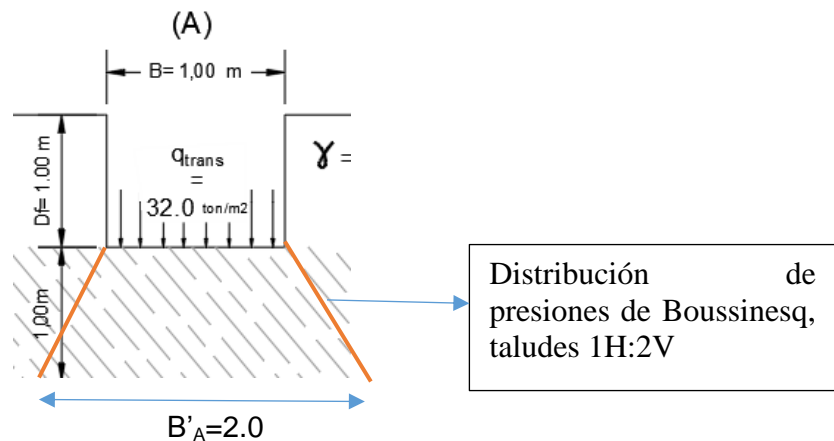
$$q_{adm} = 479 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} > 32 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \text{OK} \checkmark \checkmark$$

El estrato de suelo cemento soporta satisfactoriamente las presiones transmitidas. A continuación, se analizará el estrato inferior de suelo natural.

## CARGA PERMISIBLE EN EL ESTRATO DE ARENA NATURAL

### Presión transmitida al estrato de arena natural

Utilizando la distribución de presiones respecto a la profundidad a una relación 2V:1H. A una profundidad de un metro B' es igual a:



Por lo que la presión transmitida al estrato de arena natural ( $Q_{trans}'$ ) será:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Ancho de contacto B' (m)</b>	2.00	2.50	3.00
<b>Presión en arena natural <math>Q_{trans}'</math> (ton/m<sup>2</sup>)</b>	16.00	12.80	10.67

El ángulo de fricción se ha calculado con la correlación de Hatanaka y Uchida (1996), tomando en cuenta un  $(N_1)_{60}$  promedio de 10

$$\phi' = \sqrt{20 (N_1)_{60}} + 20$$

$$\phi' = \sqrt{20 * 10} + 20$$

$$\phi' = 35^\circ$$

Sin embargo se considera que el valor obtenido es demasiado alto para el suelo suelto, por lo que se utilizará un ángulo de fricción  $\phi=30^\circ$

### CASO A

Para  $\phi=30^\circ$ ,  $N^{\circ}c=18.99$ ,  $N^{\circ}q=8.31$  y  $N^{\circ}\gamma = 4.39$  teniendo:

$$q_u = 0 + \left[ \left( 200cm \cdot 1.7 \times 10^{-3} \frac{kg}{cm^3} \right) (8.31) \right] + \left[ \frac{1}{2} \left( 1.6 \times 10^{-3} \frac{kg}{cm^3} \right) (200cm)(4.39) \right]$$

$$q_u = 3.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.57 \text{ kg/cm}^2}{3} = 1.19 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = 11.9 \text{ ton/m}^2$$

$$11.9 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} < 16 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \text{NO CUMPLE}$$

El resultado es una falla en el suelo bajo el mejoramiento, se debe disminuir la presión que llega al estrato de suelo natural y esto se puede conseguir con dos opciones: Hacer más ancha la zapata (CASO B) o mejorar el suelo un espesor adicional.

### CASO B

$$q_u = 0 + \left[ \left( 200cm \cdot 1.7 \times 10^{-3} \frac{kg}{cm^3} \right) (8.31) \right] + \left[ \frac{1}{2} \left( 1.6 \times 10^{-3} \frac{kg}{cm^3} \right) (250cm)(4.39) \right]$$

$$q_u = 3.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.76 \text{ kg/cm}^2}{3} = 1.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = 12.5 \text{ ton/m}^2$$

$$12.5 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} < 12.8 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \text{NO CUMPLE}$$

### CASO C

$$q_u = 0 + \left[ \left( 200 \text{ cm} \cdot 1.7 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) (8.31) \right] + \left[ \frac{1}{2} \left( 1.6 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) (300 \text{ cm}) (4.39) \right]$$

$$q_u = 3.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.94 \text{ kg/cm}^2}{3} = 1.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = 13.1 \text{ ton/m}^2$$

$$13.1 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} < 10.7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \text{OK} \checkmark \checkmark$$

Los casos A y B fallan por corte general, mientras que el caso C no produce falla en el suelo natural. Por lo que la solución óptima se encuentra en un ancho de viga de cimentación intermedio entre los casos B y C.

De igual manera se recuerda al lector que este ejercicio tiene como propósito únicamente el ilustrar como podría ayudar el mejoramiento de suelo con cemento tipo MH en el cálculo de la capacidad portante.

## ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS: MÉTODO DE MEYERHOFF PARA $N_{60}$ DEL SPT

Se utilizará la ecuación de Meyerhoff modificada por Bowles (1977)

$$q_{neta} \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{N_{60}}{0.05} Fd \left( \frac{Se}{25} \right) \quad (\text{para } B \leq 1.22m) \quad y,$$

$$q_{neta} \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{N_{60}}{0.08} \left( \frac{B + 0.3}{B} \right)^2 Fd \left( \frac{Se}{25} \right) \quad (\text{para } B > 1.22m)$$

Para poder utilizar esta fórmula es necesario obtener el valor de  $N_{60}$  del estrato de suelo mejorado con cemento. Utilizando una correlación inversa del  $N_{60}$  SPT con el módulo de elasticidad y con el ángulo de fricción se obtiene:

$$\phi' = \sqrt{20 (N_1)_{60}} + 20 \quad (\text{Hatanaka y Uchida, 1996})$$

$$45 = \sqrt{20 (N_1)_{60}} + 20$$

$$(N_1)_{60} = 32$$

$$E_s = P_a \propto N_{60} \quad (\text{Kulhawy y Mayne, 1990})$$

$$700 \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = 1.033 \left( \frac{kg}{cm^2} \right) (15) N_{60}$$

$$(N_1)_{60} = 45$$

Se adopta un valor de  $N_{60}$  SPT conservador de **35** para el estrato de suelo cemento (3%) se adoptó este valor ya que es más cercano al valor de  $N_{60}$  más bajo (obtenido por correlación del ángulo de fricción  $\phi$ )

El valor de  $N_{60}$  requerido en la fórmula de Meyerhoff es el promedio de los valores  $N_{60}$  hasta 2B debajo del fondo de la cimentación por lo que:

	CASO A	CASO B	CASO C
Profundidad medida desde el fondo de la cimentación	N <sub>60</sub> SPT	N <sub>60</sub> SPT	N <sub>60</sub> SPT
1	35	35	35
2	10	10	10
3	No aplica* <sup>11</sup>	10	10
4	No aplica**	No aplica**	12
<b>PROMEDIO HASTA 2B</b>	22	18	16

El método permite calcular la presión neta ( $q_{neta}$ ) aplicada para producir un asentamiento deseado en mm, en este caso el asentamiento deseado es de 25mm (aproximadamente una pulgada). Nótese que, aunque el método realiza el cálculo para la presión neta, se ha comparado con la presión total transmitida, para ser un poco más conservadores.

**CASO A** B=1.0m

$$q_{neta} \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{22}{0.05} \left( 1 + 0.33 \frac{1}{1} \right) \left( \frac{25}{25} \right) = 585.2 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

$$q_{neta} = 59.7 \left( \frac{ton}{m^2} \right) > 32.0 \left( \frac{ton}{m^2} \right) \quad \text{OK} \checkmark \checkmark$$

**CASO B** B=1.5m

$$q_{neta} \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{18}{0.08} \left( \frac{1.5 + 0.3}{1.5} \right)^2 \left( 1 + 0.33 \frac{1}{1.5} \right) \left( \frac{25}{25} \right) = 395.3 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

$$q_{neta} = 39.7 \left( \frac{ton}{m^2} \right) > 21.3 \left( \frac{ton}{m^2} \right) \quad \text{OK} \checkmark \checkmark$$

**CASO C** B=2.0m

$$q_{neta} \left( \frac{kN}{m^2} \right) = \frac{16}{0.08} \left( \frac{2.0 + 0.3}{2.0} \right)^2 \left( 1 + 0.33 \frac{1}{2.0} \right) \left( \frac{25}{25} \right) = 308.1 \left( \frac{kN}{m^2} \right)$$

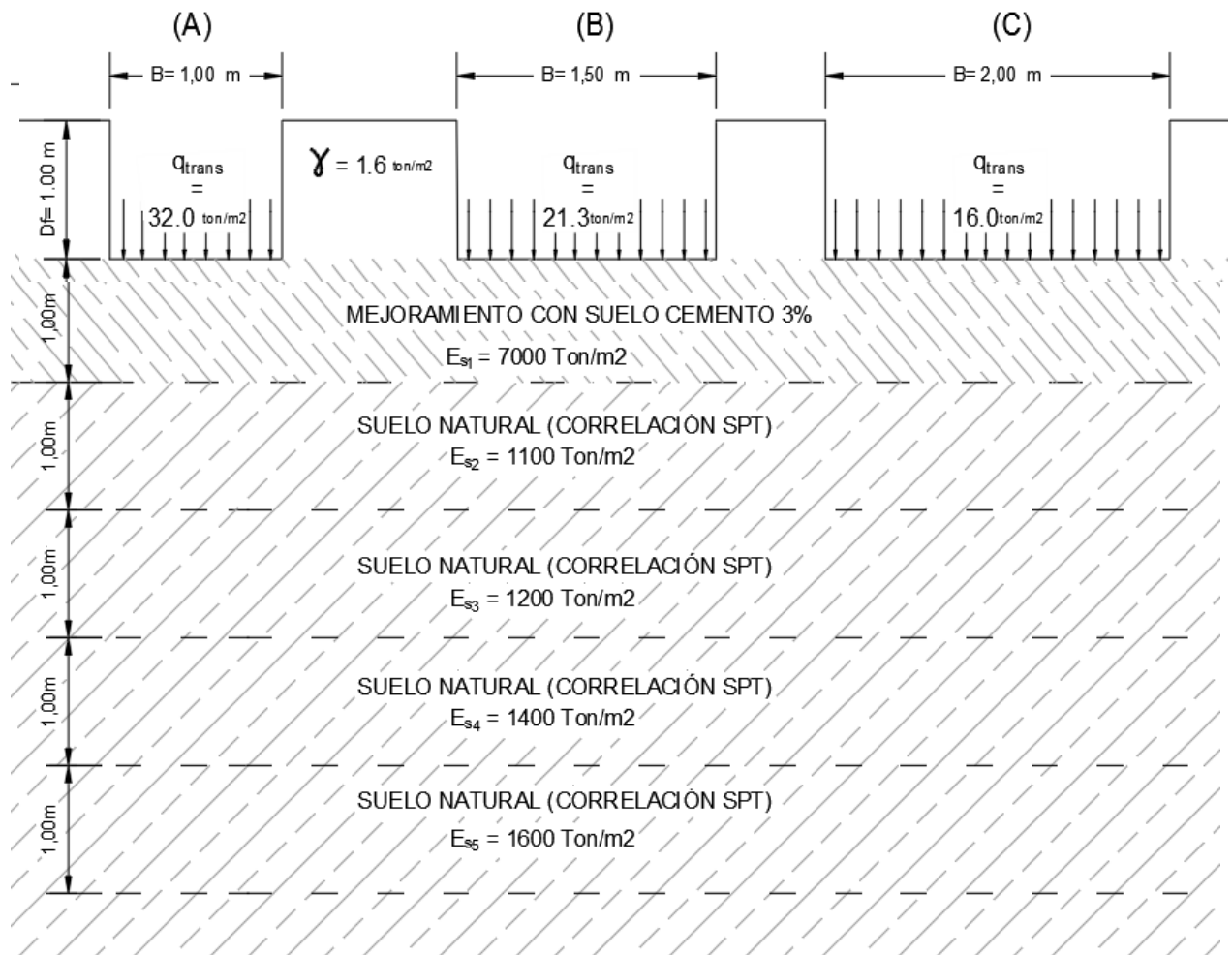
$$q_{neta} = 30.9 \left( \frac{ton}{m^2} \right) > 16.0 \left( \frac{ton}{m^2} \right) \quad \text{OK} \checkmark \checkmark$$

<sup>11</sup> \*\*La metodología requiere un valor promedio de N<sub>60</sub> SPT hasta una profundidad de 2B, este valor es más profundo que 2B, por lo que no se aplica para el cálculo del promedio.

## CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS POR FACTORES DE INFLUENCIA

El método requiere los valores de los módulos de elasticidad del suelo, estos módulos se obtuvieron de manera aproximada utilizando los datos del SPT y las correlaciones de Kulhawy y Mayne (1990) y Bowles (1988).

Tiempo Considerado:  $t=1$  años



$$\delta = C1 \cdot C2 \cdot qn \cdot \sum_0^H \frac{I_z}{E_s} \Delta z$$

$$C1 = 1 - 0.5 \frac{\sigma'_0}{qn} ; C2 = 1 + 0.2 \log\left(\frac{t}{0.1}\right)$$

### CASO A

Estrato N°	$\Delta z$	E (ton/m <sup>2</sup> )	z	lz (A)	lz* $\Delta z$ /E
1	1	7000	0.5	0.350	5.00E-05
2	1	1000	1.5	0.417	4.17E-04
3	1	1100	2.5	0.250	2.27E-04
4	1	1400	3.5	0.083	5.95E-05

$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	7.53E-04
---------------------------------	----------

qn	30.4
C1	0.95
C2	1.20
$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	7.53E-04

Asentamientos (cm)	2.60
--------------------	------

**NO CUMPLE \***

### CASO B

Estrato N°	$\Delta z$	E (ton/m <sup>2</sup> )	z	lz (A)	lz* $\Delta z$ /E
1	1	7000	0.5	0.30	4.29E-05
2	1	1000	1.5	0.50	5.00E-04
3	1	1100	2.5	0.39	3.54E-04
4	1	1400	3.5	0.28	1.98E-04
5	1	1400	4.5	0.17	1.19E-04
6	1	1600	5.5	0.06	3.47E-05

$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	1.25E-03
---------------------------------	----------

qn	19.73
C1	0.92
C2	1.20
$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	1.25E-03

Asentamientos (cm)	2.72
--------------------	------

**NO CUMPLE \***

### CASO C

Estrato N°	$\Delta z$	E (ton/m <sup>2</sup> )	z	lz (A)	lz* $\Delta z$ /E
1	1	7000	0.5	0.28	3.93E-05
2	1	1000	1.5	0.43	4.25E-04
3	1	1100	2.5	0.46	4.17E-04
4	1	1400	3.5	0.38	2.68E-04
5	1	1400	4.5	0.29	2.08E-04
6	1	1600	5.5	0.21	1.30E-04
7	2	1800	7	0.08	9.26E-05

$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	1.58E-03
---------------------------------	----------

qn	14.4
C1	0.89
C2	1.20
$\Sigma$ (lz* $\Delta z$ /E)	1.49E-03

Asentamientos (cm)	2.28
--------------------	------

**OK✓✓**

\* Los asentamientos resultantes son aproximadamente un 5% a 10% superior a una pulgada (2.54cm), pero puede ser considerado como aceptable ya que el método en sí es conservador, debido al parámetro C2 que toma en consideración el tiempo y aumenta en un 20% el asentamiento inmediato.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El uso de cemento tipo MH con un 3% al peso seco es adecuado y conveniente para el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del suelo, tanto desde el punto de vista técnico como económico, como se explica a continuación:
- El uso de cemento reemplaza al material de subbase (lastre) debido principalmente a su alto valor de CBR que supera al valor mínimo de una subbase clase 3 y a que las propiedades del suelo cemento no se ven perjudicadas en presencia de agua.
- El uso de suelo cemento al 3% del peso seco representa un ahorro de aproximadamente un 40% en comparación al mejoramiento con lastre. La relación del 3% al peso seco de cemento puede ser llevada a campo como un saco de cemento 50kg por cada metro cúbico de suelo. (Ver sección 5.3 para detalles)
- Los parámetros de diseño para el suelo arenoso de Pomasqui mejorado al 3% con cemento son los siguientes (Ver sección 5.1 para detalles):

	<b>3% de Cemento MH</b>	<b>Suelo Natural Compactado</b>	<b>Suelo Natural Suelto</b>
<b>Cohesión (c'):</b>	$\approx 2.5 \text{ kg/cm}^2$	$\approx 0.0 \text{ kg/cm}^2$	$\approx 0.0 \text{ kg/cm}^2$
<b>Ángulo de Fricción (<math>\phi'</math>):</b>	$\approx 45^\circ$	$\approx 45^\circ$	$\approx 25^\circ \text{ a } 30^\circ$
<b>Módulo de elasticidad:</b>	$\approx 700 \text{ kg/cm}^2$	$\approx 150 \text{ kg/cm}^2$	$\approx 100 \text{ kg/cm}^2$
<b>CBR (%):</b>	$\approx 130$	$\approx 25$	N/A

- La densidad seca máxima en campo para la mezcla de suelo cemento al 3% deberá considerarse como igual a la densidad seca máxima del suelo natural.
- La humedad óptima de mezclado deberá ser ligeramente mayor (aprox. 0.5%) a la del suelo natural.

## RECOMENDACIONES

- Es muy importante llevar un control riguroso de la compactación en campo; ya que niveles de compactación bajos, las características del suelo cemento podrían verse severamente perjudicadas.
- Después de realizar la compactación en campo es importante llevar a cabo un proceso de curado del suelo cemento, procurando mantenerlo húmedo en la superficie.
- No es recomendable utilizar menos del 3% de cemento para el mejoramiento, ya que podría existir problemas en el mezclado, quedando partes del suelo mejorado sin suficiente cemento para mantener una cierta homogeneidad.
- Para cimentaciones, se recomienda el uso de zapatas corridas para la aplicación de este mejoramiento, debido a que la zanja continua genera un espacio beneficioso para realizar la compactación adecuadamente.
- Es recomendable, para una futura investigación el analizar parámetros adicionales del suelo, principalmente parámetros como el CBR, permeabilidad y comportamiento del suelo cemento ante sollicitaciones dinámicas.
- Se recomienda analizar en futuras investigaciones la posibilidad de realizar el mejoramiento con cemento común tipo GU en lugar del MH, debido al bajo porcentaje de cemento (3%) requerido para realizar el mejoramiento.

## 6.- BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (1992). *D 5333: Standard test method for Measurement of Collapse Potential of Soils*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (1998). *D 2216: Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. ASTM.
- ASTM. (2007). *D 1632: Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (2007). *D 1633: Standard Test Methods of Molded Soil-Cement Cylinders*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (2009). *D 6913: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradarion) of Soils Using Sieve Analysis*. ASTM.
- ASTM. (2010). *D 4318: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity index of Soils*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (2011). *D1586: Standard test method for standard penetration test*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (2012). *D 1557: Standard Test Method for laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort*. Pensilvania: ASTM.
- ASTM. (2015). *D 2850: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*. ASTM.
- Calo, I. D. (2012). *Diseño de pavimentos rígidos*. Buenos Aires.
- CEMEX. (2013). *Pavimentos de Concreto*. Mexico DF.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México DF: CENGAGE Learning.
- Holcim. (2014). *Cemento Hidráulico para la Estabilización de Suelos Tipo MH*. Quito.
- IECA. (2013). *Estabilización de suelos con cemento*. Madrid.
- Leoni, A. J. (2003). *Procesos de licuefacción del suelo*. Palermo.

## 7.- ANEXOS

# ANEXO 1.- REPORTES DE ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO

GeoConsult

## ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELO

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i>	Ejecución ML.
<b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i>	
<b>Sondeo:</b> P - 1	Fecha: oct-16
<b>Profundidad:</b> 0,00 - 1,50 metros	

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i>	Ejecución ML.
<b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i>	
<b>Sondeo:</b> P - 1	Fecha: oct-16
<b>Profundidad:</b> 1,50 - 3,00 metros	

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%
<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
	408	74.56	72.12	20.24	4.70
	508	67.95	65.84	20.58	4.66
	488	79.53	76.87	20.67	4.73

RESUMEN	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	4.7%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SM</b>

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%
<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
	524	74.19	70.16	20.32	8.09
	505	68.81	65.20	20.10	8.00
	700	75.85	71.70	20.51	8.11

RESUMEN	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	8.1%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SM</b>

LÍMITE LÍQUIDO					
		NP			

D10	-
D30	-
D60	-

LÍMITE LÍQUIDO					
		NP			

D10	-
D30	-
D60	-

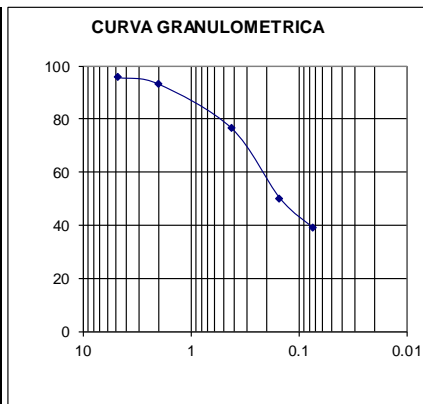
LÍMITE PLÁSTICO					
		NP			

Cu	-
Cc	-

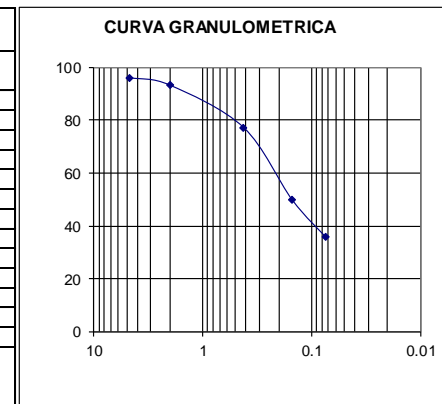
LÍMITE PLÁSTICO					
		NP			

Cu	-
Cc	-

GRANULOMETRIA				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	
2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	8.1	8.13	4.2	95.75
#10	4.66	12.79	6.68	93.32
#40	31.96	44.75	23.39	76.61
#100	50.53	95.28	49.79	50.21
#200	21.24	116.52	60.89	39.11
TOTAL				200.34
Total Seco				191.35
PORCENTAJE DE GRAVA		4.2 %		
PORCENTAJE DE ARENA		56.6 %		
PORCENTAJE DE FINOS		39.1 %		



GRANULOMETRIA				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	
2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	7.7	7.70	4.0	95.98
#10	5.40	13.10	6.85	93.15
#40	30.56	43.66	22.82	77.18
#100	52.34	96.00	50.17	49.83
#200	26.66	122.66	64.10	35.90
TOTAL				201.86
Total Seco				186.79
PORCENTAJE DE GRAVA		4.0 %		
PORCENTAJE DE ARENA		60.1 %		
PORCENTAJE DE FINOS		35.9 %		



### ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELO

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i> <b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i> <b>Sondeo:</b> P - 2 <b>Profundidad:</b> 0,00 - 1,50 metros	Ejecución ML.  Fecha: oct-16
---	------------------------------------

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i> <b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i> <b>Sondeo:</b> P - 2 <b>Profundidad:</b> 1,50 - 3,00 metros	Ejecución ML.  Fecha: oct-16
---	------------------------------------

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%

**HUMEDAD NATURAL**

	516	79.89	78.58	20.25	2.25
	551	77.44	76.19	20.43	2.24
	581	77.54	76.28	20.37	2.25

RESUMEN	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	2.2%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SM</b>

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%

**HUMEDAD NATURAL**

	562	96.51	95.45	20.08	1.41
	593	95.06	94.02	20.91	1.42
	619	95.31	94.26	20.74	1.43

RESUMEN	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	1.4%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SM</b>

**LIMITE LIQUIDO**

		NP			

D10	-
D30	-
D60	-

**LIMITE LIQUIDO**

		NP			

D10	-
D30	-
D60	-

**LIMITE PLASTICO**

		NP			

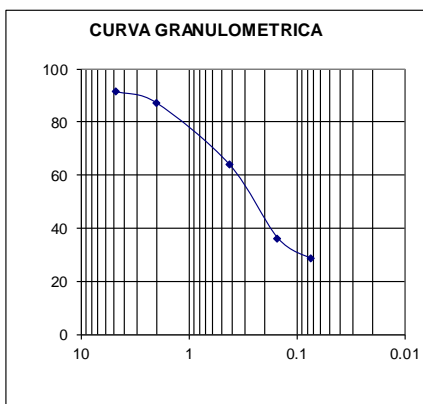
Cu	-
Cc	-

**LIMITE PLASTICO**

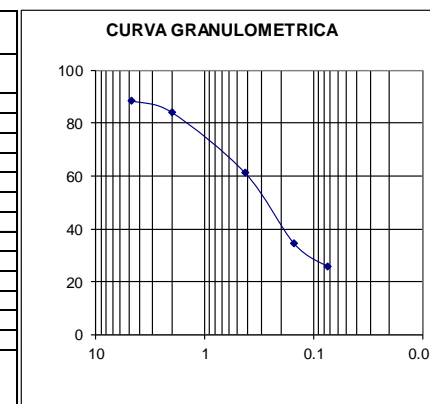
		NP			

Cu	-
Cc	-

GRANULOMETRIA				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	
2'''	0.0	0.0	0.0	100.0
1'''	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4'''	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2'''	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8'''	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	19.5	19.49	8.4	91.59
# 10	9.70	29.19	12.60	87.40
# 40	54.22	83.41	36.00	64.00
#100	64.47	147.88	63.83	36.17
#200	17.70	165.58	71.47	28.53
TOTAL				236.88
Total Seco				231.67
PORCENTAJE DE GRAVA		8.4 %		
PORCENTAJE DE ARENA		63.1 %		
PORCENTAJE DE FINOS		28.5 %		



GRANULOMETRIA				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	
2'''	0.0	0.0	0.0	100.0
1'''	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4'''	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2'''	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8'''	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	26.2	26.22	11.3	88.68
# 10	10.30	36.52	15.76	84.24
# 40	53.54	90.06	38.87	61.13
#100	61.64	151.70	65.48	34.52
#200	19.89	171.59	74.07	25.93
TOTAL				219.38
Total Seco				216.31
PORCENTAJE DE GRAVA		11.3 %		
PORCENTAJE DE ARENA		62.7 %		
PORCENTAJE DE FINOS		25.9 %		



### ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELO

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i> <b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i> <b>Sondeo:</b> <b>P - 3</b> <b>Profundidad:</b> <i>0,00 - 1,50 metros</i>	Ejecución ML.  Fecha: oct-16
---	------------------------------------

<b>PROYECTO:</b> <i>Mejoramiento de las propiedades del suelo de Pomasqui con el uso de cemento</i> <b>Obra:</b> <i>Toma de muestra integral</i> <b>Sondeo:</b> <b>P - 3</b> <b>Profundidad:</b> <i>1,50 - 3,00 metros</i>	Ejecución ML.  Fecha: oct-16
---	------------------------------------

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%
<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
	516	75.47	73.41	20.73	3.91
	658	75.73	73.65	19.94	3.87
	671	78.66	76.45	20.23	3.93

RESUMEN	
Limite Líquido	NP
Limite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	3.9%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SM</b>

Golpes	Cápsula	PC+SH	PC+PS	PC	Humedad
#	#	grs.	grs	grs	%
<b>HUMEDAD NATURAL</b>					
	538	78.25	76.27	19.93	3.51
	529	85.89	83.61	20.72	3.63
	572	90.30	87.89	20.36	3.57

RESUMEN	
Limite Líquido	NP
Limite Plástico	NP
Índice Plasticidad	NP
Humedad Natural	3.6%
<b>Clasificación SUCS</b>	<b>SW- SM</b>

<b>LIMITE LIQUIDO</b>					
		NP			

D10	-
D30	-
D60	-

<b>LIMITE LIQUIDO</b>					
		NP			

D10	0.075
D30	0.3
D60	1.1

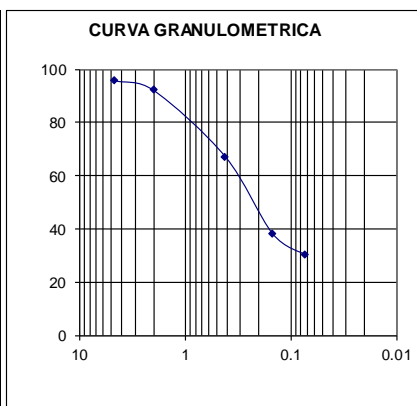
<b>LIMITE PLASTICO</b>					
		NP			

Cu	-
Cc	-

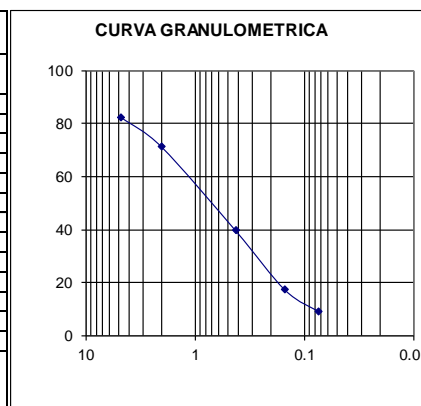
<b>LIMITE PLASTICO</b>					
		NP			

Cu	14.7
Cc	1.1

<b>GRANULOMETRIA</b>				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	%
2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4 "	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	6.9	6.89	4.1	95.90
# 10	6.13	13.02	7.74	92.26
# 40	41.99	55.01	32.71	67.29
#100	48.74	103.75	61.70	38.30
#200	13.13	116.88	69.51	30.49
<b>TOTAL</b>				174.72
Total Seco				168.15
PORCENTAJE DE GRAVA				4.1 %
PORCENTAJE DE ARENA				65.4 %
PORCENTAJE DE FINOS				30.5 %



<b>GRANULOMETRIA</b>				
Tamiz #	Peso Retenido (g)			Pasa %
	Parcial	Total	%	%
2"	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4 "	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
#4	29.4	29.36	17.5	82.54
# 10	18.80	48.16	28.64	71.36
# 40	53.40	101.56	60.40	39.60
#100	37.46	139.02	82.67	17.33
#200	13.62	152.64	90.77	9.23
<b>TOTAL</b>				194.77
Total Seco				188.06
PORCENTAJE DE GRAVA				17.5 %
PORCENTAJE DE ARENA				73.3 %
PORCENTAJE DE FINOS				9.2 %



## ANEXO 2.- REPORTES DE ENSAYOS DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

P1 (0.00 A 1.50)

**GeoConsult**

Avenida La Gasca 763, Quito. Teléfono 2234-424

### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

#### RELACION DENSIDAD-HUMEDAD

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

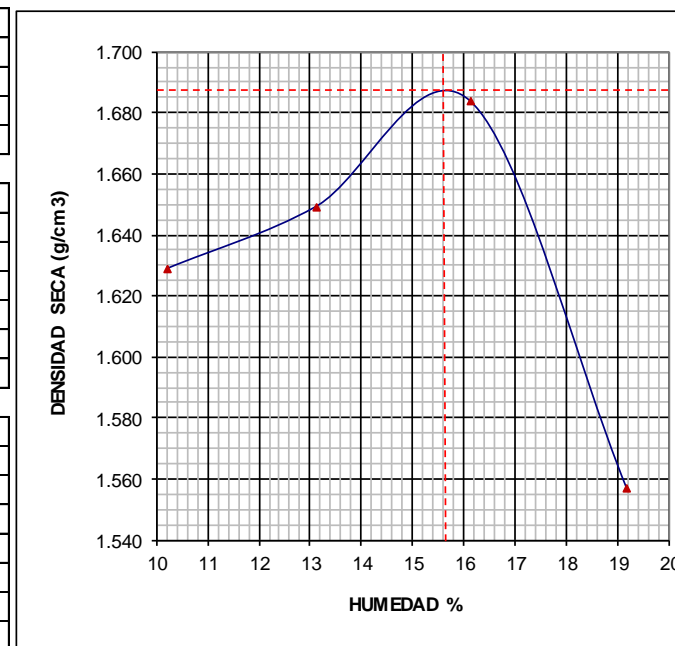
**Muestra:** Integral de 0,10 a 1.50 metros P-1  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5846	5912	5997	5903
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	10.22	13.11	16.12	19.17
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.87	1.96	1.86
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.65	1.68	1.56

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	555	498	544	654	381	588	415	517
Tara+Suelo Húmedo	83.55	75.55	77.01	81.77	84.77	83.85	78.20	86.45
Tara+Suelo Seco	77.75	70.44	70.46	74.64	75.96	74.94	69.01	75.60
Peso Tara	20.93	20.47	20.61	20.12	20.71	20.29	20.85	19.28
Contenido Agua %	10.21	10.23	13.14	13.08	15.95	16.30	19.08	19.26
Humedad Media %	10.22		13.11		16.12		19.17	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima:** ..... 15.60 %  
**Densidad Máxima:**..... 1.686 gr/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

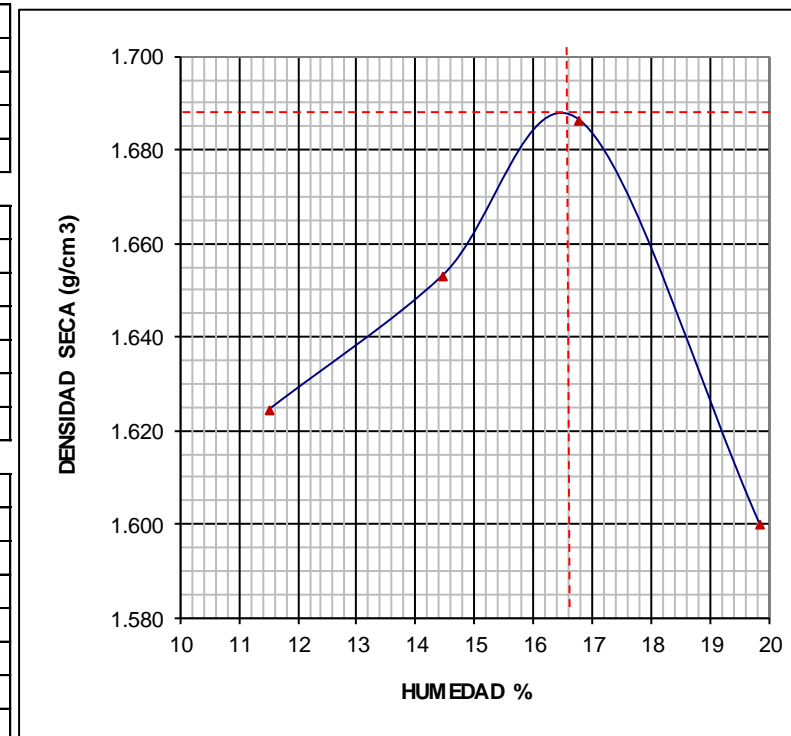
**Muestra:** Integral de 0,10 a 1.50 metros P-1  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5861	5937	6010	5961
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	11.50	14.45	16.78	19.83
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.89	1.97	1.92
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.62	1.65	1.69	1.60

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	503	578	589	598	574	641	534	555
Tara+Suelo Húmedo	81.66	87.96	89.21	84.50	82.47	93.56	96.82	100.04
Tara+Suelo Seco	75.34	80.98	80.52	76.39	73.34	82.73	84.10	86.99
Peso Tara	20.21	20.51	20.11	20.48	20.03	19.92	20.20	20.94
Contenido Agua %	11.46	11.54	14.39	14.51	16.80	16.75	19.91	19.76
Humedad Media %	11.50		14.45		16.78		19.83	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.50 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.687 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

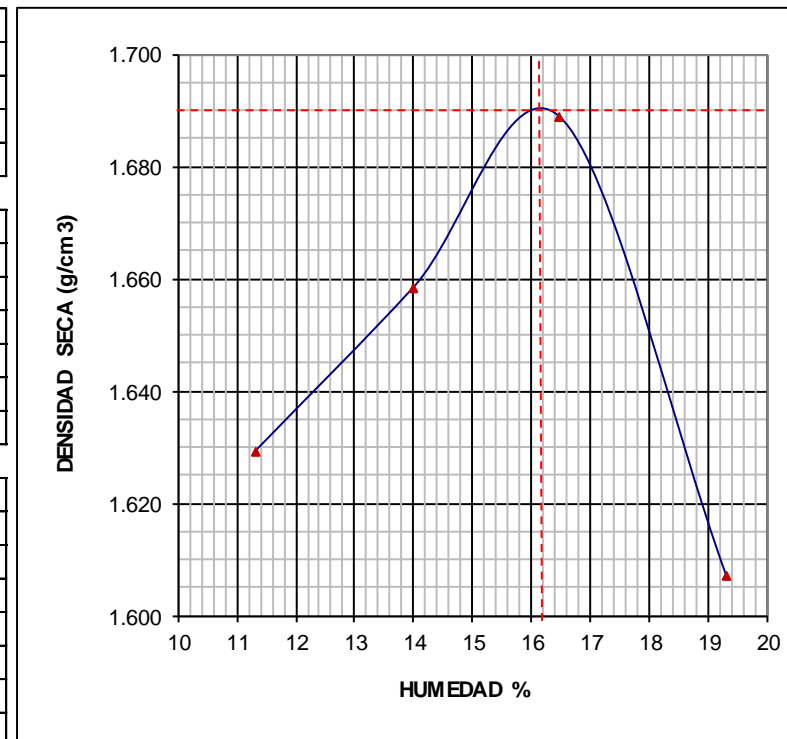
**Muestra:** Integral de 0,10 a 1.50 metros P-1  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5863	5936	6008	5961
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	11.31	14.00	16.48	19.30
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.89	1.97	1.92
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.66	1.69	1.61

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	525	569	693	643	517	690	671	588
Tara+Suelo Húmedo	88.48	80.05	88.75	87.70	88.89	88.61	99.84	90.62
Tara+Suelo Seco	81.57	74.04	80.37	79.41	79.13	79.06	86.95	79.18
Peso Tara	20.93	20.47	20.61	20.12	20.71	20.29	20.85	19.28
Contenido Agua %	11.40	11.22	14.02	13.98	16.71	16.25	19.50	19.10
Humedad Media %	11.31		14.00		16.48		19.30	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.20 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.690 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

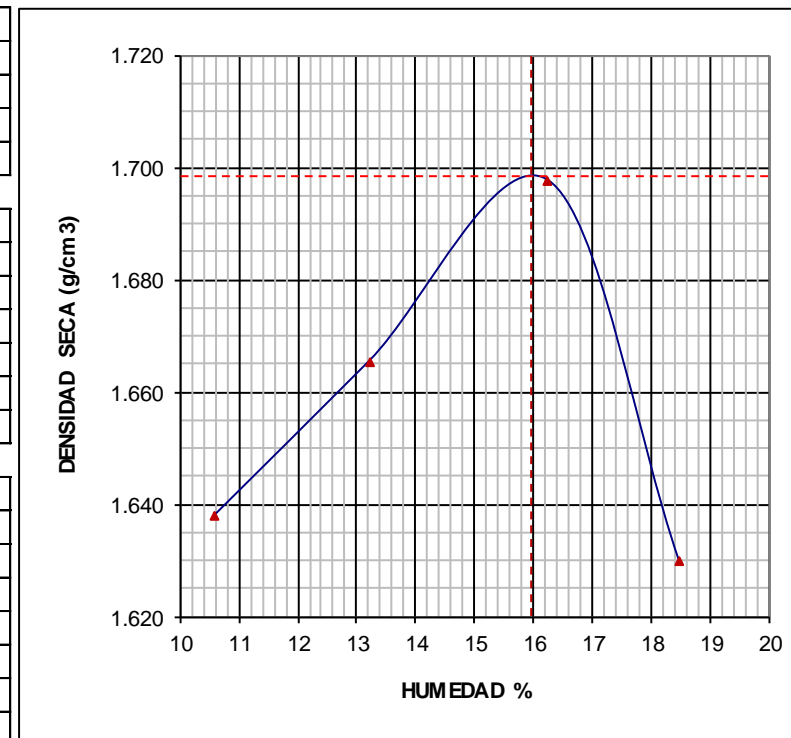
**Muestra:** Integral de 0,10 a 1.50 metros P-1  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5861	5931	6014	5974
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	10.58	13.21	16.24	18.46
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.89	1.97	1.93
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.67	1.70	1.63

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	594	381	481	637	297	415	346	701
Tara+Suelo Húmedo	85.90	82.79	88.42	80.71	83.76	79.59	80.12	82.06
Tara+Suelo Seco	79.60	76.84	80.42	73.74	75.05	71.28	70.83	72.41
Peso Tara	19.92	20.72	20.11	20.75	20.63	20.85	20.41	20.26
Contenido Agua %	10.56	10.60	13.26	13.15	16.01	16.48	18.43	18.50
Humedad Media %	10.58		13.21		16.24		18.46	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.698 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

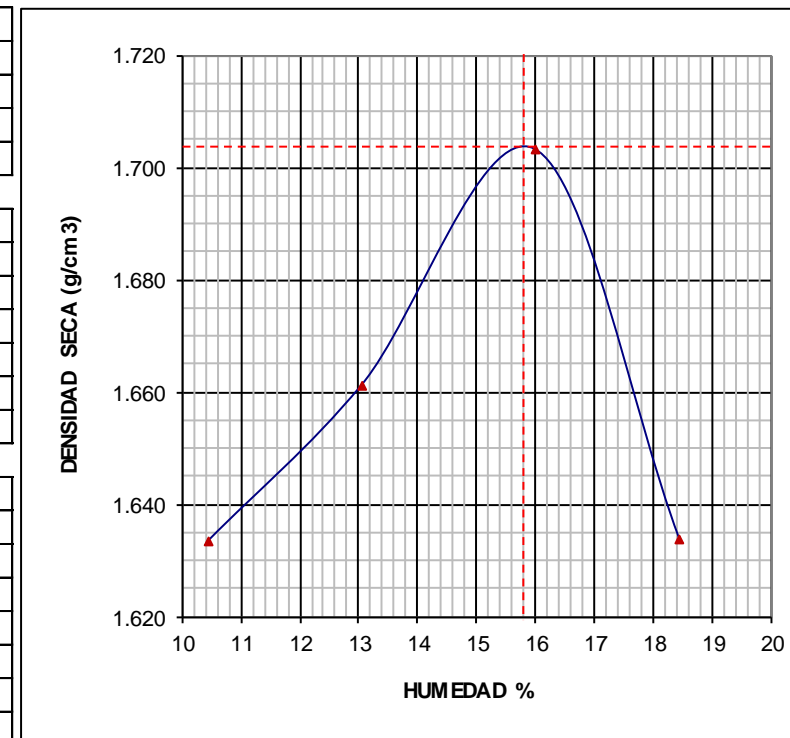
**Muestra:** Integral de 0,10 a 1.50 metros P-1  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5854	5924	6016	5978
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	10.44	13.05	15.98	18.44
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.80	1.88	1.98	1.94
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.66	1.70	1.63

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	519	505	575	580	648	552	654	579
Tara+Suelo Húmedo	91.61	90.71	89.42	82.27	93.29	89.08	95.20	88.26
Tara+Suelo Seco	84.87	84.03	81.40	75.14	82.18	78.49	83.53	77.69
Peso Tara	20.26	20.10	20.29	20.22	20.64	20.39	20.14	20.49
Contenido Agua %	10.43	10.45	13.12	12.98	16.02	15.94	18.41	18.48
Humedad Media %	10.44		13.05		15.98		18.44	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 15.80 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.714 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
 Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

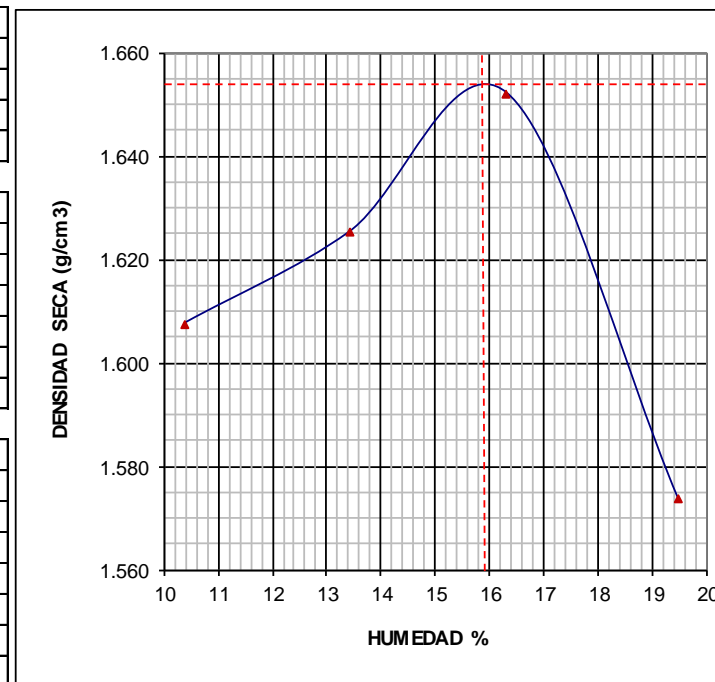
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-1  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5826	5891	5965	5926
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	10.36	13.40	16.30	19.47
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.77	1.84	1.92	1.88
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.61	1.63	1.65	1.57

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	525	566	490	643	690	499	586	487
Tara+Suelo Húmedo	87.75	90.04	81.08	86.84	77.26	85.46	84.37	76.87
Tara+Suelo Seco	81.42	83.45	73.91	78.87	69.33	76.26	73.95	67.65
Peso Tara	20.21	20.01	20.19	19.66	20.50	20.05	20.26	20.43
Contenido Agua %	10.34	10.39	13.35	13.46	16.24	16.37	19.41	19.53
Humedad Media %	10.36		13.40		16.30		19.47	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima:** ..... **15.90 %**  
**Densidad Máxima:**..... **1.654 gr/cm<sup>3</sup>**

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

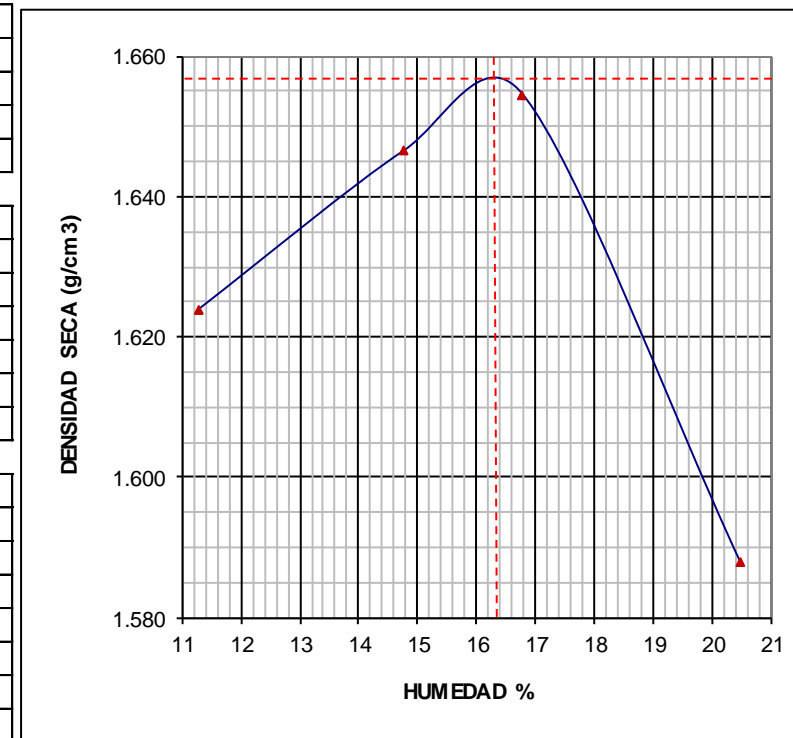
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-1  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5857	5935	5975	5957
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	11.28	14.77	16.78	20.46
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.89	1.93	1.91
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.62	1.65	1.65	1.59

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	579	516	671	381	267	641	598	503
Tara+Suelo Húmedo	68.86	70.72	79.18	74.53	73.37	76.97	92.16	88.57
Tara+Suelo Seco	63.93	65.63	71.58	67.62	65.63	68.58	79.99	76.95
Peso Tara	20.48	20.25	20.25	20.72	20.63	19.91	20.47	20.20
Contenido Agua %	11.35	11.22	14.81	14.73	16.80	16.75	20.45	20.48
Humedad Media %	11.28		14.77		16.78		20.46	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.30 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.657 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

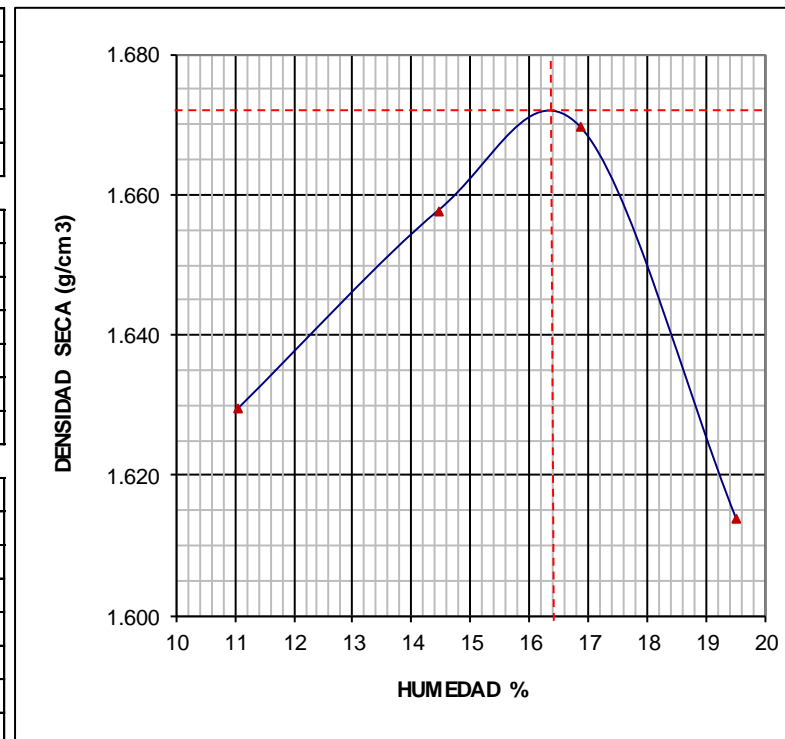
Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-1  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5859	5942	5993	5972
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	11.03	14.44	16.85	19.52
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.90	1.95	1.93
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.66	1.67	1.61



CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	581	481	574	693	690	509	589	658
Tara+Suelo Húmedo	76.70	81.86	84.21	78.90	70.42	73.79	77.87	82.84
Tara+Suelo Seco	71.10	75.73	76.16	71.41	63.27	66.05	68.45	72.55
Peso Tara	20.38	20.11	20.03	19.92	20.51	20.48	20.11	19.91
Contenido Agua %	11.04	11.02	14.34	14.55	16.72	16.98	19.49	19.55
Humedad Media %	11.03		14.44		16.85		19.52	

**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.20 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.672 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

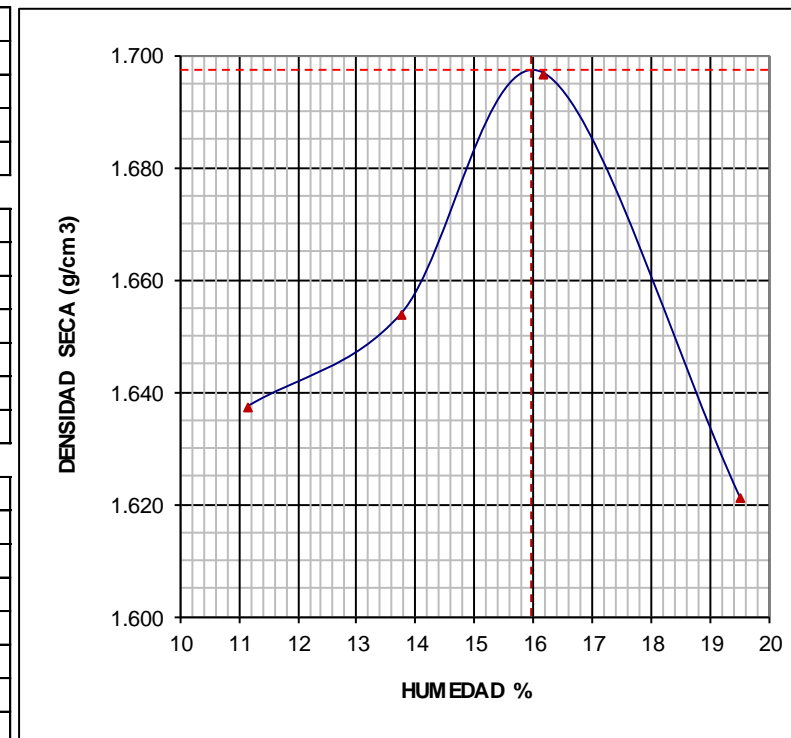
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-1  
**Cemento (%):** 9%

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5869	5927	6012	5980
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	11.15	13.75	16.18	19.51
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.88	1.97	1.94
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.65	1.70	1.62

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	648	573	489	569	517	536	504	552
Tara+Suelo Húmedo	88.38	81.67	73.15	74.75	81.16	81.29	85.36	78.36
Tara+Suelo Seco	81.59	75.52	66.76	68.18	72.56	72.80	74.78	68.86
Peso Tara	20.67	20.37	20.40	20.31	19.27	20.45	20.34	20.38
Contenido Agua %	11.15	11.15	13.78	13.72	16.14	16.22	19.43	19.60
Humedad Media %	11.15		13.75		16.18		19.51	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 16.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.697 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

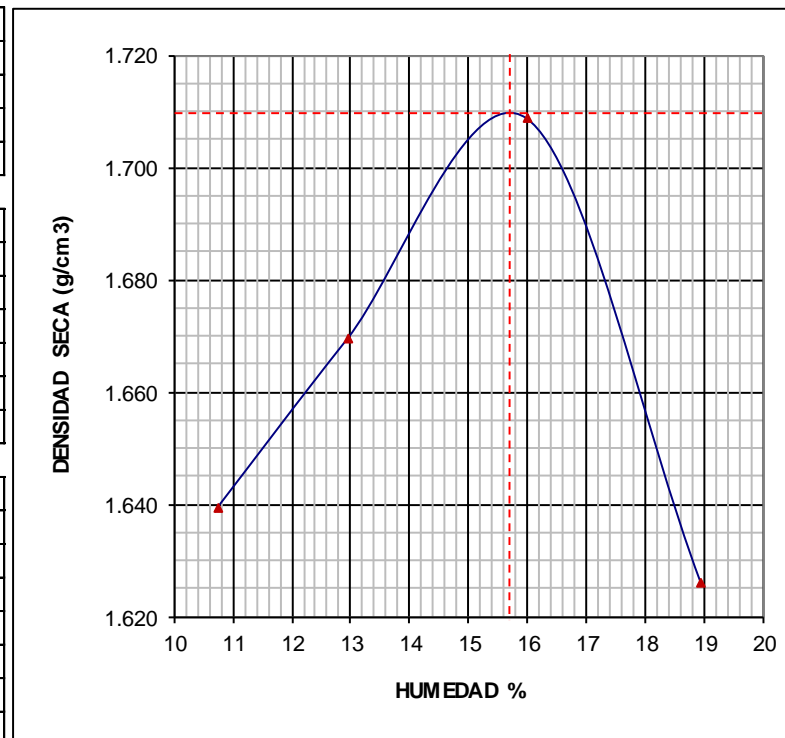
Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-1  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5865	5931	6022	5977
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	10.74	12.94	15.98	18.94
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.89	1.98	1.93
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.64	1.67	1.71	1.63



CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	486	619	566	594	529	346	570	700
Tara+Suelo Húmedo	82.91	75.84	79.22	84.12	87.93	78.07	82.16	81.43
Tara+Suelo Seco	76.82	70.52	72.46	76.74	78.24	69.96	72.35	71.75
Peso Tara	20.34	20.75	20.00	19.92	20.73	20.40	20.69	20.52
Contenido Agua %	10.78	10.69	12.89	12.99	16.02	15.94	18.99	18.90
Humedad Media %	10.74		12.94		15.98		18.94	

**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 15.70 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.710 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
 Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

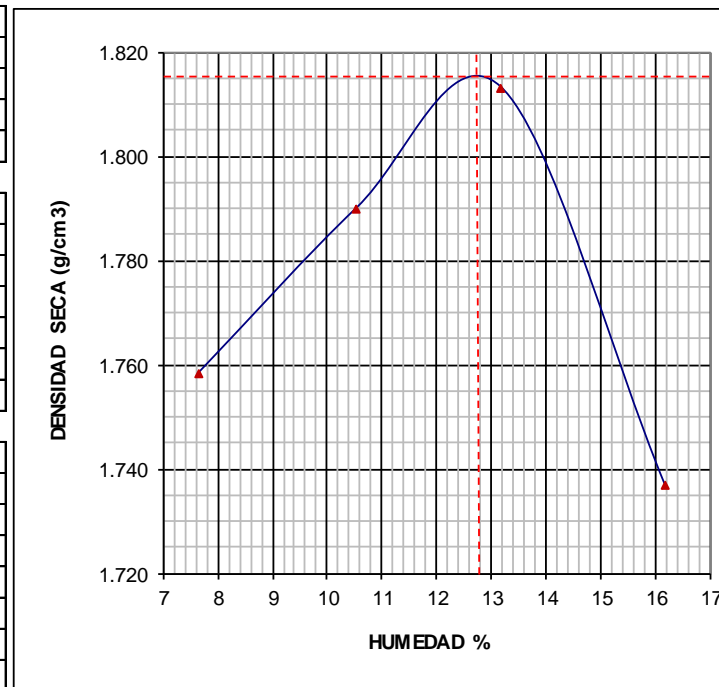
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-2  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5938	6019	6088	6056
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	7.64	10.54	13.16	16.16
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.89	1.98	2.05	2.02
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.76	1.79	1.81	1.74

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	267	574	594	537	701	575	510	598
Tara+Suelo Húmedo	76.99	83.97	84.29	82.14	81.78	83.15	84.46	108.38
Tara+Suelo Seco	72.97	79.45	78.12	76.30	74.61	75.86	75.55	96.07
Peso Tara	20.63	20.02	19.91	20.54	20.26	20.29	20.01	20.47
Contenido Agua %	7.68	7.61	10.60	10.47	13.19	13.12	16.04	16.28
Humedad Media %	7.64		10.54		13.16		16.16	



**Parámetros de Compactación:**  
**Humedad Óptima: .....** 12.80 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.815 gr/cm<sup>3</sup>

Cálculo: ML  
 Aprobación: FL  
 Fecha: oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

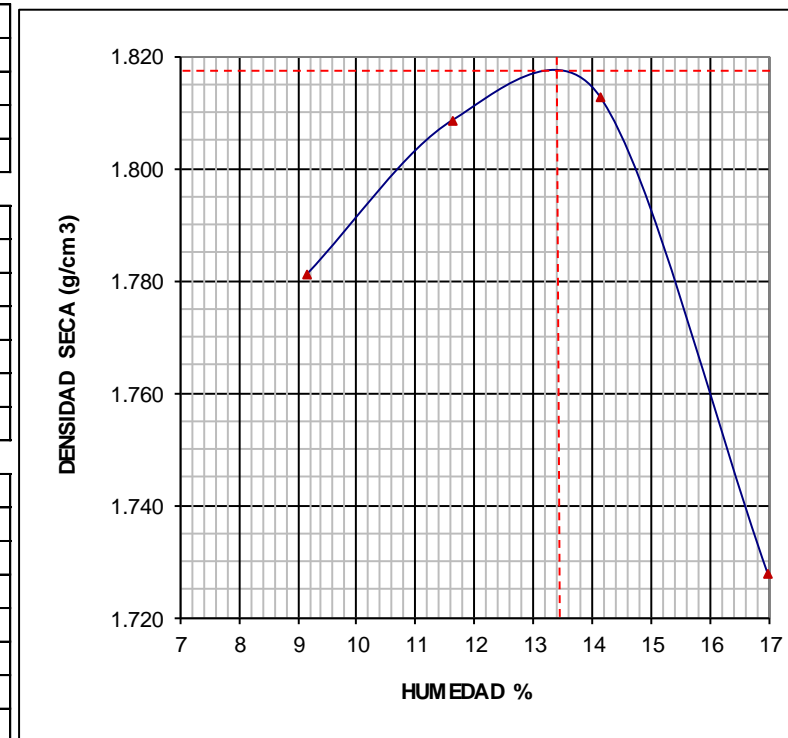
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-2  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5986	6057	6104	6059
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.14	11.63	14.12	16.97
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.02	2.07	2.02
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.78	1.81	1.81	1.73

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	570	573	499	519	488	619	489	524
Tara+Suelo Húmedo	86.02	85.37	90.62	91.00	94.79	88.88	91.29	97.18
Tara+Suelo Seco	80.50	79.98	83.16	83.47	85.49	80.36	80.97	86.06
Peso Tara	20.68	20.39	20.06	20.26	20.70	20.75	20.39	20.31
Contenido Agua %	9.23	9.05	11.61	11.65	14.15	14.09	17.04	16.91
Humedad Media %	9.14		11.63		14.12		16.97	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 13.40 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.817 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

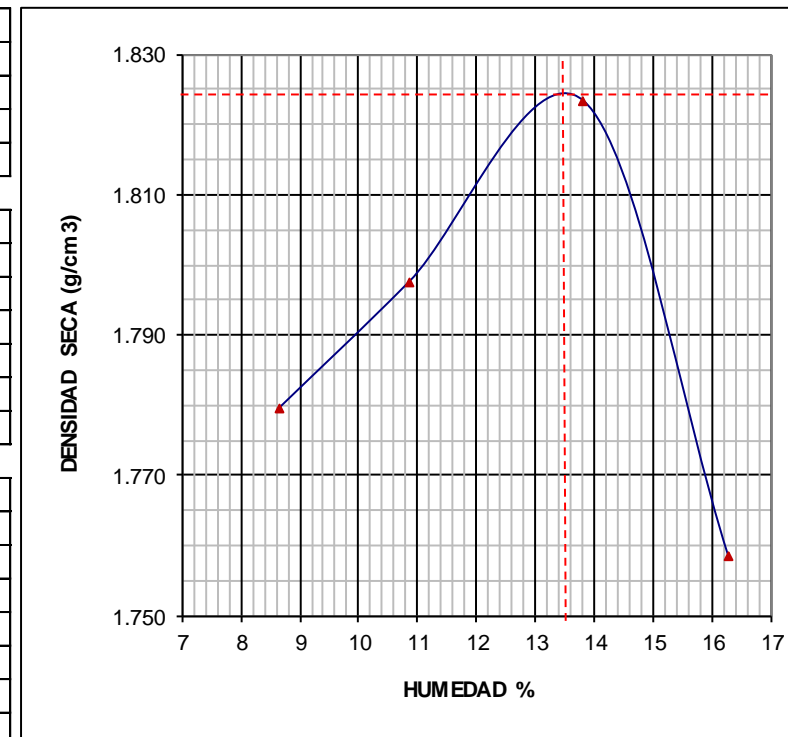
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-2  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5976	6032	6110	6081
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	8.64	10.85	13.81	16.26
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.93	1.99	2.08	2.04
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.78	1.80	1.82	1.76

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	640	658	504	562	536	581	566	529
Tara+Suelo Húmedo	92.20	83.33	90.99	93.20	95.87	93.60	93.28	93.44
Tara+Suelo Seco	86.46	78.30	84.12	86.00	86.54	84.43	83.04	83.26
Peso Tara	20.15	19.91	20.34	20.06	20.46	20.37	20.00	20.73
Contenido Agua %	8.66	8.61	10.77	10.92	13.82	13.79	16.24	16.28
Humedad Media %	8.64		10.85		13.81		16.26	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 13.50 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.824 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

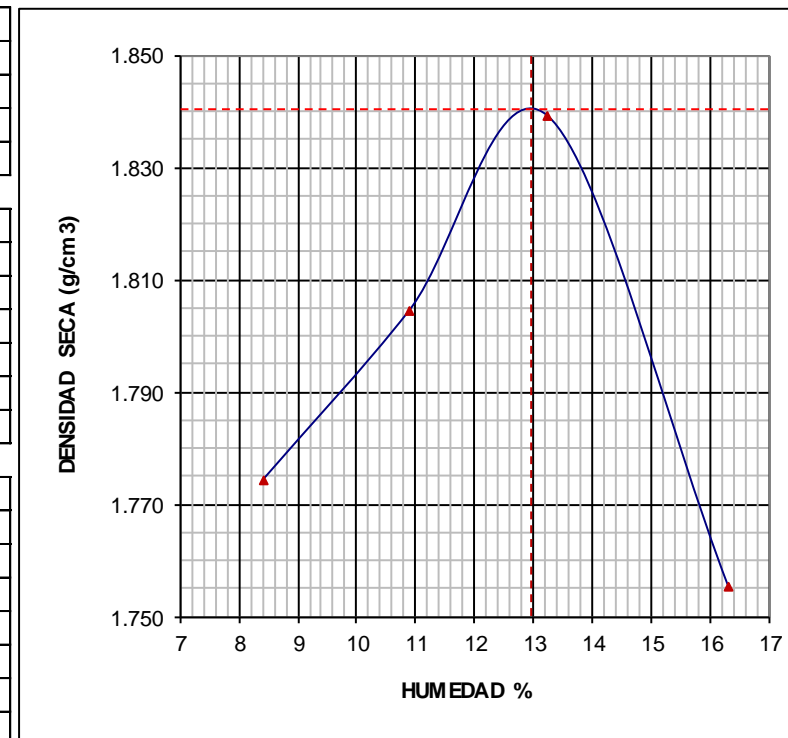
Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-2  
**Cemento (%):** 9% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5967	6040	6117	6078
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	8.42	10.89	13.23	16.29
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.92	2.00	2.08	2.04
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.77	1.80	1.84	1.76



CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	487	537	593	531	490	624	514	548
Tara+Suelo Húmedo	89.53	97.18	101.30	91.92	93.54	93.65	93.59	91.16
Tara+Suelo Seco	84.14	91.26	93.31	84.96	84.94	85.15	83.30	81.23
Peso Tara	20.44	20.55	20.65	20.43	20.18	20.70	20.35	20.07
Contenido Agua %	8.46	8.37	11.00	10.79	13.28	13.19	16.35	16.24
Humedad Media %	8.42		10.89		13.23		16.29	

**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 13.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.840 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

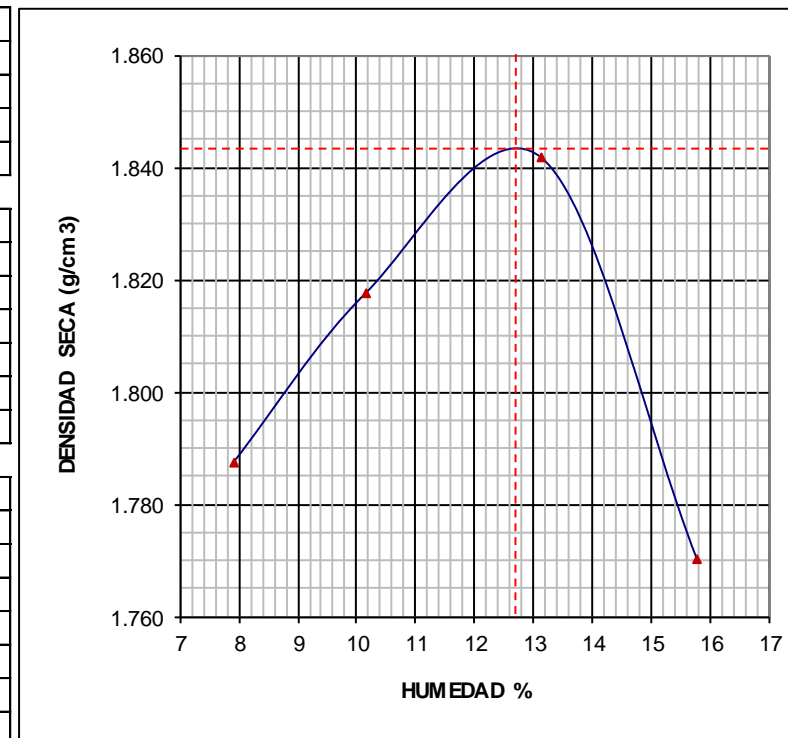
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-2  
**Cemento (%):** 12% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5972	6041	6118	6086
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	7.91	10.15	13.13	15.77
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.93	2.00	2.08	2.05
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.79	1.82	1.84	1.77

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	560	700	568	510	482	509	500	486
Tara+Suelo Húmedo	96.04	94.36	94.37	93.03	97.37	95.95	80.20	96.98
Tara+Suelo Seco	90.50	88.96	87.43	86.38	88.40	87.26	72.08	86.58
Peso Tara	20.34	20.75	20.00	19.92	20.73	20.40	20.69	20.52
Contenido Agua %	7.90	7.92	10.29	10.00	13.26	13.00	15.80	15.74
Humedad Media %	7.91		10.15		13.13		15.77	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 12.70 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.843 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

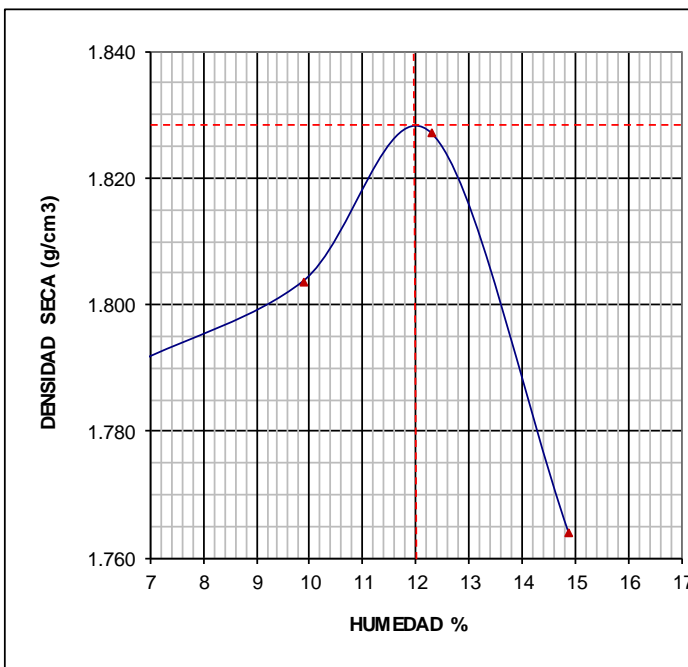
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-2  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5955	6022	6088	6064
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	6.72	9.88	12.30	14.88
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.91	1.98	2.05	2.03
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.79	1.80	1.83	1.76

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	578	580	637	514	568	569	346	534
Tara+Suelo Húmedo	85.28	89.17	88.81	84.49	92.49	79.19	80.68	98.07
Tara+Suelo Seco	81.22	84.81	82.70	78.71	84.56	72.77	72.87	87.99
Peso Tara	20.49	20.21	20.75	20.35	20.39	20.31	20.40	20.20
Contenido Agua %	6.69	6.75	9.86	9.90	12.36	12.24	14.88	14.87
Humedad Media %	6.72		9.88		12.30		14.88	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima:** ..... **12.00 %**  
**Densidad Máxima:**..... **1.828 gr/cm<sup>3</sup>**

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

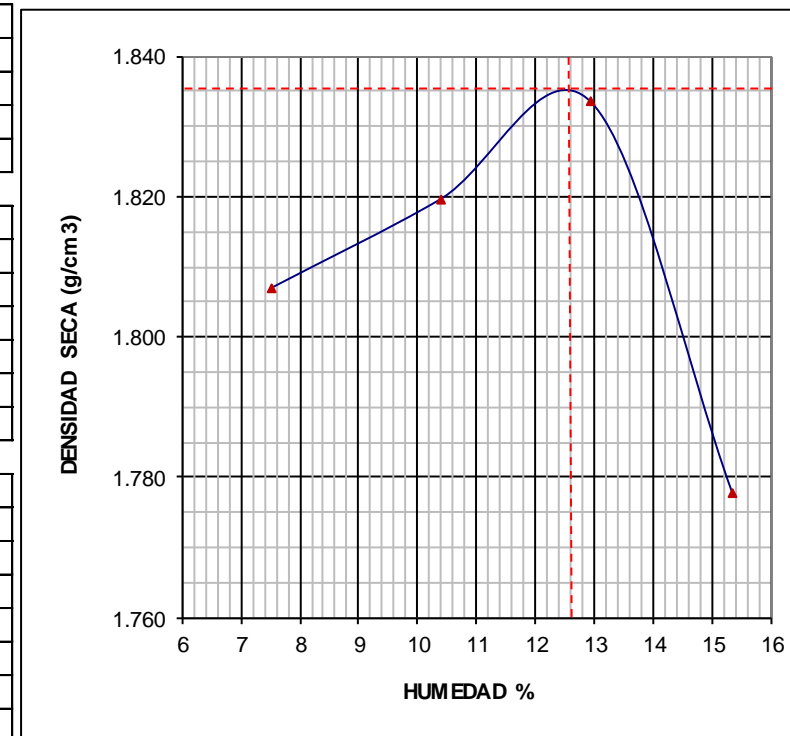
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-2  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5985	6047	6106	6087
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	7.51	10.38	12.94	15.35
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.07	2.05
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.81	1.82	1.83	1.78

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	547	536	641	594	408	583	700	525
Tara+Suelo Húmedo	90.29	87.59	81.11	93.36	89.63	86.63	95.08	99.96
Tara+Suelo Seco	85.33	82.90	75.38	86.43	81.68	79.04	85.11	89.40
Peso Tara	19.27	20.46	19.92	19.92	20.27	20.40	20.51	20.21
Contenido Agua %	7.51	7.51	10.33	10.42	12.95	12.94	15.43	15.26
Humedad Media %	7.51		10.38		12.94		15.35	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 12.60 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.835 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

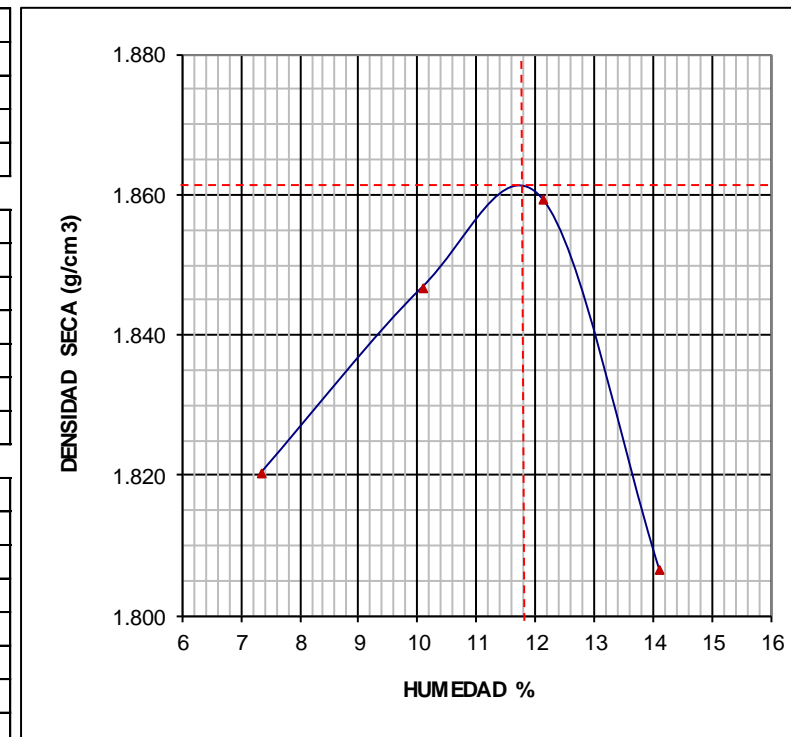
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-2  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5996	6070	6119	6097
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	7.36	10.08	12.12	14.11
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.95	2.03	2.08	2.06
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.85	1.86	1.81

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	486	499	690	498	310	576	509	486
Tara+Suelo Húmedo	86.64	95.23	84.39	87.07	89.37	88.95	86.60	90.36
Tara+Suelo Seco	82.11	90.06	78.55	80.97	81.91	81.56	78.42	81.71
Peso Tara	20.39	20.05	20.50	20.58	20.78	20.19	20.48	20.33
Contenido Agua %	7.34	7.38	10.06	10.10	12.20	12.04	14.12	14.09
Humedad Media %	7.36		10.08		12.12		14.11	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.80 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.862 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

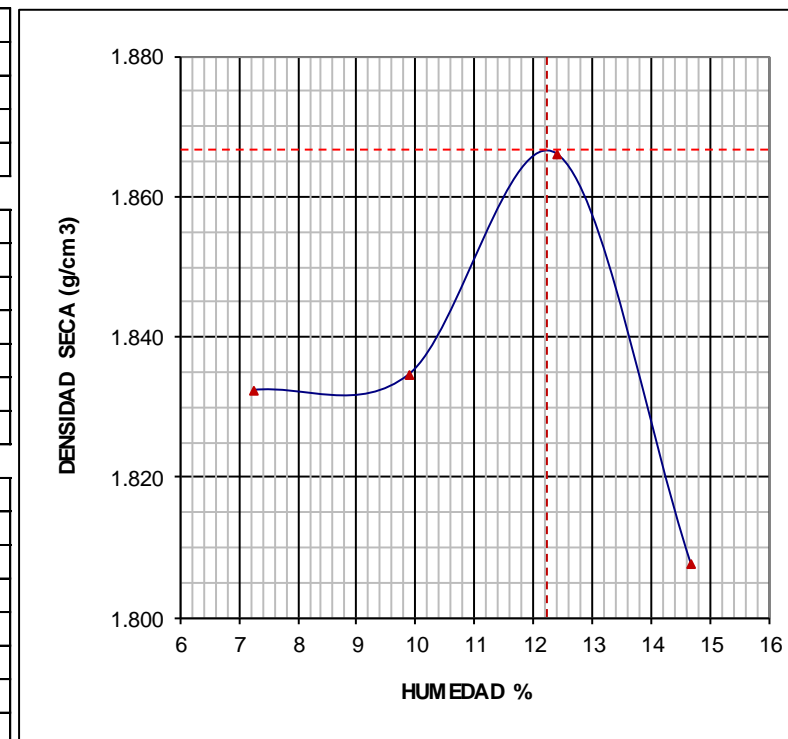
Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-2  
**Cemento (%):** 9% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	6006	6054	6131	6108
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	7.23	9.87	12.39	14.67
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.02	2.10	2.07
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.83	1.87	1.81



CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	558	508	542	495	267	517	516	693
Tara+Suelo Húmedo	92.23	82.70	90.78	92.85	77.13	86.89	98.98	96.50
Tara+Suelo Seco	87.41	78.52	84.44	86.36	70.99	79.33	86.05	86.75
Peso Tara	20.93	20.56	20.31	20.54	20.63	19.27	20.27	19.96
Contenido Agua %	7.25	7.21	9.89	9.86	12.19	12.59	14.75	14.60
Humedad Media %	7.23		9.87		12.39		14.67	

**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 12.20 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.867 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

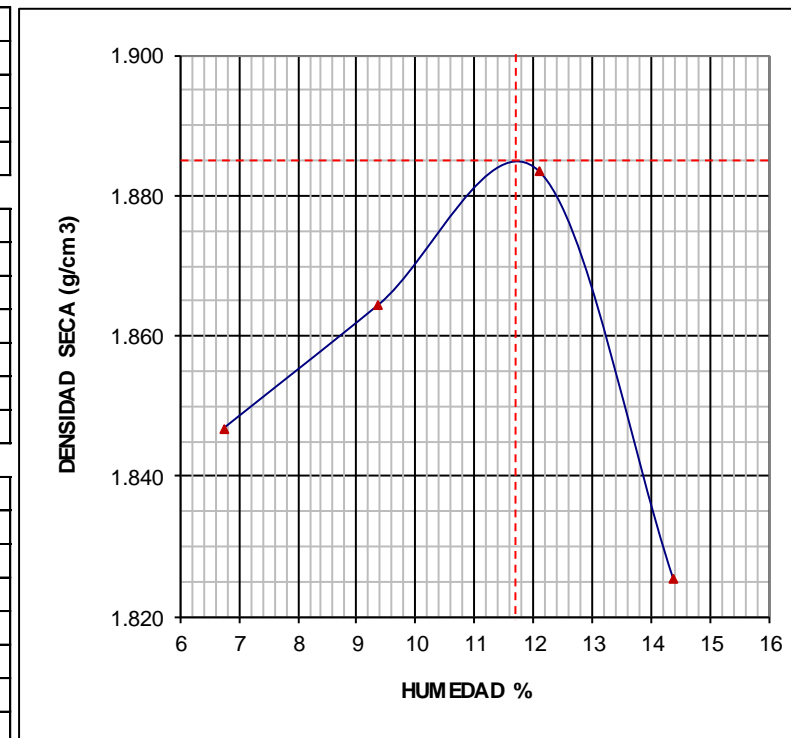
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-2  
**Cemento (%):** 12% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	6012	6076	6144	6122
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	6.74	9.37	12.08	14.37
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.97	2.04	2.11	2.09
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.85	1.86	1.88	1.83

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	581	574	518	570	569	552	566	642
Tara+Suelo Húmedo	96.63	84.90	86.90	83.41	89.16	81.84	89.41	91.53
Tara+Suelo Seco	91.80	80.82	81.22	78.02	81.70	75.25	80.68	82.61
Peso Tara	20.38	20.04	20.37	20.68	20.31	20.39	20.01	20.46
Contenido Agua %	6.76	6.71	9.33	9.40	12.15	12.01	14.39	14.35
Humedad Media %	6.74		9.37		12.08		14.37	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.70 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.885 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**  
 Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

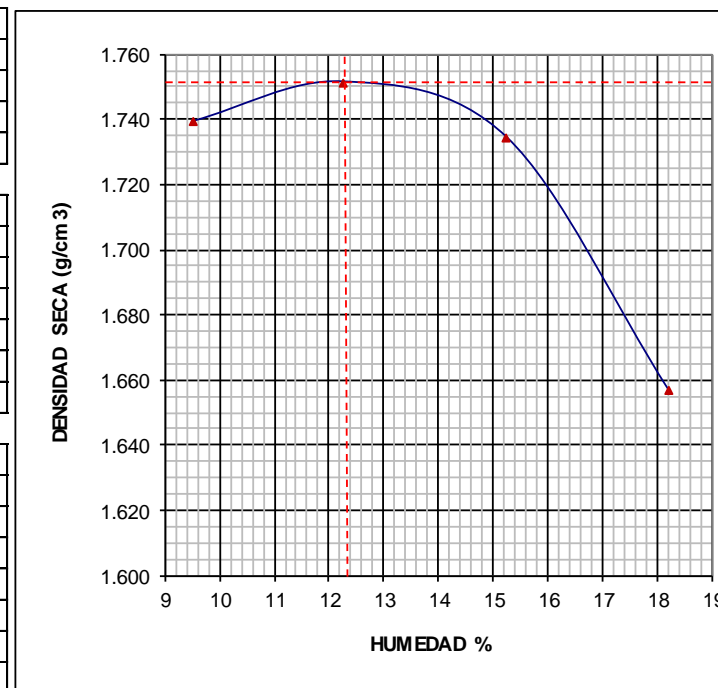
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-3  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5949	6007	6038	6000
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.50	12.24	15.25	18.21
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.90	1.97	2.00	1.96
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.74	1.75	1.73	1.66

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	481	589	641	624	579	648	552	693
Tara+Suelo Húmedo	87.21	83.83	86.82	84.52	89.90	93.04	89.91	91.49
Tara+Suelo Seco	81.36	78.33	79.56	77.52	80.63	83.34	79.17	80.50
Peso Tara	20.10	20.10	19.91	20.69	20.47	20.66	20.37	19.94
Contenido Agua %	9.55	9.45	12.17	12.32	15.21	15.28	18.27	18.15
Humedad Media %	9.50		12.24		15.25		18.21	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima:** ..... **12.40 %**  
**Densidad Máxima:**..... **1.751 gr/cm<sup>3</sup>**

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

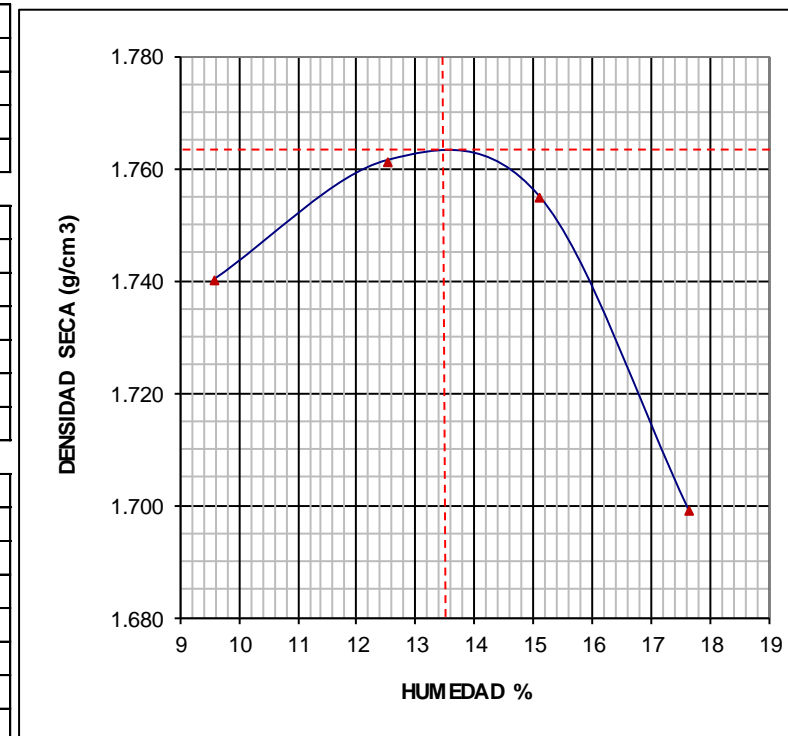
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-3  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5951	6022	6058	6038
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.58	12.52	15.11	17.65
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.91	1.98	2.02	2.00
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.74	1.76	1.75	1.70

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	508	609	561	528	542	538	495	547
Tara+Suelo Húmedo	78.53	84.12	87.09	79.30	88.46	85.67	101.59	89.92
Tara+Suelo Seco	73.46	78.56	79.76	72.72	79.43	76.93	89.42	79.33
Peso Tara	20.53	20.48	20.82	20.55	20.30	19.92	20.55	19.28
Contenido Agua %	9.58	9.57	12.44	12.61	15.10	15.12	17.67	17.64
Humedad Media %	9.58		12.52		15.11		17.65	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 13.50 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.763 gr/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

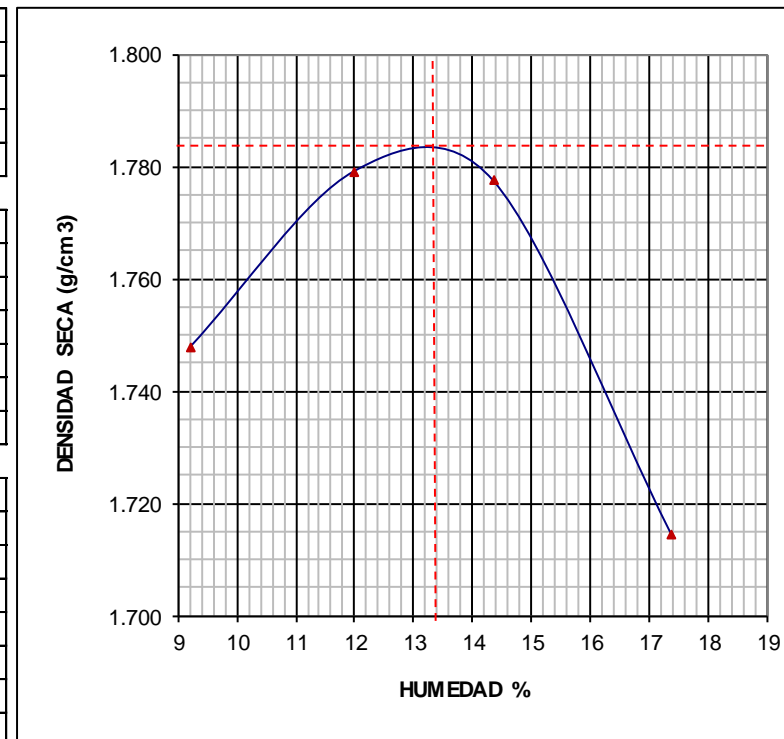
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-3  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5953	6032	6070	6051
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.20	11.99	14.36	17.38
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.91	1.99	2.03	2.01
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.75	1.78	1.78	1.71

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>		576		511	572	540	408	586
Tara+Suelo Húmedo	84.22	77.77	85.72	81.57	83.05	76.27	85.16	93.25
Tara+Suelo Seco	78.87	72.92	78.54	75.06	75.21	69.26	75.58	82.41
Peso Tara	20.78	20.19	18.85	20.57	20.36	20.64	20.27	20.27
Contenido Agua %	9.21	9.20	12.03	11.95	14.29	14.42	17.32	17.44
Humedad Media %	9.20		11.99		14.36		17.38	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 13.40 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.784 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

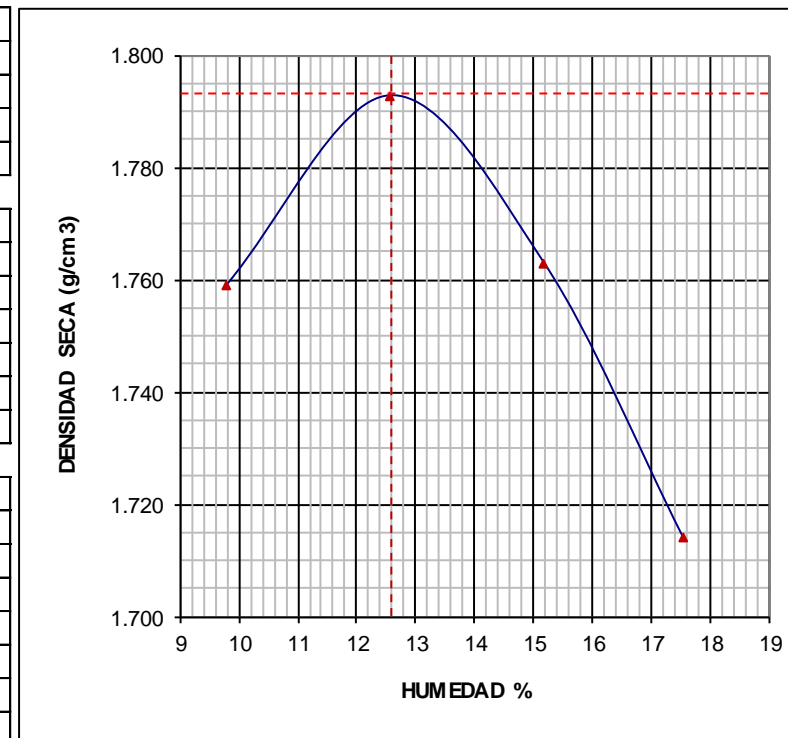
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-3  
**Cemento (%):** 9% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5974	6056	6068	6053
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.78	12.55	15.18	17.53
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.93	2.02	2.03	2.01
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.76	1.79	1.76	1.71

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	642	506	498	518	551	674	583	577
Tara+Suelo Húmedo	93.20	85.66	86.31	77.64	87.36	84.71	84.13	80.14
Tara+Suelo Seco	86.71	79.80	78.94	71.29	78.55	76.21	74.65	71.22
Peso Tara	20.46	19.79	20.58	20.37	20.43	20.26	20.40	20.49
Contenido Agua %	9.80	9.77	12.63	12.47	15.16	15.19	17.47	17.58
Humedad Media %	9.78		12.55		15.18		17.53	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 12.60 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.794 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

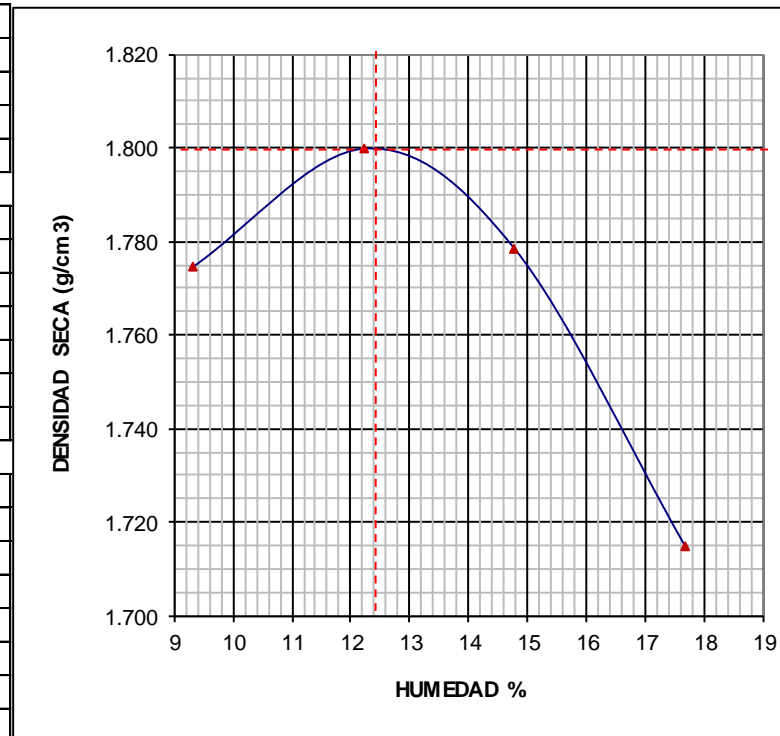
**Muestra:** Integral de 0.00 a 1.50 metros P-3  
**Cemento (%):** 12% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5982	6058	6078	6056
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	9.30	12.23	14.78	17.66
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.02	2.04	2.02
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.77	1.80	1.78	1.72

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	670	483	544	516	558	497	550	592
Tara+Suelo Húmedo	90.10	92.71	85.42	85.85	89.15	82.56	87.39	86.25
Tara+Suelo Seco	84.16	86.56	78.34	78.36	80.35	74.59	77.37	76.40
Peso Tara	20.37	20.34	20.62	20.72	20.93	20.54	20.57	20.71
Contenido Agua %	9.31	9.29	12.07	12.39	14.81	14.75	17.64	17.69
Humedad Media %	9.30		12.23		14.78		17.66	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 12.40 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.800 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**

**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

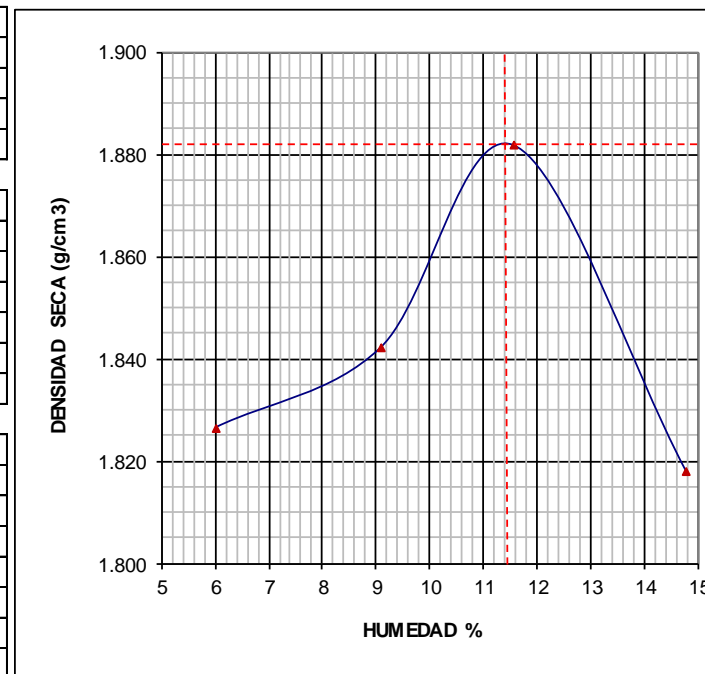
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-3  
**Cemento (%):** Sin cemento

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5979	6048	6133	6121
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	6.01	9.08	11.56	14.78
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.10	2.09
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.84	1.88	1.82

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	497	511	519	531	500	674	503	504
Tara+Suelo Húmedo	88.25	92.29	91.55	88.92	94.83	94.20	106.31	104.78
Tara+Suelo Seco	84.42	88.21	85.65	83.18	87.14	86.51	95.17	93.95
Peso Tara	20.53	20.56	20.25	20.42	20.39	20.26	20.20	20.33
Contenido Agua %	5.99	6.03	9.02	9.15	11.52	11.61	14.86	14.71
Humedad Media %	6.01		9.08		11.56		14.78	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.40 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.882 gr/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

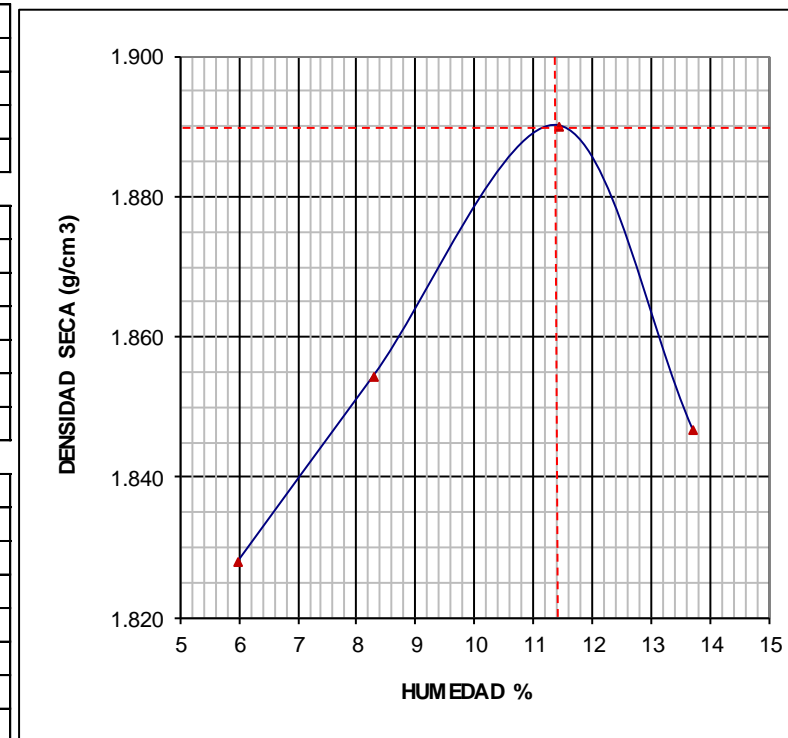
Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-3  
**Cemento (%):** 3% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5980	6047	6139	6133
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	5.99	8.30	11.42	13.69
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.11	2.10
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.83	1.85	1.89	1.85



CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	415	526	484	640	548	537	517	578
Tara+Suelo Húmedo	83.15	86.73	93.33	91.22	89.05	92.25	95.83	94.55
Tara+Suelo Seco	79.58	82.94	87.69	85.77	82.02	84.87	86.81	85.55
Peso Tara	19.27	20.46	19.92	19.92	20.27	20.40	20.51	20.21
Contenido Agua %	5.92	6.07	8.32	8.28	11.38	11.45	13.60	13.77
Humedad Media %	5.99		8.30		11.42		13.69	

**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.40 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.890 g/cm<sup>3</sup>

Cálculo: ML  
Aprobación: FL  
Fecha: oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

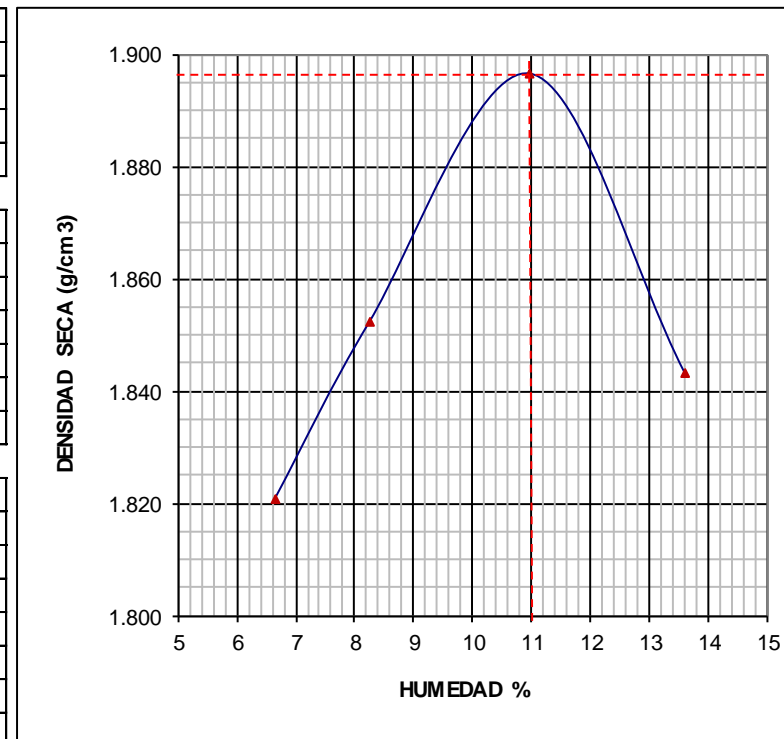
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-3  
**Cemento (%):** 6% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5984	6044	6138	6128
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	6.64	8.25	10.98	13.62
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.10	2.09
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.85	1.90	1.84

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	560	482	539	535	637	510	624	494
Tara+Suelo Húmedo	83.47	89.75	89.73	99.65	88.44	88.20	97.48	104.24
Tara+Suelo Seco	79.58	85.41	84.47	93.58	81.65	81.55	88.30	94.09
Peso Tara	20.60	20.40	20.38	20.38	20.75	20.02	20.70	19.77
Contenido Agua %	6.60	6.68	8.21	8.29	11.15	10.81	13.58	13.66
Humedad Media %	6.64		8.25		10.98		13.62	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.897 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO  
RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO: "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"**

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

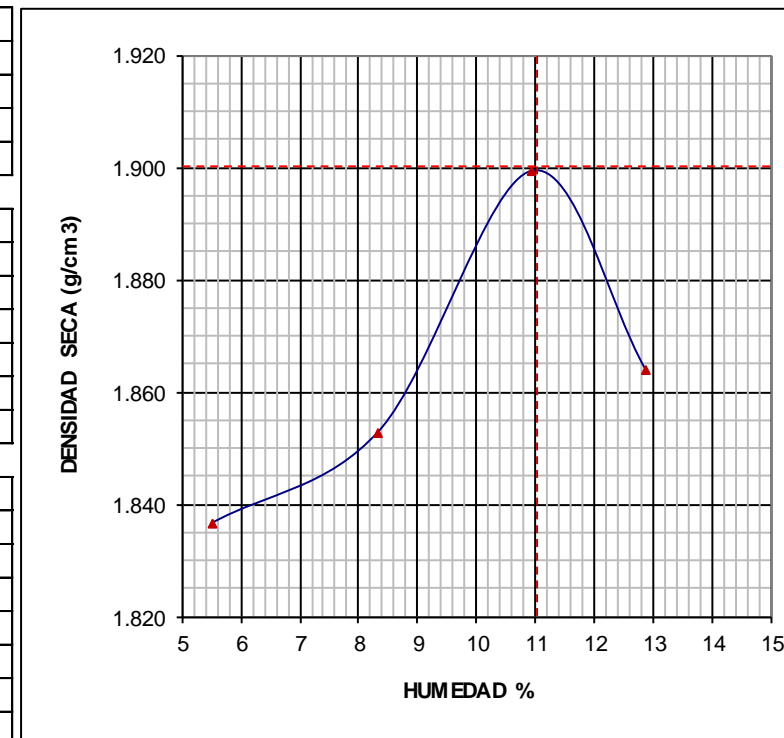
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-3  
**Cemento (%):** 9% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>a</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5980	6046	6140	6137
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	5.49	8.33	10.93	12.87
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.94	2.01	2.11	2.10
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.84	1.85	1.90	1.86

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>a</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	519	593	555	531	318	524	505	654
Tara+Suelo Húmedo	83.89	96.07	91.78	94.53	93.65	89.93	88.28	93.95
Tara+Suelo Seco	80.57	92.15	86.15	89.02	86.29	83.03	80.42	85.63
Peso Tara	20.26	20.67	20.94	20.43	20.10	20.31	20.10	20.13
Contenido Agua %	5.50	5.48	8.63	8.03	10.94	10.92	13.03	12.70
Humedad Media %	5.49		8.33		10.93		12.87	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 11.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.900 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO**  
**RELACION DENSIDAD-HUMEDAD**

Normativa ASTM D1557-12 - Método A

**PROYECTO:** "Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de pomasqui mediante el uso de cemento MH"

Método de preparación:	Húmedo
Tipo de martillo:	Manual

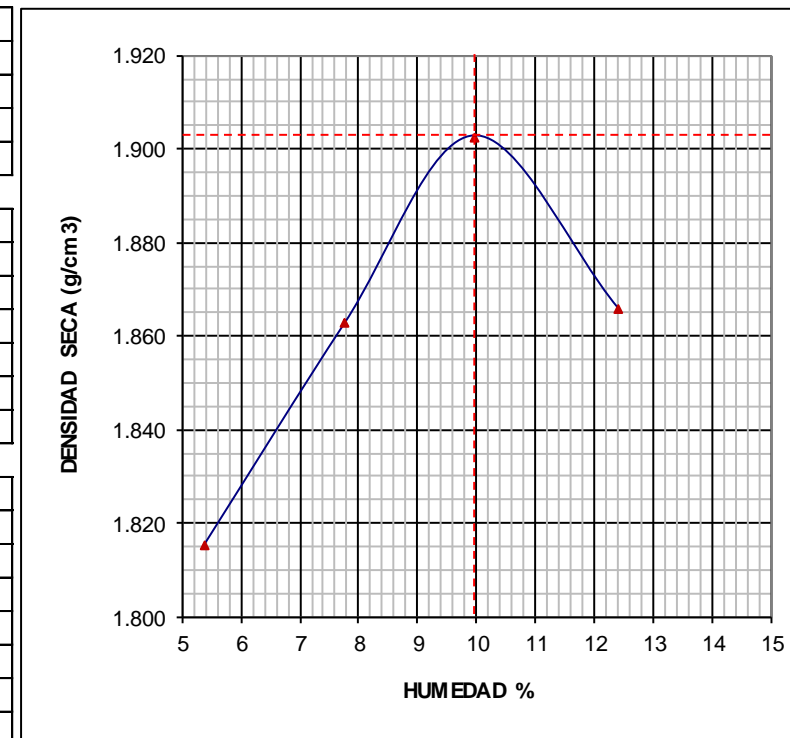
**Muestra:** Integral de 1.50 a 3.00 metros P-3  
**Cemento (%):** 12% del peso seco

ENERGIA	
Golpes por Capas :	25
No. de capas :	5
Peso de Martillo :	4.54 kg.
Altura de caída :	45.7 cm.

MOLDE	
Diámetro	10.16 cm
Volúmen	944 cm <sup>3</sup>
Peso	4151 gr.

DATOS PARA LA CURVA				
PRUEBA N <sup>o</sup>	1	2	3	4
Peso Molde+Suelo, gr.	5957	6046	6126	6131
Peso Molde, gr.	4151	4151	4151	4151
Humedad %	5.37	7.76	9.95	12.40
Densidad Húmeda g/cm <sup>3</sup>	1.91	2.01	2.09	2.10
Densidad Seca g/cm <sup>3</sup>	1.82	1.86	1.90	1.87

CONTENIDO DE AGUA								
PRUEBA N <sup>o</sup>	1		2		3		4	
Recipiente N <sup>o</sup>	568	490	575	588	387	703	562	534
Tara+Suelo Húmedo	82.80	99.33	89.88	83.00	95.42	94.96	94.95	87.96
Tara+Suelo Seco	79.60	95.31	84.91	78.48	88.42	88.41	86.73	80.47
Peso Tara	20.38	20.04	20.37	20.68	20.31	20.39	20.01	20.46
Contenido Agua %	5.40	5.34	7.70	7.82	10.28	9.63	12.32	12.48
Humedad Media %	5.37		7.76		9.95		12.40	



**Parámetros de Compactación:**

**Humedad Óptima: .....** 10.00 %  
**Densidad Máxima:.....** 1.903 g/cm<sup>3</sup>

**Cálculo:** ML  
**Aprobación:** FL  
**Fecha:** oct-16

## ANEXO 3.- REPORTES DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE 7 DIAS

GeoConsult

Avenida La Gasca 763, Quito  
Teléfono 234-434, Fax 233-037

GeoConsult

Avenida La Gasca 763, Quito  
Teléfono 234-434, Fax 233-037

### ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS

<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Área cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Húmeda	Seca
Pr-1	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1097.40	40.87	1.865	1.626

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Cápsula	
#	#				
P1(1)3% 7d	535	74.45	67.53	20.37	14.67
	490	65.10	59.32	20.18	14.77

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

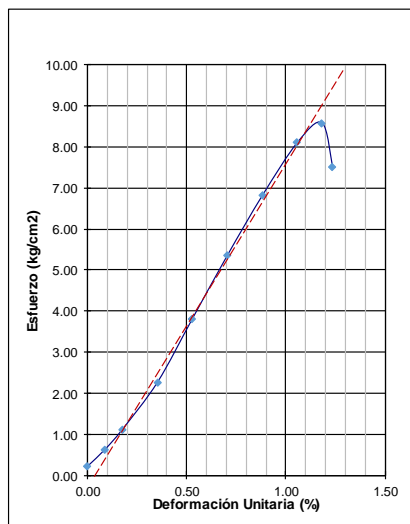
<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Área cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Húmeda	Seca
Pr-1	7.22	7.18	7.24	7.21	14.4	1097.50	40.87	1.865	1.625

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Cápsula	
#	#				
P1(1)6% 7d	508	65.72	59.94	20.56	14.68
	641	68.81	62.46	19.91	14.92

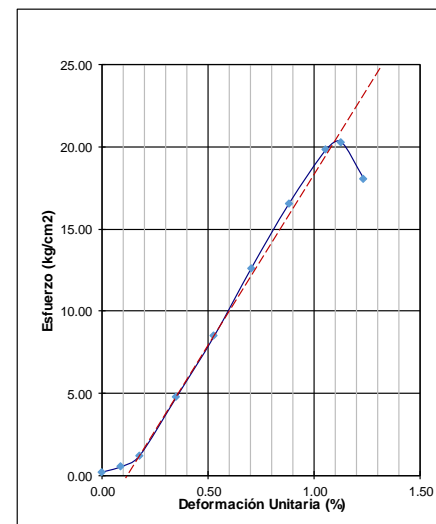
ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	5	0.09	0.62
10	11	0.18	1.11
20	25	0.35	2.26
30	44	0.53	3.81
40	63	0.71	5.36
50	81	0.88	6.81
60	97	1.06	8.10
67	103	<b>1.18</b>	<b>8.58</b>
70	90	1.23	7.52



Módulo de Elasticidad E = 870 kg/cm<sup>2</sup>

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	4	0.09	0.54
10	12	0.18	1.20
20	56	0.35	4.80
30	101	0.53	8.48
40	152	0.71	12.63
50	200	0.88	16.52
60	241	1.06	19.83
64	247	<b>1.13</b>	<b>20.30</b>
70	220	1.23	18.08



Módulo de Elasticidad E = 2220 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

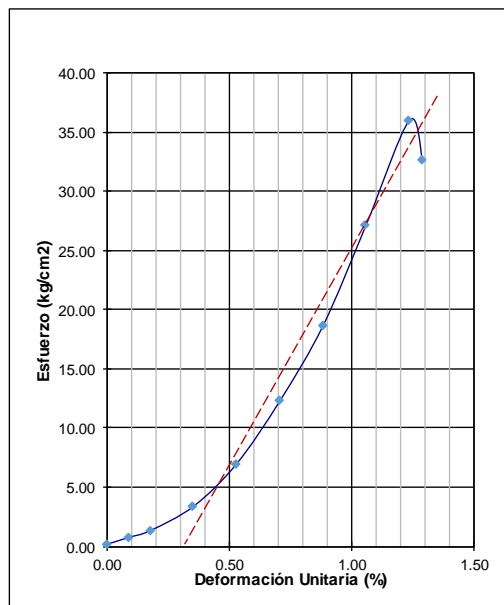
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L- M.L.		
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16		
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES			

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1099.50	40.87	1.868	1.634

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)			Humedad %
		#	Húmedo	Seco	
P1(1)9% 7d	482	88.06	79.59	20.39	14.31
	531	84.17	76.13	20.42	14.43

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	7	0.09	0.79
10	14	0.18	1.36
20	39	0.35	3.41
30	83	0.53	7.00
40	148	0.71	12.30
50	226	0.88	18.64
60	331	1.06	27.15
70	440	<b>1.23</b>	<b>35.96</b>
73	400	1.29	32.69



Módulo de Elasticidad E ≈ 2880 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

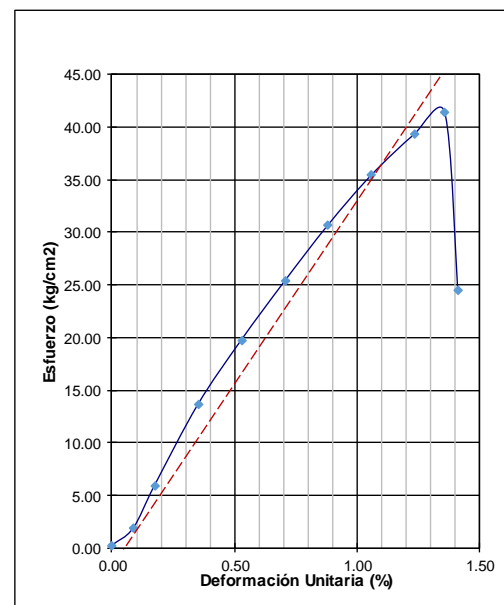
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L- M.L.		
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16		
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES			

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.20	7.18	7.23	7.20	14.4	1103.70	40.75	1.881	1.647

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)			Humedad %
		#	Húmedo	Seco	
P1(1)12% 7d	654	76.19	69.29	20.13	14.04
	583	86.70	78.35	20.40	14.41

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	20	0.09	1.86
10	70	0.18	5.96
20	164	0.35	13.66
30	239	0.53	19.77
40	308	0.71	25.37
50	374	0.88	30.71
60	433	1.06	35.45
70	482	1.23	39.37
77	508	<b>1.36</b>	<b>41.43</b>
80	300	1.41	24.54



Módulo de Elasticidad E ≈ 3230 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO: MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO: MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.22	7.18	7.21	7.20	14.4	1082.90	40.75	1.845	1.592

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.19	7.20	7.24	7.21	14.4	1099.20	40.83	1.870	1.624

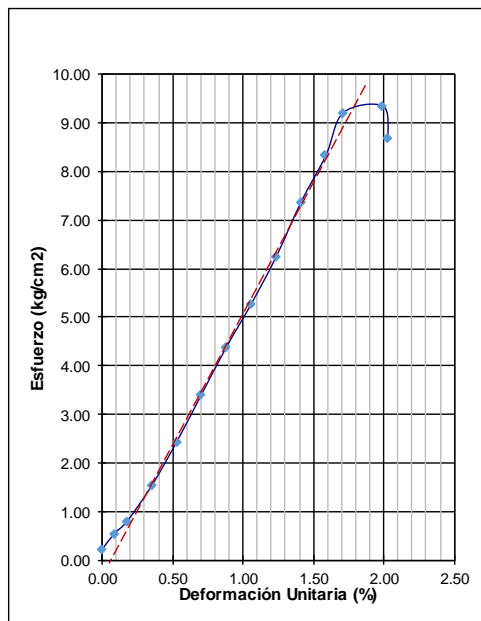
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P1(2)3% 7d	593	75.16	67.69	20.65	15.88
	484	97.82	87.08	19.75	15.95

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

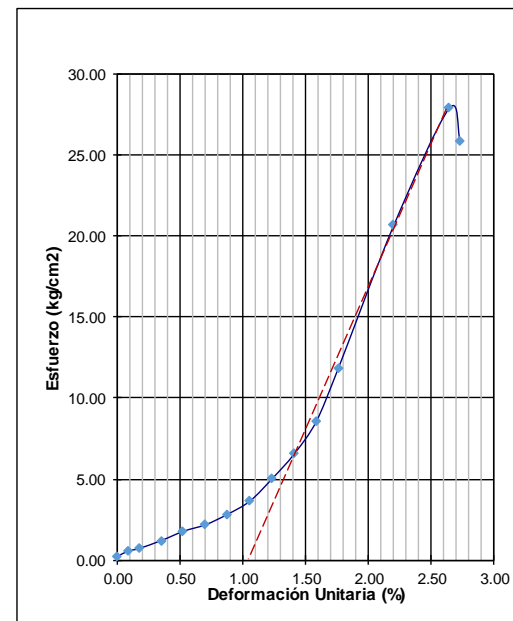
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P1(2)6% 7d	690	89.08	80.08	20.51	15.11
	489	80.21	72.32	20.39	15.19

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	4	0.09	0.54
10	7	0.18	0.79
20	16	0.35	1.53
30	27	0.53	2.43
40	39	0.71	3.41
50	51	0.88	4.38
60	62	1.06	5.27
70	74	1.23	6.24
80	88	1.41	7.37
90	100	1.59	8.33
97	111	1.71	9.21
113	113	1.99	9.34
115	105	2.03	8.69



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	4	0.09	0.54
10	6	0.18	0.71
20	12	0.35	1.20
30	19	0.53	1.77
40	24	0.71	2.18
50	32	0.88	2.83
60	42	1.06	3.64
70	59	1.23	5.02
80	78	1.41	6.55
90	103	1.59	8.57
100	144	1.76	11.88
125	254	2.20	20.70
150	345	2.65	27.91
155	320	2.73	25.88



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

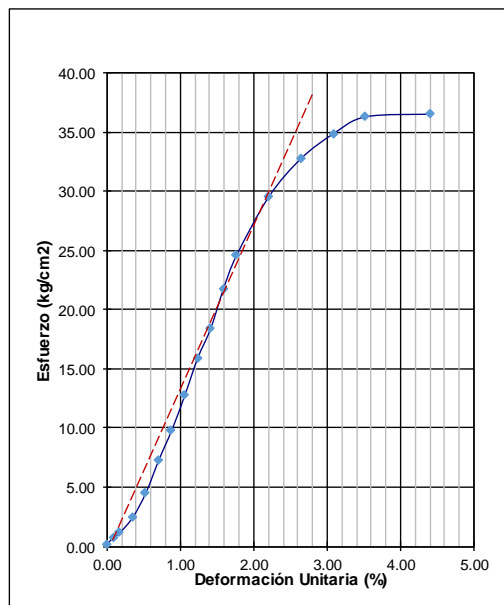
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>			Realizó	F.L- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>			Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>			OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>				

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1107.30	40.87	1.882	1.641

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		#	Húmedo	Seco	
P1(2)9% 7d	588	78.96	71.38	20.29	14.84
	569	76.96	69.78	20.31	14.51

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	7	0.09	0.79
10	12	0.18	1.20
20	28	0.35	2.51
30	53	0.53	4.56
40	87	0.71	7.34
50	118	0.88	9.86
60	154	1.06	12.78
70	193	1.23	15.93
80	224	1.41	18.43
90	266	1.59	21.80
100	301	1.76	24.60
125	364	2.20	29.57
150	406	2.65	32.81
175	434	3.09	34.90
200	454	3.53	36.34
250	461	<b>4.41</b>	<b>36.56</b>



Módulo de Elasticidad E ≈ 1570 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

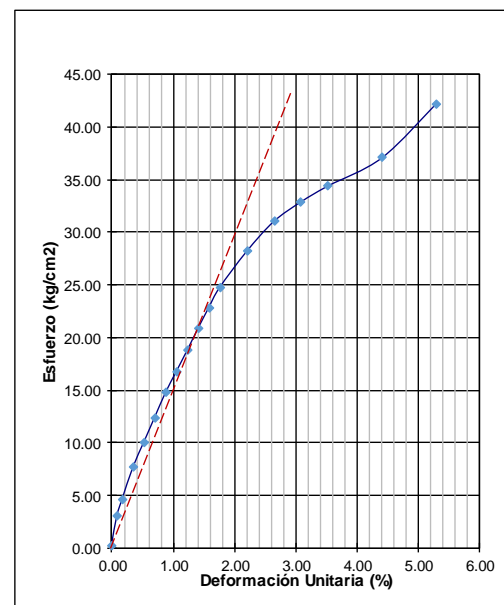
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>			Realizó	F.L- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>			Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>			OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>				

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm <sup>2</sup>	Densidad T/m <sup>3</sup>	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7.20	7.21	7.23	7.21	14.4	1113.40	40.87	1.892	1.653

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		#	Húmedo	Seco	
P1(2)12% 7d	536	82.91	75.10	20.45	14.29
	494	96.25	86.51	19.77	14.59

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	34	0.09	3.01
10	54	0.18	4.66
20	91	0.35	7.69
30	120	0.53	10.06
40	149	0.71	12.42
50	178	0.88	14.76
60	203	1.06	16.78
70	228	1.23	18.79
80	254	1.41	20.87
90	279	1.59	22.86
100	303	1.76	24.76
125	347	2.20	28.20
150	384	2.65	31.05
175	409	3.09	32.90
200	430	3.53	34.43
250	468	4.41	37.11
300	538	<b>5.29</b>	<b>42.23</b>



Módulo de Elasticidad E ≈ 1600 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)3%7d	7.22	7.18	7.21	7.20	14.4	1160.20	40.75	1.977	1.762

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)6%7d	7.19	7.20	7.24	7.21	14.4	1155.50	40.83	1.965	1.752

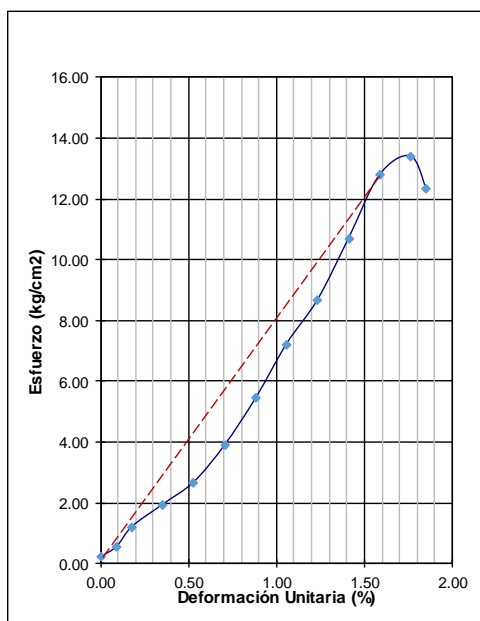
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)3%7d	693	94.45	86.33	19.95	12.23
	510	91.36	83.62	20.02	12.17

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

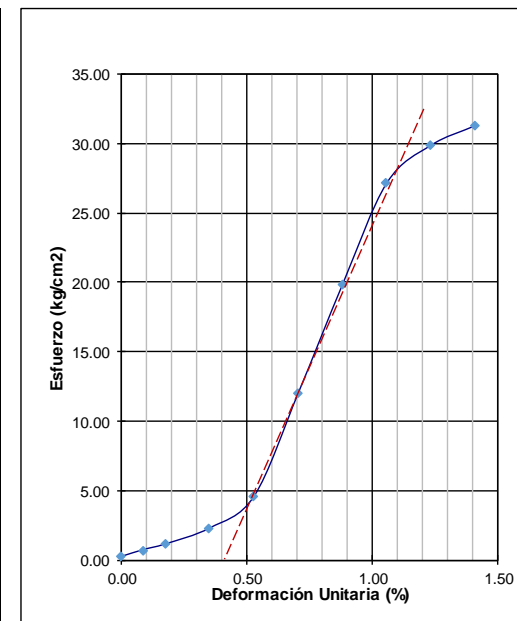
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)6%7d	640	89.64	82.02	20.16	12.32
	637	90.63	83.09	20.74	12.09

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	4	0.09	0.54
10	12	0.18	1.20
20	21	0.35	1.94
30	30	0.53	2.67
40	45	0.71	3.90
50	64	0.88	5.44
60	86	1.06	7.23
70	104	1.23	8.68
80	129	1.41	10.70
90	155	1.59	12.79
100	163	1.76	13.42
105	150	1.85	12.35



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	6	0.09	0.71
10	11	0.18	1.12
20	25	0.35	2.27
30	53	0.53	4.56
40	144	0.71	12.01
50	240	0.88	19.83
60	330	1.06	27.15
70	364	1.23	29.87
80	382	1.41	31.28



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

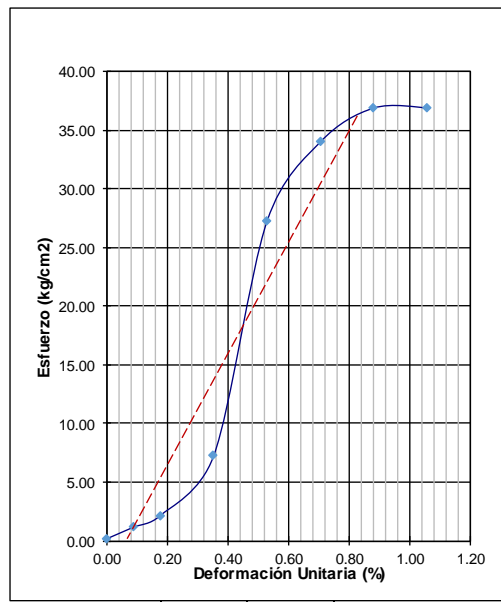
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)9% 7d	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1160.10	40.87	1.971	1.770

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)9% 7d	562	86.86	80.06	20.06	11.33
	555	88.27	81.38	20.93	11.40

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	12	0.09	1.20
10	24	0.18	2.19
20	86	0.35	7.28
30	330	0.53	27.29
40	413	0.71	34.04
50	449	0.88	36.92
60	450	1.06	36.94



Módulo de Elasticidad E = 4930 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

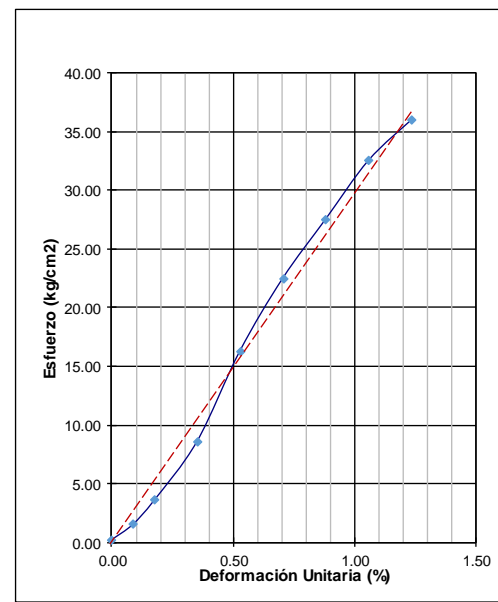
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)12% 7d	7.20	7.21	7.23	7.21	14.4	1161.80	40.87	1.974	1.776

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)12% 7d	576	95.72	88.10	20.45	11.26
	703	89.08	82.29	20.66	11.02

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	16	0.09	1.53
10	41	0.18	3.59
20	102	0.35	8.60
30	196	0.53	16.29
40	272	0.71	22.49
50	334	0.88	27.52
60	396	1.06	32.53
70	439	1.23	35.98



Módulo de Elasticidad E = 3350 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)3% 7d	7.22	7.18	7.21	7.20	14.4	1179.50	40.75	2.010	1.798

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)6% 7d	7.19	7.20	7.24	7.21	14.4	1179.90	40.83	2.007	1.808

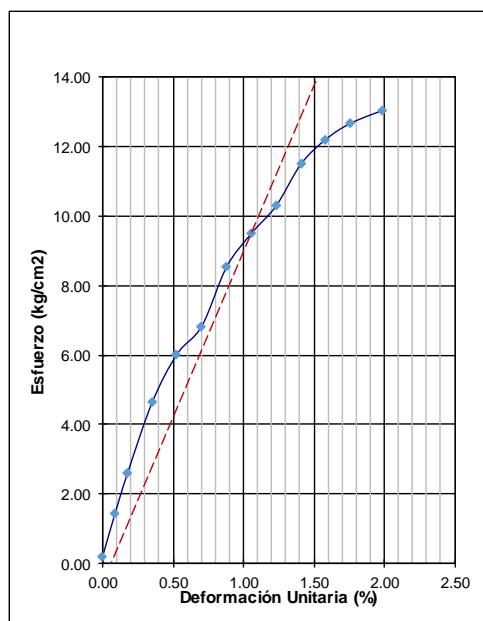
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)3% 7d	537	75.29	69.55	20.55	11.71
	505	74.88	69.05	20.11	11.91

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

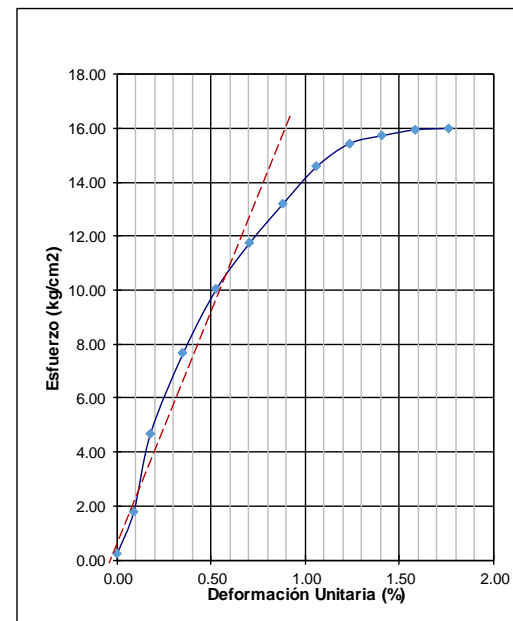
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)6% 7d	700	87.25	80.67	20.55	10.94
	318	84.24	77.84	20.13	11.09

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	15	0.09	1.45
10	29	0.18	2.60
20	54	0.35	4.65
30	71	0.53	6.04
40	81	0.71	6.85
50	102	0.88	8.55
60	114	1.06	9.51
70	124	1.23	10.31
80	139	1.41	11.51
90	148	1.59	12.22
100	154	1.76	12.69
113	159	1.99	13.06



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	19	0.09	1.78
10	54	0.18	4.66
20	91	0.35	7.69
30	120	0.53	10.06
40	141	0.71	11.76
50	159	0.88	13.21
60	176	1.06	14.58
70	187	1.23	15.45
80	191	1.41	15.74
90	194	1.59	15.96
100	195	1.76	16.01



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

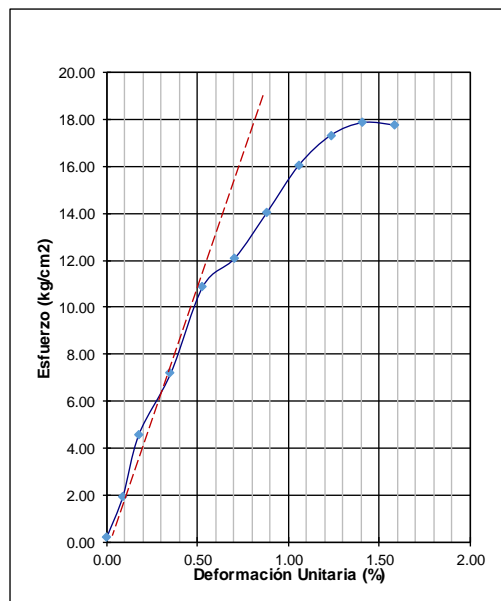
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m3	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm2	Humeda	Seca
P2(2)9% 7d	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1189.50	40.87	2.021	1.825

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P2(2)9% 7d	547	90.01	83.14	19.29	10.76
	509	81.11	75.2	20.49	10.80

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	21	0.09	1.94
10	53	0.18	4.58
20	85	0.35	7.20
30	130	0.53	10.88
40	145	0.71	12.09
50	169	0.88	14.03
60	194	1.06	16.04
70	210	1.23	17.32
80	217	1.41	17.86
90	216	1.59	17.74



Módulo de Elasticidad E = 2030 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

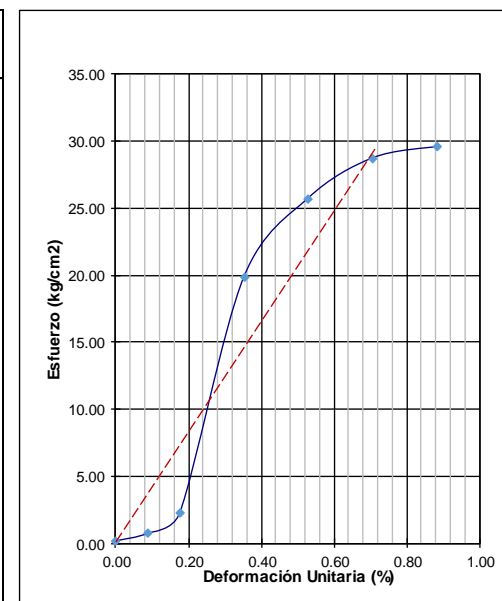
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m3	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm2	Humeda	Seca
P2(2)12% 7d	7.20	7.21	7.23	7.21	14.4	1186.70	40.87	2.017	1.827

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P2(2)12% 7d	552	97.31	90.01	20.4	10.49
	526	86.08	79.89	19.82	10.30

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	7	0.09	0.79
10	25	0.18	2.27
20	239	0.35	19.86
30	311	0.53	25.73
40	348	0.71	28.72
50	359	0.88	29.56



Módulo de Elasticidad E = 4530 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)3%7d	7.22	7.18	7.21	7.20	14.4	1123.90	40.75	1.915	1.692

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)6%7d	7.19	7.20	7.24	7.21	14.4	1134.10	40.83	1.929	1.713

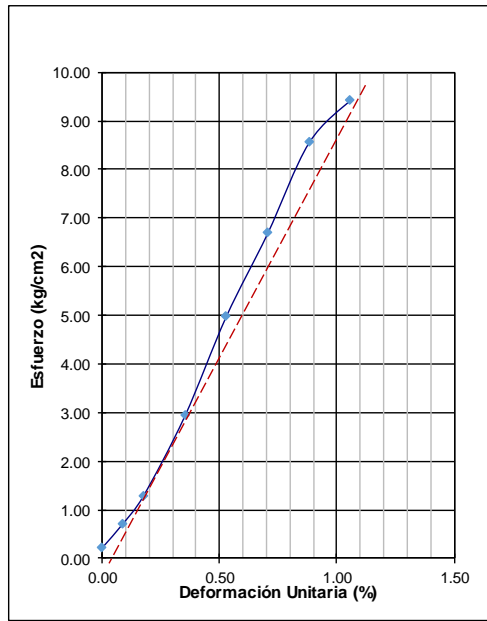
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)3%7d	496	77.58	70.90	20.22	13.18
	551	83.89	76.51	20.43	13.16

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

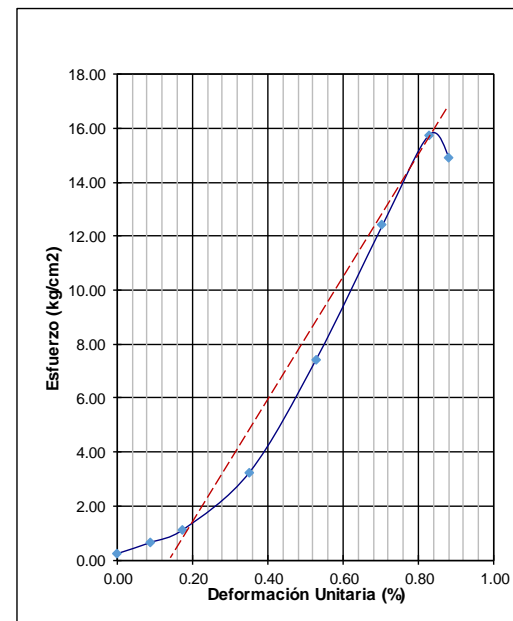
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)6%7d	570	70.31	64.72	20.69	12.70
	574	74.87	68.74	20.03	12.58

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	6	0.09	0.71
10	13	0.18	1.28
20	33	0.35	2.92
30	58	0.53	4.97
40	79	0.71	6.68
50	102	0.88	8.55
60	113	1.06	9.43



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	5	0.09	0.62
10	11	0.18	1.12
20	37	0.35	3.25
30	88	0.53	7.43
40	149	0.71	12.42
47	190	0.83	15.75
50	180	0.88	14.93



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

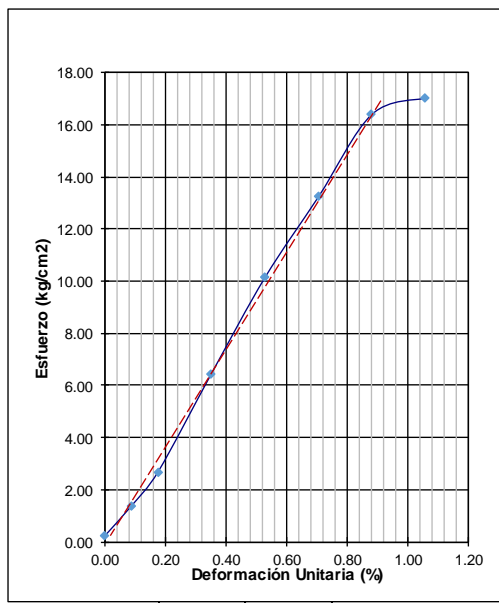
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)9% 7d	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1124.20	40.87	1.910	1.705

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)9% 7d	499	73.89	68.09	20.05	12.07
	578	86.07	79.03	20.50	12.03

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	14	0.09	1.37
10	30	0.18	2.68
20	76	0.35	6.46
30	121	0.53	10.14
40	159	0.71	13.23
50	198	0.88	16.40
60	206	1.06	17.02



Módulo de Elasticidad E = 1900 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

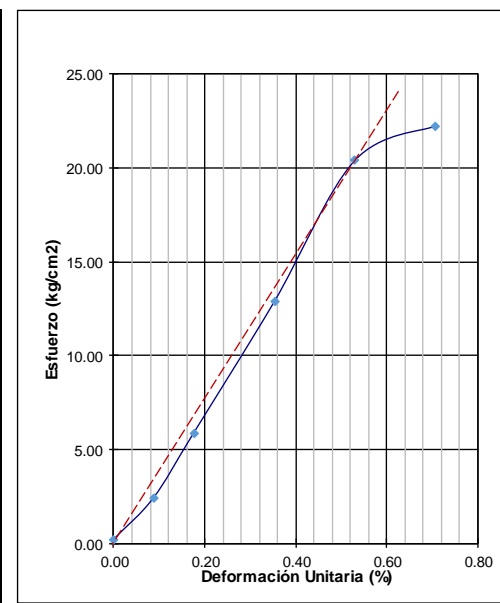
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)12% 7d	7.20	7.21	7.23	7.21	14.4	1127.40	40.87	1.916	1.716

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)12% 7d	524	78.40	72.34	20.32	11.65
	540	89.16	82.04	20.64	11.60

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	27	0.09	2.44
10	69	0.18	5.89
20	154	0.35	12.87
30	246	0.53	20.40
40	269	0.71	22.25



Módulo de Elasticidad E = 4080 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI			
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (7 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)3%7d	7.22	7.18	7.21	7.20	14.4	1153.30	40.75	1.965	1.778

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)6%7d	7.19	7.20	7.24	7.21	14.4	1168.40	40.83	1.987	1.801

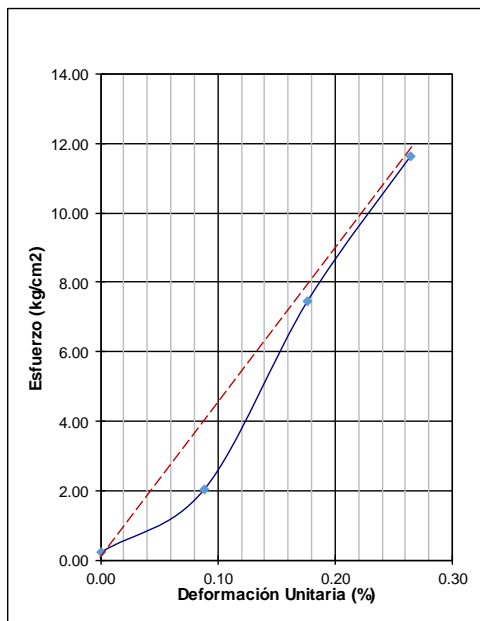
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)3%7d	609	82.04	76.13	20.49	10.62
	624	74.29	69.24	20.71	10.41

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

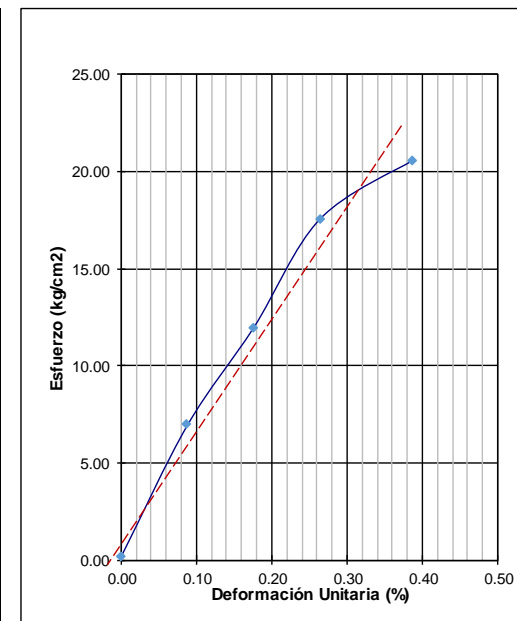
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)6%7d	592	95.18	88.14	20.72	10.44
	504	93.80	86.95	20.34	10.28

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	22	0.09	2.03
10	88	0.18	7.46
15	139	0.26	11.65



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	82	0.09	6.97
10	143	0.18	11.99
15	211	0.26	17.57
22	248	0.39	20.59



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

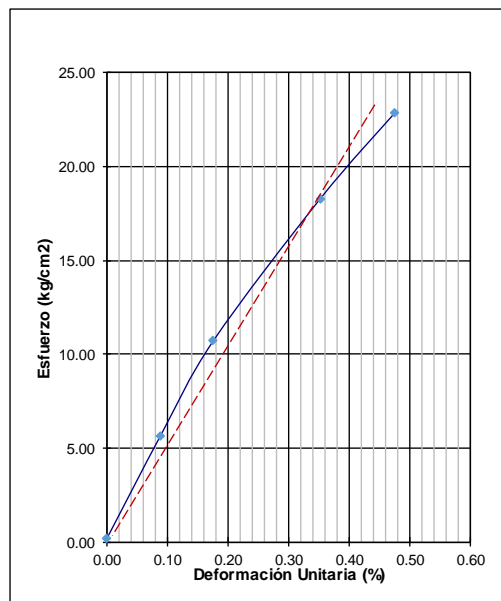
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>9% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)9% 7d	7.20	7.18	7.26	7.21	14.4	1167.30	40.87	1.984	1.807

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)9% 7d	581	89.43	83.31	20.38	9.73
	566	94.74	88.06	20.01	9.82

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	66	0.09	5.65
10	128	0.18	10.75
20	220	0.35	18.30
27	276	0.48	22.87



Módulo de Elasticidad E = 4780 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

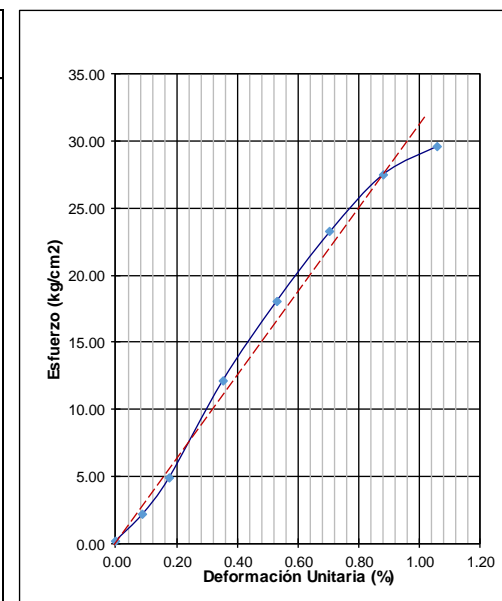
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Fecha:	nov-16
<b>Muestra:</b>	<b>12% (7 DIAS)</b>	OBSERVACIONES	
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>		

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)12% 7d	7.20	7.21	7.23	7.21	14.4	1162.40	40.87	1.975	1.810

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)12% 7d	594	95.20	88.89	19.92	9.15
	544	79.21	74.34	20.62	9.07

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0.00	0.21
5	24	0.09	2.19
10	57	0.18	4.91
20	145	0.35	12.13
30	217	0.53	18.02
40	281	0.71	23.23
50	334	0.88	27.52
60	360	1.06	29.59



Módulo de Elasticidad E = 3200 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1095,50	40,87	1,862	1,623

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7,22	7,18	7,24	7,21	14,4	1097,50	40,87	1,865	1,625

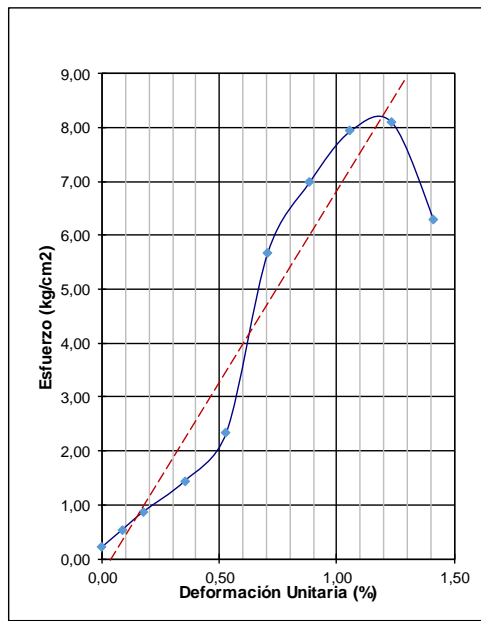
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
#	#				
Pr-1	535	74,45	67,53	20,37	14,67
	490	65,10	59,32	20,18	14,77

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

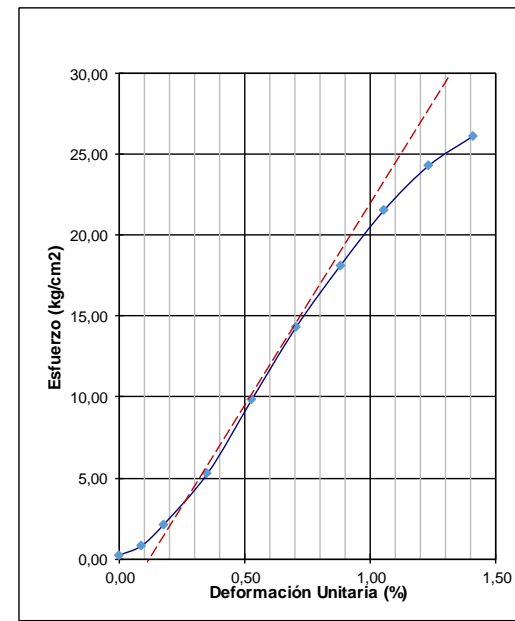
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
#	#				
Pr-1	508	65,72	59,94	20,56	14,68
	641	68,81	62,46	19,91	14,92

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	4	0,09	0,54
10	8	0,18	0,87
20	15	0,35	1,44
30	26	0,53	2,34
40	67	0,71	5,68
50	83	0,88	6,98
60	95	1,06	7,94
70	97	<b>1,23</b>	<b>8,09</b>
80	75	1,41	6,29
90			
100			



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	7	0,09	0,79
10	23	0,18	2,10
20	62	0,35	5,29
30	118	0,53	9,87
40	173	0,71	14,34
50	220	0,88	18,15
60	263	1,06	21,62
70	297	<b>1,23</b>	<b>24,34</b>
80	320	1,41	26,16
90	329		
100	334		



ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS

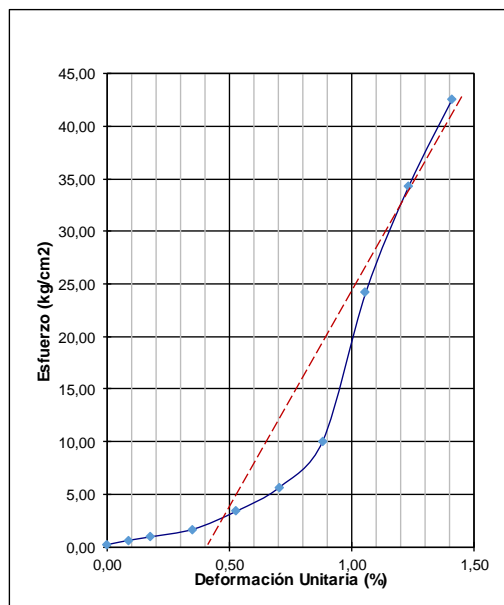
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L- M.L.		
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16		
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES			

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m <sup>3</sup>	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm <sup>2</sup>	Humeda	Seca
Pr-1	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1100,40	40,87	1,870	1,635

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)		Humedad	
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P1(1)9% 7d	482	88,06	79,59	20,39	14,31
	531	84,17	76,13	20,42	14,43

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	5	0,09	0,62
10	9	0,18	0,95
20	18	0,35	1,69
30	39	0,53	3,40
40	67	0,71	5,68
50	121	0,88	10,08
60	295	1,06	24,22
70	420	1,23	34,33
80	522	1,41	42,55
90	570		



Módulo de Elasticidad E ≈ 1590 kg/cm<sup>2</sup>

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS

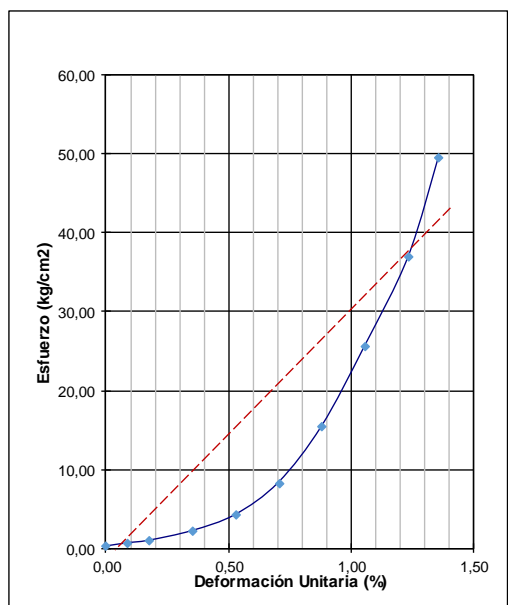
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L- M.L.		
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16		
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES			

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m <sup>3</sup>	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm <sup>2</sup>	Humeda	Seca
Pr-1	7,20	7,18	7,23	7,20	14,4	1099,60	40,75	1,874	1,640

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	P e s o s (grs)		Humedad	
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P1(1)12% 7d	654	76,19	69,29	20,13	14,04
	583	86,70	78,35	20,40	14,41

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	5	0,09	0,62
10	9	0,18	0,95
20	24	0,35	2,18
30	49	0,53	4,22
40	99	0,71	8,30
50	187	0,88	15,46
60	313	1,06	25,69
70	452	1,23	36,93
77	608	1,36	49,55



Módulo de Elasticidad E ≈ 2510 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7,22	7,18	7,21	7,20	14,4	1090,20	40,75	1,858	1,603

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
Pr-1	7,19	7,20	7,24	7,21	14,4	1092,00	40,83	1,857	1,613

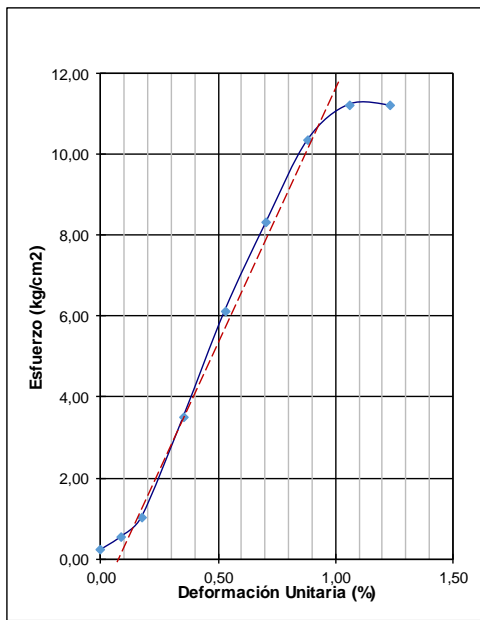
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P1(2)3% 7d	#	#	#	#	%
	593	75,16	67,69	20,65	15,88
	484	97,82	87,08	19,75	15,95

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

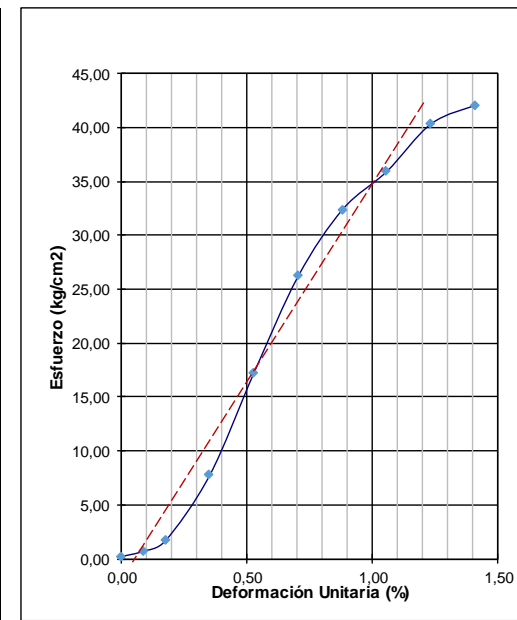
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P1(2)6% 7d	#	#	#	#	%
	690	89,08	80,08	20,51	15,11
	489	80,21	72,32	20,39	15,19

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	4	0,09	0,54
10	10	0,18	1,04
20	40	0,35	3,50
30	72	0,53	6,12
40	99	0,71	8,32
50	124	0,88	10,35
60	135	1,06	11,23
70	135	1,23	11,21



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	6	0,09	0,71
10	18	0,18	1,69
20	92	0,35	7,77
30	208	0,53	17,28
40	318	0,71	26,26
50	394	0,88	32,43
60	438	1,06	35,96
70	493	1,23	40,38
80	515	1,41	42,09



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

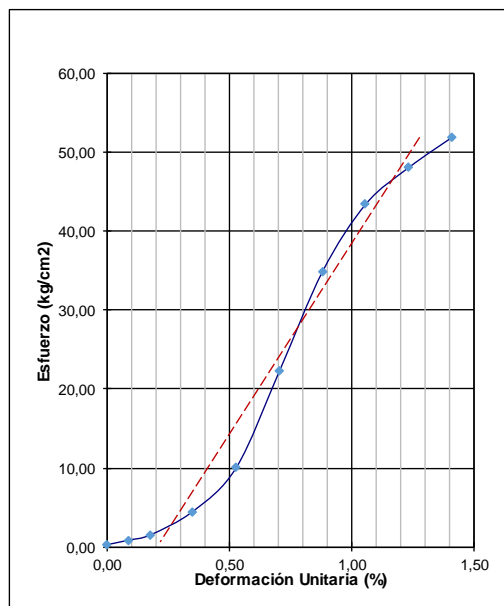
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>			Realizó	F.L- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>			Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>			OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m <sup>3</sup>	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm <sup>2</sup>	Humeda	Seca
Pr-1	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1109,10	40,87	1,885	1,644

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P1(2)9% 7d	588	78,96	71,38	20,29	14,84
	569	76,96	69,78	20,31	14,51

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	7	0,09	0,79
10	15	0,18	1,45
20	52	0,35	4,49
30	120	0,53	10,06
40	270	0,71	22,33
50	425	0,88	34,96
60	530	1,06	43,47
70	588	1,23	48,12
80	636	1,41	51,94



Módulo de Elasticidad E ≈ 1280 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

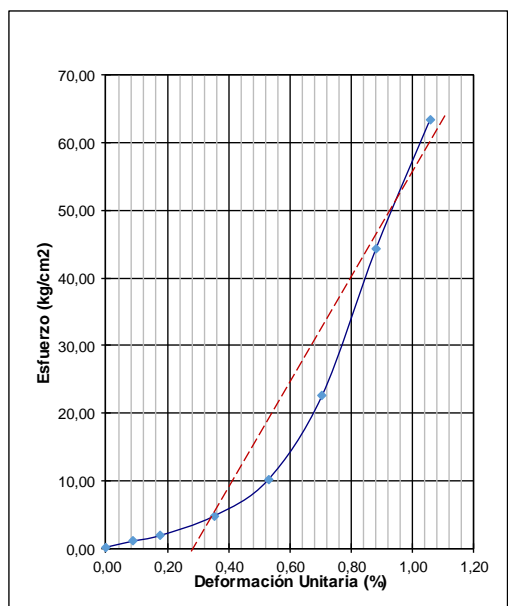
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>				
<b>Sondeo:</b>	<b>P-1</b>			Realizó	F.L- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>			Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>			OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura	Peso	Area	Densidad T/m <sup>3</sup>	
#	Superior	Centro	Inferior	Medio	cms	grs	cm <sup>2</sup>	Humeda	Seca
Pr-1	7,20	7,21	7,23	7,21	14,4	1111,60	40,87	1,889	1,651

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Capsula	%
P1(2)12% 7d	536	82,91	75,10	20,45	14,29
	494	96,25	86,51	19,77	14,59

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3,36186
K2 =	8,65743
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm <sup>2</sup>
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,21
5	11	0,09	1,12
10	21	0,18	1,94
20	56	0,35	4,82
30	121	0,53	10,14
40	273	0,71	22,57
50	540	0,88	44,36
60	775	1,06	63,47



Módulo de Elasticidad E ≈ 2050 kg/cm<sup>2</sup>

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)3% 7d	7,22	7,18	7,21	7,20	14,4	1148,30	40,75	1,957	1,744

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)6% 7d	7,19	7,20	7,24	7,21	14,4	1159,70	40,83	1,973	1,758

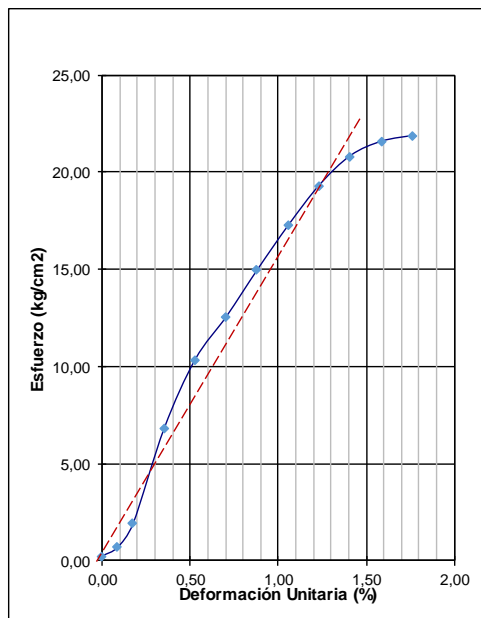
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)3% 7d	693	94,45	86,33	19,95	12,23
	510	91,36	83,62	20,02	12,17

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

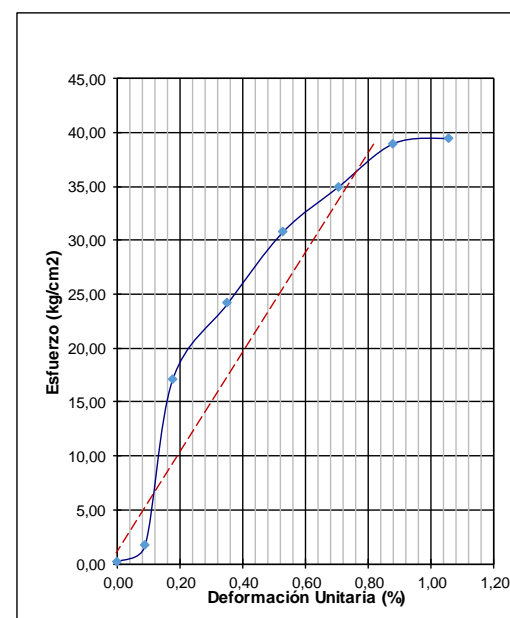
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)6% 7d	640	89,64	82,02	20,16	12,32
	637	90,63	83,09	20,74	12,09

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	4	0,09	0,71
10	15	0,18	1,93
20	59	0,35	6,83
30	91	0,53	10,37
40	111	0,71	12,57
50	133	0,88	14,98
60	154	1,06	17,28
70	173	1,23	19,34
80	187	1,41	20,85
90	194	1,59	21,58
100	197	1,76	21,87



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	13	0,09	1,71
10	151	0,18	17,10
20	215	0,35	24,19
30	275	0,53	30,81
40	313	0,71	34,97
50	350	0,88	39,01
60	355	1,06	39,49



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXAL CON MÓDULOS**

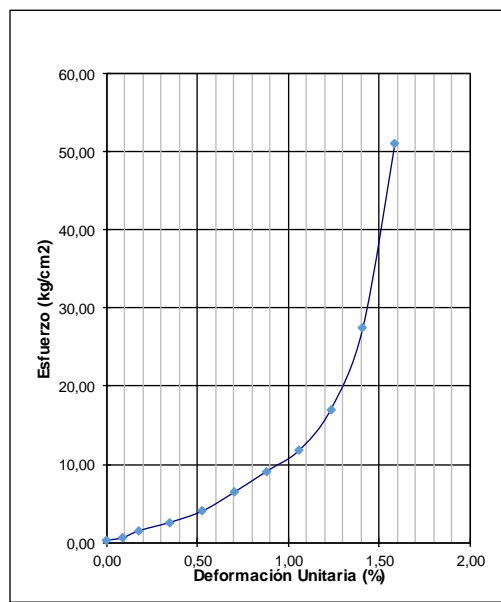
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)9% 7d	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1158,40	40,87	1,968	1,768

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)9% 7d	562	86,86	80,06	20,06	11,33
	555	88,27	81,38	20,93	11,40

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	3	0,09	0,59
10	11	0,18	1,49
20	21	0,35	2,60
30	34	0,53	4,04
40	56	0,71	6,47
50	80	0,88	9,11
60	104	1,06	11,75
70	152	1,23	17,02
80	247	1,41	27,46
90	462	1,59	51,04



Módulo de Elasticidad E = 1090 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXAL CON MÓDULOS**

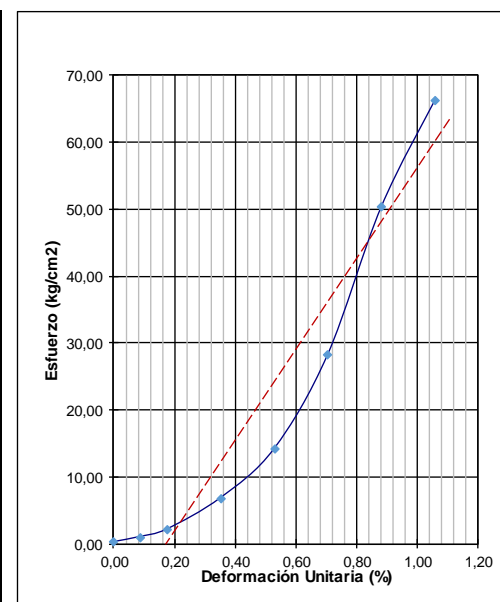
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(1)12% 7d	7,20	7,21	7,23	7,21	14,4	1164,60	40,87	1,979	1,781

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(1)12% 7d	576	95,72	88,10	20,45	11,26
	703	89,08	82,29	20,66	11,02

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	7	0,09	1,04
10	17	0,18	2,16
20	59	0,35	6,83
30	125	0,53	14,15
40	252	0,71	28,21
50	452	0,88	50,30
60	597	1,06	66,23



Módulo de Elasticidad E = 2980 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)3%7d	7,22	7,18	7,21	7,20	14,4	1163,70	40,75	1,983	1,773

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)6%7d	7,19	7,20	7,24	7,21	14,4	1160,60	40,83	1,974	1,778

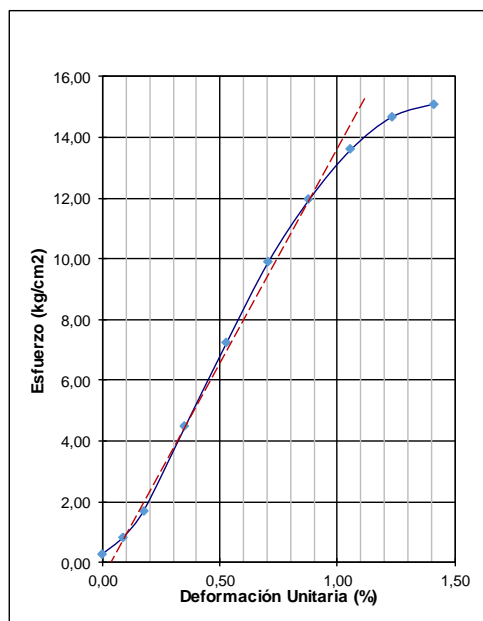
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)3%7d	537	75,29	69,55	20,55	11,71
	505	74,88	69,05	20,11	11,91

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

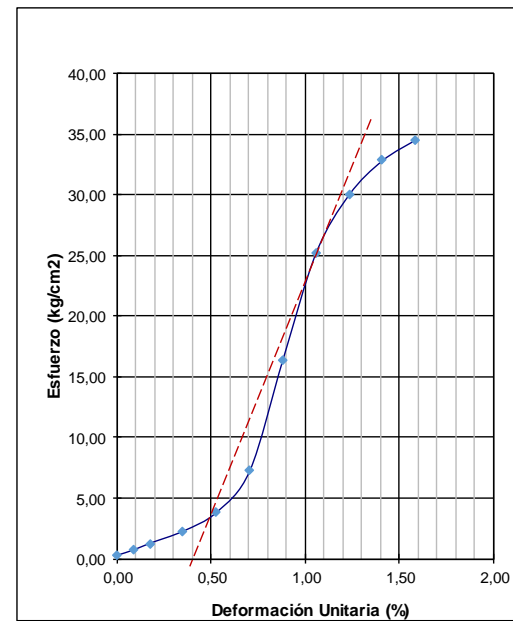
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)6%7d	700	87,25	80,67	20,55	10,94
	318	84,24	77,84	20,13	11,09

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	5	0,09	0,82
10	13	0,18	1,71
20	38	0,35	4,49
30	63	0,53	7,26
40	87	0,71	9,91
50	106	0,88	11,99
60	121	1,06	13,63
70	131	1,23	14,71
80	135	1,41	15,12



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	4	0,09	0,71
10	9	0,18	1,26
20	18	0,35	2,26
30	32	0,53	3,81
40	63	0,71	7,25
50	146	0,88	16,42
60	226	1,06	25,23
70	270	1,23	30,04
80	296	1,41	32,85
90	312	1,59	34,55



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

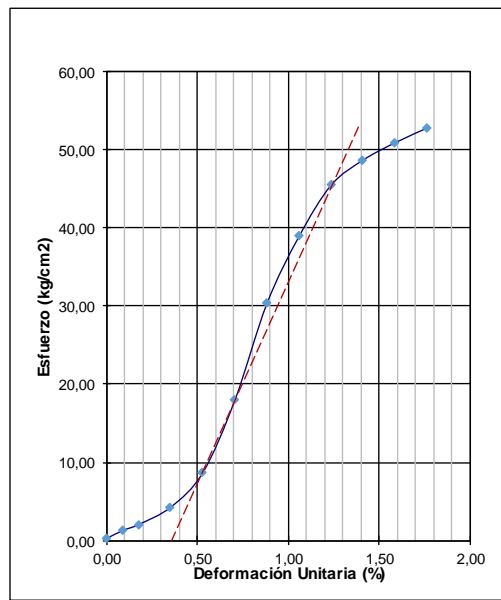
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)9% 7d	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1182,20	40,87	2,009	1,813

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)9% 7d	547	90,01	83,14	19,29	10,76
	509	81,11	75,2	20,49	10,80

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	9	0,09	1,26
10	16	0,18	2,04
20	36	0,35	4,27
30	76	0,53	8,70
40	160	0,71	18,00
50	272	0,88	30,37
60	350	1,06	38,94
70	410	1,23	45,49
80	440	1,41	48,71
90	461	1,59	50,93
100	479	1,76	52,81



Módulo de Elasticidad E = 1690 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAIXIAL CON MÓDULOS**

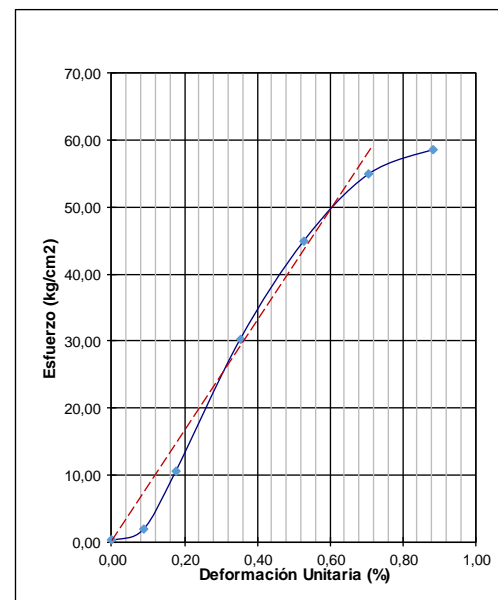
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-2</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1.50 - 3.00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P2(2)12% 7d	7,20	7,21	7,23	7,21	14,4	1184,20	40,87	2,012	1,823

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P2(2)12% 7d	552	97,31	90,01	20,4	10,49
	526	86,08	79,89	19,82	10,30

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	15	0,09	1,93
10	92	0,18	10,52
20	269	0,35	30,20
30	403	0,53	45,03
40	493	0,71	54,93
50	527	0,88	58,60



Módulo de Elasticidad E = 8590 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)3% 7d	7,22	7,18	7,21	7,20	14,4	1125,40	40,75	1,918	1,695

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)6% 7d	7,19	7,20	7,24	7,21	14,4	1129,90	40,83	1,922	1,706

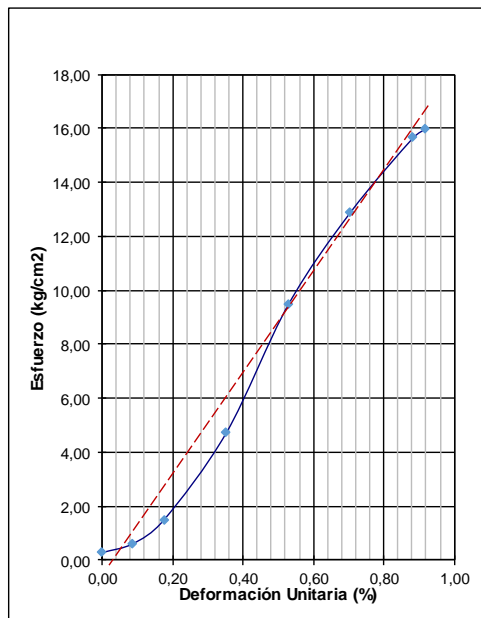
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)3% 7d	496	77,58	70,90	20,22	13,18
	551	83,89	76,51	20,43	13,16

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

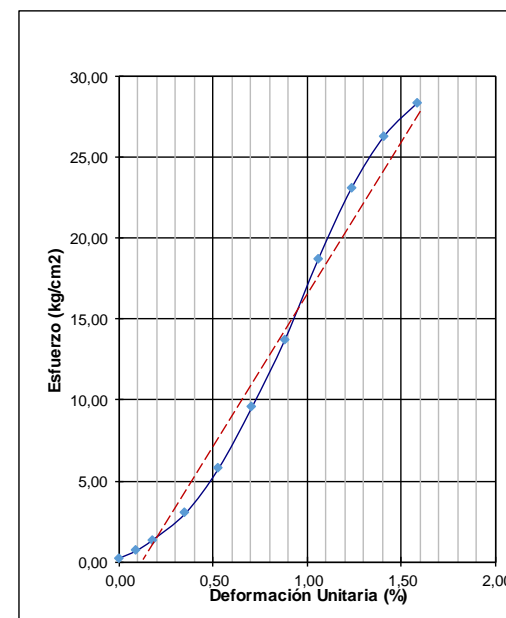
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(1)6% 7d	570	70,31	64,72	20,69	12,70
	574	74,87	68,74	20,03	12,58

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	3	0,09	0,59
10	11	0,18	1,49
20	40	0,35	4,71
30	83	0,53	9,48
40	114	0,71	12,90
50	139	0,88	15,65
52	142	0,92	15,97



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	4	0,09	0,71
10	10	0,18	1,37
20	25	0,35	3,04
30	50	0,53	5,81
40	84	0,71	9,57
50	122	0,88	13,76
60	167	1,06	18,71
70	207	1,23	23,09
80	237	1,41	26,35
90	256	1,59	28,40



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAxIAL CON MÓDULOS**

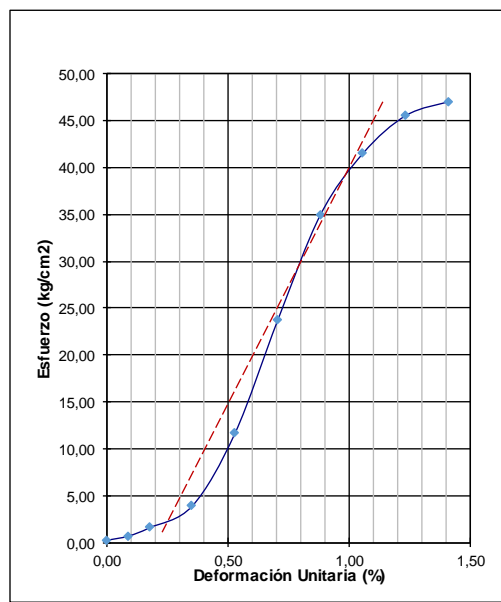
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)9% 7d	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1122,10	40,87	1,907	1,702

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)		Humedad %	
		Húmedo	Seco	Capsula	%
P3(1)9% 7d	499	73,89	68,09	20,05	12,07
	578	86,07	79,03	20,50	12,03

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	4	0,09	0,71
10	12	0,18	1,60
20	33	0,35	3,93
30	103	0,53	11,70
40	212	0,71	23,77
50	314	0,88	35,02
60	374	1,06	41,59
70	411	1,23	45,60
80	425	1,41	47,06



Módulo de Elasticidad E = 4330 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAxIAL CON MÓDULOS**

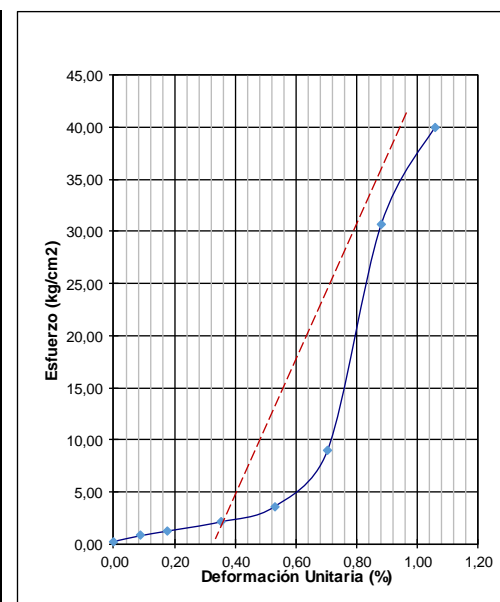
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>0,00 - 1,50 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(1)12% 7d	7,20	7,21	7,23	7,21	14,4	1131,70	40,87	1,923	1,723

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	Pesos (grs)		Humedad %	
		Húmedo	Seco	Capsula	%
P3(1)12% 7d	524	78,40	72,34	20,32	11,65
	540	89,16	82,04	20,64	11,60

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	5	0,09	0,82
10	9	0,18	1,26
20	17	0,35	2,15
30	30	0,53	3,59
40	79	0,71	9,02
50	275	0,88	30,70
60	360	1,06	40,04



Módulo de Elasticidad E = 5380 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>3% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1,50 - 3,00 metros</b>	OBSERVACIONES	

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>6% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1,50 - 3,00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)3% 7d	7,22	7,18	7,21	7,20	14,4	1150,20	40,75	1,960	1,774

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta #	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)6% 7d	7,19	7,20	7,24	7,21	14,4	1166,80	40,83	1,985	1,798

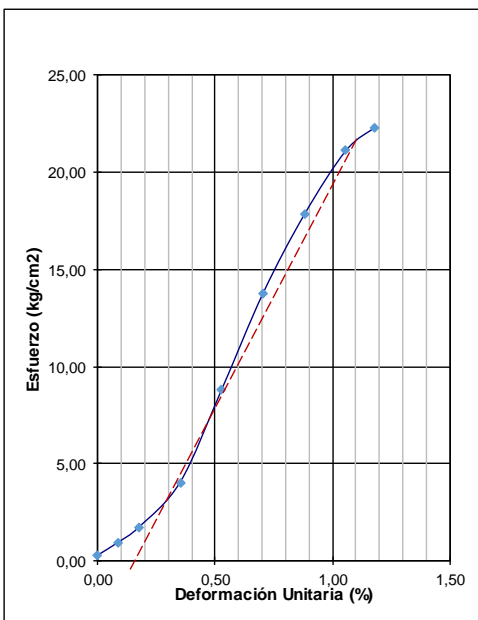
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)3% 7d	609	82,04	76,13	20,49	10,62
	624	74,29	69,24	20,71	10,41

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

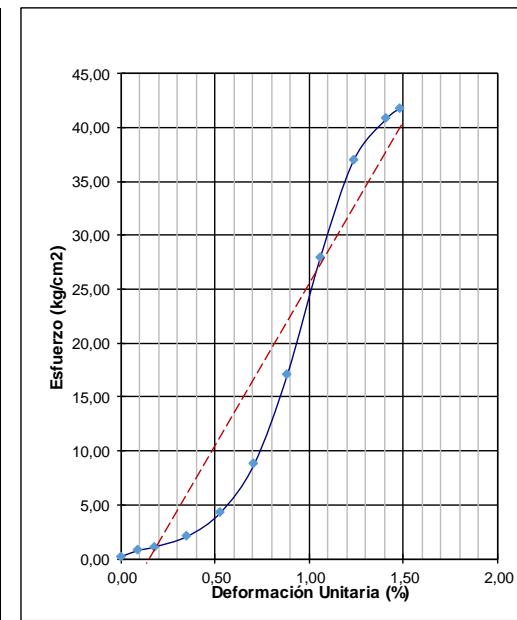
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta #	Cápsula #	Pesos (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)6% 7d	592	95,18	88,14	20,72	10,44
	504	93,80	86,95	20,34	10,28

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	6	0,09	0,93
10	13	0,18	1,71
20	34	0,35	4,04
30	77	0,53	8,81
40	122	0,71	13,79
50	159	0,88	17,86
60	189	1,06	21,14
67	200	1,18	22,33



Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	5	0,09	0,82
10	8	0,18	1,15
20	17	0,35	2,15
30	37	0,53	4,37
40	77	0,71	8,80
50	152	0,88	17,09
60	251	1,06	28,00
70	333	1,23	36,99
80	369	1,41	40,89
84	378	1,48	41,85



**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

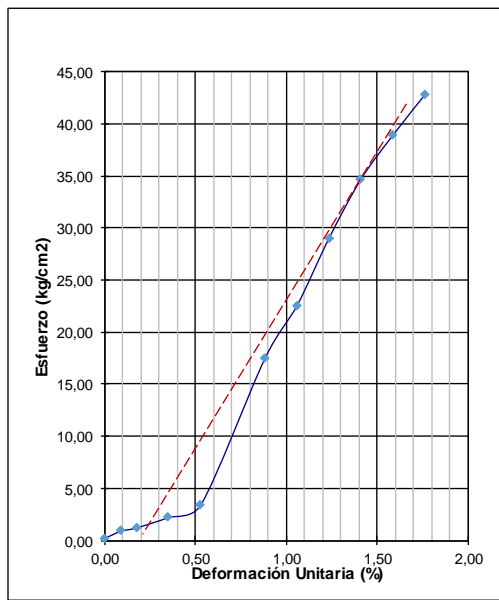
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>9% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1,50 - 3,00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)9% 7d	7,20	7,18	7,26	7,21	14,4	1165,70	40,87	1,981	1,805

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)9% 7d	581	89,43	83,31	20,38	9,73
	566	94,74	88,06	20,01	9,82

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	6	0,09	0,93
10	9	0,18	1,26
20	18	0,35	2,26
30	29	0,53	3,48
50	156	0,88	17,53
60	202	1,06	22,58
70	261	1,23	29,05
80	313	1,41	34,72
90	352	1,59	38,95
100	388	1,76	42,83



Módulo de Elasticidad E = 2560 kg/cm2

**ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL CON MÓDULOS**

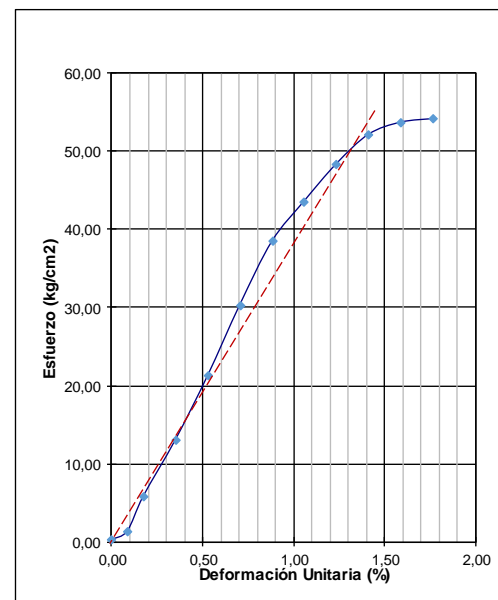
<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>		
<b>Sondeo:</b>	<b>P-3</b>	Realizó	F.L.- M.L.
<b>Muestra:</b>	<b>12% (28 DIAS)</b>	Fecha:	nov-16
<b>Profundidad:</b>	<b>1,50 - 3,00 metros</b>	OBSERVACIONES	

DATOS DE LAS PROBETAS									
Probeta	Diámetros (cms)				Altura cms	Peso grs	Area cm2	Densidad T/m3	
	Superior	Centro	Inferior	Medio				Humeda	Seca
P3(2)12% 7d	7,20	7,21	7,23	7,21	14,4	1162,90	40,87	1,976	1,811

CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula #	P e s o s (grs)			Humedad %
		Húmedo	Seco	Capsula	
P3(2)12% 7d	594	95,20	88,89	19,92	9,15
	544	79,21	74,34	20,62	9,07

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	4,55175
K2 =	10,60933
En:	Kg

Lectura dial		Deform. Unitaria %	Esfuerzo Axial Kg/cm2
Deforma.	Carga		
0	0	0,00	0,26
5	10	0,09	1,38
10	50	0,18	5,83
20	115	0,35	13,06
30	189	0,53	21,26
40	271	0,71	30,31
50	345	0,88	38,45
60	392	1,06	43,58
70	436	1,23	48,35
80	471	1,41	52,12
90	486	1,59	53,68
100	491	1,76	54,13



Módulo de Elasticidad E = 4680 kg/cm2

## ANEXO 4.- REPORTE DE ENSAYOS TRIAXIALES UU

GeoConsult

**TRIAxIAL U. U. MUESTRA: REMOLDEADA**

**PROYECTO: Mejoramiento suelo de Pomasqui con Cemento**

**P1 - Prof. 0,00 - 1,50**

**CEMENTO: 0%**

Fecha: nov-16

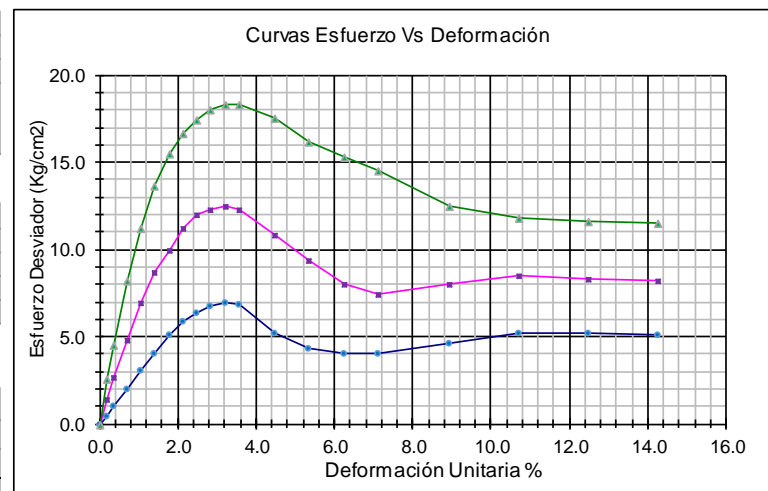
Realizó M.L.

DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	131.5	9.954	1.855	1.596	0.70	6.96	3.57
P-2	3.56	7.12	132.24	9.954	1.866	1.611	1.41	12.51	3.57
P-3	3.56	7.12	132.38	9.954	1.868	1.601	2.81	18.34	3.57
Promedio					1.863	1.603			

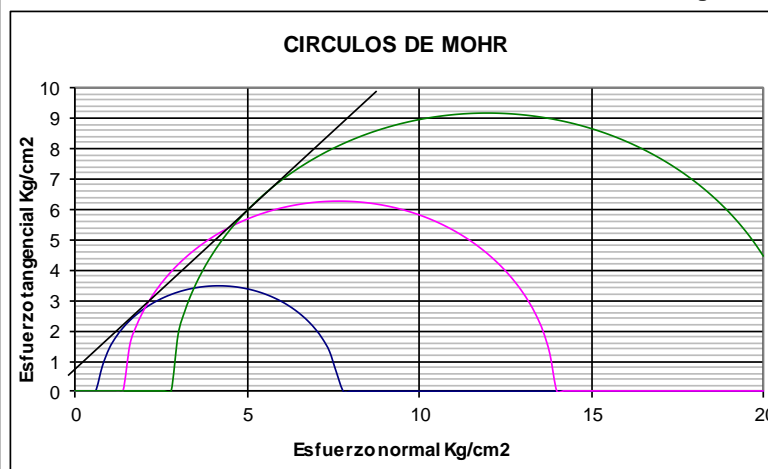
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	624	151.50	133.22	20.70	16.25
P-2	566	151.13	133.19	20.00	15.85
P-3	588	152.51	133.61	20.30	16.68
					16.26

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	0.95202
K2 =	2.99027
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2	12	24	0.18	0.18	0.18	0.49	1.45	2.59
10	8	25	44	0.36	0.36	0.36	1.06	2.68	4.49
20	18	48	83	0.71	0.71	0.71	2.01	4.86	8.18
30	29	70	116	1.07	1.07	1.07	3.04	6.92	11.27
40	40	89	142	1.43	1.43	1.43	4.07	8.69	13.68
50	51	103	162	1.78	1.78	1.78	5.09	9.97	15.51
60	60	117	175	2.14	2.14	2.14	5.91	11.24	16.67
70	65	126	184	2.50	2.50	2.50	6.35	12.04	17.45
80	70	129	191	2.85	2.85	2.85	6.80	12.28	18.04
90	72	132	195	3.21	3.21	3.21	6.96	12.51	18.34
100	71	130	195	3.57	3.57	3.57	6.84	12.28	18.27
125	54	115	189	4.46	4.46	4.46	5.22	10.80	17.56
150	45	100	176	5.35	5.35	5.35	4.36	9.34	16.22
175	42	86	168	6.24	6.24	6.24	4.05	7.99	15.35
200	42	81	160	7.13	7.13	7.13	4.01	7.47	14.49
250	50	89	140	8.92	8.92	8.92	4.63	8.03	12.47
300	58	96	135	10.70	10.70	10.70	5.22	8.47	11.80
350	59	96	136	12.49	12.49	12.49	5.20	8.30	11.65
400	59	97	137	14.27	14.27	14.27	5.10	8.21	11.49



**Angulo De Fricción Interna: 48.0 Grados**  
**Cohesión: 0.50 Kg/cm2**

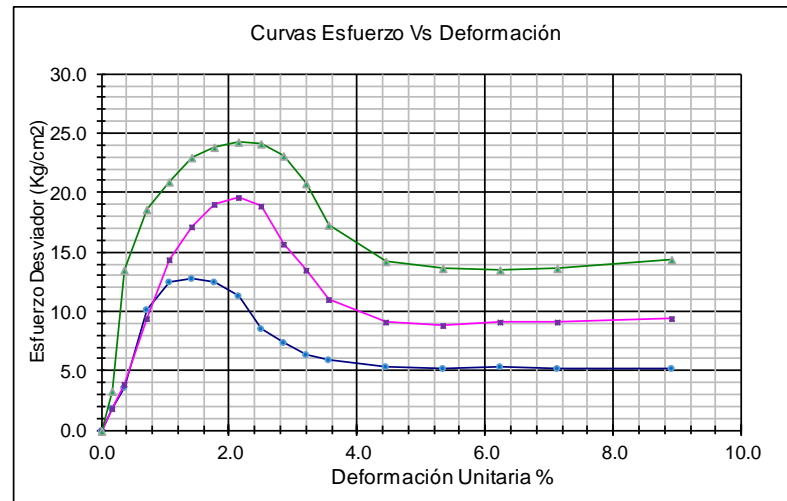


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	131.96	9.954	1.862	1.570	0.70	12.84	3.57
P-2	3.56	7.12	132.12	9.954	1.864	1.573	1.41	19.57	3.57
P-3	3.56	7.12	132.33	9.954	1.867	1.582	2.81	24.25	3.57
Promedio					1.864	1.575			

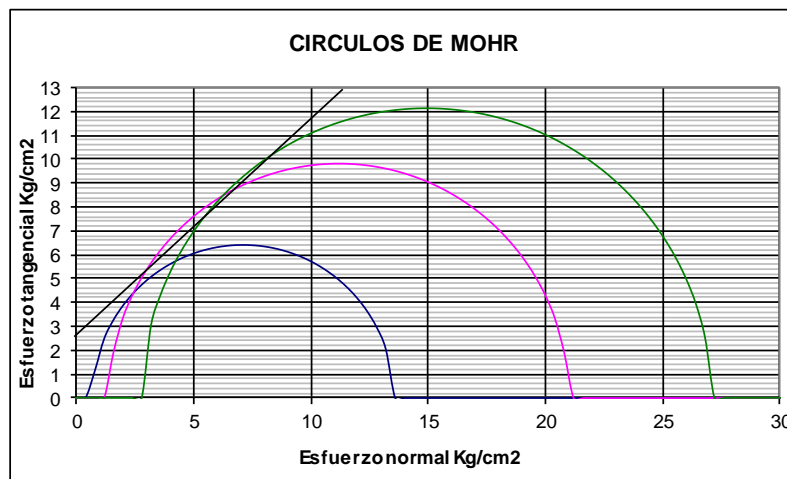
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	593	151.85	131.31	20.66	18.56
P-2	495	151.53	131.04	20.53	18.54
P-3	511	151.43	131.42	20.57	18.05
					18.39

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	0.95202
K2 =	2.99027
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	16	16	32	0.18	0.18	0.18	1.83	1.83	3.36
10	34	37	139	0.36	0.36	0.36	3.54	3.83	13.55
20	103	96	193	0.71	0.71	0.71	10.08	9.41	18.63
30	129	148	218	1.07	1.07	1.07	12.50	14.30	20.92
40	133	179	240	1.43	1.43	1.43	12.84	17.17	22.92
50	130	199	251	1.78	1.78	1.78	12.51	18.99	23.87
60	117	206	256	2.14	2.14	2.14	11.24	19.57	24.25
70	89	199	256	2.50	2.50	2.50	8.59	18.85	24.17
80	76	165	246	2.85	2.85	2.85	7.35	15.62	23.15
90	66	143	222	3.21	3.21	3.21	6.40	13.53	20.84
100	61	117	185	3.57	3.57	3.57	5.92	11.08	17.35
125	55	96	152	4.46	4.46	4.46	5.31	9.06	14.18
150	55	94	148	5.35	5.35	5.35	5.26	8.79	13.68
175	56	99	148	6.24	6.24	6.24	5.30	9.16	13.55
200	56	100	150	7.13	7.13	7.13	5.25	9.16	13.60
250	56	105	162	8.92	8.92	8.92	5.15	9.42	14.39



**Angulo De Fricción Interna: 42.0 Grados**  
**Cohesión 2.50 Kg/cm2**



**PROYECTO: Mejoramiento suelo de Pomasqui con Cemento**  
**P1 - Prof. 0,00 - 1,50**  
**CEMENTO: 6%**

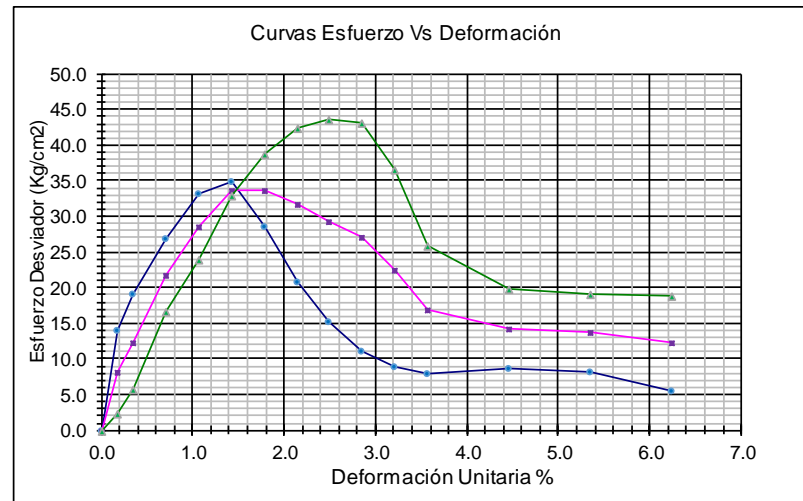
Fecha: dic-16  
 Realizó: M.L.

DATOS DE LAS PROBETAS						DATOS DE ESFUERZOS			
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3	Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.	
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	133.66	9.954	1.886	1.604	0.70	34.80	3.57
P-2	3.56	7.12	133.46	9.954	1.883	1.594	1.41	33.77	3.57
P-3	3.56	7.12	131.92	9.954	1.861	1.572	2.81	43.66	3.57
Promedio					1.877	1.590			

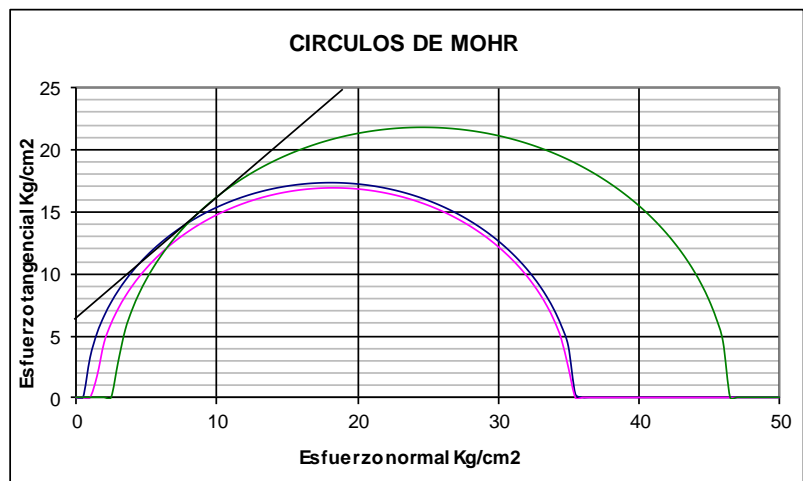
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad	
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%	
P-1	547	152.25	132.37	19.26	17.58	
P-2	505	152.75	132.39	20.12	18.13	
P-3	579	151.86	131.43	20.49	18.42	

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	0.95202
K2 =	2.99027
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	144	82	21	0.18	0.18	0.18	14.05	8.13	2.30
10	196	126	56	0.36	0.36	0.36	18.98	12.31	5.64
20	280	226	172	0.71	0.71	0.71	26.89	21.76	16.63
30	348	299	250	1.07	1.07	1.07	33.23	28.59	23.95
40	366	355	345	1.43	1.43	1.43	34.80	33.77	32.82
50	300	354	409	1.78	1.78	1.78	28.48	33.55	38.72
60	220	335	451	2.14	2.14	2.14	20.89	31.65	42.51
70	160	312	465	2.50	2.50	2.50	15.21	29.39	43.66
80	116	289	462	2.85	2.85	2.85	11.07	27.14	43.22
90	92	241	391	3.21	3.21	3.21	8.81	22.60	36.49
100	82	180	278	3.57	3.57	3.57	7.85	16.89	25.93
125	91	153	215	4.46	4.46	4.46	8.60	14.27	19.93
150	88	148	208	5.35	5.35	5.35	8.25	13.68	19.11
175	59	133	208	6.24	6.24	6.24	5.57	12.21	18.93



**Angulo De Fricción Interna: 41.0 Grados**  
**Cohesión 6.50 Kg/cm2**

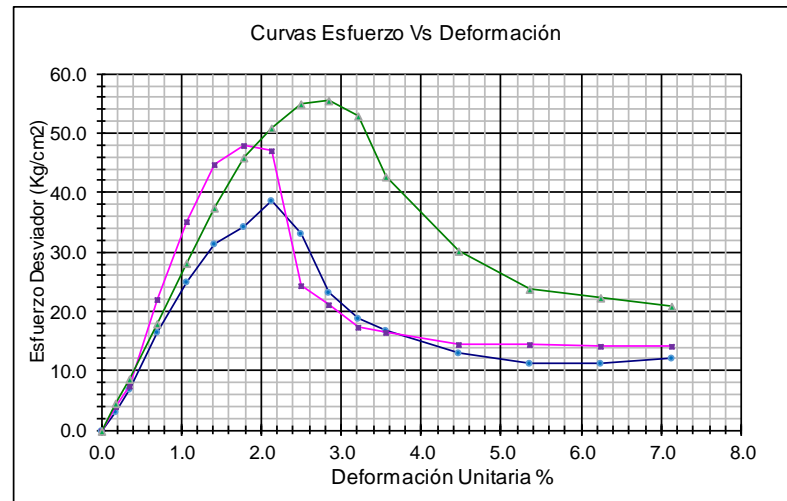


DATOS DE LAS PROBETAS						DATOS DE ESFUERZOS			
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3	Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.	
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	135.51	9.954	1.912	1.622	0.70	38.53	3.57
P-2	3.56	7.12	135.26	9.954	1.909	1.613	1.41	47.96	3.57
P-3	3.56	7.12	134.23	9.954	1.894	1.600	2.81	55.64	3.57
Promedio					1.905	1.612			

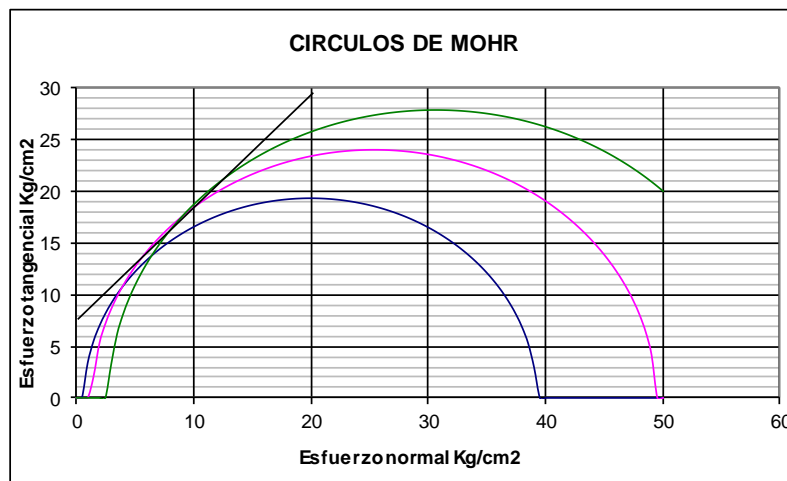
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	569	156.85	136.15	20.32	17.87
P-2	570	155.69	134.80	20.69	18.31
P-3	346	154.25	133.47	20.41	18.38
					18.19

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	7	9	11	0.18	0.18	0.18	3.23	3.90	4.58
10	18	20	23	0.36	0.36	0.36	6.92	7.60	8.61
20	47	63	51	0.71	0.71	0.71	16.62	21.99	17.97
30	72	103	82	1.07	1.07	1.07	24.92	35.28	28.26
40	92	132	110	1.43	1.43	1.43	31.49	44.80	37.48
50	101	142	136	1.78	1.78	1.78	34.36	47.96	45.97
60	114	140	151	2.14	2.14	2.14	38.53	47.12	50.76
70	98	71	164	2.50	2.50	2.50	33.12	24.23	54.86
80	68	62	167	2.85	2.85	2.85	23.16	21.19	55.64
90	55	51	159	3.21	3.21	3.21	18.82	17.51	52.82
100	49	48	129	3.57	3.57	3.57	16.80	16.47	42.85
125	38	42	91	4.46	4.46	4.46	13.09	14.38	30.20
150	33	43	72	5.35	5.35	5.35	11.37	14.57	23.84
175	33	42	68	6.24	6.24	6.24	11.27	14.12	22.35
200	36	43	64	7.13	7.13	7.13	12.10	14.29	20.88



**Angulo De Fricción Interna: 48.0 Grados**  
**Cohesión 8.00 Kg/cm2**

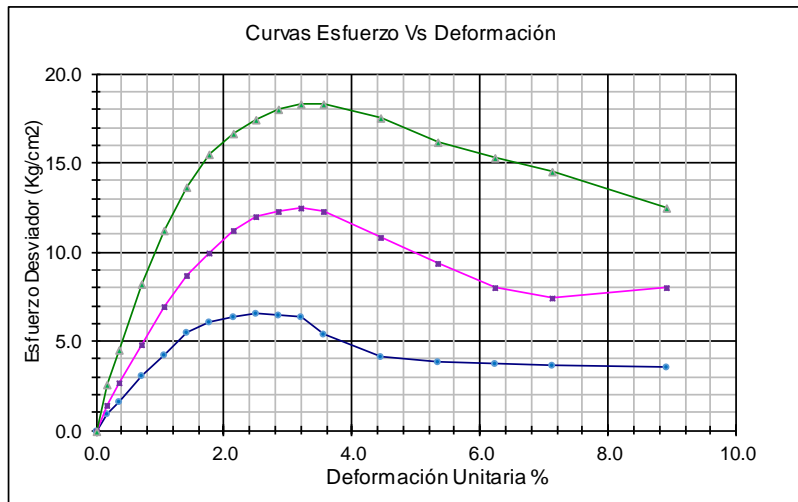


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	136.07	9.954	1.920	1.703	0.70	6.54	3.57
P-2	3.56	7.12	136.08	9.954	1.920	1.706	1.41	12.51	3.57
P-3	3.56	7.12	136.3	9.954	1.923	1.695	2.81	18.34	3.57
Promedio					1.921	1.701			

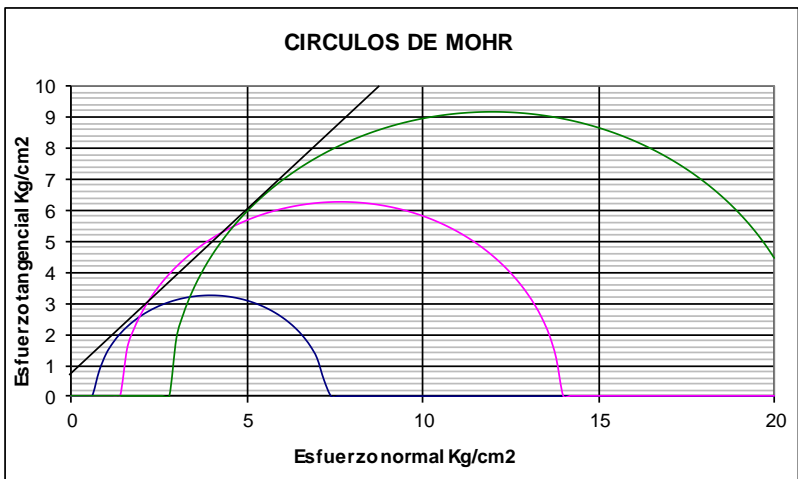
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	535	155.95	140.60	20.37	12.77
P-2	562	155.50	140.38	20.03	12.56
P-3	654	157.34	141.04	20.23	13.49
					12.94

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	0.95202
K2 =	2.99027
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	7	12	24	0.18	0.18	0.18	0.97	1.45	2.59
10	14	25	44	0.36	0.36	0.36	1.63	2.68	4.49
20	29	48	83	0.71	0.71	0.71	3.05	4.86	8.18
30	42	70	116	1.07	1.07	1.07	4.27	6.92	11.27
40	55	89	142	1.43	1.43	1.43	5.48	8.69	13.68
50	62	103	162	1.78	1.78	1.78	6.12	9.97	15.51
60	65	117	175	2.14	2.14	2.14	6.38	11.24	16.67
70	67	126	184	2.50	2.50	2.50	6.54	12.04	17.45
80	66	129	191	2.85	2.85	2.85	6.42	12.28	18.04
90	66	132	195	3.21	3.21	3.21	6.40	12.51	18.34
100	55	130	195	3.57	3.57	3.57	5.36	12.28	18.27
125	42	115	189	4.46	4.46	4.46	4.12	10.80	17.56
150	39	100	176	5.35	5.35	5.35	3.81	9.34	16.22
175	39	86	168	6.24	6.24	6.24	3.78	7.99	15.35
200	38	81	160	7.13	7.13	7.13	3.65	7.47	14.49
250	38	89	140	8.92	8.92	8.92	3.58	8.03	12.47



**Angulo De Fricción Interna: 46.0 Grados**  
**Cohesión 0.50 Kg/cm2**

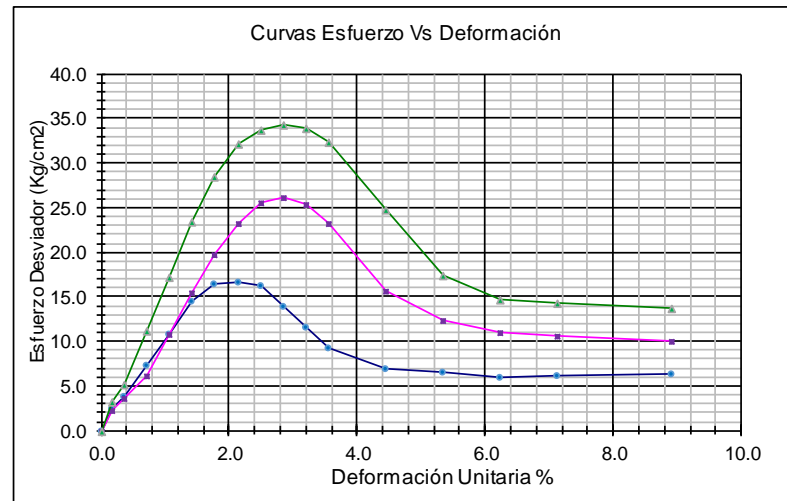


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)	Deform.	
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	140.22	9.954	1.979	1.724	0.70	16.72	3.57
P-2	3.56	7.12	140.91	9.954	1.988	1.743	1.41	26.11	3.57
P-3	3.56	7.12	142.43	9.954	2.010	1.757	2.81	34.31	3.57
Promedio					1.992	1.741			

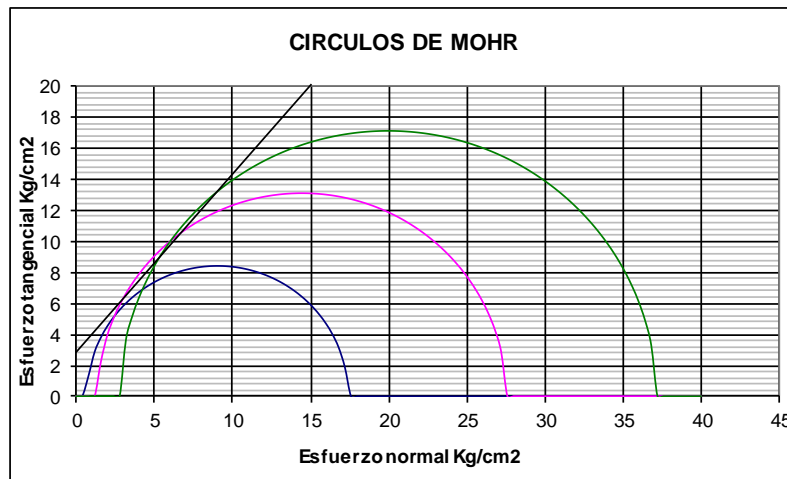
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	496	159.59	141.68	20.22	14.75
P-2	488	160.20	142.97	20.70	14.09
P-3	519	162.03	144.17	20.25	14.41

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	4	7	0.18	0.18	0.18	2.55	2.22	3.23
10	9	8	13	0.36	0.36	0.36	3.90	3.56	5.24
20	19	16	31	0.71	0.71	0.71	7.23	6.23	11.26
30	30	30	49	1.07	1.07	1.07	10.88	10.88	17.23
40	41	44	68	1.43	1.43	1.43	14.51	15.51	23.50
50	47	57	83	1.78	1.78	1.78	16.45	19.76	28.39
60	48	68	95	2.14	2.14	2.14	16.72	23.33	32.25
70	47	75	100	2.50	2.50	2.50	16.33	25.55	33.78
80	40	77	102	2.85	2.85	2.85	13.97	26.11	34.31
90	33	75	101	3.21	3.21	3.21	11.63	25.36	33.86
100	26	69	97	3.57	3.57	3.57	9.31	23.31	32.43
125	19	46	74	4.46	4.46	4.46	6.96	15.67	24.71
150	18	36	52	5.35	5.35	5.35	6.58	12.33	17.45
175	16	32	44	6.24	6.24	6.24	5.88	10.95	14.75
200	17	31	43	7.13	7.13	7.13	6.14	10.53	14.29
250	18	30	42	8.92	8.92	8.92	6.33	10.02	13.71



**Angulo De Fricción Interna: 50.0 Grados**  
**Cohesión 3.00 Kg/cm2**

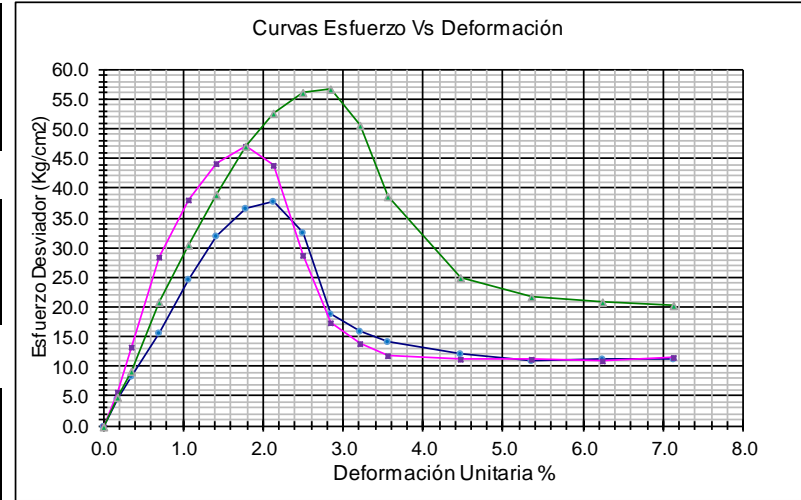


DATOS DE LAS PROBETAS						DATOS DE ESFUERZOS				
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3	Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.		
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%	
P-1	3.56	7.12	141.36	9.954	1.995	1.696	0.70	37.87	3.57	
P-2	3.56	7.12	142.48	9.954	2.010	1.702	1.41	46.96	3.57	
P-3	3.56	7.12	142.58	9.954	2.012	1.699	2.81	56.62	3.57	
Promedio					2.006	1.699				

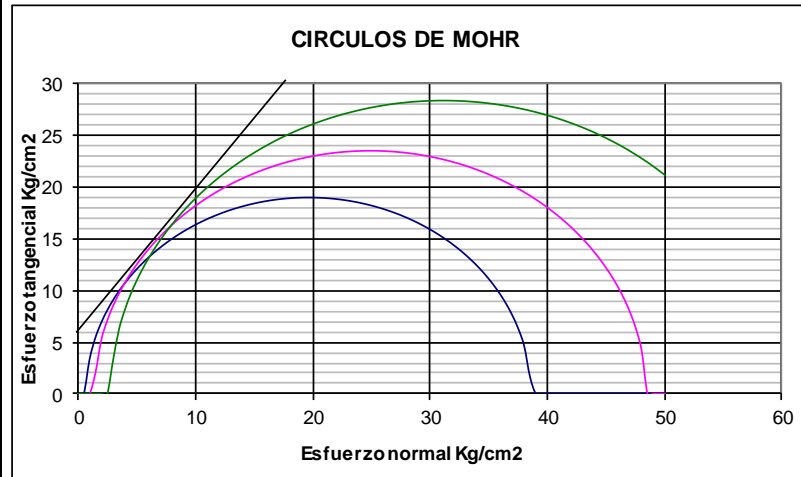
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	547	152.25	132.37	19.26	17.58
P-2	505	152.75	132.39	20.12	18.13
P-3	579	151.86	131.43	20.49	18.42
					18.04

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	11	14	12	0.18	0.18	0.18	4.58	5.59	4.91
10	22	37	25	0.36	0.36	0.36	8.27	13.32	9.28
20	44	82	60	0.71	0.71	0.71	15.62	28.36	20.98
30	71	111	89	1.07	1.07	1.07	24.58	37.95	30.60
40	93	130	114	1.43	1.43	1.43	31.82	44.14	38.81
50	108	139	139	1.78	1.78	1.78	36.68	46.96	46.96
60	112	130	157	2.14	2.14	2.14	37.87	43.82	52.74
70	96	85	168	2.50	2.50	2.50	32.46	28.84	56.17
80	55	50	170	2.85	2.85	2.85	18.89	17.25	56.62
90	46	40	152	3.21	3.21	3.21	15.88	13.92	50.53
100	41	34	116	3.57	3.57	3.57	14.19	11.91	38.62
125	35	32	75	4.46	4.46	4.46	12.12	11.16	25.03
150	32	33	65	5.35	5.35	5.35	11.05	11.37	21.60
175	33	32	63	6.24	6.24	6.24	11.27	10.95	20.77
200	33	34	62	7.13	7.13	7.13	11.16	11.47	20.25



**Angulo De Fricción Interna: 53.0 Grados**  
**Cohesión 6.00 Kg/cm2**

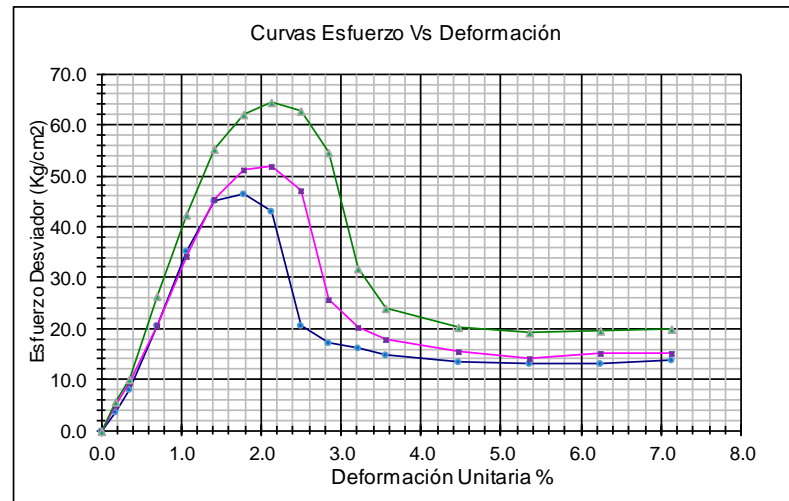


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	140.87	9.954	1.988	1.736	0.70	46.30	3.57
P-2	3.56	7.12	142.03	9.954	2.004	1.756	1.41	51.75	3.57
P-3	3.56	7.12	141.70	9.954	1.999	1.752	2.81	64.31	3.57
Promedio					1.997	1.748			

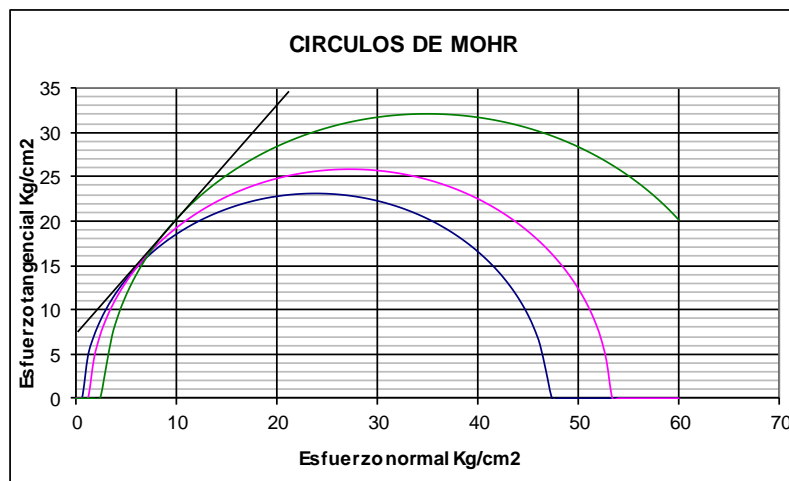
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	Medio	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	700	160.33	142.60	20.52	14.52
P-2	531	161.94	144.42	20.43	14.13
P-3	568	161.11	143.71	20.40	14.11

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	8	12	14	0.18	0.18	0.18	3.57	4.91	5.59
10	21	25	27	0.36	0.36	0.36	7.93	9.28	9.95
20	59	59	76	0.71	0.71	0.71	20.65	20.65	26.35
30	103	100	124	1.07	1.07	1.07	35.28	34.27	42.29
40	133	134	163	1.43	1.43	1.43	45.14	45.47	55.12
50	137	152	185	1.78	1.78	1.78	46.30	51.28	62.22
60	128	154	192	2.14	2.14	2.14	43.16	51.75	64.31
70	60	141	188	2.50	2.50	2.50	20.61	47.28	62.76
80	50	76	164	2.85	2.85	2.85	17.25	25.78	54.65
90	47	59	95	3.21	3.21	3.21	16.21	20.13	31.90
100	43	52	71	3.57	3.57	3.57	14.84	17.77	23.96
125	39	45	60	4.46	4.46	4.46	13.42	15.35	20.19
150	38	42	58	5.35	5.35	5.35	12.97	14.25	19.36
175	39	45	59	6.24	6.24	6.24	13.17	15.07	19.50
200	41	46	61	7.13	7.13	7.13	13.67	15.24	19.94



**Angulo De Fricción Interna: 53.0 Grados**  
**Cohesión 7.50 Kg/cm2**

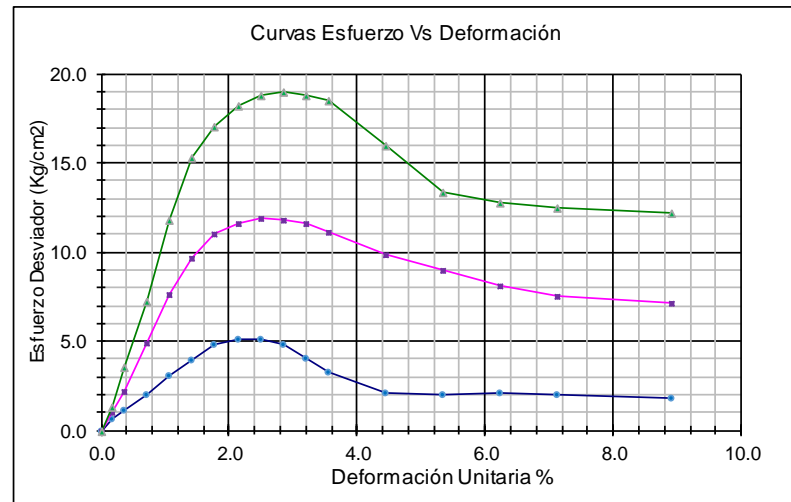


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	132.92	9.954	1.876	1.662	0.70	5.16	3.57
P-2	3.56	7.12	133.43	9.954	1.883	1.670	1.41	11.95	3.57
P-3	3.56	7.12	133.42	9.954	1.883	1.667	2.81	18.97	3.57
Promedio					1.880	1.666			

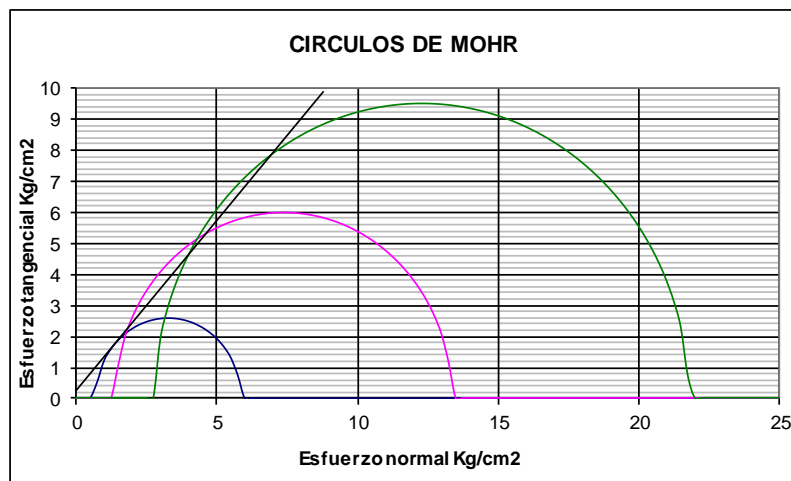
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	510	155.52	137.20	20.00	12.85
P-2	538	152.58	137.56	19.93	12.77
P-3	542	153.20	138.01	20.30	12.90

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	0.95202
K2 =	2.99027
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	4	8	11	0.18	0.18	0.18	0.68	1.06	1.35
10	9	20	34	0.36	0.36	0.36	1.16	2.21	3.54
20	18	49	73	0.71	0.71	0.71	2.01	4.95	7.23
30	29	78	122	1.07	1.07	1.07	3.04	7.68	11.84
40	39	99	159	1.43	1.43	1.43	3.97	9.63	15.29
50	48	114	178	1.78	1.78	1.78	4.80	11.00	17.02
60	52	121	192	2.14	2.14	2.14	5.16	11.62	18.26
70	52	125	199	2.50	2.50	2.50	5.14	11.95	18.85
80	49	124	201	2.85	2.85	2.85	4.84	11.81	18.97
90	41	122	200	3.21	3.21	3.21	4.09	11.58	18.81
100	32	118	198	3.57	3.57	3.57	3.24	11.17	18.55
125	20	105	172	4.46	4.46	4.46	2.11	9.88	16.00
150	19	96	145	5.35	5.35	5.35	2.00	8.97	13.41
175	20	87	139	6.24	6.24	6.24	2.08	8.08	12.75
200	19	82	138	7.13	7.13	7.13	1.97	7.56	12.54
250	18	79	137	8.92	8.92	8.92	1.84	7.16	12.21



**Angulo De Fricción Interna: 48.0 Grados**  
**Cohesión 0.00 Kg/cm2**



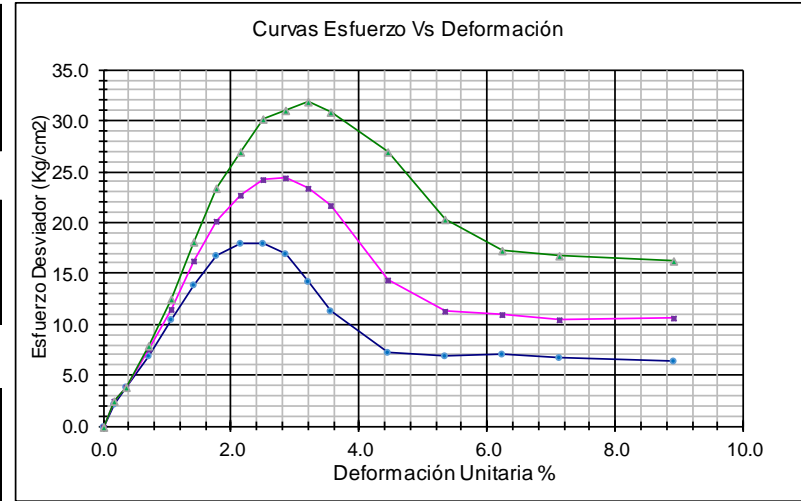
**TRIAxIAL U. U. MUESTRA: REMOLDEADA**

DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	139.66	9.954	1.971	1.704	0.70	18.04	3.57
P-2	3.56	7.12	140.43	9.954	1.981	1.713	1.41	24.47	3.57
P-3	3.56	7.12	137.96	9.954	1.947	1.680	2.81	31.90	3.57
Promedio					1.966	1.699			

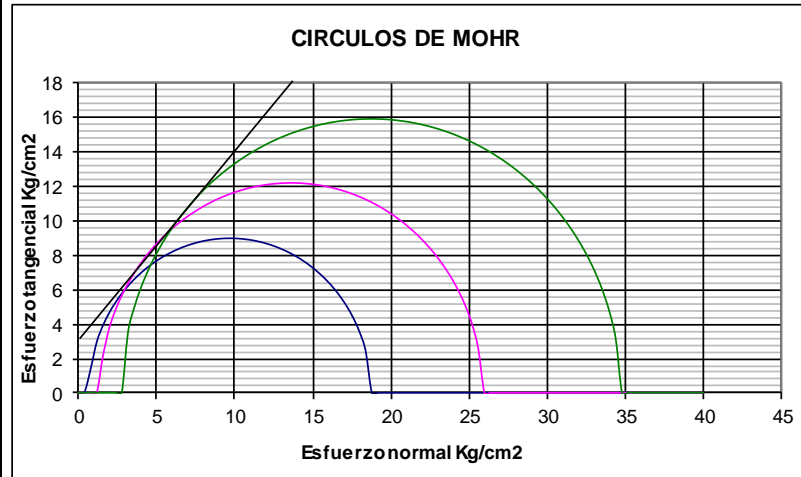
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	510	155.52	137.20	20.00	15.63
P-2	494	159.86	140.87	19.77	15.68
P-3	598	161.05	141.79	20.23	15.84
					15.72

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	4	5	5	0.18	0.18	0.18	2.22	2.55	2.55
10	9	9	9	0.36	0.36	0.36	3.90	3.90	3.90
20	18	20	21	0.71	0.71	0.71	6.90	7.57	7.91
30	29	32	35	1.07	1.07	1.07	10.55	11.55	12.56
40	39	46	52	1.43	1.43	1.43	13.84	16.17	18.17
50	48	58	68	1.78	1.78	1.78	16.78	20.09	23.41
60	52	66	79	2.14	2.14	2.14	18.04	22.67	26.96
70	52	71	89	2.50	2.50	2.50	17.97	24.23	30.16
80	49	72	92	2.85	2.85	2.85	16.92	24.47	31.03
90	41	69	95	3.21	3.21	3.21	14.24	23.40	31.90
100	32	64	92	3.57	3.57	3.57	11.26	21.68	30.80
125	20	42	81	4.46	4.46	4.46	7.28	14.38	26.97
150	19	33	61	5.35	5.35	5.35	6.90	11.37	20.32
175	20	32	52	6.24	6.24	6.24	7.15	10.95	17.28
200	19	31	51	7.13	7.13	7.13	6.77	10.53	16.80
250	18	32	50	8.92	8.92	8.92	6.33	10.64	16.17



**Angulo De Fricción Interna: 48.0 Grados**  
**Cohesión 3.00 Kg/cm2**

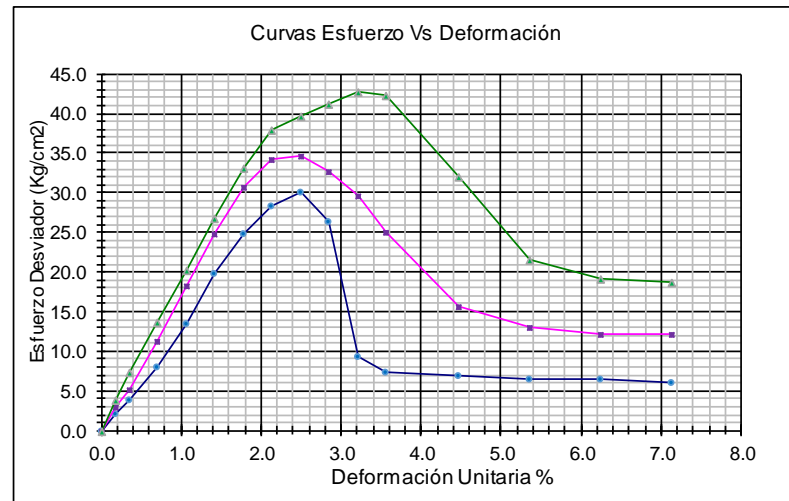


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	140.38	9.954	1.981	1.717	0.70	30.16	3.57
P-2	3.56	7.12	140.77	9.954	1.986	1.719	1.41	34.77	3.57
P-3	3.56	7.12	141.36	9.954	1.995	1.727	2.81	42.69	3.57
Promedio					1.987	1.721			

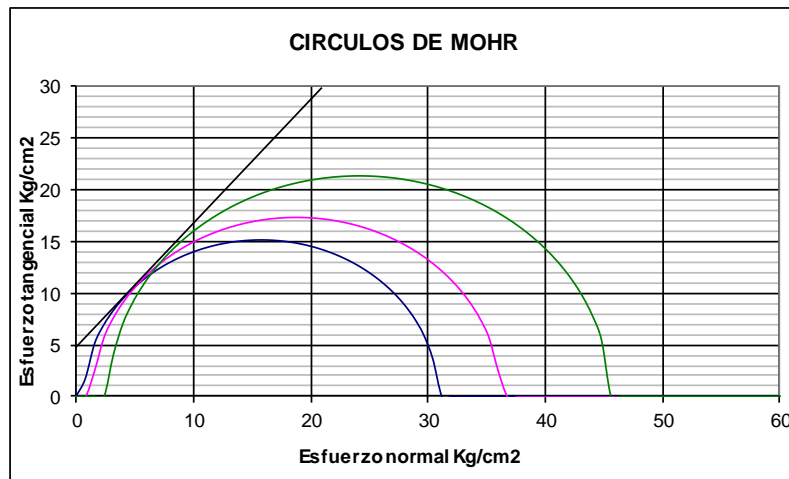
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	498	156.95	138.79	20.58	15.36
P-2	387	160.33	141.43	20.12	15.58
P-3	619	161.35	142.49	20.75	15.49
					15.48

ANILLO DE CARGA	
Número	24708
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	4	6	9	0.18	0.18	0.18	2.22	2.89	3.90
10	9	13	19	0.36	0.36	0.36	3.90	5.24	7.26
20	21	31	38	0.71	0.71	0.71	7.91	11.26	13.61
30	38	52	58	1.07	1.07	1.07	13.56	18.24	20.24
40	57	72	78	1.43	1.43	1.43	19.83	24.83	26.83
50	72	90	97	1.78	1.78	1.78	24.74	30.71	33.03
60	83	101	112	2.14	2.14	2.14	28.28	34.23	37.87
70	89	103	118	2.50	2.50	2.50	30.16	34.77	39.71
80	78	97	123	2.85	2.85	2.85	26.44	32.67	41.20
90	26	88	128	3.21	3.21	3.21	9.34	29.61	42.69
100	20	74	127	3.57	3.57	3.57	7.35	24.94	42.20
125	19	46	97	4.46	4.46	4.46	6.96	15.67	32.13
150	18	38	65	5.35	5.35	5.35	6.58	12.97	21.60
175	18	36	58	6.24	6.24	6.24	6.52	12.22	19.18
200	17	36	57	7.13	7.13	7.13	6.14	12.10	18.69



**Angulo De Fricción Interna: 51.0 Grados**  
**Cohesión 5.00 Kg/cm2**

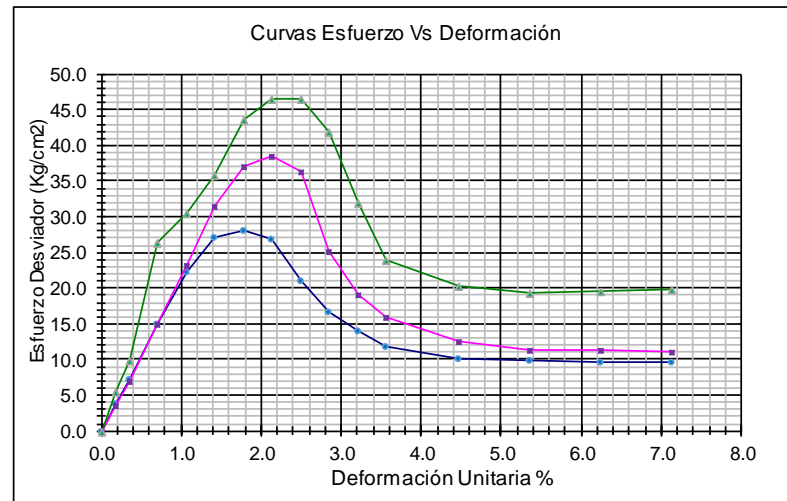


DATOS DE LAS PROBETAS							DATOS DE ESFUERZOS		
Probeta	Diámetro	Altura	Peso	Area	Densidad T/m3		Esfuerzos (Kg/cm2)		Deform.
#	Medio	cms	grs	cm2	Húmeda	Seca	Lateral	Desviante	%
P-1	3.56	7.12	139.32	9.954	1.966	1.691	0.70	28.06	3.57
P-2	3.56	7.12	140.47	9.954	1.982	1.714	1.41	38.53	3.57
P-3	3.56	7.12	141.89	9.954	2.002	1.725	2.81	46.62	3.57
Promedio					1.983	1.710			

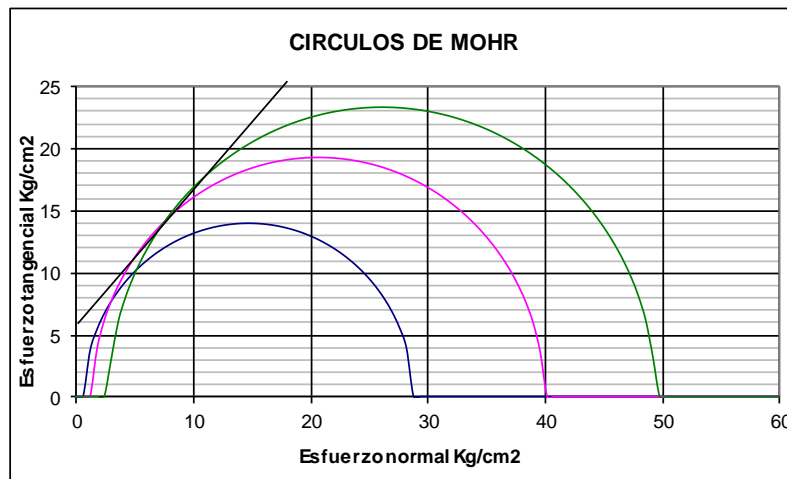
CONTENIDO DE HUMEDAD					
Probeta	Cápsula	Pesos			Humedad
#	#	Húmedo	Seco	Cápsula	%
P-1	415	159.18	139.87	20.84	16.22
P-2	486	160.41	141.48	20.34	15.63
P-3	596	161.11	143.71	20.40	16.05
					15.97

ANILLO DE CARGA	
Número	24684
K1 =	3.36186
K2 =	8.65743
En:	Kg

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS									
Deformación	Lectura de Diales			Deformación Unitaria			Esfuerzo Desviador		
	CARGA			%			Kg/cm2		
	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3	P-1	P-2	P-3
0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	9	8	14	0.18	0.18	0.18	3.90	3.57	5.59
10	19	18	27	0.36	0.36	0.36	7.26	6.92	9.95
20	42	42	76	0.71	0.71	0.71	14.95	14.95	26.35
30	64	67	89	1.07	1.07	1.07	22.24	23.25	30.60
40	79	92	105	1.43	1.43	1.43	27.16	31.49	35.81
50	82	109	129	1.78	1.78	1.78	28.06	37.01	43.65
60	79	114	138	2.14	2.14	2.14	26.96	38.53	46.46
70	61	108	139	2.50	2.50	2.50	20.94	36.41	46.62
80	48	74	125	2.85	2.85	2.85	16.59	25.12	41.86
90	40	56	95	3.21	3.21	3.21	13.92	19.15	31.90
100	34	46	71	3.57	3.57	3.57	11.91	15.82	23.96
125	29	36	60	4.46	4.46	4.46	10.19	12.45	20.19
150	28	33	58	5.35	5.35	5.35	9.77	11.37	19.36
175	28	33	59	6.24	6.24	6.24	9.68	11.27	19.50
200	28	33	61	7.13	7.13	7.13	9.59	11.16	19.94



**Angulo De Fricción Interna: 50.0 Grados**  
**Cohesión 6.00 Kg/cm2**



ANEXO 5.- REPORTES DE ENSAYOS CBR

GeoConsult

Avenida La Gasca 763 - Quito  
Teléfono 234-434

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
SUELO NATURAL

<b>PROYECTO: MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	
<b>LOCALIZACIÓN P-1</b>	<b>Muestra: 0,00-1,50</b> <span style="float: right;">Fecha: dic 16</span>

Molde No.	2				3				4			
No. de capas	3				3				3			
No. golpes/capa	56				30				10			
Características	ANTES SAT.		LUEGO SAT.		ANTES SAT.		LUEGO SAT.		ANTES SAT.		LUEGO SAT.	
Peso muestra + molde	10468		10600		10488		10602		10620		10826	
Peso molde	6447		6447		6516		6516		6874		6874	
Peso muestra	4021		4153		3972		4086		3746		3952	
Vol. muestra cm <sup>3</sup>	2088		2088		2090		2090		2123		2123	
Peso unitario g/cm <sup>3</sup>	1.926		1.989		1.900		1.955		1.764		1.862	
Contenido humedad	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO
Cápsula No.	581	490	516	497	576	499	489	573	516	578	548	408
Peso caps.+muestra húmeda g.	65.97	68.84	87.29	87.63	80.69	82.01	88.37	88.55	83.08	83.76	91.87	100.4
Peso caps. +muestra seca g.	60.07	62.62	76.36	76.67	72.76	73.99	78.32	77.4	74.61	75.42	78.98	86.05
Peso cápsula g.	20.39	20.21	20.73	20.55	20.21	20.07	20.41	20.38	20.28	20.53	20.09	20.29
Contenido humedad %	14.87	14.67	19.65	19.53	15.09	14.87	17.35	19.55	15.59	15.19	21.89	21.76
Humedad promedio %	15.42		19.59		14.98		18.45		15.39		21.82	
Peso unitario seco g/cm <sup>3</sup>	1.668		1.663		1.653		1.650		1.529		1.528	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA

Molde No.			
Peso muestra húmeda + Molde, después de saturar	2	3	4
Peso muestra húmeda + Molde, antes de saturar	10600	10602	10826
Peso agua absorbida	132	114	206
Porcentaje de agua absorbida	3.18	2.87	5.50

DATOS DE ESPONJAMIENTO

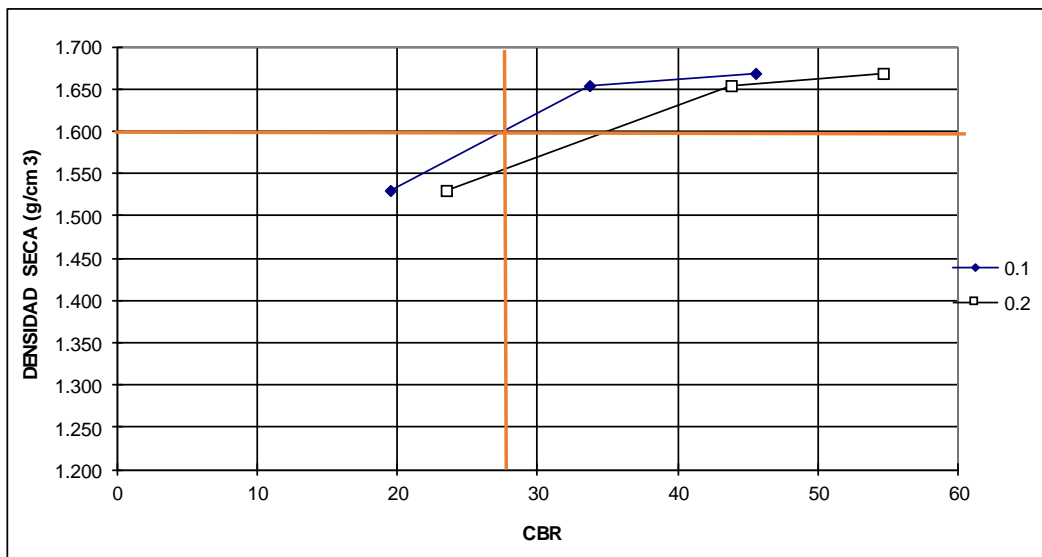
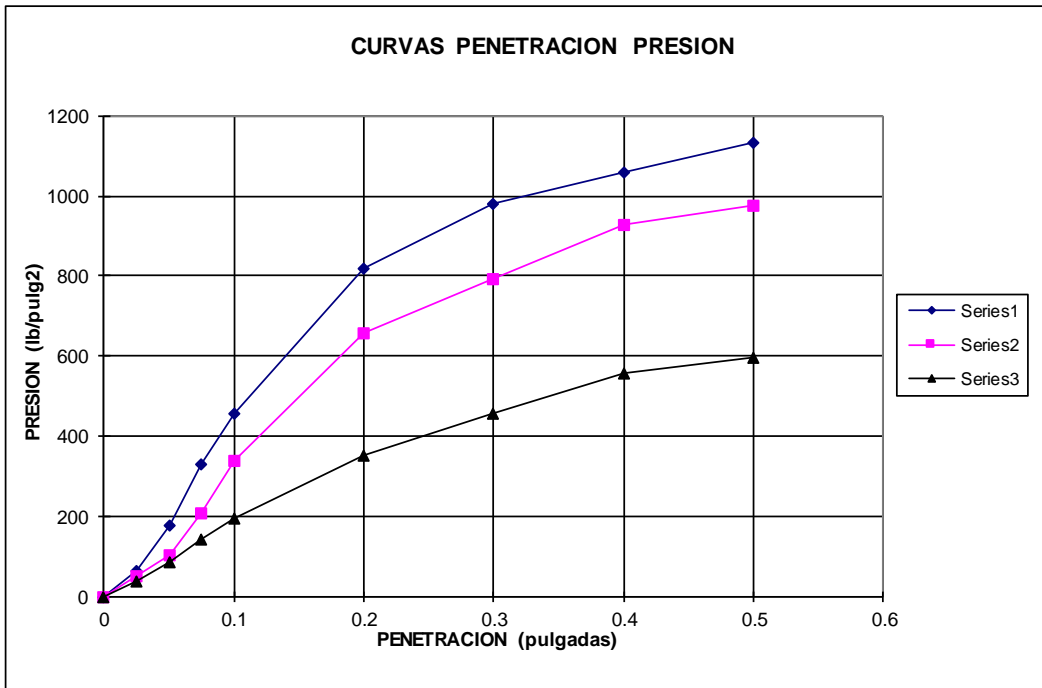
Fecha	Tiempo días	Dial pulgada x 10-3	Espojamiento %	Dial pulgada x 10-3	Espojamiento %	Dial pulgada x 10-3	Espojamiento %
	0						
	1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	4	0	0.00	0	0.00	0	0.00

DATOS DE ENSAYO DE PENETRACION

Constante de anillo	Lect x 7.41	+	19.08	Anillo	24684						
Penetración pulgadas	Carga tipo lbs./pulg <sup>2</sup>	Serie 1			Serie 2			Serie 3			DATOS DE COMPACTAC. MODIFICADO
		Dial	lb/pl2	CBR	Dial	lb/pl2	CBR	Dial	lb/pl2	CBR	
0.025		23	63.17		18	50.82		12	36		
0.050		69	176.8		39	102.7		32	85.4		
0.075		131	329.9		82	208.9		55	142.2		
0.100	1000	182	455.9	45.59	134	337.3	33.73	76	194.1	19.41	
0.200	1500	329	819	54.6	263	656	43.73	140	352.2	23.48	
0.300		394	979.5		319	794.3		183	458.4		
0.400		427	1061		373	927.7		223	557.2		
0.500		456	1133		392	974.6		239	596.7		
											<b>CBR</b>
											<b>27</b>

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
SUELO NATURAL

<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI	<b>Muestra:</b> 0,00-1,50	<b>Fecha:</b> dic 16
<b>LOCALIZACIÓN P-1</b>		



## RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR

SUELO CEMENTO 3%

<b>PROYECTO: MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI</b>	
<b>LOCALIZACIÓN P-1</b>	<b>Muestra: 0,00-1,50</b> <span style="float: right;">Fecha: dic 16</span>

Molde No.	2				3				4			
No. de capas	3				3				3			
No. golpes/capa	56				30				10			
Características	ANTES SAT.		LUEGO SAT.		ANTES SAT.		LUEGO SAT.		ANTES SAT.		LUEGO SAT.	
Peso muestra + molde	10575		10626		10779		10917		10250		10462	
Peso molde	6552		6552		6887		6887		6554		6554	
Peso muestra	4023		4074		3892		4030		3696		3908	
Vol. muestra cm <sup>3</sup>	2088		2088		2090		2090		2123		2123	
Peso unitario g/cm <sup>3</sup>	1.927		1.951		1.862		1.928		1.741		1.841	
Contenido humedad	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO	ARR	ABAJO
Cápsula No.	555	651	484	504	534	574	531	576	526	318	642	550
Peso caps.+muestra húmeda g.	68.72	71.52	97.92	99.29	81.81	63.13	92.02	87.85	71.57	87.14	89.14	87.04
Peso caps. +muestra seca g.	62.35	64.79	86.82	88.1	73.53	57.34	80.96	77.26	64.75	78.31	77.15	75.41
Peso cápsula g.	20.39	20.21	20.73	20.55	20.21	20.07	20.41	20.38	20.28	20.53	20.09	20.29
Contenido humedad %	15.18	15.10	16.80	16.57	15.53	15.54	18.27	18.62	15.34	15.28	21.01	21.10
Humedad promedio %	15.42		16.68		15.53		18.44		15.31		21.06	
Peso unitario seco g/cm <sup>3</sup>	1.669		1.672		1.612		1.628		1.510		1.521	

### PORCENTAJE DE AGUA ABSORVIDA

Molde No.	2		3		4	
Peso muestra húmeda + Molde, después de saturar	10626		10917		10462	
Peso muestra húmeda + Molde, antes de saturar	10575		10779		10250	
Peso agua absorbida	51		138		212	
Porcentaje de agua absorbida	1.25		3.55		5.74	

### DATOS DE ESPONJAMIENTO

Fecha	Tiempo días	Dial pulgada x 10-3	Esponjamiento %	Dial pulgada x 10-3	Esponjamiento %	Dial pulgada x 10-3	Esponjamiento %
	0						
	1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	4	0	0.00	0	0.00	0	0.00

### DATOS DE ENSAYO DE PENETRACION

Constante de anillo	Lect x 10.04	+	23.39	Anillo	24694						
Penetración pulgadas	Carga tipo lbs./pulg <sup>2</sup>	Serie 1			Serie 2			Serie 3			DATOS DE COMPACTAC. MODIFICADO
		Dial	lb/pl <sup>2</sup>	CBR	Dial	lb/pl <sup>2</sup>	CBR	Dial	lb/pl <sup>2</sup>	CBR	
0.025		102	349		92	315.6		36	128.2		dmáx h. opt. g/cm <sup>3</sup> %
0.050		225	760.5		191	646.8		87	298.9		
0.075		362	1219		305	1028		109	372.5		1.686 15.6
0.100	1000	509	1711	171.1	425	1430	143	140	476.2	47.62	
0.200	1500	976	3273	218.2	751	2520	168	249	840.8	56.06	
0.300			7.798			915	3069		396	1333	
0.400			7.798			7.798			518	1741	
0.500			7.798			7.798			7.798		
<b>CBR</b>											<b>130</b>

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR**  
SUELO CEMENTO 3%

<b>PROYECTO:</b> MEJORAMIENTO SUELOS POMASQUI	
<b>LOCALIZACIÓN P-1</b>	<b>Muestra: 0,00-1,50</b> <span style="float: right;">Fecha: dic 16</span>

