

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CAJAMARCA**

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS
CANTERA 3M Y SU UTILIZACIÓN COMO MATERIAL DE
AFIRMADO”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR BACHILLER:

MEJIA CHATILAN, JOSE RAFAEL

ASESOR:

ING. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

CAJAMARCA - PERÚ - 2013



ÍNDICE:

Contenido	Página
Agradecimiento.....	i
Dedicatoria.....	ii
Resumen.....	iii
Introducción.....	iv
CAPITULO I. MARCO TEORICO	1
1.1 ANTECEDENTES:	1
1.2 BASES TEORICAS	3
CAPITULO II. METODOS Y MATERIALES	46
2.1 CANTERA 3M:	46
2.2 MATERIALES	47
2.3 EQUIPO	47
2.4 METODO	48
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	51
3.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.....	51
3.2 DISCUSION DE RESULTADOS.....	52
CAPITULO IV. CONCLUSIONES.....	54
4.1 CONCLUSIONES	54
CAPITULO V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	55



5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	55
CAPITULO VI. ANEXOS.....	57
5.1 ANEXOS	57



ÍNDICE DE TABLAS - GRAFICOS:

Titulo	Página
TABLA N° 01 PESOS DE LA CARGA ABRASIVA	11
TABLA N° 02 RESUMEN DE RESULTADOS.....	51
TABLA N° 03 DISCUSION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	52
TABLA N° 04 CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD.....	58
TABLA N° 05 LIMITE DE CONSISTENCIA.....	58
TABLA N° 06 ENSAYO DE ABRASION.....	59
TABLA N° 07 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO.....	60
TABLA N° 08 PROCTOR MODIFICADO (ASTM D- 1557).....	61
TABLA N° 09 RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R).....	62
TABLA N° 10 ENSAYO DE HINCHAMIENTO.....	63
TABLA N° 11 ENSAYO CARGA PENETRACION.....	63
GRAFICO N° 01 GRAFICO GRANULOMETRICO.....	5
GRAFICO N° 02 CURVA DE FLUIDEZ.....	59
GRAFICO N° 03 ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO.....	60
GRAFICO N° 04 HUMEDAD - DENSIDAD.....	61
GRAFICO N° 05 ENSAYO ESFUERZO – PENETRACION MOLDE 1.....	64
GRAFICO N° 06 ENSAYO ESFUERZO – PENETRACION MOLDE 2.....	64



GRAFICO N° 07 ENSAYO ESFUERZO – PENETRACION MOLDE 3.....65

GRAFICO N° 08 ENSAYO CURVA – DENSIDAD.....65



ÍNDICE DE FIGURAS - FOTOS:

Título	Página
FIGURA 01: MAQUINA DE LOS ANGELES.....	11
FIGURA 02: TAMIZ # 12 (1.7 mm).....	12
FIGURA 03: CARGA (Masa entre 390 g y 455g).....	12
FIGURA 04: ESTRUCTURA DEL SUELO INALTERADO.....	15
FIGURA 05: ESTRUCTURA DEL SUELO REMOLDEADO O AMASADO.....	16
FIGURA 06: CASAGRANDE	16
FIGURA 07: DISPOSITIVO PARA DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO ...	17
FIGURA 08: DESLIZAMIENTO DE UN SUELO EN EL LIMITE LIQUIDO.....	18
FIGURA 09: DESLIZAMIENTO DE UN SUELO EN EL LIMITE LIQUIDO.....	18
FIGURA 10: ENSAMBLAJE DEL MOLDE.....	24
FIGURA 11: BALANZA.....	25
FIGURA 12: HORNO DE SECADO.....	26
FIGURA 13: PAIS PERU.....	46
FIGURA 14: DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.....	46
FIGURA 15: PROVINCIA CAJAMARCA.....	47
FIGURA 16: UBICACIÓN CANTERA 3M.....	47
FOTO N° 01 ACCESO A LA CANTERA 3M.....	66



FOTO Nº 02 ADQUISICION DE LAS MUESTRAS PARA LA INVESTIGACION	66
.....	66
FOTO Nº 03 TRASLADO DE MATERIAL PARA OBRAS DE CONSTRUCCION.....	67
FOTO Nº 04 TOMA DE COORDENADAS U.T.M DE LA CANTERA 3M.....	67
FOTO Nº 05 ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL.....	68
FOTO Nº 06 EXTRAYENDO EL MATERIAL DESPUES DEL ENSAYO DE ABRASION.....	68
FOTO Nº 07 CALCULANDO EL LIMITE LIQUIDO.....	69
FOTO Nº 08 TAMIZANDO LA MUESTRA PARA LA GRANULOMETRIA.....	69
FOTO Nº 09 PESANDO LA MUESTRA PARA LOS ENSAYOS.....	70
FOTO Nº 10 EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR LOS ENSAYOS.....	70



AGRADECIMIENTO:

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme acogido en sus aulas, a los docentes por compartir sus conocimientos y enseñanzas para así haberme realizado como profesional y con ello cooperar con el desarrollo del país.

A MI ASESOR:

CUBAS BECERRA, Alejandro.

Por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto de investigación.



DEDICATORIA:

En primer lugar a Dios, que me ha brindado una vida llena de alegrías y aprendizaje.

A mis padres, a quienes agradezco de todo corazón por su amor, cariño y comprensión. En todo momento los llevo conmigo.

A mi amada esposa, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales. Gracias por tu amor, paciencia y comprensión.



RESUMEN:

En esta investigación se analiza la calidad de agregados que brinda la cantera 3M y que se están utilizando como material de afirmado, en varias calles importantes de Cajamarca. Y su utilización como material de afirmado, las cuales fueron: Determinar la granulometría, determinar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca y evaluar su dureza.

Características que brindan una valiosa información de la capacidad de servicio de la estructura a largo plazo.

El tipo de investigación será del tipo exploratoria porque una vez realizado el experimento de prueba y la interpretación tentativa de resultados, realizar el experimento final casi se reduce a llenar columnas, preparadas de antemano, con lecturas de las mediciones, a detectar cualquier anomalía que se presente durante el desarrollo del experimento y a trazar las gráficas pertinentes o calcular el o los valores que darán respuesta al problema.

Se aprecia que la Cantera 3M es de naturaleza Grava mal gradada con varios tamaños con ausencias de tamaños intermedios y finos $IP=NP=0$. Debido a que se presenta ausencia de contenido de finos, se propone combinar materiales con otra cantera que contenga finos y limo $IP=4-9\%$ para que cumpla con los requisitos para materiales de afirmado sobre subrasante terminada

Conocer las propiedades físico – mecánicas de los agregados es de vital importancia en el diseño de cualquier obra civil, ya que estos influyen de manera directa en el comportamiento del mismo; llegando a producirse fallas estructurales por el manejo apresurado (sin análisis) de estos y de un mal análisis.



INTRODUCCIÓN (ALCANCES, CARACTERÍSTICAS LOCALES)

La inquietud de mayor conocimiento sobre la calidad del afirmado nos llevo a realizar la investigación que se titula "Estudio de las Propiedades Físico Mecánicas Cantera 3M y su Utilización como Material de Afirmado".

Los resultados de la investigación serán dirigidos a consultores, Ingenieros, Estudiantes y en general a personas que de una u otra forma estén relacionados con el tema.

También abre nuevas perspectivas, en la investigación del material de afirmado de canteras a utilizarse.

La localización de la cantera 3M se encuentra en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca ubicada al Nor este de la ciudad de Cajamarca, a una distancia de 1,5Km de la carretera Cajamarca – Bambamarca. Frente de la cantera Bazán.

Los ensayos de granulométrico por tamizado, resistencia a la abrasión, contenido limite de humedad ASTM, limite de atterberg limite liquido, limite plástico, índice de plasticidad, proctor modificado y ensayo california bearing ratio, sus resultados son admisibles según la norma que rigen a cada ensayo.

Es muy importante el análisis de los agregados ya que gracias a estas propiedades podremos formar obras civiles duraderas.

Si el análisis de estas es fallido las obras civiles que formaremos no tendrá los requerimientos para el cual fue fabricado. Por ello la siguiente investigación expone de manera didáctica y comprensiva el procedimiento correcto para el análisis de los agregados y la exposición de los mismos.



CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES:

a) INTERNACIONAL:

"EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE ARIDOS DEL CANTON LOJA"

Autor: Cartuche Malla Juan Miguel.

Año: 2012.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA - ECUADOR:

De acuerdo a esta investigación realizada concluimos que las concesiones de canteras junior- la flaca el huato y malca 3 ubicados en el cantón de Loja y catamayo son las que constituyen las más importantes y son las principales fuentes de abastecimientos de afirmados para la construcción en la ciudad de Loja.

Si el árido fino y grueso de las concesiones de canteras Junior-Flaca, El Huato y Malca 3 se mezcla en proporciones adecuadas puede utilizarse en la construcción de capas base Clase 4, ya que este cumple con los requerimientos de las especificaciones del M.T.O.P. para este tipo de aplicación.

El árido fino posee un contenido de terrones de arcilla, un módulo de finura y una granulometría fuera de los límites especificados en la norma NTE INEN 2536, por ello su empleo no es conveniente para mezclas de mortero, un material con estas características provocará alteraciones en su resistencia y durabilidad.



En sistemas de filtración para el tratamiento de aguas puede emplearse el árido grueso de las concesiones de canteras Junior-La Flaca, El Huato y Malca 3 como material de soporte para las capas más finas que conforman el sistema; no es apropiado el uso del árido fino por que excede el límite de partículas más finas que 75 μm establecido en la norma NTE INEN 2149.

b) NACIONAL:

"ESTUDIO DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA CARRETERA PUNO DESAGUADERO, TRAMO: PUNO – ILAVE (km 1363+000 – km 1413+000). Por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Julio 2008

Comprendió la ubicación de los depósitos de materiales inertes más importantes en el área de influencia de la carretera actual; esto se realizó investigando las canteras utilizadas en proyectos anteriores ejecutados en la zona y aquellos utilizados por el MTC para la construcción y rehabilitación de la carretera.

Ubicados los depósitos se procedió a su investigación geotécnica mediante la ejecución de pozos exploratorios hasta una profundidad de 1.50 m bajo el nivel de terreno natural en donde fue requerido. Se realizó la descripción de la calicata y se obtuvieron muestras representativas del material, anotándose el espesor de las capas. Las muestras representativas fueron remitidas al laboratorio del consorcio ubicado en la ciudad de Puno.



Se prepararon reportes de perforación de canteras para cada una de ellas en las que se señalan las características físicas del depósito y del material.

c) LOCAL:

"Estudio definitivo para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera chongoyape – Cochabamba – Cajamarca, tramo: chota – Bambamarca – hualgayoc". Por Ing. Yadira Enríquez Minaya. Agosto 2010.

Los suelos obtenidos en la cantera chota y Ilaucano no se utilizaran directamente ni en condiciones naturales, es necesario realizar un tratamiento para alcanzar las características exigidas en las especificaciones generales.

- ✓ La extracción de los suelos en el cauce del rio deberá efectuarse con excavadora con el fin de remover el material y provocar el prelavado con las mismas aguas del cause del rio, esto garantizara un equivalente de arena similar al obtenido sin lavar.
- ✓ El material extraído mediante excavador será transportado a una planta de tratamiento de trituración primaria de donde se obtendrá tamaños entre 3" y 4" para luego ser transportados hasta una planta de trituración secundaria para obtener gravilla con cara angular y arena chancada.

1.2 BASES TEORICAS:

a) ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO:

La variedad de tamaños de partícula que ofrece un suelo caracteriza a este, por lo que la granulometría, que hace referencia a estos tamaños es,



posiblemente, la propiedad más característica de un suelo. El tamaño de las partículas de un suelo establece ya una primera clasificación de los mismos en bloques, gravas, arenas, arcillas y limos.

Es muy útil determinar la granulometría conociendo la proporción en la que intervienen los distintos tamaños de partículas en una porción de suelo. Además, la facilidad de medida de esta propiedad hace que sea la más empleada en las clasificaciones de suelos.

El suelo, generalmente, contiene diversos tamaños de partículas. Se suele distinguir entre la fracción gruesa, que abarca las partículas visibles a simple vista (gravas y arenas), y la fracción fina, que comprende las partículas que no lo son (limos y arcillas). La granulometría de la fracción gruesa se determina por medios mecánicos, mientras que la de la fracción fina se determina por sedimentación.

El ensayo granulométrico por tamizados, para la fracción gruesa, consiste en determinar la masa de suelo, seco y desmenuzado, retenida entre dos tamices consecutivos de una serie determinada; se calcula entonces la proporción en masa de lo retenido respecto del total de la muestra. Con estos datos se establece finalmente la proporción en masa que pasa por cada tamiz, que se suele expresar en porcentaje. La curva granulométrica es la representación gráfica de estos datos (fracciones que pasan por cada tamiz), y por razones prácticas se realiza en ejes semilogarítmicos, con los tamaños en un eje de abscisas logarítmico y los porcentajes pasantes en un eje de ordenadas lineal.

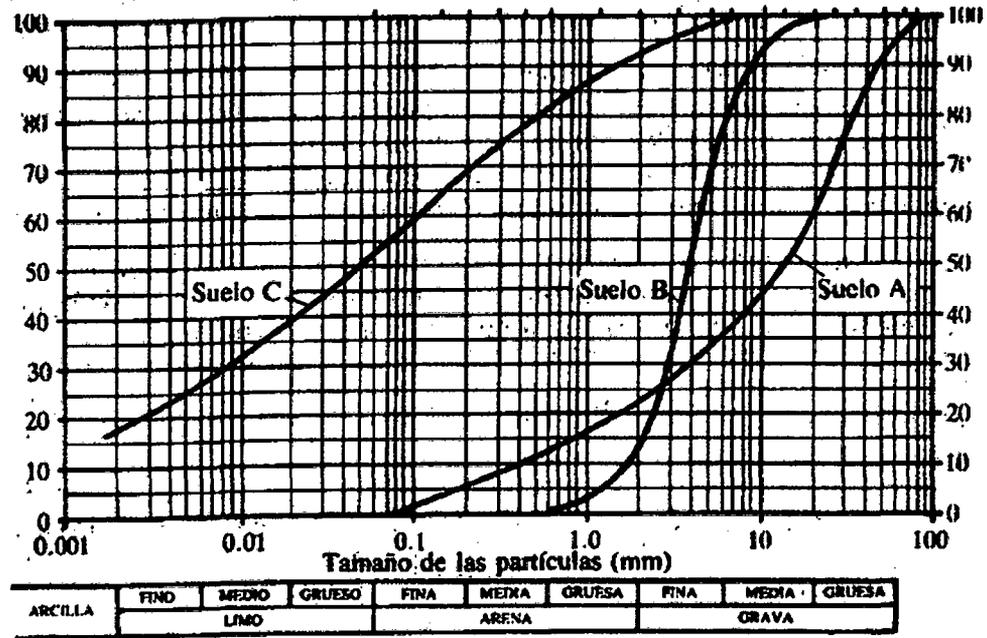


Gráfico N° 01 Gráfica Granulométrica

(Obtenido de "http://es.wikipedia.org/wiki/Curva_granulom%C3%A9trica")

La serie de tamices que se emplee en cada caso debe estar dentro de una serie normalizada más amplia. Normalmente para realizar la identificación del suelo es suficiente con dos o tres tamices, sin embargo, la curva puede revelar discontinuidades y, con ello, detalles importantes del origen del suelo, por lo que conviene contar con algún tamiz más. Las series normalizadas más utilizadas son la EN (España y Europa) y la ASTM (Estados Unidos).

Se han definido dos indicadores muy interesantes, relacionados con la forma de la curva granulométrica y, por extensión, con las propiedades del suelo que depende estrechamente de estas como son el Coeficiente de uniformidad (C_u) y el Coeficiente de curvatura (C_c).

La granulometría de un suelo establece una primera clasificación de estos, como se apuntaba anteriormente, dentro de unos grupos, con



propiedades generales muy parecidas, debido a la influencia que tiene el tamaño de las partículas del suelo en las propiedades del mismo. Entre las propiedades que dependen de la granulometría destacan la porosidad, la permeabilidad y la resistencia a esfuerzos cortantes.

En cuanto a la porosidad, un suelo discontinuo tiene una mayor proporción de aire por unidad de volumen y, por tanto, una compacidad máxima menor. En consecuencia, la granulometría influye en la densidad del suelo.

En relación con la permeabilidad, el tamaño de las partículas y la proporción de las más pequeñas puede hacer que aunque la proporción de huecos sea elevada, estos puedan ser pequeños. Y por su parte, la permeabilidad del suelo está íntimamente relacionada con el tamaño de los huecos, ya que estos determinan la velocidad del agua en el medio poroso. El diámetro efectivo (D10), definido como la abertura del tamiz por el que pasa el 10% de la muestra, está muy relacionado con la permeabilidad.

El factor intrínseco del que depende el ángulo de rozamiento es la granulometría, por lo que la capacidad de los suelos de resistir esfuerzos cortantes depende en gran medida de esta.

Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o USCS. El ensayo es importante, ya que gran parte de los criterios de aceptación de suelos



para ser utilizados en bases o sub bases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc., depende de este análisis.

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y Numerados, dispuestos en orden decreciente.

Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0, 074 mm. (74 micrones) se Utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicados.

EQUIPO NECESARIO

- Balanza con sensibilidad de 0.1 % del peso de la muestra a ensayarse.
- Juego de tamices: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", N° 4, N° 8, N° 10, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, incluyendo tapa y fondo, siendo las mallas de abertura cuadrada.
- Horno de graduación de temperatura de hasta 110°C como mínimo.
- Bandeja con capacidad suficiente para colocar la muestra.
- Depósito para lavar la muestra.

Procedimiento:

- Se seca la muestra en el horno.
- Es pesado la muestra después de su enfriado y se registra el peso.
- Para asegurarse que la muestra es representativa es necesario que se cuartee la muestra total.
- Si la muestra contendrá apreciable cantidad de gravas y muy pocos finos el lavado se puede omitir.



- Una vez obtenida la muestra será necesario hacer pasar toda la muestra por el tamiz #4 para diferenciar la cantidad de suelo fino y grueso.
- Obteniendo la proporción de SG y SF tomaremos un % representativo para suelo fino por ser de mayor proporción y a partir de este peso inicial aplicaremos su granulometría.
- Llevaremos las muestras al juego de tamices y comenzaremos la agitación manual con un movimiento rotatorio y horizontal.
- Los tamices que están previamente ordenados por el tamaños de las cribas son pesados encontrándose axial los pesos retenidos por cada tamiz.
- Calculamos el % que pasa dividiendo la cantidad inicial por el peso total realizando una diferencia obtendremos un % del pasante acumulado.

Cálculo y expresión de resultado

- Expresar el % de la masa retenida en cada tamiz respecto de la masa seca total.

$$\text{Porcentaje retenido en el tamiz} = \frac{R_i}{M_f} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

- Calcular el % acumulado de la masa seca total que pasa por cada tamiz, excluyendo el tamiz 0,063 mm.

$$\text{Porcentaje que pasa por el tamiz} = 100 - \left(\frac{\sum R_i}{M_f} \times 100 \right) \dots \dots \dots (2)$$

- Calcular el % de finos (f) que pasa por el tamiz de 0,063 mm utilizando la siguiente expresión:



$$f = \frac{(M_1 + M_2) + P}{M_1} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

- Validar los resultados obtenidos, comprobando que la suma de las masas de todas las fracciones (Ri) y la masa de material tamizado que queda en el fondo (P) no difiere en más de un 1 % de la masa M2. En caso contrario habría que repetir el ensayo.

$$\frac{M - (\sum R + P)}{M} \times 100 \leq 1\% \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

Ri es la masa retenida por el tamiz i (kg)

M2 es la masa seca tra el lavado (kg)

M1 es la masa seca de la muestra de ensayo (kg)

P es la masa de material tamizado que queda en el fondo

(Manual del ingeniero civil. Tomo I Mac Graw Hill: MEXICO. Sección 5-6.).

b) RESISTENCIA A LA ABRASION:

Esta es la prueba que más se aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, menor de 1½" (38 mm), utilizando la máquina de Los Ángeles.

El procedimiento para determinar el desgaste por abrasión de agregado grueso mayor a ¾" (19 mm) utilizando la máquina de Los Ángeles, se describe en la ASTM C-535. El porcentaje de desgaste determinado en ambas condiciones (ASTM C 131 y ASTM C-535) no es el mismo.

La muestra consistirá de agregado limpio y debe ser representativa del material que se vaya a ensayar.



Una vez que se alcanza el número requerido de revoluciones del tambor, se tamiza el agregado para determinar el porcentaje de agregado que ha sido reducido hasta un tamaño menor que 1.7mm (tamiz N°12). Excepto en el caso de la escoria siderúrgica, la prueba parece dar un índice útil de la integridad estructural global del agregado.

(T. William Lambe, Mecánica de Suelos. México, 1999. ISBN 968-18-1894-6.).

Máquina de los Ángeles

La máquina de los Ángeles tiene las siguientes características. Consiste en un tambor cilíndrico hueco de acero, cerrado en sus extremos, que tiene un diámetro interior de 28pulgadas (711 ± 5 mm) y longitud interior de 0,2 pulgadas (508 ± 5 mm).

Este tambor se montara sobre ejes fijados en sus extremos, pero sin penetrarlo. De tal manera que pueda girar alrededor de estos ejes, en posición horizontal, con una tolerancia de 1:100 en su pendiente. Para facilitar la introducción de la muestra, deberá construirse una puerta en el tambor. Esta puerta deberá ser hermética, para evitar salida de polvo, debidamente fijada al tambor y fácil de quitar.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla.



TIPO	NUMERO DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 25

Tabla N° 01 Pesos de la carga abrasiva

Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm

(1½) Norma MTC E207-1999

Equipo:

Estufa de secado: se debe mantener la temperatura uniforme.

Maquina de los Ángeles: se describe en la ASTM C-535. El porcentaje de desgaste determinado en ambas condiciones (ASTM C 131 y ASTM C-535) no es el mismo.

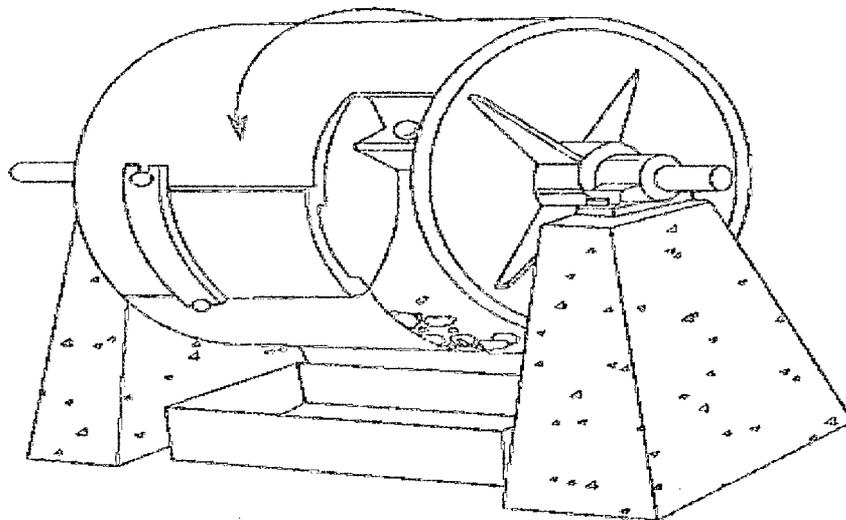
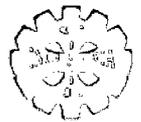


Figura N° 01 Máquina de los Ángeles

Abrasión Los Angeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm

(1½) Norma MTC E207-1999



Balanza: Conforme a ala norma AASHTO, dispositivos para pesar en los ensayos de materiales.

Tamiz: Tamiz # 12 (1.7mm).

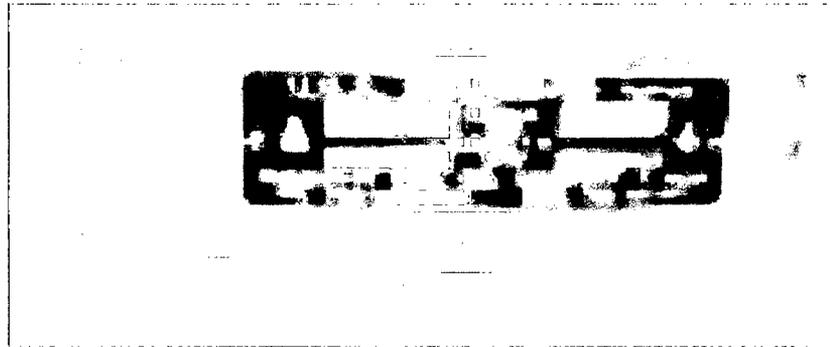


Figura N° 02 Tamiz # 12 (1.7mm)

Horno: Capaz de mantener constante una temperatura de 110° C (230^º F).

Carga: La carga consistirá de esferas de acero de aproximación de 46.8 mm de diámetro y una masa entre 390g y 455g. La carga dependerá de la gradación de la muestra de ensayo.

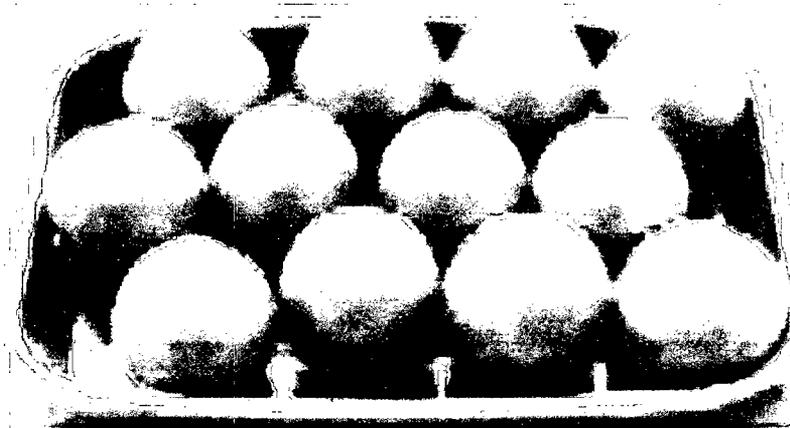


Figura N° 03 Carga (masa entre 390g y 455g)



Procedimiento:

- Se mide unos 5000 grs. de muestra seca con una aproximación de 1 gramo y se coloca junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; se hace girar este con una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta que la velocidad angular es constante.
- Después se retira el material del cilindro y luego se hace pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la Norma ICONTEC 77. El material retenido en el tamiz #12 debe ser lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 °C y 110 °C. Al día siguiente se cuantifico la muestra eliminando los finos y luego fue pesada

$$\text{Calculo del porcentaje de desgaste} = \left[\frac{P_a - P_b}{P_a} \right] \dots\dots\dots (5)$$

c) CONTENIDO LIMITE DE HUMEDAD ASTM :

Los agregados pueden tener algún grado de humedad lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros.

Las partículas de agregado pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

- Totalmente seco. Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante. (generalmente 24 horas).
- Parcialmente seco. Se logra mediante exposición al aire libre.



- Saturado y Superficialmente seco. (SSS). En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado sólo se logra en el laboratorio.
- Totalmente Húmedo. Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial.

La determinación de contenido de humedad es un ensayo de suelos de laboratorio que sirve para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco.

Cálculo y expresión de resultado

$$\% \text{ humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

P_i= Peso de la muestra Humada en gr.

P_f= Peso de la muestra seca en gr.

(Manual del Ingeniero Civil. Tomo I Mac Graw Hill: Mexico).

d) LIMITE DE ATTERBERG – ASTM:

Límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer



el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

✱ **LIMITE LIQUIDO:**

El límite líquido es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo remoldeado o amasado. En las imágenes a continuación podemos observar un esquema hipotético del estado de un suelo antes y después del ensayo de Límites de Atterberg:

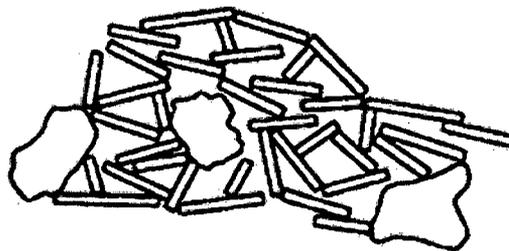


Figura N° 04 Estructura del Suelo Inalterado

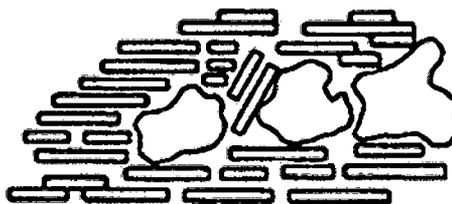


Figura N° 05 Estructura del Suelo Remodelado o Amasado

Se define como el contenido de agua necesario para que la ranura de un suelo ubicado en el equipo de Casagrande, se cierre después de haberlo dejado caer 25 veces desde una altura de 10 mm.

También puede definirse como el menor contenido de humedad de un suelo que puede fluir por vibración.

El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación. Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en lo posible los errores del operador en la determinación del mismo (figura 1).

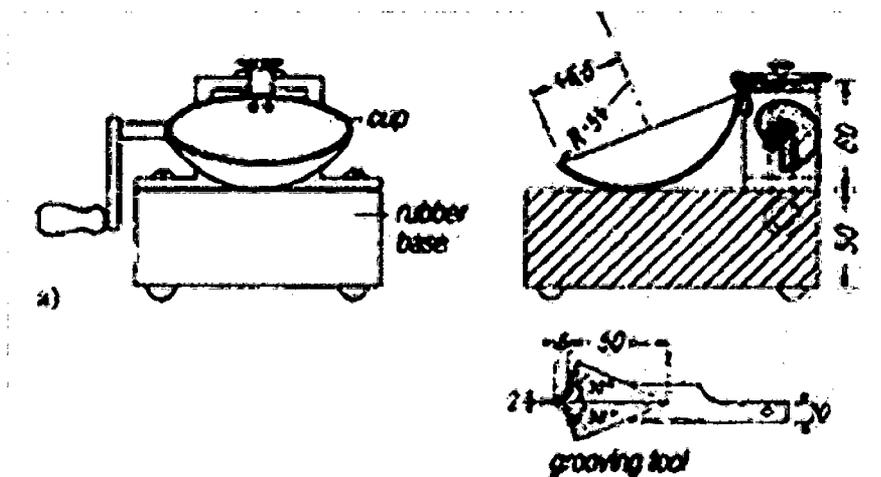


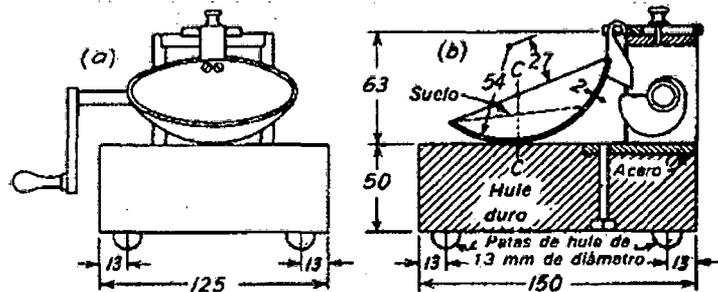
Figura N° 06 Casagrande

Casagrande desarrolló un dispositivo normalizado como se muestra en la Figura 2 y descrito por la norma ASTM D 423 excepto por el acanalador utilizado. El límite líquido se estableció como el



contenido de agua de un suelo cuando para 25 golpes ejercidos por la caída de la taza (a razón de 2 golpes por segundo) desde la altura de 1 cm., dos secciones determinadas de suelo separadas por una ranura normalizada de 2 mm de espesor en su parte inferior y 11 mm en su parte superior y una altura de 8 mm, cerraran en una distancia de ½ pulgada a lo largo de la parte inferior de la ranura.

Aparato de Casagrande



Acanalador

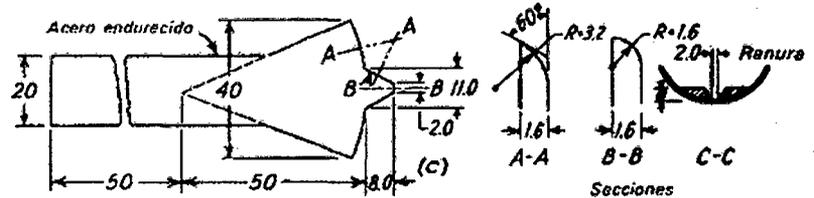


Figura N° 07 Dispositivo para la determinación del límite líquido

La altura de caída, como las dimensiones del cascador y las dimensiones de la ranura, como el material de la base, etc.; son factores de influencia en los resultados obtenidos.

Para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo detallado en la Figura 2, podemos decir que para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento.

La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los



suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 22 g/cm².

(Manual del Ingeniero Civil. Tomo I Mac Graw Hill: México. Sección 5-6).

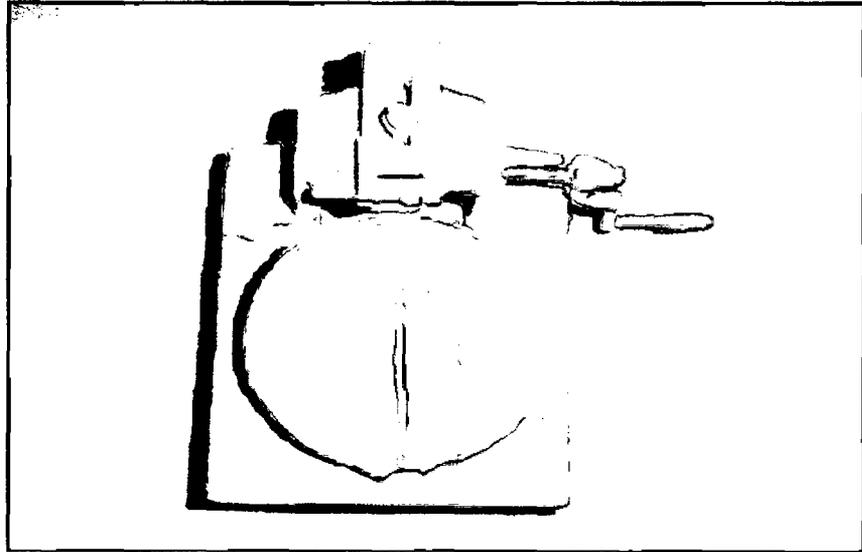


Figura N° 08 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido

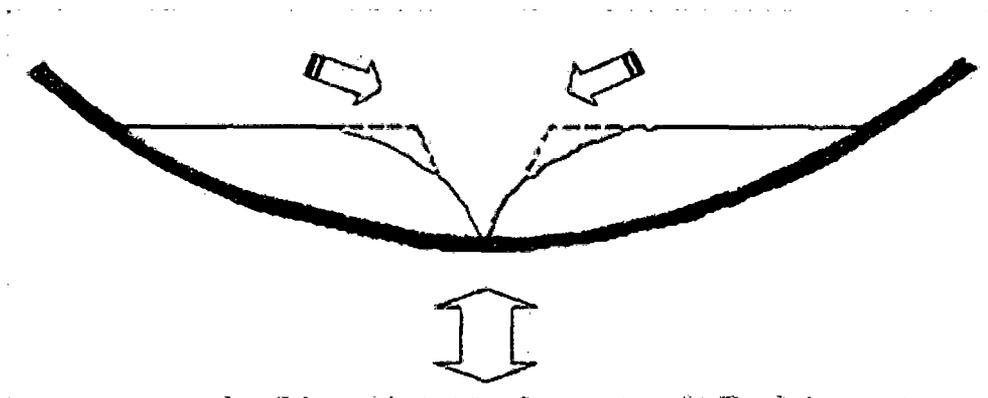


Figura N° 09 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido

EQUIPO:

- Copa de casagrande.
- Taras, espátula, acanalador.
- Recipientes para mezclado.
- Balanza aproximación 0.01.g.



PROCEDIMIENTO:

Preparar la muestra seca, disgregándola con el mortero y pasarlo por la malla No. 40 para obtener una muestra representativa de unos 250 gr. aproximadamente.

- Colocar el suelo pasante malla No. 40 en una vasija de evaporación y añadir una pequeña cantidad de agua, dejar que la muestra se humedezca.
- Mezclar con ayuda de la espátula hasta que el color sea uniforme y conseguir una mezcla homogénea. La consistencia de la pasta debe ser pegajosa.
- Se coloca una pequeña cantidad de masa húmeda en la parte central de la copa y se nivela la superficie.
- Luego se pasa el acanalador por el centro de la copa para cortar en dos la pasta de suelo.
- La ranura debe apreciarse claramente y que separe completamente la masa del suelo en dos partes.
- La mayor profundidad del suelo en la copa debe ser igual a la altura de la cabeza del acanalador ASTM.
- Si se utiliza la herramienta Casagrande se debe mantener firmemente perpendicular a la superficie de la copa, de forma que la profundidad de la ranura sea homogénea.
- Poner en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y suministrar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura en 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ").



- Cuando se cierre la ranura en $\frac{1}{2}$ ", registrar la cantidad de golpes y tomar una muestra de la parte central para la determinación del contenido de humedad

✳ **LIMITE PLASTICO:**

Es el contenido de humedad, expresado en porciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado semi-sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el mas bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. De diámetro.

EQUIPO:

- Balanza, con sensibilidad a 0.01 gr.
- Horno capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Espátula de acero inoxidable.
- Cápsula de evaporación para el mezclado, puede ser de porcelana, vidrio ó plástico.
- Taras numeradas.

PROCEDIMIENTO:

- Se trabaja con el material preparado para el límite líquido se toma aproximadamente 20gr.
- Luego se amasa el suelo y se deja que pierda humedad hasta una consistencia a la cuál pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo y mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio.



- El rollito debe ser adelgazado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3.2 mm (1/8 pulg.)
- La prueba continúa hasta que el rollito empieza a rajarse y tiende a desmoronarse.
- Una vez que se ha producido el límite plástico se debe colocar el rollito en un recipiente de peso conocido y se pesa para determinar el contenido de humedad.
- Seguidamente se vuelve a repetir la operación tomando otra porción de suelo.
- El límite plástico es el promedio de ambas determinaciones

*** INDICE DE PLASTICIDAD:**

Se puede definir el Índice de Plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

Índice de Plasticidad = Límite Líquido - Límite Plástico.

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el Índice de Plasticidad se informará con la abreviatura NP (No plástico).
- Asimismo cuando el límite plástico resultante igual o mayor

e) PROCTOR MODIFICADO (ASTM D – 1557):

Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 5 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 ó 56 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante.



El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

(Bowles, Joseph E. (2010), "Physical and Geotechnical properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.

IMPORTANCIA Y USO:

El suelo utilizado como relleno en Ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad ó permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería. Los ensayos de Compactación en Laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de agua que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas, y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua. Durante el diseño de los rellenos de Ingeniería, se utilizan los ensayos de corte consolidación permeabilidad u otros ensayos que requieren la preparación de especímenes de ensayo compactado a algún contenido de agua para algún Peso Unitario. Es practica común, primero determinar el optimo contenido de humedad (w_o) y el Peso Unitario Seco ($\gamma_{m\acute{a}x}$)



mediante un ensayo de compactación. Los especímenes de compactación a un contenido de agua seleccionado (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o) y a un Peso Unitario seco seleccionado relativo a un porcentaje del Peso Unitario Seco máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$). La selección del contenido de agua (w), sea del lado húmedo o seco del óptimo (w_o) ó al óptimo (w_o), y el Peso Unitario Seco ($\lambda_{m\acute{a}x}$) se debe basar en experiencias pasadas, o se deberá investigar una serie de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

(Bowles, Joseph E. (2010), "Physical and Geotechnical properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.)

Equipo:

- **Ensamblaje del Molde.**- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos y con capacidad que se indican en Figuras 1 y 2. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo "partido" deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección.

(Das, Braja M. (2009) "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores)



Figura N° 10 Ensamblaje del Molde

- El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.
- (Das, Braja M.(2009) "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores).
- **Molde de 4 pulgadas.**- Un molde que tenga en promedio $4,000 \pm 0,016$ pulg ($101,6 \pm 0,4$ mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,0333 \pm 0,0005$ pie³ (944 ± 14 cm³).
- **Molde de 6 pulgadas.**- Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ (2124 ± 25 cm³).
- **Pisón ó Martillo.**- Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $18 \pm 0,05$ pulg ($457,2 \pm 1,6$ mm) de la superficie de espécimen.



Nota 1: Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó 0,4536 kg ó 1N es igual a 0,2248 libras-masa ó 0,1020 kg.

- **Extractor de Muestras (opcional).**- Puede ser una gata, estructura ú otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- **Balanza.**- Una balanza de aproximación de 1 gramo.

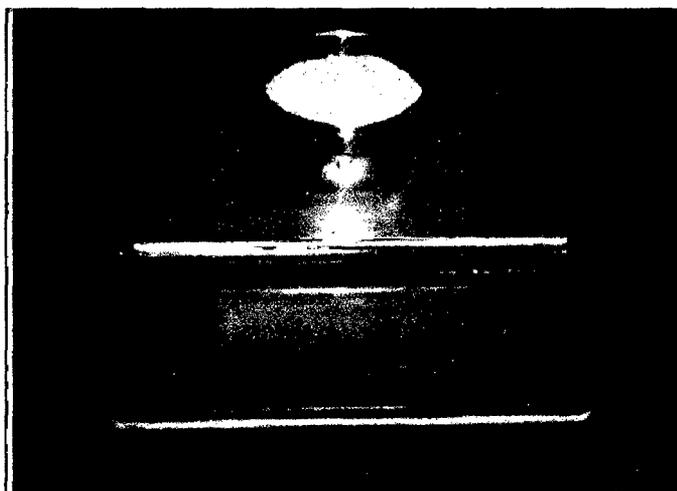


Figura N° 11 Balanza

Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) a través de la cámara de secado.

(Das, Braja M.(2009) "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores).

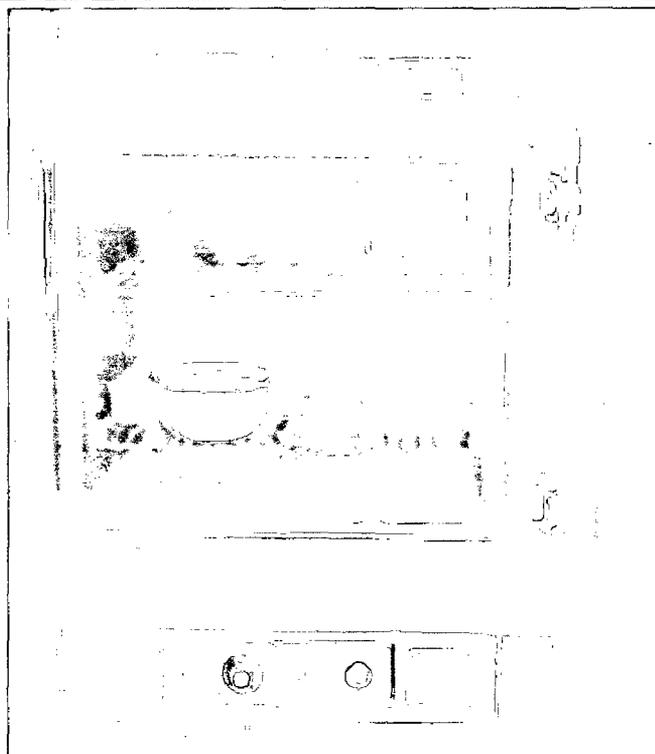
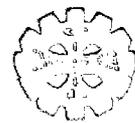


Figura N° 12 Horno de Secado

- **Regla.-** Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,005$ pulg ($\pm 0,1$ mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que $1/8$ pulg (3mm).
- **Tamices ó Mallas.-** De $3/4$ pulg (19,0 mm), $3/8$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11 ("Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo").
- **Herramientas de Mezcla.-** Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo muestra de suelo con incrementos de agua.



METODO "A":

- Molde.- 4 pulg. de diámetro (101,6mm).
- Material.- Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).
- Capas 5
- Golpes por capa 25
- Uso.- Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).
- Otros Usos.- Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

(T. William Lmbe, Mecanica de Suelos. Mexico 2010. ISBN 968-18-2004-6).

METODO "B":

- Molde.- 4 pulg. (101,6 mm) de diámetro.
- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pul (9,5 mm).
- Capas 5
- Golpes por capa 25
- Usos.- Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9,5 mm).
- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de degradación pueden ser ensayados usando Método C.

(T. William Lmbe, Mecanica de Suelos. Mexico 2010. ISBN 968-18-2004-6).



METODO "C":

- Molde.- 6 pulg. (152,4mm) de diámetro.
- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).
- Capas.- 5
- Golpes por Capa.- 56
- Usos.- Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz $\frac{3}{8}$ pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).
- El molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.
- Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extradimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo usando el método de ensayo ASTM D-4718.
- Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo Peso Unitario Seco no estará bien definida y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density and Unit Weight of Soil Using a Vibratory Table).
(T. William Lambe, Mecánica de Suelos. Mexico 2010. ISBN 968-18-2004-6).

**PROCEDIMIENTO:****MUESTRAS:**

La muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 35 lbm (16 kg) y para el Método C es aproximadamente 65 lbm (29 kg) de suelo seco. Debido a esto, la muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 50 lbm (23 kg) y 100 lbm (45 kg) respectivamente. Determinar el porcentaje de material retenido en la malla N° 4 (4,75mm), 3/8pulg (9,5mm) ó 3/4pulg(19.0mm) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino (MTC E – 204). Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información es deseada.

PREPARACION DE APARATOS:

Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación al gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario. Chequear que el ensamblado del pisón este en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.



PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO:

SUELOS:

- No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.
- Utilice el método de preparación húmedo

Método de Preparación Húmeda (Preferido): Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz N° 4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó 3/4 pulg (19,0 mm), dependiendo del Método a ser usado(A, B ó C).

Determine el contenido de agua del suelo procesado.

- Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, por adiciones de agua y mezcla. Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación. Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.



Nota: Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

- Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 13 lbm (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Para obtenerlos contenidos de agua del espécimen, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C). Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación.

Método de Preparación Seca. Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60



°C). Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: N°4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó ¾ pulg (19,0mm). Durante la preparación del material granular que pasa la malla ¾ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 3/8 pulg de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

- Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes.
- Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 13 libras (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes tengan los valores descritos anteriormente. Seguir la preparación del espécimen, para los suelos secos ó adición del agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

Compactación.-Después del curado si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

- Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.
- Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El método de enlace ó unión al cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.
- Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro



del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total desuelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación. Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas (101,6 mm) ó 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Nota: Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

- Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía



firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

- Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.
- Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde.
- Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.
- Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500gr del material de los lados cortados. Obtener el contenido de humedad.



- Después de la compactación del último espécimen, comparar los Pesos Unitarios Húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y Plotear el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario seco.

CALCULOS:

- Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado, Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos (ver ejemplo, Fig.3). Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,1 lbf /pie³ (0,2 kN/m³) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el máximo Peso Especifico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D4718 ("Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas").



Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

- Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas con el uso de la formula (4) (ver ejemplo, Fig.3).

Nota: La curva de saturación al 100% es una ayuda en el bosquejo de la curva de compactación. Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92% á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

Nota: La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva saturación completa.

- Contenido de Agua, w.
- Peso Unitario Seco.- Calcular la densidad húmeda (Ec 1), la densidad seca (Ec 2) y luego el Peso Unitario Seco (Ec 3) como sigue:

$$\rho_m = \frac{M_s - M_{\text{vaciado}}}{1000 + v} \% \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

ρ_m =Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m³)



M_1 = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)

$M_{m\bar{d}}$ =Masa del molde de compactación (kg)

V = Volumen del molde de compactación (m3)

$$\rho_{\bar{d}} = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}} \% \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$\rho_{\bar{d}}$ =Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m³)

W = contenido de agua (%).

$$\gamma_{\bar{d}} = 62.43 \text{ pd en lbf/ft}^3 \% \dots \dots \dots (10)$$

$$\gamma_{\bar{d}} = 9,807 \text{ pd en KN/ft}^3 \% \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

$\gamma_{\bar{d}}$ =Peso unitario seco del espécimen compactado.

En el cálculo de los puntos para el ploteo de la curva de 100% de saturación o curva de relación de vacíos cero del peso unitario seco, seleccione los valores correspondientes de contenido de agua a la condición de 100% de saturación como sigue:

$$W_{Sat} = \frac{(M_w) \cdot (\delta_w)}{(\gamma_{\bar{d}}) \cdot (G_s)} \times 100 \% \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

Mw = Masa de agua que llena el molde

δ_w = Peso específico del agua

Nota.-La gravedad específica puede ser calculada para los especímenes de prueba en base de datos de ensayos de otras



muestras de la misma clasificación de suelo y origen. De otro modo sería necesario el ensayo de Gravedad Específica.

T. William Lambe, Mecánica de Suelos. México, 1999. ISBN 968-18-1894-6.

ASTM D4318-05 Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils. (5) Das, Braja M. (2001), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores.

Bowles, Joseph E. (1984), "Physical and Geotechnical Properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.

(ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR):

El CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración dentro de la muestra de suelo compactada a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación, esto se puede expresar como:

$$C.B.R = \frac{\text{Carga Unitaria de Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patron}} * 100 \dots \dots \dots (13)$$

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificado).

A menudo se compactan dos moldes de suelo: uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejarlo saturar por un



periodo de 96 horas; este último se sobrecarga con un peso similar al del pavimento pero en ningún caso menor que 4.5 kg. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente.

En ambos ensayos, se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utiliza durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

- Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
- Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una velocidad de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Se toman lecturas de carga versus penetración cada 0.64 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual se toman lecturas con velocidades de penetración de 2.5 mm/min hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor del CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización como base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas.

Equipo:

- Equipo de CBR:
 - Molde de compactación (con collar y base).



- Disco espaciador

- Martillo de compactación
- Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm
- Pesos para sobrecarga
- Máquina de compresión equipada con pistón de penetración CBR capaz de penetrar a una velocidad de 1.27 mm/min.

Procedimiento:

- Preparar una muestra de suelo de grano fino (en cantidad suficiente para hacer 6 probetas) menor que el tamiz # 4, al contenido de humedad óptima del suelo determinado con el ensayo de Proctor Modificado.
- Antes de compactar el suelo en los moldes, tomar una muestra representativa para determinar su contenido de humedad (por lo menos 100 g si el suelo es de grano fino).
- Pesar los moldes sin su base ni el collar.
- Para cada molde ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel filtro.
- Fabricar 6 probetas de 5 capas cada una: 2 de 12 golpes por capa, 2 de 26 golpes por capa y 2 de 56 golpes por capa; dejar saturando una muestra de 12, de 26 y de 56 golpes por capa.
- Para cada molde retirar la base, el collar y el disco espaciador, pesar el molde con el suelo compactado y determinara el peso unitario total del suelo.



- Colocar un disco de papel filtro sobre la base, invertir la muestra y asegurar el molde a la base de forma que el suelo quede en contacto con el papel filtro.

Para muestras no saturadas, llevar a cabo los siguientes pasos:

- Colocar suficientes pesas ranuradas (no menos de 4.5 kg) sobre la muestra de suelo para simular la presión de sobrecarga requerida.
- Colocar la muestra en la máquina de compresión y sentar el pistón sobre la superficie de suelo utilizando una carga inicial no mayor de 4.5 kg. Fijar el cero en los deformímetros de medida de carga y de penetración (o deformación).
- Hacer lecturas de deformación o penetración y tomar las respectivas lecturas del deformímetro de carga. Extruir la muestra del molde y tomar dos muestras representativas adicionales para contenido de humedad.

Para muestras no saturadas:

- Colocar la placa perforada con el vástago ajustable sobre el suelo compactado y aplicar suficientes pesas para obtener la sobrecarga deseada, cuidando que no sea inferior a 4.5 kg. Asegurarse de usar un disco de papel filtro entre la base perforada del vástago y el suelo para evitar que el suelo se pegue a la base del vástago
- Sumergir el molde y las pesas en un recipiente de agua de forma que el agua tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra y ajustar el deformímetro de carátula



(con lecturas al 0.01 mm) en su respectivo soporte; marcar sobre el molde los puntos donde se apoya el soporte de forma que pueda removerse y volver a colocarlo sobre el molde en el mismo sitio cuando se desee hacer una lectura.

- Ajustar el cero del deformímetro de expansión y registrar el tiempo de comienzo del ensayo. Tomar las lecturas a 0, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido; el ensayo de expansión puede terminarse después de 48 horas si las lecturas en el deformímetro de expansión se mantienen constantes por lo menos durante 24 horas.
- Al final de las 96 horas de inmersión, sacar la muestra y dejarla drenar por espacio de 15 min; secar completamente la superficie superior de la muestra con toallas de papel.
- Pesar la muestra sumergida incluyendo el molde.
- Realizar los pasos 8 al 10 para cada muestra.
- Tomar muestras para contenido de humedad de las muestras saturadas de la siguiente forma:

2 dentro de los 3 cm superiores del suelo

2 dentro de los 3 cm inferiores del suelo

2 en el centro de la muestra de suelo.

Cálculos:

- Dibujar una curva de resistencia a la penetración en libras por pulgada cuadrada (psi) o kPa versus la penetración en pulgadas o mm. En un mismo gráfico las muestras secas y en otro las



muestras saturadas. Dibujar posteriormente estas curvas en un mismo gráfico comparando las resistencias secas y saturadas.

- Calcular el CBR para una penetración de 0.01 pulgadas (carga patrón 3000 psi) para los 6 ensayos; dibujar en un mismo gráfico la curva CBR (%) versus densidad seca (kg/cm^3), una curva para las muestras secas y otro para las muestras saturadas. Realizar otro gráfico con las mismas características para una penetración de 0.02 pulgadas (carga patrón 4500 psi).

1.3. Definición de Términos:

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

ABRASIVO: Cualquier roca, mineral u otra sustancia que debido a su superior dureza, tenacidad, consistencia u otra propiedad, es apropiado para moler, afilar, cortar, frotar u otro uso similar.

ABSORCIÓN: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.



AGREGADO FINO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

Das, Braja M. (2001), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores.

Bowles, Joseph E. (1984), "Physical and Geotechnical Properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.

AGREGADO GRUESO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

ARENA: Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la sub rasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

CARREO: Transporte de materiales a diferentes distancias en el área de la obra.



CANTERA: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

FINOS: Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla Nº 200 (0,074 mm).

GRANULOMETRÍA: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

MATERIAL DE CANTERA: Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma.



CAPITULO II: MATERIALES Y METODO

2.1. CANTERA 3M:

a) Ubicación Geográfica:

La Cantera denominada "Cantera 3M" se encuentra ubicada en:

Departamento: Cajamarca.

Distrito: Cajamarca.

Provincia: Cajamarca.

Altura promedio 2754 m.sn.m.

Ubicado al Nor Este de la ciudad de Cajamarca, a una distancia de 3.0 Km de la plaza de armas. Frente de la Cantera Bazán.

Coordenadas: U.T.M.

Norte: 9210997.485

Este: 774025.431

Ubicación de la cantera 3M de la investigación



Figura 13: País: Perú

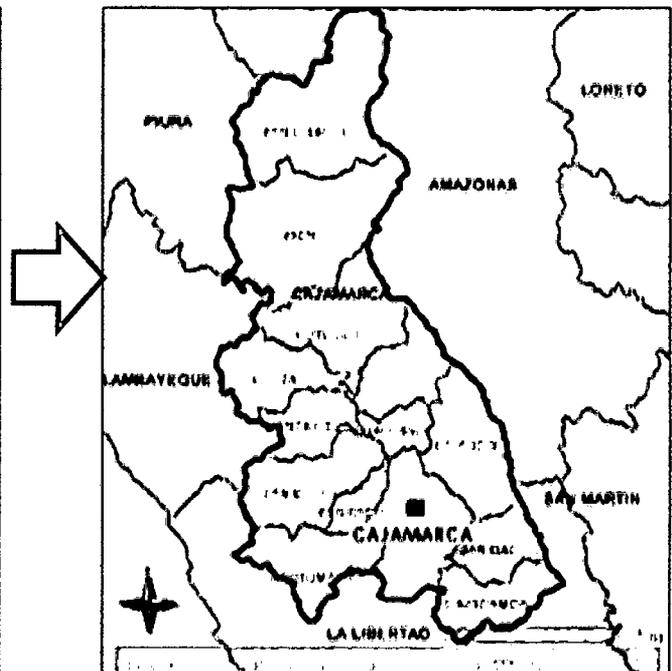


Figura 14: Departamento: Cajamarca



Figura 15 Provincia: Cajamarca

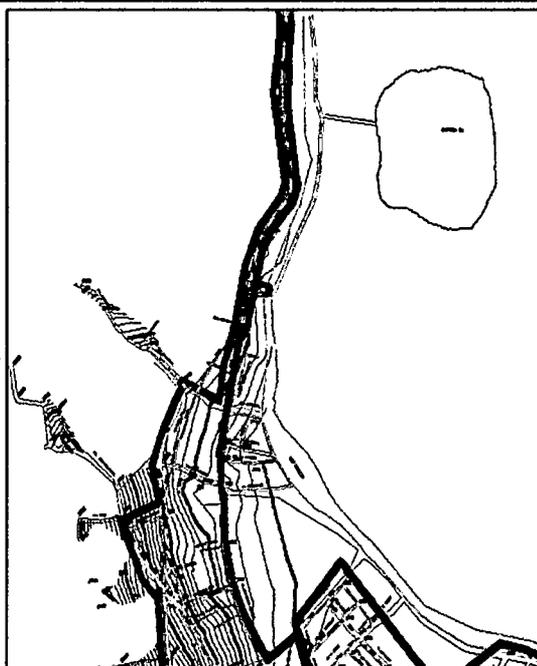


Figura 16 Ubicación Cantera 3M

2.2. MATERIALES:

En Campo se Utilizo:

- Costales.
- Palana tipo cuchara.
- Pico.
- Cámara fotográfica.

2.3. EQUIPO:

- Balanza con sensibilidad de 0.1 % del peso de la muestra a ensayarse.
- Juego de tamices: $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", N° 4, N° 8, N° 10, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, incluyendo tapa y fondo, siendo las mallas de abertura cuadrada.
- Horno de graduación de temperatura de hasta 110°C como mínimo.
- Bandeja con capacidad suficiente para colocar la muestra.
- maquina de los Ángeles para determinar el desgaste del material grueso.



- Carga: La carga consistirá de esferas de acero de aproximación de 46.8 mm de diámetro y una masa entre 390g y 455g. La carga dependerá de la gradación de la muestra de ensayo.
- Casagrande para determinar el limite liquido
- **Ensamblaje del Molde:**
 - Molde de 4 pulgadas.-** Un molde que tenga en promedio $4,000 \pm 0,016$ pulg ($101,6 \pm 0,4$ mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,0333 \pm 0,0005$ pie³ (944 ± 14 cm³).
 - Molde de 6 pulgadas.-** Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ ($2\ 124 \pm 25$ cm³).
 - Pisón ó Martillo.-** Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $18 \pm 0,05$ pulg ($457,2 \pm 1,6$ mm) de la superficie de espécimen.
- Equipo de CBR:
 - Molde de compactación (con collar y base).
 - Disco espaciador
- Martillo de compactación
- Aparato para medir la expansión con deformímetro de carátula con precisión de 0.01 mm.

2.4. METODO:

Previo al estudio de campo de la carretera se efectuó una recopilación de los antecedentes, con la finalidad de tener una idea de la existencia de



canteras cercanas que podrían servir al proyecto en estudio y/o canteras que actualmente están en explotación o fueron utilizadas en el proyecto que se está investigando no encontrando canteras definidas. Por otro lado, se ha hecho una inspección de toda la zona del Proyecto a fin de determinar áreas geológicas apropiadas como depósitos de materiales para las diferentes capas de la estructura del pavimento.

Trabajos de Campo

Una vez ubicada la cantera 3M para su investigación y explotación, se efectuaron la respectiva extracción de muestras, a fin de determinar la naturaleza y composición de las mismas, así como su resistencia a la abrasión y rendimiento.

Tomadas las muestras para determinar en el Laboratorio sus características físicas – mecánicas así como también su calidad como agregados para la estructura del afirmado.

Trabajos de laboratorio

En esta etapa se realizamos todos los ensayos necesarios para encontrar las características físico – mecánicas del material en estudio.

Los resultados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos efectuado al material en investigación nos permitió describir las características físicas y mecánicas del material de la cantera en investigación, evaluando su utilización como material de afirmado.



Los ensayos que se realizaron a las muestras que se han extraído de la Cantera para la investigación de campo, empleando las normas ASTM vigentes, cuyos ensayos son los siguientes:

- ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO. (ASTM D – 422).
- RESISTENCIA A LA ABRASION Empleando la Maquina de los Ángeles. (ASTM C – 131)
- CONTENIDO LIMITE DE HUMEDAD ASTM. (ASTM D – 2216)
- LIMITE DE ATTERBERG. (ASTM D)
- LIMITE LÍQUIDO. (ASTM D – 423)
- LIMITE PLASTICO. (ASTM D – 424)
- INDICE DE PLASTICIDAD. (ASTM D – 424)
- PROCTOR MODIFICADO (ASTM D – 1557)
- (ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR). (ASTM D – 2216)



CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultado de la Investigación.

Basándose en la evaluación de campo y en la interpretación de los resultados de los ensayos de Laboratorio, se definió sus Usos, Tratamientos, como material de afirmado.

La ubicación, en esta etapa es referencial una vez que se realice los estudios correspondientes se darán las características de los materiales y se tendrá los resultados de las muestras en forma resumida.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se considera que las propiedades físicas y mecánicas del material de afirmado se tienen los siguientes resultados.

MATERIAL	ENSAYO	NORMA ASTM	NORMA MTC	RESULTADO DE LOS ENSAYOS
				PROMEDIO
Agregado Grueso	Abrasión los Ángeles	ASTM C 131	MTC E 207	43.05%
	CBR	ASTM D 1883	MTC E 219	63.53%
Agregado Fino	Limite Liquido	ASTM D 423	MTC E 110	20.25%
	Índice de Plasticidad	ASTM D 424	MTC E 111	N.P
Valor Relativo de Soporte C.B.R. al 100%				63.53%
Valor Relativo de Soporte C.B.R. al 95%				51.20%
Densidad Máxima (Proctor)				2.228gr/cc
Humedad Optima				6.28%

Tabla N 02 Elaboración propia: RESUMEN DE LOS RESULTADOS

**3.2. Discusión de Resultados.****DISCUSION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

MATERIAL	ENSAYO	NORMA ASTM	NORMA MTC	REQUERIMIENTO PARA AFIRMADO	RESULTADO DE LOS ENSAYOS	
				MTC DG - 2000	PROMEDI O	CUMPL E
Agregado Grueso	Abrasió n los Ángeles	ASTM C 131	MTC E 207	50% Max.	43.05%	NO
	CBR	ASTM D 1883	MTC E 219	40% Mim.	63.53%	SI
Agregado Fino	Limite Liquido	ASTM D 423	MTC E 110	35% Max.	20.25%	SI
	Índice de Plastici dad	ASTM D 424	MTC E 111	4 – 9% Max.	NP	NO
Valor Relativo de Soporte C.B.R. al 100%				40% Min.	63.53%	SI
Valor Relativo de Soporte C.B.R. al 95%				51.20%	SI
Densidad Máxima (Proctor)				2.228gr/c c
Humedad Optima				6.28%

Tabla N 03 Elaboración propia



El material esta conformado por una grava pobremente gradada, identificada según la clasificación AASHTO como A-2-4 (0) y GW según la clasificación USCS los finos que pasan la malla N° 40 es NP. La forma de las partículas es sub redondeada, T.M 4", presenta humedad baja en la muestra, pero generalmente los suelos están sumergidos. El agregado grueso presenta buena resistencia a la Abrasión con un valor promedio de 43.048.

En general el agregado de esta cantera presenta características mecánicas de buena calidad ya que el CBR al 100% de la Muestra es de 83.44% y al 95% de la Muestra es 51.20% en nuestra naturales.

Con los resultados obtenidos de la cantera 3M no se utilizara directamente como material para afirmado en condiciones naturales, es necesario realizar un tratamiento para alcanzar las características exigidas en la norma ASTM.

De la granulometría se obtuvo se obtuvo los siguientes resultados:

- El coeficiente de uniformidad $C_u=188.37$.
- El coeficiente de curvatura: $C_c=0.44$

El coeficiente de curvatura es menor que los valores comprendidos 1 y 3 por lo tanto es un material mal gradada.



CAPITULO IV: CONCLUSIONES

4.1 CONCLUSIONES:

- Se aprecia que la Cantera 3M es de naturaleza Grava mal gradada con varios tamaños con ausencias de tamaños intermedios y finos $IP=NP=0$. Debido a que se presenta ausencia de contenido de finos.
- La Cantera 3m, para su uso en el mejoramiento de carretera a nivel de afirmado se propone combinar materiales con Cantera Bazán la cual cumple con especificaciones de afirmado EG – 2000 MTC, la combinación de materiales en lo posible deberá cumplir con la consideraciones granulométricas (5% a 20% de finos pasa 200) e índice de plasticidad (4% a 9%) que se requiere para afirmados (Acap.302-EG-2000 MTC/15-17).
- De ensayo de consistencia se obtuvo los siguientes resultados:
 - Limite liquido $LL=20.43$.
 - Limite Plástico $LP= NP$.
 - Índice de Plasticidad $IP=NP$.



4.2: RECOMENDACIONES:

- Se deben realizar periódicamente los ensayos aquí realizados para estar verificando las propiedades y calidad de los materiales tanto de cantera como de río ya que estos pueden variar de un sitio a otro.
- A los Contratistas que hagan más seguimiento y controles a la calidad de las obras porque muchas veces los problemas son de los materiales.



CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Manual del ingeniero civil. Tomo I Mac Graw Hill: MEXICO. Sección 5-6.
- T. William Lambe, Mecánica de Suelos. México, 1999. ISBN 968-18-1894-6
- Bowles, Joseph E. (2010), "Physical and Geotechnical properties of Soils".Mc Graw-Hill Book Company
- Das, Braja M. (2009) "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores
- Maximum Index Density and UnitWeight of Soil Using a Vibratory Table).
- (T. William Lambe, Mecanica de Suelos. Mexico 2010. ISBN 968-18-2004-6).
- Vargas Llorach. Diseño Estructural de Pavimentos – Colegio de Ingenieros del Perú – 1989.
- Santiesteban D. (BITUMEN S.A). Tema: Agresividad en Afirmados – 1990.
- Valle Rodas, Raúl. Tema: Esponjamiento de Suelos – 1978.
- Reglamento Nacional: Norma E-50 Suelos y Cimentaciones. Tema: Normas de Ensayos.
- Resistencia al desgaste de los agregados de tamaño menores (1 ½") ASTM C – 131.
- Mac Graw Hill: Manual del Ingeniero Civil. Tomo I: México. Sección 5-6



- ASTM D4318-05 Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils.
- Bowles, Joseph E. (1984), "Physical and Geotechnical Properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.
- Das, Braja M. (2001), "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", International Thomson Editores.

**CAPITULO VI: ANEXOS****6.1 ANEXOS****CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD**

MUESTRA	CANTERA 3M		
	UNICO	UNICO	UNICO
TARA No	A	B	C
Peso suelo hum + tara	1635.00	1568.00	1547.00
Peso suelo seco + tara	1603.00	1535.30	1518.60
Peso tara	360.00	364.00	381.00
Peso del agua	32.00	32.70	28.40
Peso del suelo	1243.00	1171.30	1137.60
Contenido de humedad (%)	2.57	2.79	2.50
PROMEDIO (%)	2.62		

Tabla N ° 04 Contenido natural de humedad

LIMITE DE CONSISTENCIA

(NORMA MTC E 110 - 2000 MTC E 111 - 2000)

ENSAYO N°	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	4	1	2
Peso suelo hum+tara	54.31	54.69	52.44	53.43		
Peso suelo seco + tara	49.88	50.51	48.66	49.42		
Peso tara	29.42	30.05	29.14	29.64	NO PLASTICO	
Peso del agua	4.43	4.18	3.78	4.01		
Peso del suelo	20.46	20.46	19.52	19.78		
Contenido de humedad (%)	21.65	20.43	19.36	20.27		
Número de golpes	15	24	33	26	PROMEDIO (%)	

Tabla N ° 05 Limite Liquido – Limite Plastico

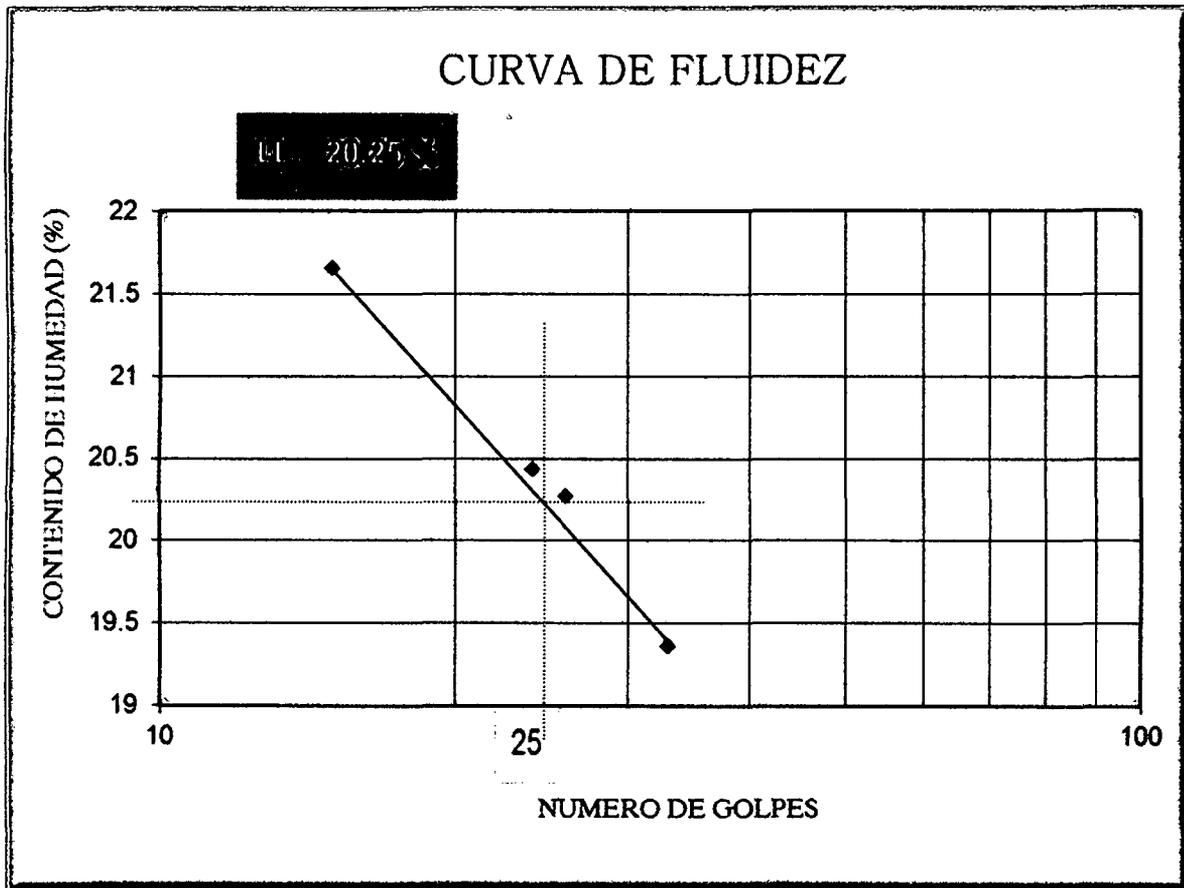


Grafico N° 02 CURVA DE FLUIDEZ

ENSAYO DE ABRASION

CANTERA 3M		
PORCENTAJE		
TAMICES		METODO A
QUE PASA	RETENIDO	PESO (gr)
1 1/2" (37.5 mm)	1" (25 mm)	1388
1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	1358
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.70 mm)	1348
1/2" (12.7 mm)	3/8" (09.51 mm)	1346
TOTAL		5440
Peso Retenido en la Malla N° 12		3098.2
% DESGATE		43.048
NUMERO DE ESFERAS	12	
NUMERO DE REVOLUCIONES	1000	

Tabla N° 06 ensayo de abrasión



ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PESO SECO INICIAL :		5929.00 gr.			
		PESO RETENIDO		PORCENTAJE ACUMULADO	
TAMIZ N°	Abert (mm)	PARCIAL	ACUMULADO	% Reten.	% Que Pasa
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	538.00	538.00	9.07	90.93
1"	25.40	932.00	1470.00	24.79	75.21
3/4"	19.00	756.00	2226.00	37.54	62.46
1/2"	12.50	808.00	3034.00	51.17	48.83
3/8"	9.50	279.00	3313.00	55.88	44.12
1/4"	6.35	377.00	3690.00	62.24	37.76
N° 4	4.75	148.00	3838.00	64.73	35.27
N° 10	2.00	229.17	4067.17	68.60	31.40
N° 20	0.84	85.73	4152.90	70.04	29.96
N° 30	0.60	69.42	4222.32	71.21	28.79
N° 40	0.43	132.15	4354.47	73.44	26.56
N° 60.	0.25	470.89	4825.36	81.39	18.61
N° 100	0.15	377.63	5202.99	87.75	12.25
N° 200	0.08	194.89	5397.88	91.04	8.96
Cazoleta	0.00	531.12	5929.00	100.00	0.00
TOTAL		5929.00			

Tabla N° 07 Análisis Granulométrico por Tamizado

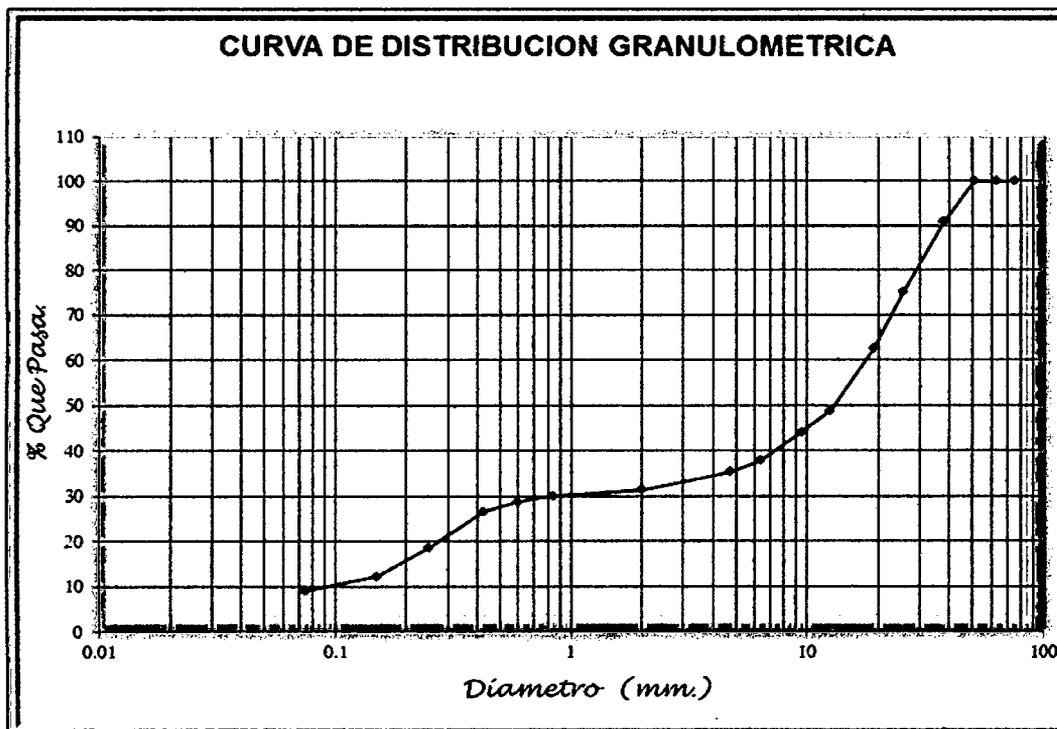


Grafico N° 03 Análisis Granulométrico por Tamizado



PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Muestra N°		1	2	3	4	5
N° Capas		5	5	5	5	5
N° Golpes por Capa		56	56	56	56	56
Peso del suelo húmedo+Molde (gr)		10902.0	11076.0	11184.0	11260.0	11278.0
Peso del Molde (gr)		6160.0	6160.0	6160.0	6160.0	6160.0
Peso del suelo húmedo (gr)		4742.0	4916.0	5024.0	5100.0	5118.0
Volumen del molde (cm ³)		2123.0	2123.0	2123.0	2123.0	2123.0
Densidad Húmeda (gr/cm ³)		2.234	2.316	2.366	2.402	2.411
Contenido de Humedad promedio (%)		2.3	4.4	6.3	8.3	10.1
Densidad Seca (gr/cm ³)		2.184	2.218	2.227	2.218	2.189

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Muestra N°	1		2		3		4		4	
Recipiente N°	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	510.3 0	497.8 0	502.7 0	513.8 0	517.9 0	498.2 0	508.6 0	511.7 0	510.0 0	513.8 0
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	500.6 0	488.2 5	483.8 0	494.7 0	494.9 0	469.8 0	473.5 0	478.8 0	470.5 0	472.3 0
Peso del agua (gr)	9.70	9.55	18.90	19.10	23.00	28.40	35.10	32.90	39.50	41.50
Peso del recipiente (gr)	72.60	64.80	60.20	58.60	71.50	68.40	61.30	74.60	70.50	72.60
Peso del suelo seco (gr)	428.0 0	423.4 5	423.6 0	436.1 0	423.4 0	401.4 0	412.2 0	404.2 0	400.0 0	399.7 0
Contenido de humedad (%)	2.27	2.26	4.46	4.38	5.43	7.08	8.52	8.14	9.88	10.38
Contenido de humedad promedio (%)	2.26		4.42		6.25		8.33		10.13	

Tabla N° 08 Determinacion de la Densidad

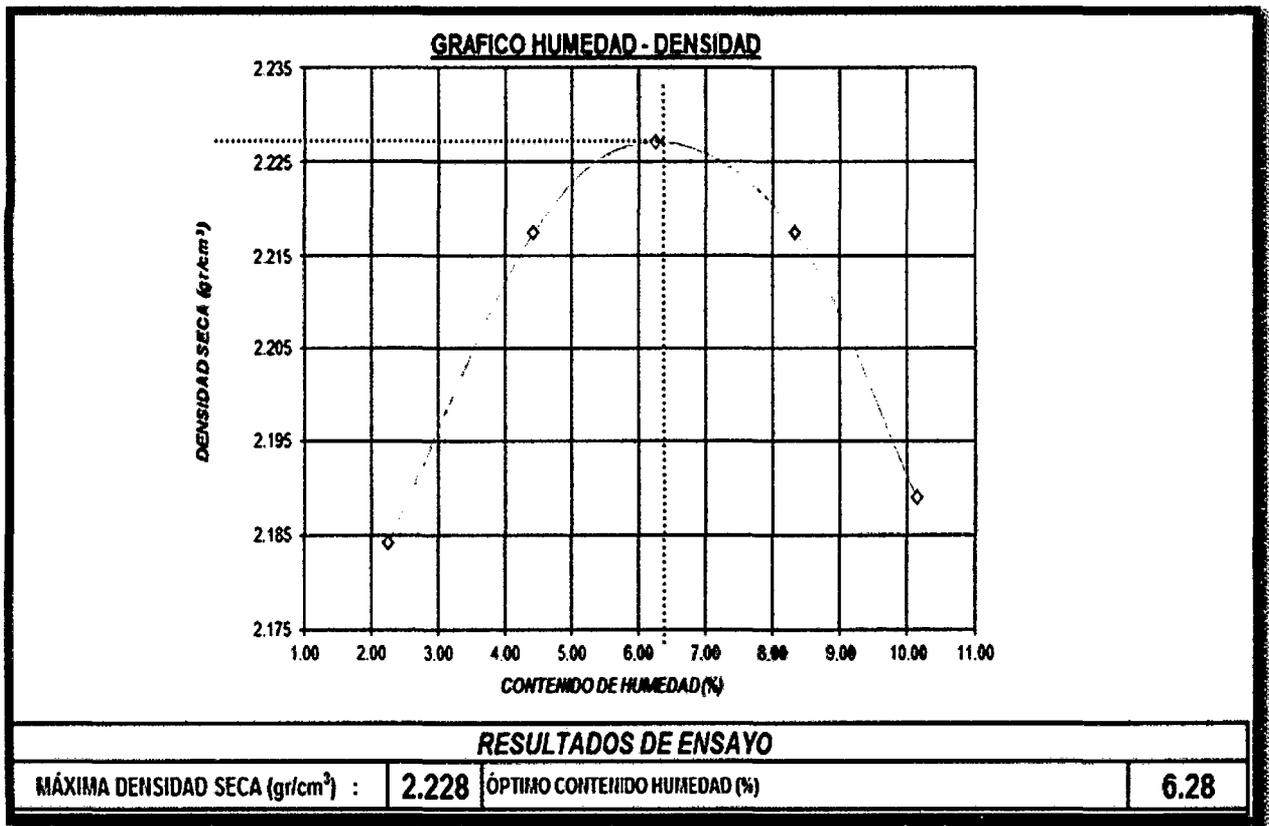


GRAFICO N° 4 humedad - Densidad

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**

MOLDE	1		2		3			
Altura Molde mm.	124		120		120			
N° Capas	5		5		5			
N°Golg x Capa	13		27		56			
Cond. Muestra	ANTES		ANTES		DESPUE S	ANTES		DESPUE S
P. Húm.+ Molde	9283.00		9418.00		9208.00	9616.00		9316.00
Peso Molde (gr)	4177.00		4228.00		4228.00	4193.00		4193.00
Peso Húmedo (gr)	5106.00		5190.00		4898.00	5423.00		5006.00
Vol. Molde (cc)	2268.23		2250.08		2250.08	2286.38		2250.00
Densidad H.(gr/cc)	2.25		2.31		2.18	2.37		2.22
Número de Ensayo	1-A	1-B	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
P.Húmedo + Tara	645.3 6	689.2 6	691.2 5	656.3 6	156.20	645.6 0	654.2 8	166.10
Peso Seco + Tara	609.2 6	650.6 8	652.6 8	619.6 8	144.20	609.6 4	617.6 5	154.40
Peso Agua (gr)	36.10	38.58	38.57	36.68	12.00	35.96	36.63	11.70
Peso Tara (gr)	39.65	39.48	39.83	39.48	21.20	39.45	39.73	25.20
P. Muestra Seca	569.6 1	611.2 0	612.8 5	580.2 0	123.00	570.1 9	577.9 2	129.20
Cont. Humedad	6.34 %	6.31 %	6.29 %	6.32 %	9.76%	6.31 %	6.34 %	9.06%
Cont.Hum.Pro m.	6.32%		6.31%		9.76%	6.32%		9.06%
DENSIDAD SECA	2.117		2.170		1.983	2.231		2.040

Tabla N° 09 Relación de soporte de california (C.B.R)

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

TIEMPO		NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE			NUMERO DE MOLDE		
ACUMULADO		LEC. DEF.	HINCHAMIENTO		LEC. DEF.	HINCHAMIENTO		LEC. DEF.	HINCHAMIENTO	
(Hs)	(Días)		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
0	0									
24	1									
48	2	NO REGISTRA HINCHAMIENTO								
72	3									
96	4									

Tabla N° 10 relación de soporte de california (C.B.R.)

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACION		MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	200	10.19	270	13.75	300	15.28
1.27	0.050	430	21.90	520	26.48	600	30.56
1.91	0.075	580	29.54	720	36.67	890	45.33
2.54	0.100	707	36.01	904	46.04	1140	58.06
5.08	0.200	941	47.92	1296	66.00	1763	89.79
7.62	0.300	1080	55.00	1570	79.96	2182	111.13
10.16	0.400	1135	57.81	1720	87.60	2453	124.93
12.70	0.500	1145	58.31	1830	93.20	2560	130.38

Tabla N° 11 Ensayo carga - penetración

	DENS	0.1	0.2	CBR
MOLDE 1	2.117	51.20	42.67	51.20
MOLDE 2	2.190	54.05	47.41	54.05
MOLDE 3	2.225	56.89	63.53	63.53

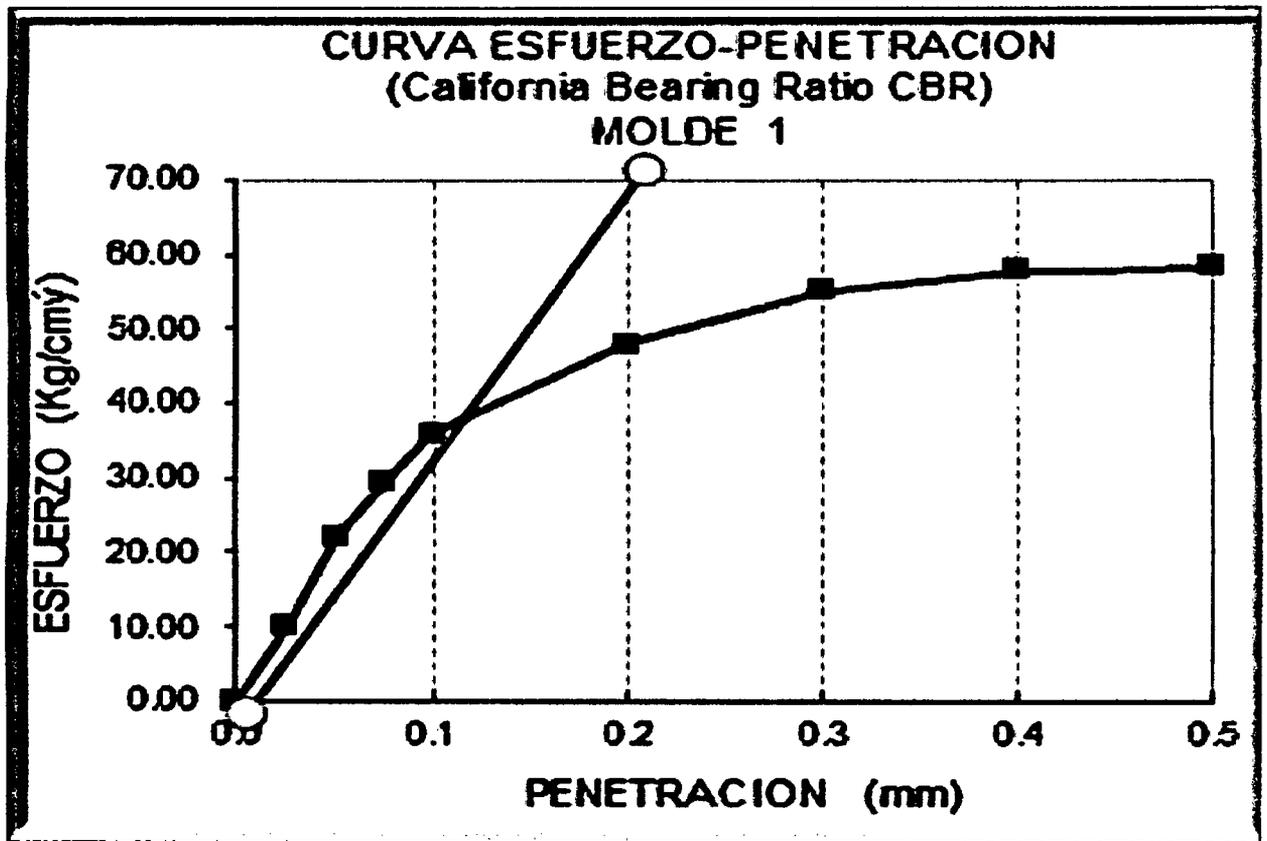


GRAFICO N° 05 Ensayo Esfuerzo - Penetración Molde 1

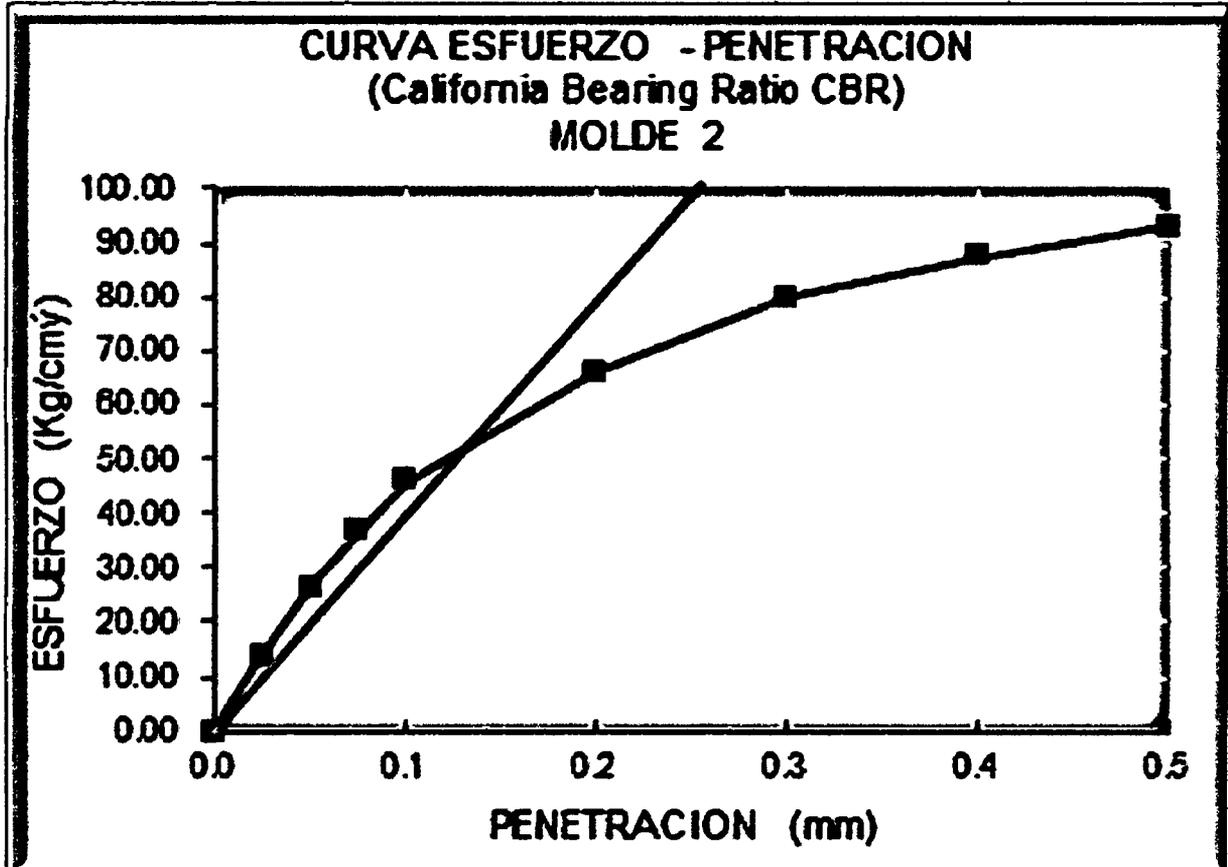


Grafico N° 06 Ensayo Esfuerzo - Penetración Molde 2

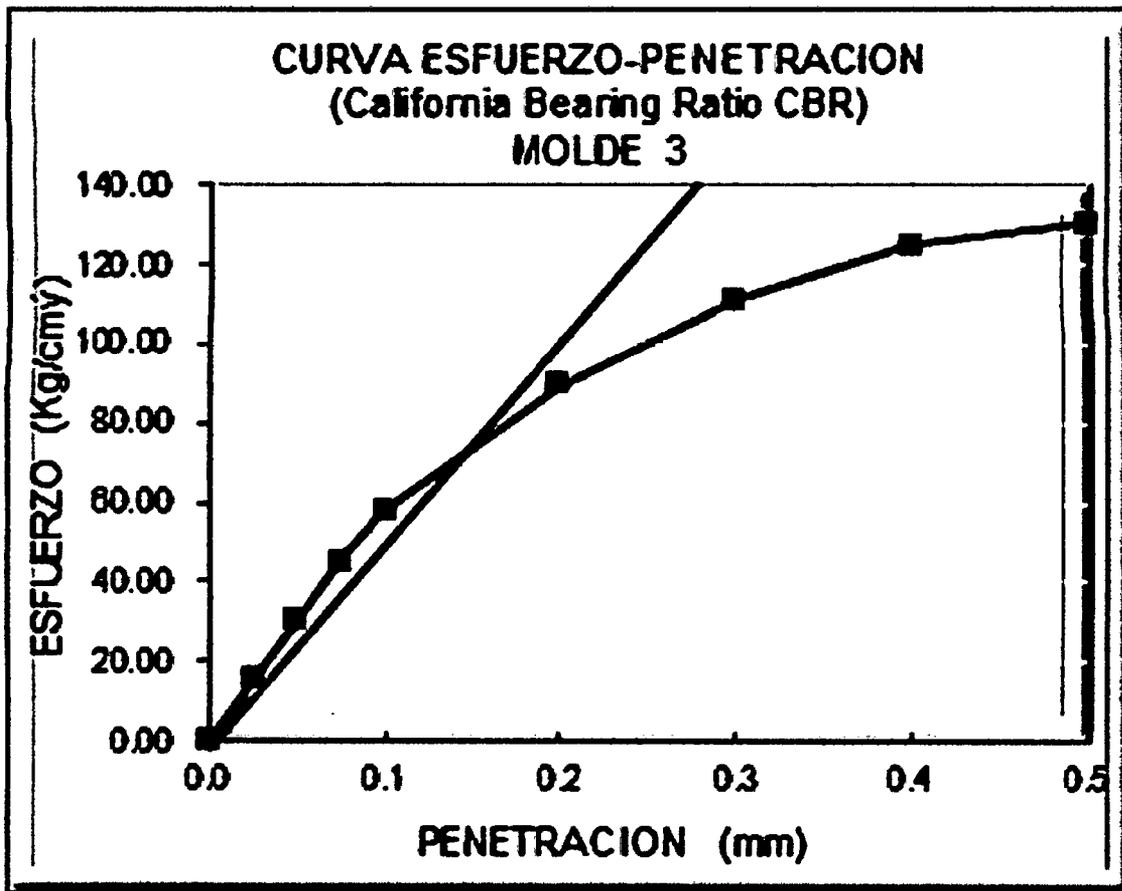


Grafico N° 07 Ensayo Esfuerzo - Penetración Molde

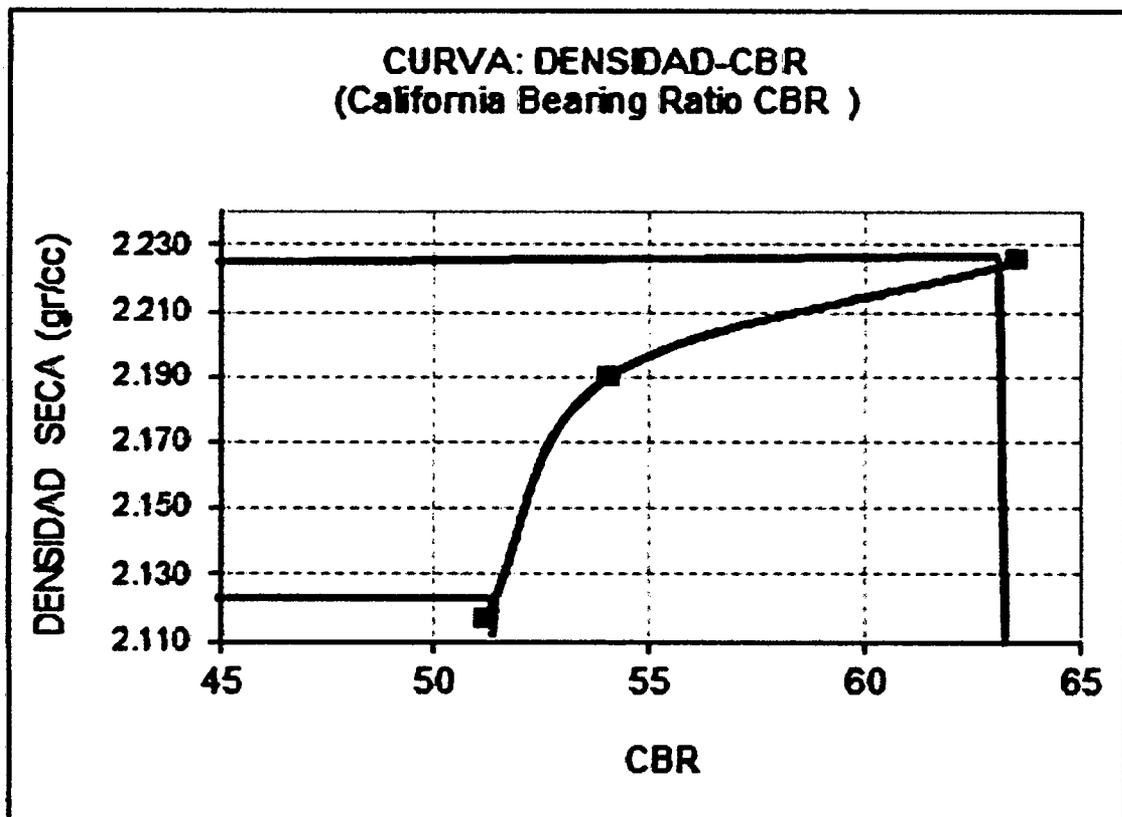


Grafico N° 08 Curva: Densidad - C.B.R



C.B.R Para el 100% = 63.53%

C.B.R Para el 95% = 51.20%



Foto N° 01 En la foto se puede observar el acceso a la cantera 3M



Foto N° 02 Adquisición de las muestras para la investigación

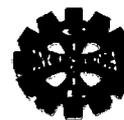


Foto N° 03 El traslado del material para obras de construcción



Foto N° 04 Toma de coordenadas UTM de la cantera 3M



Foto N° 05 Almacenamiento del material

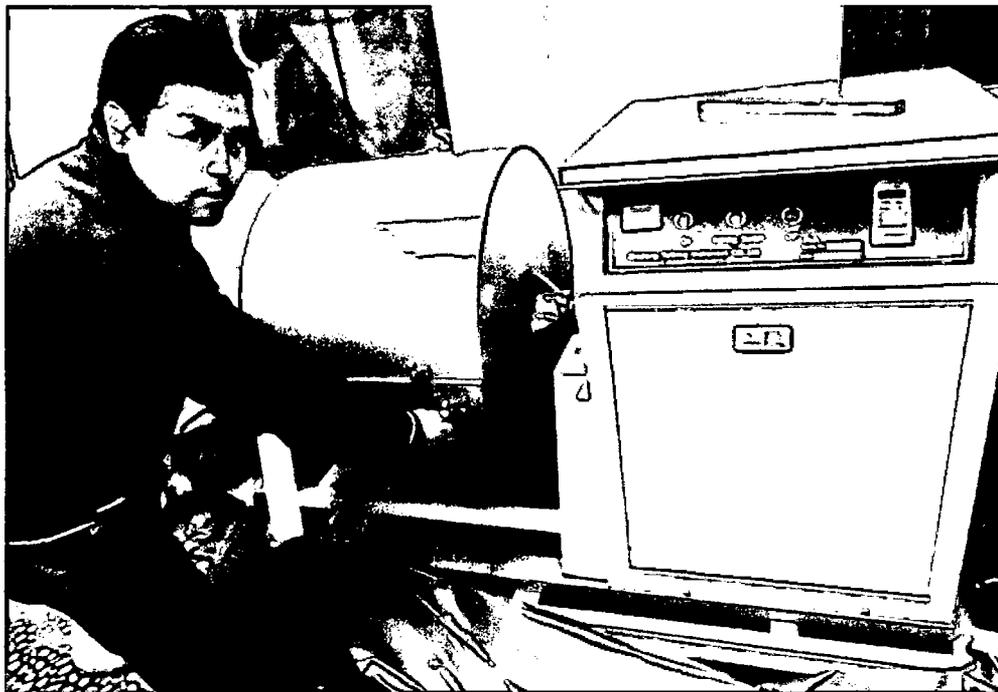


Foto N° 06 Extrayendo el material después del ensayo de abrasión



Foto N° 07 Calculando el límite líquido



Foto N° 08 Tamizando la muestra para la granulometría



Foto N° 09 Pesando la muestra para los ensayos



Foto N° 10 Equipo utilizado para realizar los ensayos