

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS
DE SOPORTE DE UN TERRENO DE CIMENTACIÓN
DE UN PAVIMENTO POR MEDIO DE UN EQUIPO
DINÁMICO**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

CARLOS ALBERTO TUPIA CÓRDOVA

LIMA – PERU

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

2001

A mis Padres Juan y Rosalvina por dar
educación y desear lo mejor.

A mis hermanos Percy, Richard, Javier y
Edgar por los constantes apoyos.

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a mi Asesor de Tesis el Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado por el apoyo constante para la culminación de la presente Tesis.

Agradecer al Dr. Ing. Zenon Aguilar Bardales por sus consejos, apoyo y permitir el desarrollo de la presente Tesis en el Laboratorio Geotecnico del CISMID.

Mi agradecimiento a los Ings. Milagros Cuba, Martín Rodríguez, Armando Olazabal, David Luna y Luis Chang por el apoyo y las consultas brindadas durante la realización del tema de investigación.

Agradecer a mis amigos del Laboratorio Geotecnico del CISMID quienes me apoyaron en el desarrollo de la presente tesis.

Así mismo mi gratitud a mis amigos de la empresa Hidroenergía por su apoyo en la investigación del presente tema.

INDICE GENERAL

TITULO	PAGINA	
ANTECEDENTES	1	
CAP. I	INTRODUCCION	3
1.1	OBJETIVO DE LA TESIS	4
1.2	ALCANCES DE LA TESIS	5
1.3	CONCEPTOS BASICOS DE LOS ENSAYOS ESTANDAR	7
CAP. II	CONCEPTOS DEL CBR Y DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO	12
2.1	ENSAYO DE CAPACIDAD PORTANTE (C.B.R.)	13
2.1.1	APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS	13
2.1.2	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO	15
2.1.3	RESULTADOS	16
2.2	CONCEPTO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO	18
2.3	MODELO MATEMATICO	19
2.4	DESCRIPCION DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	21
2.5	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO	23
2.6	PRECAUCIONES EN EL USO DEL EQUIPO DE P.D.C.	25
CAP. III	CONCEPTOS EN EL DESARROLLO DEL ENSAYO DE P.D.C. Y SU CORRELACION CON EL C.B.R.	27
3.1	FORMAS DE EVALUACION DEL ENSAYO P.D.C.	28
3.1.1	NUMERO DE GOLPES v.s PROFUNDIDAD o CURVA P.D.C.	28

3.1.2	DIAGRAMA ESTRUCTURAL	29
3.1.3	CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL	29
3.2	TEORIA DE CORRELACION DEL C.B.R. Y EL ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO	31
CAP. IV	PRUEBAS DE CAMPO Y RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ANALISIS COMPARATIVO	35
4.1	PROCESAMIENTOS Y RESULTADOS DE CAMPO	36
4.1.1	INFORMACION DE CAMPO	36
4.1.2	PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE CAMPO	39
4.1.3	RESULTADOS DEL PROCESO DE INFORMACION	41
4.2	ANALISIS DE LA INFORMACION DE CAMPO	46
4.2.1	ENSAYO EN SUELOS NO GRAVOSOS	46
4.2.2	ENSAYO EN SUELOS GRAVOSOS O SOLIDOS RESISTENTES	51
4.3	SELECCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	52
4.4	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CORRELACION	54
4.4.1	CORRELACION OBTENIDA	54
4.4.2	EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y PAVIMENTOS EXISTENTES CON EL ENSAYO DE PDC	61
CAP. V	EVALUACION ECONOMICA	108
CAP. VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
	BIBLIOGRAFIA	119
ANEXO I	FIGURAS DE COMPARACION DE LOS REGISTROS DE CALICATAS Y SONDAJES DEL ENSAYO DE P.D.C.	120

ANEXO II	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO	121
	- ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA DE CONO	122
	- ENSAYOS DE CBR IN SITU	123
	- DENSIDAD DE CAMPO	124
ANEXO III	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	125
ANEXO IV	PLANOS DE UBICACIÓN Y FOTOS	126
	- PLANOS DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE SONDAJE DE PENETRACION DINAMICA Y CBR IN SITU	127
	- FOTOS	128

ANTECEDENTES

Para determinar las condiciones del suelo de fundación de un proyecto vial, se programa generalmente la ubicación de sondeos exploratorios separados por una distancia que oscila entre 250m y 3Km. Esta ubicación responde en la mayoría de los casos más a una exigencia de los términos de referencia de los estudios, que a las condiciones específicas del material en cuestión. Debido a lo anterior, aparecen zonas no evaluadas con problemas locales y que fueron ignoradas en las exploraciones.

La posibilidad que exista suelos con humedad elevada o saturada o suelos donde es muy remota la saturación y el reemplazo de material que se realiza en el Laboratorio para el correspondiente ensayo Proctor y CBR.

En cada uno de los sondeos, efectuados hasta una profundidad máxima de 1.50m, se determina la estratigrafía y se toman muestras remoldeadas para el trabajo de laboratorio.

Algunas veces se toman muestras inalteradas de CBR, las cuales en varias oportunidades son maltratadas por golpeo del molde para asegurar su penetración. Por tal motivo, para conocer las condiciones del terreno de fundación, ha venido cogiendo auge desde hace algunos años, el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono. A continuación se indicará algunas investigaciones realizadas en otros países.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) desarrollado por Van Vuuren en 1969, fue empleado durante una extensiva investigación del comportamiento de los pavimentos a cargo del Departamento de Caminos del Transvaal Provincial Administration de Sudáfrica durante 1973, en un esfuerzo por estimar en forma simple la resistencia in situ de los materiales de subrasante y capas que conforman el pavimento. Los resultados obtenidos con el PDC fueron correlacionados con parámetros de resistencia usuales, tales como el CBR y/o Compresión Simple, teniendo en cuenta los principales factores que afectan dichos ensayos.

Los trabajos realizados por el Instituto de Mecánica Aplicada y Estructura (IMAE) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Rosario de Argentina (1990) fueron hechos sobre moldes de ensayo de CBR de Laboratorio y siguieron una metodología experimental particular, que ha permitido un número importante de resultados, analizando numerosos casos de suelo fino y mezcla del tipo de suelo arenoso.

La investigación realizada por la División de Ingeniería de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Colombia incluyó ensayos in situ resultando limitado su empleo a suelos arenosos y finos o a capas débilmente cementadas.

Las correlaciones entre los valores del ensayo de PDC y los valores de CBR se realizaron bajo un mismo modelo matemático.

Esta investigación se ha realizado con suelos existentes en las carreteras del Perú, siguiendo los modelos matemáticos existentes y proporcionando relaciones aplicables al Perú para determinar valores de CBR en base a los ensayos de PDC in situ.

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO DE LA TESIS

La evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos indirectos siempre es deseada, pero frecuentemente son engorrosos y costosos, como el CBR in situ, ensayo de placa, etc. Debido a esto, numerosos ingenieros recurren a los métodos indirectos, tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, lo cual en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo del suelo como soporte del pavimento.

El desarrollo de la presente tesis tiene el propósito de despertar el interés en el ramo de la ingeniería vial, mediante la utilización de una herramienta sencilla y confiable para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de penetración in situ. El empleo del Penetrómetro Dinámico de Cono reúne las condiciones indicadas. Construir el prototipo del equipo, con personal y material peruano y establecer una correlación matemática entre el CBR in situ y el PDC in situ que permitirá evaluar las condiciones del terreno de fundación de las vías de nuestro territorio y determinar parámetros locales. Además, como complemento, bajo ciertas condiciones, presentar desde los resultados de PDC in situ una estadística del CBR que resulta en el Laboratorio.

Con las evaluaciones de pavimentos existentes con el equipo de PDC y con la correlación obtenida nos permitirá comparar con resultados de correlaciones obtenidas en otros países.

1.2 ALCANCES DE LA TESIS

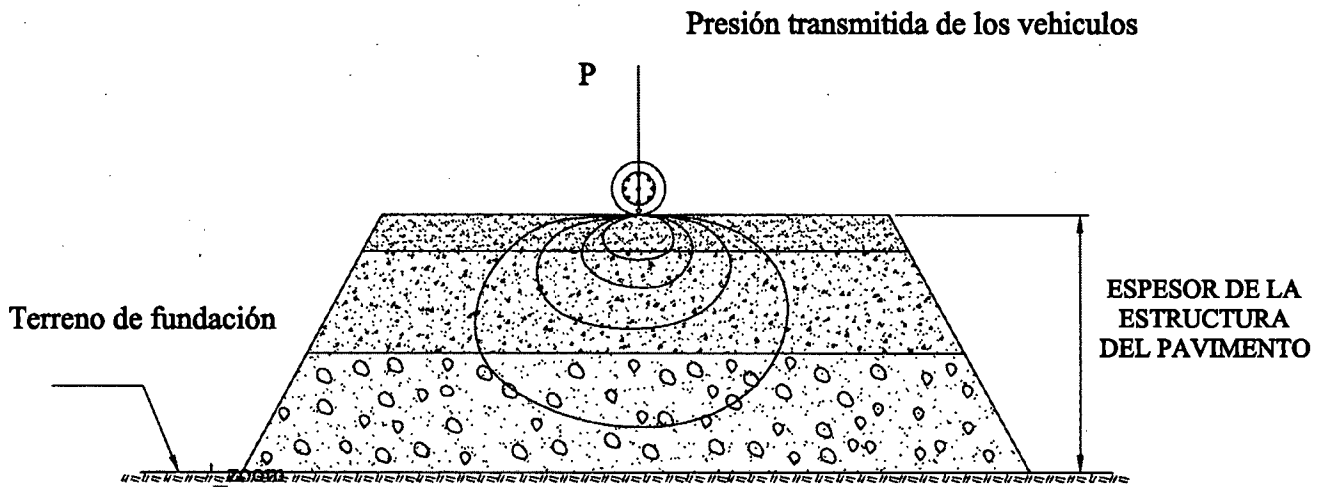
El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías de las principales ciudades del país, así como también por sus carreteras, se hace necesario un nuevo enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos acordes con tecnologías modernas y las necesidades creadas por el aumento de repeticiones de carga sobre la estructura de los pavimentos. Los promedios de volumen de tráfico previsto para los corredores viales o autopistas que se construirán en el futuro en Lima Metropolitana superan los diez millones de repeticiones de una carga equivalente de 80 KN para una tasa de crecimiento evaluada con datos cuantitativos tomados desde 1997 y llevados hasta el 2020 como términos de una progresión geométrica que determina una función exponencial con respecto al tiempo, tasa que varía entre 3.6% a 5.4% tomándose como Tasa Promedio de Crecimiento Anual hasta el 4.2%.

Adicionalmente, de acuerdo al reglamento de Peso y Dimensión Vehicular para la Circulación en la Red Vial Nacional puede considerarse como vehículo más pesado que pueda circular por estas vías, como peso bruto máximo permitido por unidad o combinación de vehículos de 48,000 kg. con una distribución de carga por eje, tanto delantero como de ejes posteriores. Todo esto indica que ya es necesario adoptar estudios completos de las condiciones reales en las que se encuentra el suelo de la subrasante en el periodo de proyecto para planificar una programación de trabajos en el periodo de construcción que permitan obtener una estructura que soporte las condiciones previstas durante su vida útil.

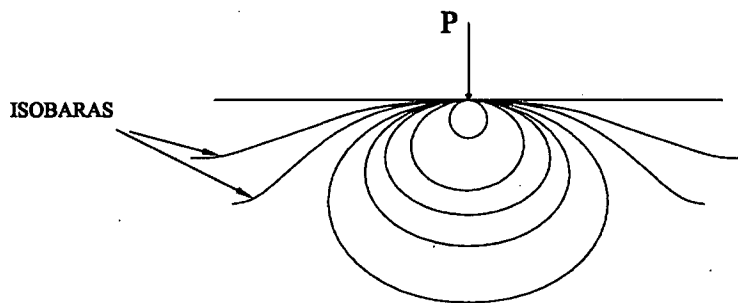
En la Figura N° 1 se presenta la distribución de los esfuerzos dentro de la estructura del pavimento. Si los vehículos se ubican en forma continua, generan el incremento de los bulbos de presiones y en consecuencia la posibilidad de fallas locales en la cimentación del pavimento.

A continuación se presentará conceptos básicos de los ensayos de laboratorio y campo.

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS DENTRO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

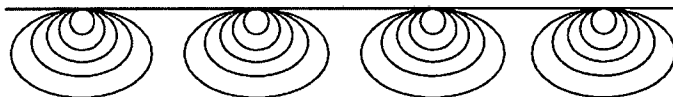


BULBO DE PRESIONES ANTE LA PRESENCIA DE UNA CARGA



POSIBILIDAD DE FALLA DEL TERRENO DE CIMENTACION

Ubicación de varios camiones representados por su bulbo de presiones uno detrás de otro



Resultado del incremento de los bulbos de presiones generando gran esfuerzo que puede hacer fallar el pavimento

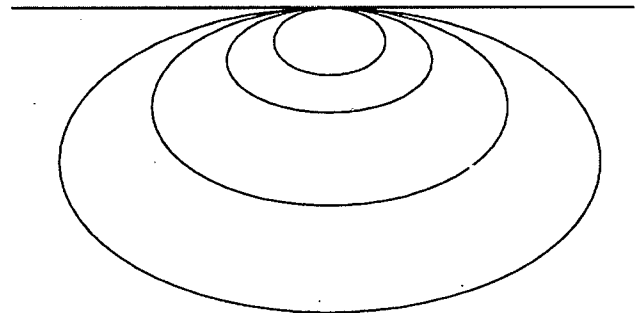


Figura N° 1

1.3 CONCEPTOS BASICOS DE LOS ENSAYOS ESTANDAR

Para el reconocimiento de las características de los suelos es importante definir previamente los ensayos de: Densidad, Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Consistencia y Proctor Modificado.

DENSIDAD : Es el peso por metro cúbico o bien por centímetro cúbico del material en las condiciones naturales; la densidad seca es el peso del material sólido por metro cúbico o bien por centímetro cúbico. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-C 29. Para obtener la densidad natural se realizó el ensayo por el método del Cono de Arena.

El Método del Cono de Arena, consiste en un frasco de plástico de 1 galón de volumen y otra pieza formada por una válvula cilíndrica con un orificio, que termina en un embudo pequeño en uno de los extremos y un cono de diámetro de 6" en el opuesto. La arena debe ser limpia, seca, que fluya libremente, la arena utilizada (a menudo Ottawa) es generalmente el material que pasa el tamiz N°20 y retiene en el tamiz N°30. En la Figura N° 2 se observa el modelo del aparato. El cálculo de la densidad se indica a continuación:

$$\gamma_n = \frac{W_m}{V_m}$$

Donde:

γ_n : Densidad Natural

W_m : Peso de la muestra

V_m : Volumen de la muestra

EQUIPO DE CONO DE ARENA Y LA DENSIDAD DE CAMPO

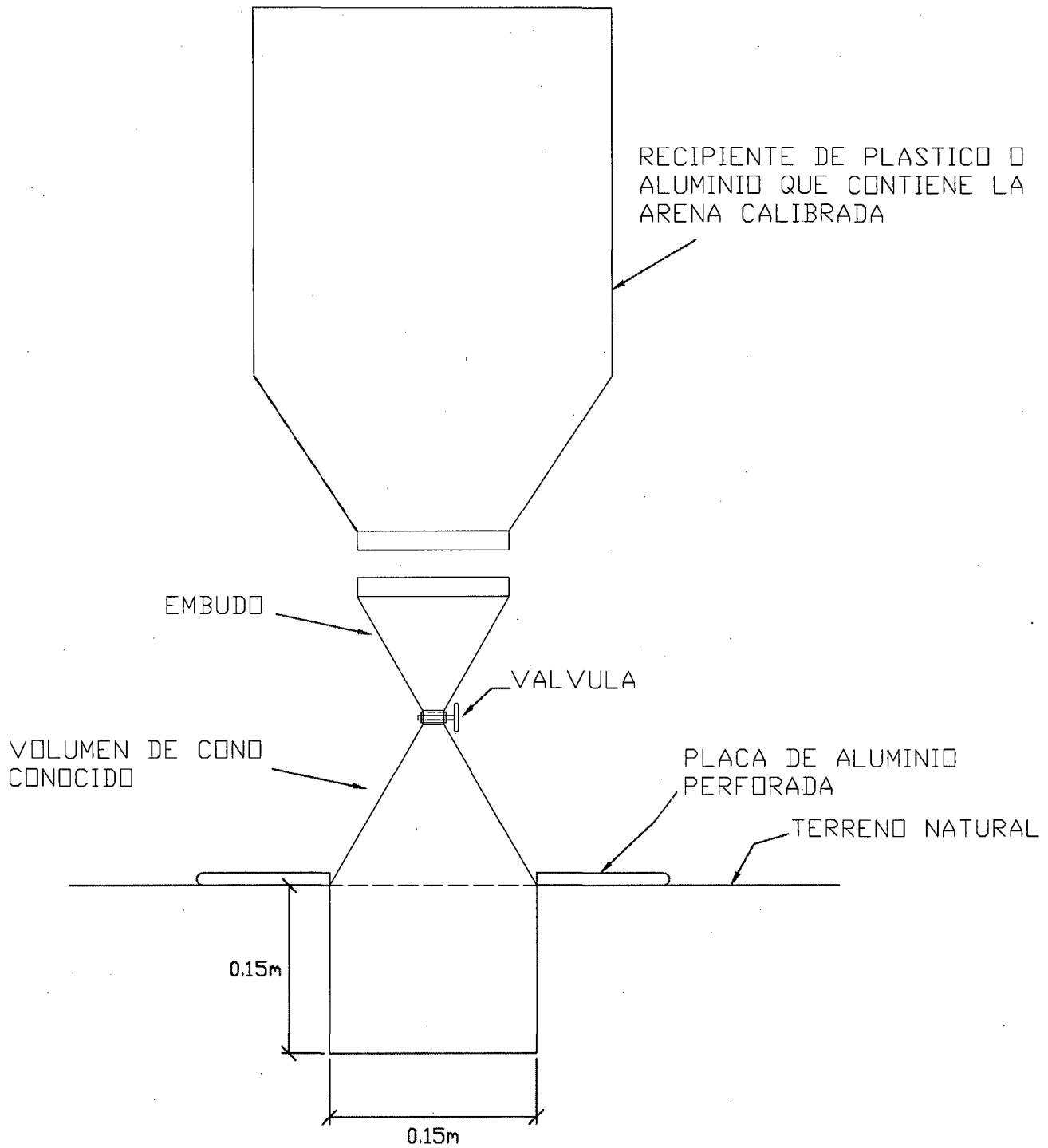


Figura N° 2

CONTENIDO DE HUMEDAD : Dada la muestra, se pesa para tener el W_m , peso de la muestra, a continuación se lleva al horno, luego del secado se vuelve a pesar para tener el W_s , peso del sólido. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 2216; finalmente se calcula:

$$W_w = W_m - W_s$$

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Con lo cual la humedad queda determinada y se puede determinar la densidad seca.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1 + w\%}$$

γ_d : Densidad seca

γ_n : Densidad húmeda

w% : Contenido de humedad

ANALISIS GRANULOMETRICO: Es la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, se realiza por un proceso de tamizado en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua en suelos de grano fino.

La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 422. En el Cuadro N° 1 se clasifica el material según su tamaño.

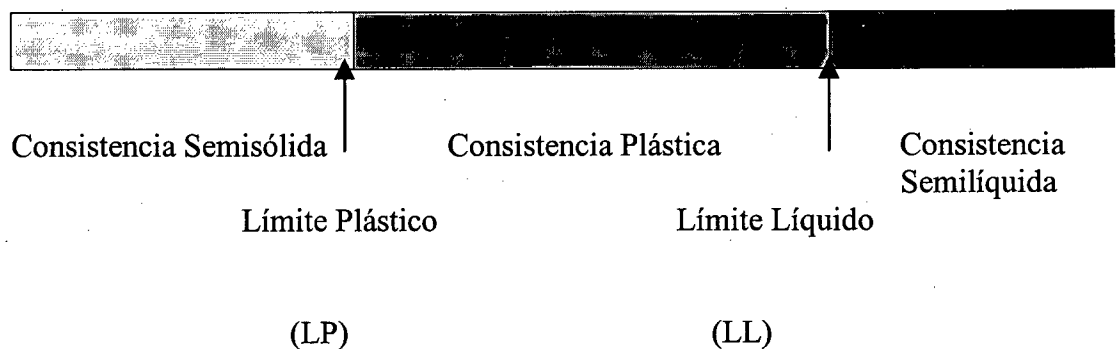
CUADRO N° 1

MATERIAL	TAMAÑO
Bolonería	Mayor de 12"
Cantos Rodados	Entre 3" y 12"
Gravas	Entre 4.76mm y 3"
Arenas	Entre 0.074mm y 4.76mm
Finos (limos y arcilla)	Menor de 0.074

LIMITES DE CONSISTENCIA: El suelo de grano fino puede existir en uno de los varios estados que dependen del contenido de agua en cada tipo de suelo.

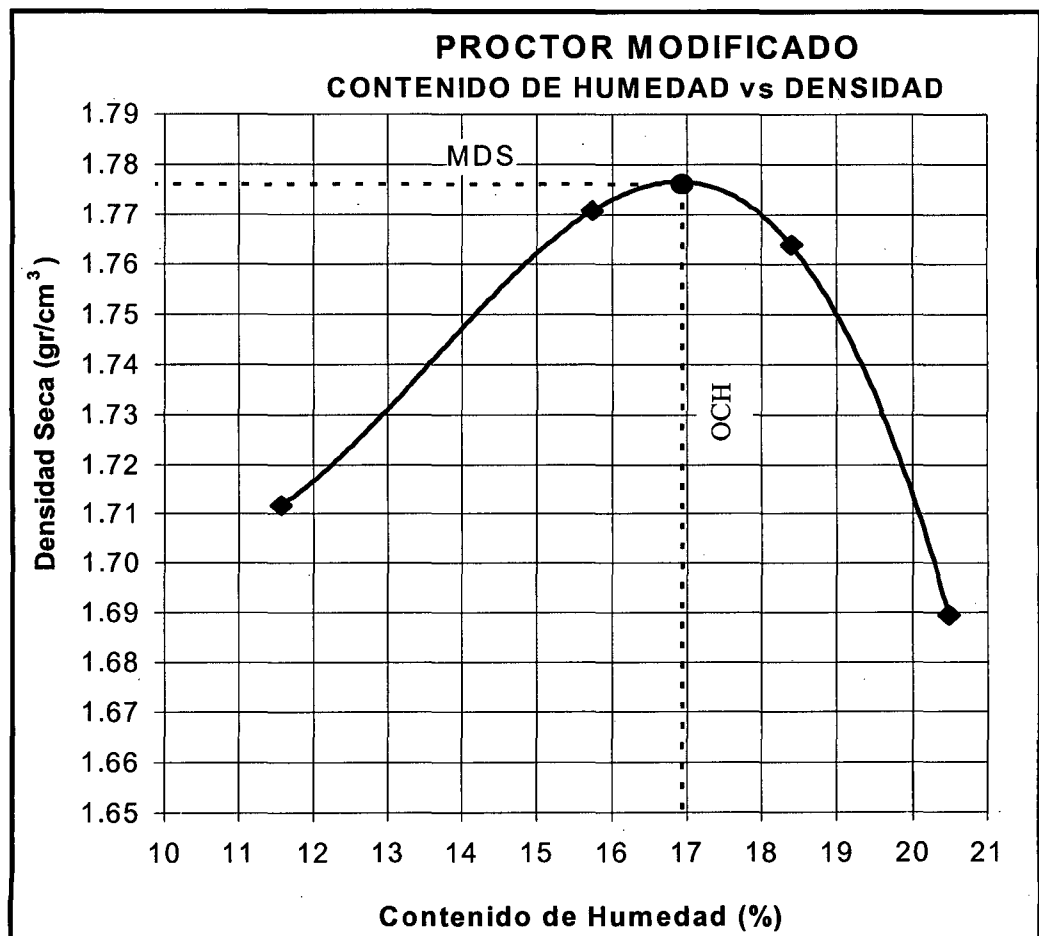
Cuando se añade agua a un suelo seco, cada partícula se recubre con una película de agua. Si la adición de agua continúa, el espesor de la película de agua en el suelo aumenta, permitiendo que las partículas de suelo puedan deslizarse más fácilmente unas sobre las otras. Si se continúa la adición de agua hasta un punto en que se combina el suelo y el agua, fluirá como un líquido.

Así, el suelo ha pasado desde el estado sólido por varias etapas definidas: sólido, semiplástico, plástico, líquido viscoso y suspensión en líquido. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 4318. El método que se considera más adecuado para fines de ingeniería es conocido por métodos de Atterberg, y el contenido de agua que corresponde a los estados de consistencia se denomina límites de Atterberg.



PROCTOR MODIFICADO: La densidad que se puede obtener en un suelo por medio de un método de compactación dado, depende de su contenido de humedad.

El contenido que da el más alto peso unitario en seco (densidad), se le llama contenido óptimo de humedad para aquel método de compactación. En general ésta humedad es menor que la del límite plástico y decrece al aumentar la compactación. Posteriormente a este ensayo se continuó con los ensayos de CBR de Laboratorio especificados anteriormente. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 1557.



CAPITULO II

CONCEPTOS DE CBR Y DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

CAPITULO II

CONCEPTOS DEL C.B.R. Y DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

En este capitulo se describe los conceptos de los ensayos de CBR y PDC, así como el modelo matemático realizado para la correlación de la tesis, también se explicará el procedimiento de los ensayos realizados en campo y las precauciones tomadas para la conservación del equipo de PDC.

2.1 ENSAYO DE CAPACIDAD PORTANTE (C.B.R.)

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad. Se expresa en porcentaje como la relación de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida. La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 1883, para los ensayos de CBR de laboratorio, con la finalidad de presentar como complemento de información de la resistencia del suelo mediante una relación con el PDC in situ, y la normada por ASTM-D 4429-93 para los ensayos de CBR in situ.

En esta oportunidad, para realizar la correlación del CBR in situ y el PDC in situ, lo cual es motivo de la tesis, se presentará los aparatos y el procedimiento necesario para realizar el ensayo de CBR in situ.

2.1.1 APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

- a) Un gato mecánico con el que sea posible conseguir la velocidad de 0.05 pulgadas por minuto (velocidad de penetración). Debe ir provisto de una rotula que permita ponerlo vertical y de una placa para sujetarlo al elemento de reacción.

- b) Un pistón cilíndrico de 4.95 cm de diámetro (3 pulgadas cuadradas de sección), con un juego convenientemente escalonado, para poder llegar con el pistón, desde el gato, hasta el nivel donde se va a realizar el ensayo de penetración. (Una combinación adecuada puede ser la siguiente: un suplemento de 90 cm., uno de 60 cm., uno de 30 cm., dos de 10 cm. y dos de 4 cm.)
- c) Dos anillos para medida de cargas, con sus cuadrantes correspondientes, uno de 1.000 Kg. y otro 3.000 Kg. de capacidad aproximadamente, de los que se utilizará el más apropiado a la resistencia del suelo que se va a ensayar. Dispondrán en la parte superior e inferior de rosca, para poder intercalarlos entre el gato y el pistón (o los suplementos).
- d) Un cuadrante de ser posible dividido en milésimas de pulgada, con una vuelta completa de la aguja correspondiente a 50 milésimas de pulgadas y con un recorrido del vástago de 0.5 pulgadas. En su defecto podrá utilizarse uno equivalente con las divisiones en el sistema métrico decimal.

Pinzas que permitan fijar los cuadrantes de medida.

Un puente para tomar como punto de referencia, al medir las penetraciones del pistón.

- e) Pesas para sobrecargar, abiertas por un lado para poderlas introducir en el pistón, y escalonados de forma que se pueda aumentar la carga de 5 en 5 libras y hasta 40 libras; no obstante, la sobre carga que sirve de base, no debe ir abierta, solamente tendrá un taladro en su centro con un diámetro de 5.2 cm.; el diámetro exterior de esta sobrecarga de base se supone es de 14.9 cm. si la serie de pesas es la que se ha definido.

- f) Un cronómetro.
- g) Una pala de albañil de forma catalana, nivel de albañil para poner vertical el pistón y horizontal el suelo, una plomada, un cortafrios (útil con suelos duros).
- h) Cajitas para tomar muestras de humedad. Arena fina uniforme para asiento del pistón de penetración.
- i) Un elemento de reacción (camión, apisonadora, etc.)

2.1.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) En la preparación del suelo, se empieza por abrir una calicata atravesando el firme hasta llegar al terreno natural. Las dimensiones de esta calicata serán aproximadamente de 1.20 x 0.50 m.. Una vez escogido el lugar donde se va a ejecutar la penetración, se sitúa el elemento de reacción de tal forma que su posición sea adecuada al elemento escogido. Con una plomada se fija exactamente el punto correspondiente a la penetración. A continuación se procede a alisar el suelo y darle horizontalidad en la zona que aproximadamente van a ocupar las sobrecargas; se utilizará para ello el cortafriío y el nivel.
- b) Preparación del aparato. Una vez preparado el suelo, se corrige las pequeñas irregularidades con arena fina, para que la sobrecarga actúe uniformemente y el pistón haga buen asiento (utilizar el menor espesor de arena posible). A continuación se monta el pistón, intercalando entre el mismo y el gato, el anillo que mide las cargas y los suplementos necesarios. Se colocan las sobrecargas equivalentes al espesor del firme que aproximadamente se espera obtener; seguidamente se pone el puente, las pinzas y los cuadrantes. Se maniobra sobre el gato para bajar el pistón hasta que esté en contacto

con el suelo, sin hacer presión sobre el mismo. Se pone los cuadrantes de cargas y penetraciones a cero. A partir de este momento se puede empezar la penetración.

- c) Penetración, Un operador accionará el gato procurando que la velocidad de penetración del pistón sea de 0.05 pulgadas por minuto, para lo cual será necesario que pueda leer simultáneamente el cuadrante que mide penetraciones y el cronómetro. Otro operador hará las lecturas del cuadrante correspondiente al anillo que mide cargas (penetraciones establecidas en los ensayos de CBR). Terminada la penetración, se toma muestra para humedad del suelo de la parte de abajo del pistón, y se comprueba que no había piedras ni raíces en la zona de influencia del ensayo, que haya podido afectar sus resultados.

2.1.3 RESULTADOS

Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados según el Cuadro N° 2. El C.B.R. que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para la penetración de 0.1" ó 0.2"; se elige el que sea más grande de los dos. Para la mayoría de los suelos el valor para la penetración de 0.1" da el mayor valor de C.B.R..

Esta modalidad de ensayo C.B.R. es efectuar la penetración directamente en el terreno natural, ensayos que se realizarán debajo de firmes existentes que se pretende reparar, lo cual nos permite conocer las características reales del sub-suelo.

CUADRO N° 2

PENETRACION (pulg.)	PRESION (lb/pulg².)
0.1	1000
0.2	1500

Se dibuja la curva que relaciona penetraciones (abscisas), con divisiones del cuadrante de medida de cargas (ordenadas) y se ve si esta curva presenta puntos de inflexión (existe esta posibilidad ante un asiento defectuoso entre el pistón y el suelo). Si no presenta punto de inflexión, se toman los valores correspondientes a 0.1 y 0.2 pulgadas; estos valores multiplicados por las constantes del anillo darán las cargas correspondientes.

Si la curva presenta punto de inflexión, las tangentes en este punto cortarían al eje de abscisas en otro punto que se toma como nuevo origen para la determinación de las cargas correspondientes a 0.1 y 0.2 pulgadas.

El cuadrante que se recomienda para la medida de penetraciones, es conveniente que esté dividido en cincuenta milésimas de pulgada, para que una vuelta de la aguja del cronómetro corresponda a una vuelta de la aguja del cuadrante, lo que facilita el mantenimiento de la velocidad especificada. La utilización de pulgadas facilita también la determinación de las cargas correspondientes a 0.1 y 0.2 pulgadas.

Si la placa de base tiene un diámetro de 14.9 cm., cada 10 libras de sobrecarga se puede suponer que equivalen a un espesor de 15 cm. de firme.

2.2 CONCEPTO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

Los penetrómetros y los ensayos de penetración o pruebas penetrométricas como también se les denomina en nuestro país, han sido utilizados desde muy antiguo con fines diferentes. Quizás haya sido Manco Capac, Fundador del Imperio Incaico, quien empleó según la leyenda de los hermanos Ayar, usó una barreta de oro para estimar la consistencia del suelo donde habría de fundar la ciudad del Cuzco. Kerisel en “ La Historia de la Ingeniería Geotécnica hasta 1770”, citando a Dumas, menciona que la idea de perforar un agujero en el suelo forzando una punta afilada, fue también utilizada por los Incas.

El Penetrometro Dinámico de Cono (PDC) ha sido utilizado durante mucho tiempo por los ingenieros como un método no destructivo de ensayo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.

El Penetrometro Dinámico de Cono (PDC) puede ser utilizados para suelos no gravosos.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados.

Esta penetración es función de la resistencia al corte in situ de los materiales del suelo de fundación del pavimento y en algunos casos de algunas capas de la estructura del pavimento. El perfil de resistencias en profundidad brinda por lo tanto una indicación de las propiedades, en el lugar, de los materiales de los diferentes estratos componentes en las condiciones reales en que éstos se encuentran en el momento del ensayo y de esta manera permite homogenizar y sectorizar el tramo en estudio.

El esfuerzo necesario para penetrar una capa depende principalmente de las características propias del material componente de esa capa y las características del equipo utilizado.

Es importante destacar que existen distintos equipos PDC desarrollados en el mundo, fundamentalmente de origen belga, alemán y sudafricano que se diferencian entre ellos tanto en el diseño del cono de penetración como en la energía suministrada para la hincada del instrumento.

Por ser una práctica de bajo costo y de fácil realización se convierte en una atractiva alternativa para medir la resistencia del suelo de fundación de un pavimento. El equipo puede ser utilizado en un número amplio de actividades: Identificación de tramos homogéneos, control de la construcción de las distintas capas de pavimento y determinación de la eficiencia de equipos de compactación, evaluación de un suelo colapsable, estabilidad de taludes etc.

La correlación establecida entre el ensayo de CBR in situ y el ensayo de PDC in situ resultará de un límite de parámetros como de solo realizar la penetración (con el PDC) hasta la profundidad correlacionada y bajo ciertos procedimientos que se establecerán más adelante. Utilizar el ensayo de PDC más allá de las condiciones que se indicarán, resultaran equivocados.

A continuación se presentará el procedimiento matemático que se efectuará para obtener la correlación.

2.3 MODELO MATEMATICO

La relación entre la resistencia a la penetración por punta y la profundidad de hincada se puede expresar por medio de la ecuación dinámica de Hiley la cual, con alguna simplificación, se reduce a:

$$R = \frac{W_1 * h * (W_1 + e^2 * W_2)}{D * (W_1 + W_2)}$$

Donde :

R = Resistencia a la penetración

W1 = Peso de la masa de impacto

W2 = Peso muerto del aparato, excluída la masa

h = Altura de caída libre de la masa

D = Profundidad de penetración

e = Coeficiente de restitución.

Los valores de la resistencia por punta son una indicación de la resistencia del parámetro común, como lo puede ser el C.B.R.

Según la expresión, la resistencia es una función inversa de la penetración, es decir:

$$R = \frac{A'}{D}$$

Siendo

$$A' = \frac{W_1 * h * (W_1 + e^2 * W_2)}{(W_1 + W_2)}$$

Si asumimos que el CBR es función de R, se puede decir que:

$$\text{CBR} = \frac{A}{D}$$

Siendo **A** una constante.

En esta última expresión se supone que el sistema es 100% eficiente y que no hay pérdidas de energía, hecho que no corresponde a la realidad, por cuanto dichas pérdidas se producen a causa de la compresión de la varilla del penetrómetro, la compresión elástica del suelo y otros factores de más imprecisa determinación. En tal virtud, la expresión teórica debe sufrir una modificación:

$$\text{CBR} = \frac{A}{D^B}$$

Donde:

B : Es un coeficiente que debe ser mayor que la unidad.

D : Es la penetración media de la varilla dentro del suelo a causa de los impactos de la masa (mm/golpe).

En el siguiente sub capítulo se presentará el modelo del equipo de PDC con la cual se realizarán los ensayos en campo.

2.4 DESCRIPCION DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO

Dado que los resultados del PDC dependen fuertemente de las características del equipo empleado, para la construcción de un prototipo se decidió adoptar el diseño desarrollado en Sudáfrica (Van Vuuren, 1969).

El modelo conocido como sudafricano (Figura N° 3) consta de una varilla de acero de penetración de 16mm. de diámetro, en su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y 20mm. de diámetro. El PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm. Para realizar las lecturas posee una regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes, un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las

EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

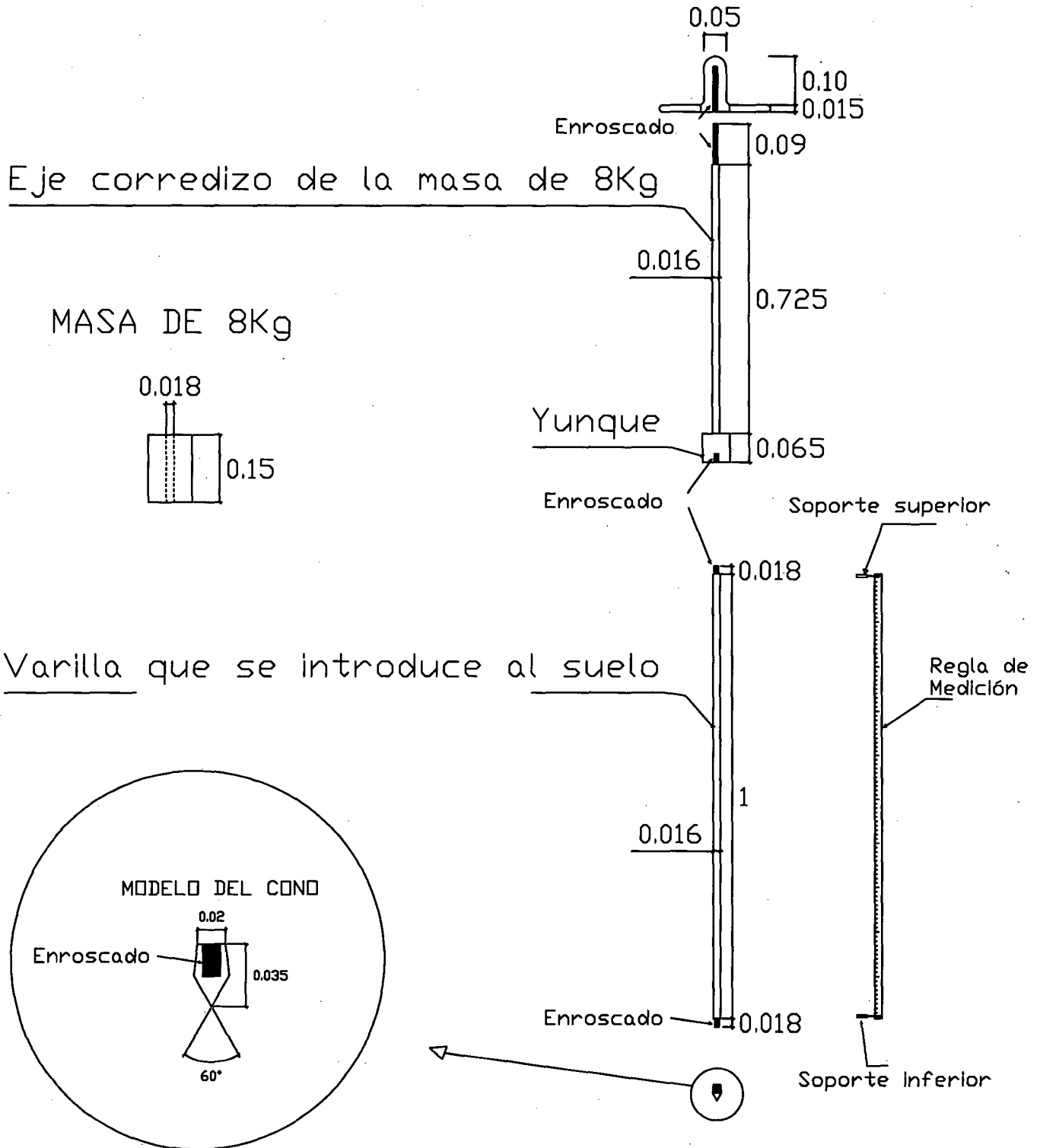


Figura N° 3

lecturas y un soporte inferior fijo a la regla y unido a la barra de penetración. El procedimiento de los ensayos realizados en el campo se explica en el siguiente sub capítulo.

2.5 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

La experiencia Sudafricana realizada a través de muchos años de ensayos con el Heavy Vehicle Simulator ha mostrado que la acción solicitante del tránsito y el clima afecta a la estructura del pavimento hasta una profundidad del orden de los 800mm.

Esta afirmación fue comprobada en el laboratorio vial del I.M.A.E. (Instituto de Mecánica Aplicada y Estructura, Facultad de Ingeniería, Universidad del Rosario, Argentina, Junio de 1990) mediante el análisis de numerosas estructuras con Modelos Computacionales Multicapas No lineales, obteniéndose valores que oscilan entre los 800mm y 1200mm de profundidad. En consecuencia, se ha determinado como profundidad máxima de auscultación, 800mm a partir del punto en que comienza a ejecutarse el ensayo PDC, por cuanto más allá de dicho valor el efecto del tránsito resulta despreciable.

Para iniciar los ensayos de Penetración Dinámica de Cono se debe tener conocimiento de lo siguiente:

- Definir el trazo por donde pasa la vía y el nivel del suelo de cimentación del pavimento.
- Conocimiento previo del origen del suelo existente, para prevenir el posible exceso de rechazo del equipo de PDC en los ensayos de penetración.

- Ubicado el lugar a efectuar el ensayo, describir el registro estratigráfico, acequias cercanas, nivel freático y detalles que posiblemente afecten los resultados del ensayo de PDC.
- Una vez ubicado el lugar de ensayo, se ubica el equipo PDC verticalmente sobre un nivel de terreno donde no se encuentre directamente con piedras que obstaculicen el ensayo.
- El ensayo de PDC necesita de tres operarios, uno se encarga de mantener la verticalidad y el soporte del equipo, un segundo se encarga del golpe con el martillo y el tercero observa y apunta las medidas de penetración por golpe. La reducción del personal, causa la deformación del equipo y lecturas equivocadas de penetración por golpe.
- Al iniciar el ensayo con el penetrómetro se introduce el cono asentándolo 2" en el fondo para garantizar que se encuentre completamente confinado
- El proceso de golpe con el martillo es levantarlo hasta la parte superior del eje de recorrido y dejarlo caer, no debe golpearse la parte superior, tampoco impulsar el martillo hacia abajo por que ocasionaría datos erróneos.
- En los formatos de apuntes de las medidas de penetración se indica la profundidad de rechazo del equipo.
- El ensayo de penetración con el equipo de PDC solo se realiza hasta 1m de profundidad.
- Durante toda la profundidad ensayada con el equipo de PDC se ubicará el nivel de suelo a ensayar con el equipo de CBR (in situ, según norma ASTM D 4429 – 93), permitiendo la correlación del mismo suelo ensayado. Se recomienda que el ensayo de CBR in situ no sea superficial por que el ensayo de PDC pierde confinamiento en el inicio de la penetración (en los primeros 5cm).

- Luego de los respectivos ensayos se procede a ejecutar la densidad de campo (peso unitario o método del cono de arena, ASTM D 1556) y el muestreo para ser ensayados en el laboratorio e identificar el tipo de suelo.
- Por cada punto de ensayo de Penetración Dinámica se verifica las condiciones del cono para su posible cambio y las uniones enroscadas del equipo de PDC.

Para la conservación del equipo de PDC se toma las medidas que se explicará mas adelante.

2.6 PRECAUCIONES EN EL USO DEL EQUIPO DE PDC

Se requiere algunas precauciones elementales para el buen mantenimiento del equipo:

- Verificar su limpieza general y el buen estado del cono.
- Comprobar la verticalidad de la varilla guía en el momento del ensayo, para evitar el roce entre ella y la masa de prueba.
- Cuando existe en el proceso de ensayo un rechazo del equipo, se observa si el salto del martillo es menor a 5mm; es posible la presencia de un suelo compacto, se puede continuar con dos golpes más, si continúa el rechazo se detiene el ensayo. Ahora, si el salto es mayor de 5mm es posible la presencia de piedras de alta resistencia mayor de 3/4" de diámetro, es recomendable detener el ensayo para evitar el deterioro del equipo.
- Si la penetración del equipo de PDC ingresa en dirección oblicua aparece un momento de fuerza, ocasionando dobles en la unión media del equipo y además rápido desgaste en los dientes de enroscado, por lo tanto debe detenerse el ensayo.

- Se debe llevar el equipo de Penetración Dinámica para su mantenimiento, después de realizar 10 a 20 ensayos.

En el siguiente capítulo se presenta el desarrollo del ensayo de PDC, la forma como se evalúa los resultados y el análisis matemático para obtener la correlación buscada.

CAPITULO III

CONCEPTOS EN EL DESARROLLO DEL ENSAYO DE PDC Y CORRELACION CON EL CBR

CAPITULO III

CONCEPTOS EN EL DESARROLLO DEL ENSAYO DE PDC Y SU CORRELACION CON EL CBR

En este capítulo se presenta las formas de evaluación del terreno de fundación de un pavimento por medio del equipo de PDC y la correlación matemática que se realizó con el CBR para cumplir con el objetivo de la tesis.

3.1 FORMAS DE EVALUACION DEL ENSAYO PDC

La interpretación de los resultados de campo puede ser abordada indicando resistencia, homogeneidad y balance estructural de los estratos de suelo que son ensayados. Para su mejor entendimiento, se debe presentar una misma escala de profundidad.

3.1.1 NUMERO DE GOLPES VS PROFUNDIDAD O CURVA PDC

Representa el avance del equipo en profundidad. Cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta representativa cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC, indicando una medida de su resistencia.

Las lecturas son tomadas por cada 5 o 10 cm, el número de golpes que se necesita. El número de PDC normalmente encontrado en ensayos realizados varia generalmente en el rango de 2 a 25 mm/golpe, señalándose que se han obtenido valores del orden de 0.5 mm/golpe para el caso de materiales de alta consistencia, asimismo en suelos finos blandos se han obtenido valores de 70 a 90 mm/golpe. En la Figura N° 4 se presenta la forma de evaluación del ensayo.

En la Figura N° 4 se muestra un número en un círculo, cerca de la recta, el cual indica la pendiente de un tramo de la recta y representa la resistencia del estrato de suelo ensayado en unidades de mm/golp.

3.1.2 DIAGRAMA ESTRUCTURAL

Relaciona el número de PDC con la profundidad. La constancia en dicho número implica uniformidad en el material, y su variación indica modificaciones en las características de humedad, densidad o bien un cambio de estrato de suelo. En la Figura N° 5 se indica el resultado de un ensayo de Penetración Dinámica de Cono.

En la Figura N° 5 se presenta un número en un círculo cerca de una recta en sentido vertical, el cual representa la resistencia del estrato de suelo ensayado en unidades de mm/golp.

Este tipo de evaluación nos puede mostrar el cambio que puede adoptar un suelo cuando se estabiliza o la sectorización del tramo en estudio. Si se presentara el caso de variaciones continuas se traza una recta vertical, de tal manera se mantenga el promedio en el espesor de una capa.

3.1.3 CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL

Relaciona el porcentaje de golpes requeridos para penetrar cierta profundidad, respecto del número total de golpes necesario para penetrar la profundidad evaluada, Normalmente la capacidad de soporte de un pavimento decrece con la profundidad y si dicha disminución es uniforme se considera que el pavimento se encuentra estructuralmente equilibrado. En la Figura N° 6 se presenta los resultados de un ensayo.

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS

Proyecto : Carretera Imperial - Izcuchaca

UBICACIÓN: Km 16+660

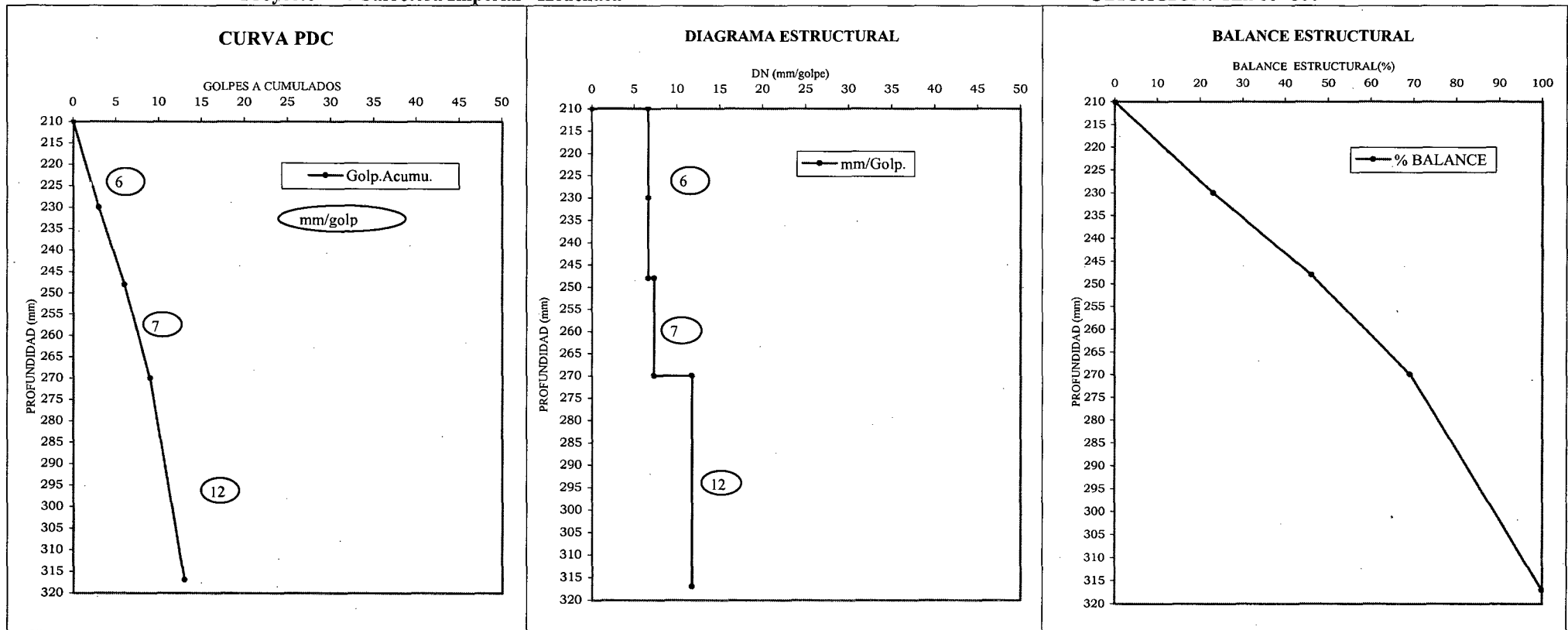


Figura N° 4

Figura N° 5

Figura N° 6

De igual manera que el Diagrama Estructural, este tipo de evaluación permite sectorizar el tramo en estudio y registrar el cambio progresivo que puede adoptar el suelo de fundación cuando se estabiliza.

3.2 TEORIA DE CORRELACION DEL CBR Y EL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO

Esta correlación ha sido establecida sobre la base de una serie de resultados de ensayos de campo y laboratorio, mediante una tarea rutinaria consistente en realizar ensayos de PDC in situ y CBR in situ y con las muestras alteradas e inalteradas ensayadas en laboratorio permitirán identificar y comparar el suelo evaluado.

Mediante esta rutina de trabajo se han analizado numerosos casos correspondientes a suelos finos y mezcla del tipo de suelo arenoso que han permitido establecer una curva de correlación. Esta relación se ajusta mejor a medida que se incorporen mayor pares de valores sugeridos.

Se han trazado curvas de correlación (Figura N° 7) obtenidas en Sudáfrica, Bélgica, Colombia y Argentina entre otros países, presentando la misma tendencia de variación correspondiendo menores valores de CBR para mayores valores de DN (milímetros de penetración por golpe).

El análisis matemático es:

$$\text{CBR} = \frac{A}{\text{DN}^B}$$

Donde :

CBR : Relación Capacidad de Soporte in situ

DN : Resistencia a la penetración en mm/golp

A, B : Constantes del resultado de la correlación.

Sabemos que:

$$\text{LOG}(\text{CBR}) = \text{LOG}\left(\frac{A}{\text{DN}^B}\right)$$

$$\text{LOG}(\text{CBR}) = \text{LOG}(A) - \text{LOG}(\text{DN}^B)$$

$$\text{LOG}(\text{CBR}) = \text{LOG}(A) - B * \text{LOG}(\text{DN})$$

$$\Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow$$

$$Y = a + b * X$$

Si consideramos: $X = \text{LOG}(\text{DN}), Y = \text{LOG}(\text{CBR}),$

$$a = \text{LOG}(A), B = -b$$

$$\Sigma Y = a * N + b * \Sigma X$$

$$\Sigma XY = a * \Sigma X + b * \Sigma X^2$$

$$a = \frac{(\Sigma Y) * (\Sigma X^2) - (\Sigma X) * (\Sigma XY)}{N * \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{N * \Sigma XY - (\Sigma X) * (\Sigma Y)}{N * \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

Entonces se desarrolla la tabla:

	X	Y	X ²	Y ²	X*Y
$\Sigma i = 1, \dots, n$					

$$S_{xy} = n * (\Sigma XY) - (\Sigma X * \Sigma Y)$$

$$S_{xx} = n * (\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2$$

$$S_{yy} = n * (\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2$$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}}$$

S : Desviación Estándar

r : Coeficiente de correlación

r²: La aproximación a la unidad indica mayor acercamiento de los puntos hacia una función matemática.

Finalmente: $A = 10^a$; $B = -b$

Las constantes A y B deben ser valores positivos.

Luego de presentar la forma del cálculo de la correlación buscada, en el CAPITULO IV, se continuó con el ingreso de la información obtenida en campo para luego hacer un análisis, selección y conclusión de los resultados obtenidos. Así también se presentará la forma de evaluación en algunos proyectos de pavimentación, los cuales indicarán la aceptación de la correlación y la necesidad del equipo de PDC.

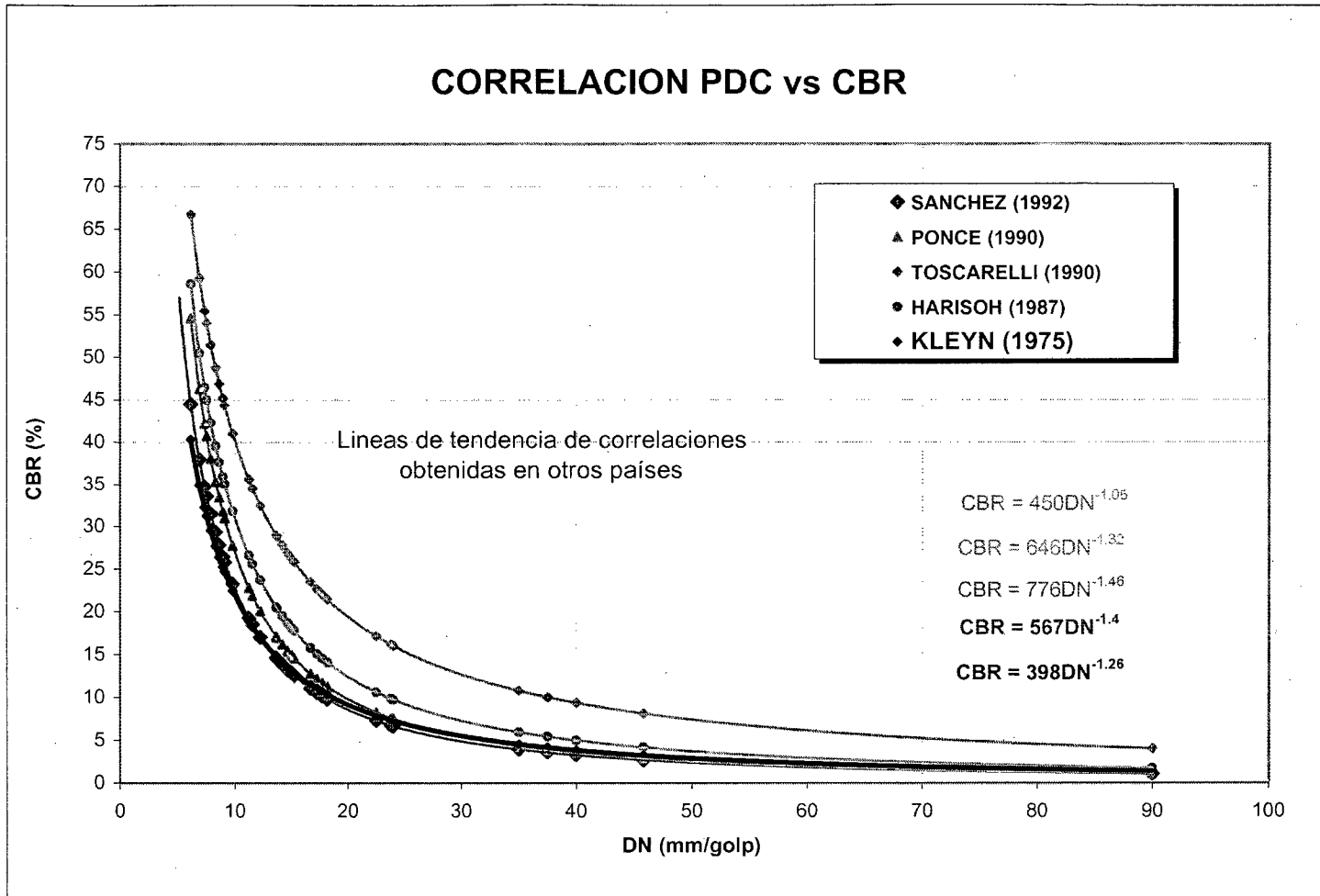


Figura N° 7 Correlaciones obtenidas bajo un mismo modelo matemático realizados en diferentes países

CAPITULO IV

PRUEBAS DE CAMPO Y RESULTADOS

OBTENIDOS PARA EL ANALISIS

COMPARATIVO

CAPITULO. IV

PRUEBAS DE CAMPO Y RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL ANALISIS COMPARATIVO

4.1 PROCESAMIENTOS Y RESULTADOS DE CAMPO

4.1.1 INFORMACION DE CAMPO

Los ensayos fueron realizados en la Av. Canta Callao, Av. Naranjal y Av. El Sol en Lima. En el campo se efectuaron calicatas para luego realizar el registro estratigráfico y obtener muestras para ser enviadas y ensayadas en el Laboratorio de Geotécnico del CISMID para el proyecto del Periférico Vial Norte (1992). En el Anexo IV se presenta el plano de ubicación de las exploraciones geotécnicas de campo. Luego de conocer el suelo evaluado se realizaron ensayos de Densidad, Penetración Dinámica de Cono y CBR in situ para determinar las condiciones en las que se encuentra el terreno.

Se presenta un formato para los apuntes de los datos de campo de PDC, indicando un control de golpes por cada 10 cm., el cual también puede realizarse para un número de golpes la distancia que ha penetrado. Esto puede determinarse de acuerdo al tipo de suelo o el mayor control que pueda realizar la persona encargada del ensayo.

El ensayo de PDC se detiene cuando ocurre un rechazo o el equipo penetra inclinado. Si en los últimos centímetros de penetración se presenta un valor alto de golpes, no se considera para la comparación, por la existencia de un posible rechazo.

Los ensayos de la densidad de campo se realizaron mediante el método del cono de arena, utilizando una arena calibrada cuya densidad es

1.33 gr/cc o extrayendo una muestra inalterada para luego proteger con parafina, sobre el nivel del suelo de fundación en evaluación.

Para el desarrollo del ensayo de CBR se necesitó la ayuda de un camión cargado, cuyo peso total es de 3.6 tn., además del equipo mecánico de CBR como puede verse en la Foto N° 1.

El inicio de los ensayos se efectuó sobre el nivel del suelo de fundación que conforma la estructura del pavimento y eliminando el material indeseable. En la Foto N° 1 se indica la preparación del nivel del suelo a evaluar y de la Foto N° 2 a la Foto N° 4 se presenta la forma de ubicación del equipo de CBR, así como la colocación de la sobrecarga (6 discos de 5 lb.) a utilizar en esta oportunidad.

La descripción visual del suelo y nivel de tráfico vehicular en el desarrollo de los ensayos permiten corregir comparaciones que no están de acuerdo con la información obtenida. En la Foto N° 7 se observa la muestra inalterada extraída de un sondaje para ser ensayado en laboratorio.

Luego de los ensayos de PDC, CBR in situ, y densidad de campo se procede al muestreo del suelo evaluado para realizar los respectivos ensayos estándar en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se realizaron 24 ensayos de CBR in situ, PDC y densidad de campo de los cuales 5 ensayos de CBR in situ resultaron defectuosos, por tal motivo sólo se procesaron 19 ensayos.

En los ensayos de PDC resultó para suelos con características arcillosas de 3 a 4 golpes por cada 10 cm ante una humedad media lo que indica una consistencia blanda a firme para los suelos con características limosas presenta 5 a 6 golpes por cada 10 cm. con humedad media. Por la

ligera humedad del suelo en el ensayo P5 (09/09/99) resulta 8 a 11 golpes por cada 10 cm indicando una consistencia dura.

En el ensayo P5 y P9 (09/09/99) ocurrió el rebote y por ende el rechazo del equipo, estos registros presentaron en un primer instante aumento de resistencia a la penetración y en segundo lugar el rebote exagerado del martillo, motivando el detenimiento del ensayo.

Si fuera la necesidad de realizar el sondaje a mayor profundidad se puede adherir una varilla, siempre y cuando el modelo del equipo lo permitiera, pero se presentará la posibilidad de mayor pérdida de energía, información que se debe tener presente en el momento de comparación para la correlación buscada.

Por el procedimiento del ensayo de CBR in situ, el cual realiza una penetración hasta 0.5 cm. presentó dificultades de penetración por la aparición de gravillas aisladas de 1/8" en la superficie. Además la demora en ubicar correctamente el pistón ocasiona la pérdida de humedad de la superficie del nivel suelo a ensayar, ocasionando una capa superficial de suelo de consistencia dura.

Se presentaron dificultades con el equipo mecánico de CBR por el contacto de la tierra con el engranaje del equipo y la necesidad de mayor fuerza de penetración, ocasionando la rotura de un pin de la parte mecánica del equipo de CBR.

En resumen, el desarrollo del ensayo con el equipo de CBR es lo más cuidadoso que se tiene que realizar y disponer de una carga de reacción que pueda utilizarse para el ensayo de cualquier tipo de suelo no gravoso, el cual eleva el costo de dicho ensayo.

4.1.2 PROCESAMIENTO DE INFORMACION DE CAMPO

Se realizó el cálculo de la resistencia del suelo por medio del equipo de PDC en un cuadro donde se indica la profundidad, golpes realizados, golpes acumulados, índice de penetración, índice de penetración representativo y balance estructural. Finalmente para cada cuadro se efectúa los diagramas de resistencia de capas.

En la evaluación de la resistencia de capas con el equipo de PDC se registró de la superficie hasta 0.30 m de profundidad una resistencia de 6 a 12 mm/golp, indicando consistencia dura; de 0.30 a 0.70 m de profundidad presenta una resistencia de 12 a 29 mm/golp, consistencia firme y de 0.70 m a 1.00 m presenta una resistencia 13 a 60 mm/golp., consistencia firme a dura.

Este perfil de resistencia indica que existe mayor resistencia, sin mucha variación de los índices de penetración, en el estrato superior (de 0.00 a 0.30 m de profundidad) lo cual es probable por el tránsito vehicular, luego en la profundidad 0.30 a 0.70 m resulta una resistencia media, presentando variación de los índice de penetración, lo cual resulta por el cambio de humedad y estrato de suelo y luego en la profundidad 0.70 a 1.00 m resulta una resistencia media, pero se observa un notorio cambio del índice de penetración lo cual indica discontinuidad de la consistencia del suelo.

En resumen, el cambio elevado del índice de penetración durante toda la profundidad ensayada indica un cambio de consistencia, humedad o tipo de suelo lo cual puede ser muy significativo al intentar muestrear todo el estrato como un solo tipo de suelo bajo las mismas condiciones.

Ante el continuo cambio del índice de penetración en toda la profundidad ensayada obliga a tomar un promedio de todos los índices de

resistencia más cercanos, resultando estratos definidos en toda la profundidad.

En las curvas de Balance Estructural de cada ensayo no se observa una disminución uniforme en la resistencia del suelo en todo el sector evaluado, existiendo un desequilibrio estructural en el suelo de fundación del pavimento.

Se realizó ensayos de Proctor y CBR en laboratorio sobre muestras de suelos arcillosos y limosos (CL, ML), con el propósito de realizar una comparación con los ensayos in situ.

Los ensayos de CBR in situ se presentan en un formato indicando la profundidad, clasificación SUCS, clasificación AASHTO, densidad natural, humedad natural, resultados del ensayo y gráfico de Penetración vs Presión. Esta presentación también se utilizará para ensayos de CBR sobre muestras inalteradas.

En los resultados de los ensayos de CBR in situ solo se realizó corrección por gráfico en el ensayo P-2 (realizado el 08/09/99) el cual se efectuó sobre un suelo fino con presencia de gravillas de tamaño máximo de 3/8 pulgadas en 4%, lo cual es el motivo del ensayo defectuoso.

La información complementaria en el desarrollo de los ensayos permite correcciones de los posibles errores de los datos obtenidos.

En el procesamiento de los datos de campo se considera 19 puntos de ensayos (CBR in situ, PDC, Densidad de Campo) para luego ser evaluados.

En el Anexo II se presenta los ensayos de campo y en el Anexo III se presenta los resultados de los ensayos de laboratorio.

4.1.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE INFORMACION

En el Cuadro N° 3 se presenta un resumen de los ensayos de campo y ensayos de laboratorio. El tipo de suelo que resultó es CL, CH, MH y ML; la posibilidad de presencia de materia orgánica indica mayor control en la temperatura de secado del suelo. La granulometría permite el trabajo del equipo de PDC con un tamaño máximo de 3/8" en 5%, el grado de compacidad existente está en el rango de 60% a 89%, en los suelos plásticos la humedad mayor de 9% presenta un índice de penetración dinámica mayor de 15 mm/golp y cuando la humedad es menor de 9% resulta un índice de penetración menor de 15 mm/golp. Por lo tanto, para un suelo susceptible a la humedad, cuando su humedad es baja (menor de 5%), el CBR in situ resulta alto, pero a las condiciones desfavorables de humedad, el CBR disminuye en un aproximado de 9% (como resultó en el ensayo PDC 9 del día 09/09/99). En los casos donde el suelo presenta humedad cercana a la saturación (como resultó en los ensayos PDC 1, PDC 3 y PDC 4 realizados el día 08/09/99), el CBR in situ resulta próximo al CBR (95%) de laboratorio.

Se presenta las mallas utilizadas en la clasificación de cada ensayo para poder estudiar la influencia del tamaño de las partículas del suelo en los resultados de PDC y CBR in situ, demostrándose en el resultado del ensayo PDC 4 (08/09/99) el cual presenta una resistencia de 13.79 mm/golp, un CBR in situ 10.6 % pero la densidad seca resulta 1.12 gr/cm³, indicando una contradicción, esto sucede por la existencia de gravillas de tamaño máximo 3/8 pulgadas en un 10 % lo que adiciona más fricción en los ensayos de penetración.

La falta de comparación de los ensayos bien realizados se deberá a factores de las condiciones del suelo o factores no influyentes directamente en los ensayos.

En el Cuadro N°4, se indica los valores del índice de penetración dinámica de cono así como los valores de CBR in situ, los obtenidos por muestra inalterada, los de laboratorio y los resultados obtenidos de correlaciones de otros países. Los valores de CBR in situ presentan un acercamiento al resultado sobre muestras inalteradas, esta muestra inalterada sumergida presenta un valor de CBR muy bajo en un suelo arcilloso, pero al realizar la comparación entre los valores de CBR in situ y los resultados de correlaciones obtenidas en otros países resultan más cercanos a los obtenidos por los autores como Kleyn (1975), Sánchez (1992) y Ponce (1990); los cuales han realizado correlaciones sobre ensayos in situ.

Esto se puede dar en los casos donde no se dispone de la maquinaria necesaria, realizando una compactación hasta una profundidad limitada, la cual puede ser superada por el tránsito vehicular en el tiempo de servicio del pavimento

Los valores elevados de los autores Harisoh (1987) y Toscarelli (1990), resultan porque las correlaciones las realizaron sobre muestras remoldeadas en laboratorio y en otras condiciones del suelo, motivo por el cual se recomienda no considerar como información de campo. Pero los valores de CBR (100% de la Máxima Densidad Seca) de laboratorio son próximos a los valores de CBR obtenidos de Harisoh (1987) siempre y cuando los valores del índice de penetración sean mayores de 15 mm/golp existiendo una diferencia promedio más o menos de 8%, lo que no indica la completa seguridad.

Finalmente, con el propósito de determinar el CBR para el diseño de una vía se presenta un cuadro (como del Cuadro N° 4) para definir sobre cual de los ensayos se da mayor interés. Esto depende de las condiciones que presenta el terreno natural y las condiciones que adopta el suelo en el laboratorio, además de la disponibilidad económica que tiene el proyecto.

Es posible que los resultados de CBR de laboratorio resulten contradictorios con el tipo de suelo ensayado, especialmente los que son sensibles a la humedad, puedan ser corregidos con los resultados del ensayo de Penetración Dinámica de Cono.

Es importante señalar, según los resultados presentados en el CUADRO N° 3, que los suelos evaluados tienen más de 53 % de finos (porcentaje que pasa el tamiz N 200), en algunos casos tienen un índice plasticidad de 14 a 26 % y en otros casos no presenta índice de plasticidad. Además la humedad natural se encuentra de 2 a 19%, presentando una densidad natural de 1.12 a 1.68 gr/cm³.

Entonces se deja establecido las características que presentaron los suelos investigados, de tal manera que pueda ser útil en la evaluación geotécnica de futuros proyectos de pavimentación por medio del equipo de PDC.

CUADRO N° 4
RESUMEN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN DIFERENTES CONDICIONES DEL SUELO

FECHA	PDC Nro.	PDC (mm/golp)	CBR (%)								
			IN-SITU	LABORATORIO		HARISOH	KLEYN	TOSCARELLI	PONCE	SANCHEZ	
				COMPACTO 100%	INALTERADO SIN SUMERGIR						SUMERGIDO
08/09/1999	1	29.17	7	10.7	-	-	7.53	5.68	13.03	5.64	5.04
	2	16.67	11.1	10.7	-	-	15.75	11.49	23.45	12.76	11.04
	3	23.33	8.3	10.7	-	-	10.11	7.52	16.48	7.81	6.89
		23.33	6.2	11.6	-	-	-	-	-	-	-
	4	13.79	10.6	6.5	-	-	20.23	14.59	28.62	16.83	14.39
	5	35.71	12	6.5	-	-	5.76	4.40	10.54	4.20	3.80
6	25	7.8	6.5	-	-	9.22	6.89	15.32	7.06	6.26	
09/09/1999	1	12.12	12.3	11.6	-	-	23.99	17.17	32.77	20.32	17.25
	2	13.13	15.2	11.6	-	-	21.58	15.52	30.13	18.08	15.42
	3	8.51	10.6	42	8.48	-	38.26	26.80	47.51	34.05	28.29
	3	13.33	-	-	5.24	3.16	-	-	-	-	-
	4	15	11.2	42	-	-	18.10	13.12	26.20	14.89	12.80
	5	14.29	13.8	42	-	-	19.30	13.95	27.57	15.98	13.69
	6	10	17.6	42	-	-	30.92	21.87	40.11	26.91	22.57
	7	16.67	9.6	42	-	-	15.75	11.49	23.45	12.76	11.04
	8	11.11	21.5	22	-	-	26.91	19.16	35.91	23.07	19.48
9	21.74	6.4	22	-	-	11.09	8.22	17.75	8.66	7.61	
16/09/1999	1	16.67	5.5	22	-	-	15.75	11.49	23.45	12.76	11.04
	2	20	6.2	22	-	-	12.38	9.13	19.37	9.78	8.55
	3	7.69	27.5	19.5	-	-	43.73	30.45	52.84	39.48	32.61

4.2 ANALISIS DE LA INFORMACION DE CAMPO

Se evalúa por medio de golpes del equipo PDC, un comportamiento homogéneo por estrato, lo que nos indica que existe un tipo de suelo con una granulometría, compacidad, humedad, plasticidad que ofrece resistencia a la penetración. La variación de cualquiera de las condiciones nombradas indica cambio en los valores obtenidos con el equipo de PDC.

4.2.1 ENSAYO EN SUELOS NO GRAVOSOS

De acuerdo a la evaluación de la curva de PDC, diagrama de resistencia y el balance estructural se obtuvieron los resultados del ensayo de PDC.

Los suelos arenosos con baja plasticidad y medianamente densos ofrecen una resistencia a la penetración de 3 a 9 golpes por cada 5 cm. Los suelos limosos y arcillosos de humedad entre 6% a 20%, ofrecen resistencia de 2 a 3 golpes por cada 5 cm. Los suelos de relleno ofrecen resistencias de 1 a 2 golpe por cada 15 cm, habiendo casos que en un golpe penetró hasta 60 cm.

La compacidad alta es un factor a considerar por que se obtuvieron valores como en las arcillas que en 7 golpes penetró 5cm. y en las arenas fueron 12 golpes en 5cm estos valores se obtuvieron en los casos de ensayar en los primeros 50cm de estrato. Por lo tanto, se debe tener en cuenta a qué nivel de estrato se realizarán los ensayos de PDC.

Dentro de los valores de campo se obtuvieron a la profundidad de 1.10 m, resistencias de 2 golpes por cada 5cm, resultando baja capacidad de resistencia para la cimentación de un pavimento donde existe un pesado tránsito vehicular.

En los ensayos de campo se aprecia que los primeros 0.05m de ensayos no se deben considerar por la posible pérdida de confinamiento del suelo o la compacidad que se agrega en el momento de efectuar el ensayo.

En el Cuadro N°5 se indica resultados del comportamiento del suelo en el ensayo de Penetración Dinámica de Cono.

CUADRO N°5

CLASIFICACION DE SUELO	CONSISTENCIA	NUMERO DE GOLPES POR CADA 5CM
SM, SP-SM, SP, SP-SC	SUELTA	1 – 2
	MEDIA	3 – 9
	ALTA	10 – 12
CL, ML, ML-CL, MH, CH	SUELTA	1 – 2
	MEDIA	2 – 3
	ALTA	4 – 10

Los ensayos de CBR de campo se realizaron a una profundidad de 0.4m y 0.6m del nivel del terreno natural por observar cambio de estrato. La sobrecarga utilizada en los ensayos fue de 6 a 7 discos de 5 lb cada uno, dependiendo del tipo de suelo sobre el cual se cimentará el pavimento. El aumento uniforme en la toma de las lecturas de carga para la penetración del pistón indica un ensayo correcto, la poca variación (entre 0.00 a 0.01) y exagerada variación (aproximadamente de 0.025) de las lecturas de carga, solo entre dos puntos consecutivos, obliga a realizar correcciones permitidas en el gráfico o resulta un ensayo erróneo y no se considera en la correlación.

En el Cuadro N° 4 se resume los valores de CBR obtenidos del laboratorio del campo y de correlaciones obtenidas en otros países. En la comparación del CBR obtenido de la correlación de Kley (1975) con el CBR del ensayo in situ (solo de los ensayos que resultaron con DN mayor de 15 mm/golp), existe un acercamiento máximo de mas o menos 2% lo que

significa que la ecuación de Kleyn (1975) es confiable. Los valores de CBR en el laboratorio sobre muestras inalteradas presentan una diferencia si la misma muestra inalterada primero se satura para luego ser ensayada, esta diferencia interpreta, si el terreno de fundación es humedecido y no compactado, puede traer consecuencias como asentamiento del pavimento en el tiempo de servicio.

De los resultados obtenidos, existieron ensayos que no son correctos de acuerdo a las condiciones en las que se encontraba el terreno, los cuales no se tomarán en cuenta en la correlación.

La densidad de campo se efectuó cerca al punto del ensayo de CBR in situ por el método del cono de arena o extrayendo muestra inalterada, evitando en lo posible la alteración y pérdida de humedad de la muestra extraída.

En los primeros cinco puntos de ensayo se observó contenido de humedad del suelo considerable y presencia de plasticidad, resultando valores bajos de CBR in situ y menor resistencia de penetración con el equipo de PDC. Los puntos siguientes observaron bajo contenido de humedad, baja plasticidad y presencia de porosidad, manchas de oxidación, granos de suelos de forma angular duros, los cuales posiblemente pueden ser motivo de error en los ensayos de CBR in situ. La resistencia de los suelos con los ensayos de PDC resultaron bajos cuando dicho suelo presenta porosidad.

Por tal motivo, la comparación de los ensayos de CBR y PDC en campo se va controlando en el lugar del ensayo de acuerdo al tipo de suelo para así tomar las previsiones del caso.

Los suelos de arcilla limosa en condiciones de consistencia media presentan CBR in situ de 6% a 15% y en los suelos limosos de baja

plasticidad presentan un rango de CBR in situ demasiado elevado para suelos finos, resultando condiciones muy conservadoras, pero no indican que el ensayo es erróneo.

La alternativa de utilizar el equipo de PDC al realizar un perfil de penetración dinámica, se aproxima al registro de calicata, permitiendo identificar límites y resistencia (CBR) de los estratos de suelos ante cualquier problema visual. Un ejemplo se puede observar en la Foto N° 7, que presenta una muestra inalterada, indicando el límite de cambio de la estructura de suelo. Esto se puede identificar con el ensayo de PDC 3 (09/09/99), en el cambio del índice de penetración dinámica en la profundidad de 0.30 a 0.80 m.

Las condiciones de la estructura del suelo natural o una capa de un pavimento existente, indican resultados diferentes al comparar ensayos in situ y CBR de laboratorio, ofreciendo alternativas de solución ante cualquier cambio de la etapa de proyecto.

Las condiciones de una zona como la costa de nuestro país, donde es poca la posibilidad de que el suelo se sature, hacen necesario conocer la capacidad de soporte in situ.

Los resultados elevados de contenido de humedad y baja densidad seca, indican la posibilidad de la presencia de materia orgánica. En el análisis en laboratorio estos tipos de suelos deben ser secados en horno a una temperatura de 60°C para evitar que se quemara el material.

En resumen, informar del suelo de fundación de un pavimento (para suelos finos) en las condiciones naturales por medio del equipo dinámico debe presentar una consistencia media de 16 a 25 mm/golp y una humedad mayor de 4%. Si el índice de penetración (DN) es menor 16 mm/golp, puede ser por el bajo contenido de humedad o algún elemento químico o la

presencia de gravillas de 3/8 pulgadas, si es por el bajo contenido de humedad o la presencia de un elemento químico no es recomendable considerar la información, pero si resulta por la presencia de gravillas se puede tomar en cuenta el índice de penetración. Si el índice de penetración (DN) es mayor de 25 mm/golp puede ser por la consistencia blanda, ahora puede suceder por humedad elevada o por que presenta baja humedad y está suelta; si presenta humedad elevada es importante como información, pero si está suelta con baja humedad puede tratarse de un relleno que no se tomará en cuenta como terreno de fundación.

Para utilizar la información en suelos arenosos debe presentar una compacidad media de 5.56 mm/golp a 16 mm/golp y una humedad de 3 a 15 %. Si el índice de penetración (DN) es menor de 5.56 mm/golp resulta por la baja humedad o por la presencia de un elemento químico, valor que no se debe considerar, pero si el índice de penetración (DN) es mayor de 16 mm/golp puede resultar de un relleno lo cual no sería recomendable considerar.

Los valores del índice de penetración (DN) quedan establecidas pero es recomendable calcular un promedio de todos los ensayos de PDC realizados en un tramo, además los registros de calicatas permitirán identificar con mayor profundidad el suelo de fundación.

El ensayo de PDC resulta rápido y económico y además permite determinar el CBR in situ, por el momento, por medio de la ecuación de Kleyn. Por tal motivo la determinación de una correlación con parámetros locales (bajo las condiciones indicadas anteriormente) brindará información con mayor precisión.

4.2.2 ENSAYO EN SUELOS GRAVOSOS O SOLIDOS RESISTENTES

La presencia de suelos gravosos y suelos demasiados compactos ocasiona que sean rechazados por el equipo de PDC. En suelos gravosos, de granulometría mayor de 3/4" y la existencia de caliche (material sólido resistente), sucede el rechazo; ante un salto del martillo mayor o igual de 5mm, se recomienda continuar con un golpe, si ocurre salto del martillo se detiene el ensayo o se utiliza un equipo de perforación para romper el material de obstrucción y continuar con el ensayo. En suelos muy compactos donde ocurre en el golpe un salto del martillo menor de 5mm, se recomienda continuar con 2 a 3 golpes, dependiendo si en el primer golpe adicional se aprecia un avance del equipo de PDC, si persiste el salto del martillo el ensayo se detiene.

Se debe realizar por cada 10 ensayos de PDC el mantenimiento del equipo y si es frecuente el rechazo en gravas, es bueno revisar el equipo en la zona de unión por la posible deformación de los dientes del enroscado, por la cual se doblará las piezas del equipo. En el Cuadro N°6 se indica un resumen.

CUADRO N°6

SALTO DEL MARTILLO	TIPO DE SUELO	NUMERO DE GOLPES ADICIONALES
Mayor o igual de 5mm	Gravas de granulometría mayor de 3/4"	1 a 2 golpe
Menor de 5mm	Finos compactos	2 a 3 golpes

Si continúa el rebote del martillo se detiene el ensayo

4.3 SELECCIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez obtenidos los resultados de campo y de laboratorio se prepararon los Cuadros N° 3 y N° 4 para proceder a la selección de los resultados.

En la selección de los resultados obtenidos, los valores que se alejan demasiado de la línea de tendencia de correlación resultan en aquellos suelos que presentaron granos meteorizados, oxidación y gran porcentaje de porosidad. Lo anterior crea valores DN (mm/golpe), en un ensayo de PDC, que no son acordes con los resultados del ensayo de CBR in situ. Esto sucede en los suelos que contienen bajos contenidos de humedad resultan ensayos de CBR in situ demasiados altos, lo contrario sucede cuando el contenido de humedad es alto resultaría un CBR in situ bajo. Estas consideraciones se presentaron en los siguientes puntos que no se tomaron en cuenta para la correlación.

El ensayo $PDC5 = 35.71\text{mm/golpe}$, $CBR = 12\%$ y de clasificación de suelo CL (A-7-6(12)) que se realizó el 08/09/99, no se consideró porque el CBR es alto para una baja resistencia de capa. Del ensayo de PDC resultaron valores mas próximos a las condiciones reales del suelo, pero el ensayo CBR, que se desarrolla en 0.5" de profundidad, se vio afectada por que el suelo presentaba granos meteorizados cementados, ofreciendo mayor resistencia.

El ensayo $PDC3 = 8.51\text{mm/golpe}$, $CBR = 10.6\%$ y de clasificación ML (A-4 (8)) que se realizó el 09/09/99, presenta variaciones en la resistencia de capas a diferentes espesores como se indica en la Foto N°7, en la que se observa una muestra inalterada extraída del campo, en la cual el estrato superior fue ensayado por el CBR in situ y el estrato inferior de la misma clasificación de suelo presenta menor porosidad y poco contenido de humedad. También se realizó ensayos de CBR en el laboratorio sobre muestras inalteradas sin sumergir y sumergida, ejemplo en el estrato resulta un valor de 8.6 como indica en el Cuadro N°4, concluyendo que un suelo ensayado in situ resulta una resistencia mayor que un ensayo en muestra inalterada. La poca profundidad del ensayo de CBR y ante un suelo con porcentaje

de vacíos en una parte del estrato y más denso en otra parte del suelo, dificulta la representación del CBR.

El ensayo PDC1 = 16.67mm/golpe, CBR = 5.5 % y de clasificación CL (A-7 (19)), que se realizó el 16/09/99, la presencia de una estructura del suelo variado crea unos resultados lejos de la línea de tendencia de comparación. La superficie sobre el terreno de ensayo de CBR in situ necesitó mayor cuidado de nivelación ante la presencia de mayor cantidad de grumos aislados del suelo, el bajo contenido de humedad influye en los resultados de ensayo de PDC y CBR.

Los valores de índice de penetración (DN) que van a ser considerado en la correlación, resultan de los ensayos para los suelos limosos y arcillosos, estableciendo que para aquellos de consistencia suelta está en el rango de 25 a 50 mm/golp, para los que presentan consistencia media los valores se encuentran de 16 a 25 mm/golp y para aquellos de consistencia alta en el intervalo de 5 a 16 mm/golp.

Para la correlación se toman pares de valores de índice de penetración (DN) entre 7 a 36 mm/golp y CBR in situ de 5 a 30 % sobre suelos finos con humedad de 2 a 19 % e índice de plasticidad menor de 30 % a una temperatura del medio ambiente de 18°C.

Estas propiedades de los suelos se deben tener en cuenta para que en el futuro desearan utilizar la correlación matemática. El acercamiento a una de las correlaciones establecidas en otros países permiten la alternativa de otra formula matemática a la cual puede asistirse.

4.4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CORRELACION

4.4.1 CORRELACION OBTENIDA

Los pares de valores que están más cerca de la curva de correlación según el modelo matemático establecido son consideradas aceptables. De los 19 pares de valores obtenidos de los ensayos en campo, 16 pares de valores tienen mayor acercamiento a la línea de tendencia:

Si consideramos: $X = \text{LOG}(\text{DN})$, $Y = \text{LOG}(\text{CBR})$

CUADRO N° 7

DN	CBR(In situ)	X	Y	X ²	XY	Y ²
29.17	7	1.465	0.845	2.146	1.238	0.714
16.67	11.1	1.222	1.045	1.493	1.277	1.093
23.33	8.3	1.368	0.919	1.871	1.257	0.845
13.79	10.6	1.140	1.025	1.299	1.168	1.051
25	7.8	1.398	0.892	1.954	1.247	0.796
23.33	6.2	1.368	0.792	1.871	1.084	0.628
12.12	12.3	1.084	1.090	1.174	1.181	1.188
13.13	15.2	1.118	1.182	1.251	1.322	1.397
15	11.2	1.176	1.049	1.383	1.234	1.101
14.29	13.8	1.155	1.140	1.334	1.317	1.299
10	17.6	1.000	1.246	1.000	1.246	1.551
16.67	9.6	1.222	0.982	1.493	1.200	0.965
11.11	21.5	1.046	1.332	1.094	1.393	1.775
21.74	6.4	1.337	0.806	1.788	1.078	0.650
20	6.2	1.301	0.792	1.693	1.031	0.628
7.69	27.5	0.886	1.439	0.785	1.275	2.072
	Σ	19.285	16.578	23.629	19.548	17.752

$$S_{xy} = n * (\Sigma XY) - (\Sigma X * \Sigma Y) = 16 * (19.548) - (19.285 * 16.578)$$

$$S_{xy} = -6.938$$

$$S_{xx} = n * (\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2 = 16 * (23.629) - (19.285)^2$$

$$S_{xx} = 6.148$$

$$S_{yy} = n * (\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2 = 16 * (17.752) - (16.578)^2$$

$$S_{yy} = 9.20$$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}}$$

$$r = \frac{-6.938}{\sqrt{6.148 * 9.20}}$$

$$r = -0.922$$

$$100 * r^2 = 85 \%$$

De la ecuación :

$$16.578 = a * 16 + b * 19.285$$

$$19.548 = a * 19.285 + b * 23.629$$

Resulta

$$a = 2.396$$

$$b = -1.128$$

Ahora: $A = 10^a = 10^{2.396}$

$$A = 249$$

$$B = -(-1.128)$$

$$B = 1.128$$

Finalmente la correlación es:

$$\text{CBR} = \frac{249}{\text{DN}^{1.128}}$$

$$R = 85 \%$$

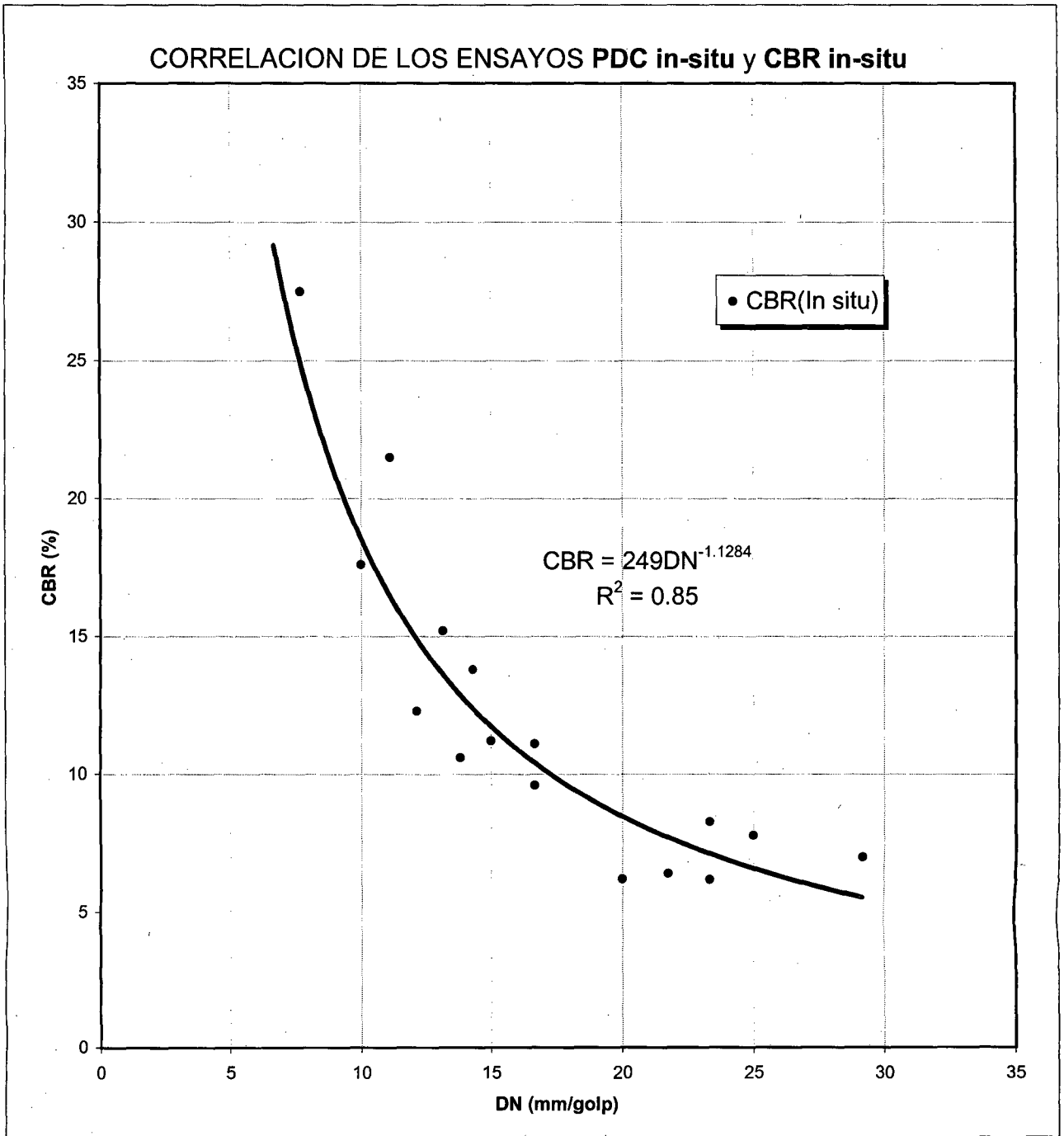
CBR : Relación de capacidad de soporte.

DN : Resistencia a la penetración de capas.

R : Coeficiente de correlación, indica mayor acercamiento de los puntos a la línea de tendencia.

En el Gráfico N°1 se observa la ubicación de los puntos, la línea de tendencia y la fórmula matemática obtenida de la correlación, presentándose en la forma del modelo matemático establecido.

GRAFICO N° 1
ENSAYOS REALIZADOS EN LA AV. CANTA CALLAO Y AV. NARANJAL



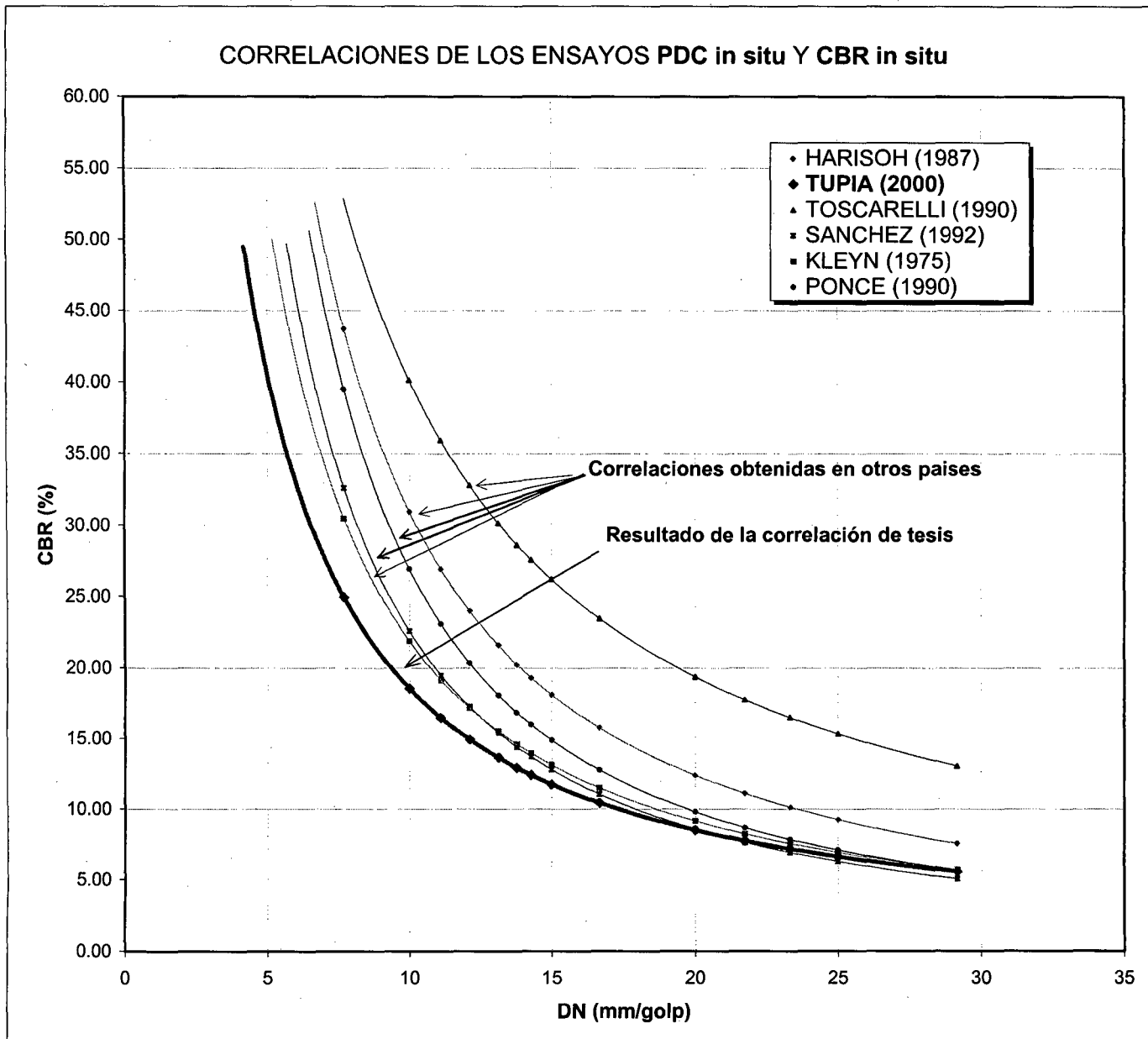
Entonces el resultado de la tesis consiguió una correlación de $CBR = 249 / DN^{1.128}$ presentando un nivel de confianza de 85% con 16 pares de valores. Con el propósito de comparar los resultados con correlaciones obtenidas en otros países se realizó el Gráfico N° 2, observándose el acercamiento a las correlaciones nombradas y mucho más próximo a la correlación establecida por Kleyn (1975), la cual se formuló de muchos años de ensayos.

Con el propósito de presentar, como información complementaria, para una correlación sólo de los ensayos realizados en la Av. Canta Callao, se estableció el Cuadro N° 7A y se realizó el Gráfico N° 2. El nivel de confianza para esta correlación es del 92%, planteándose una ecuación con seguridad para la utilización en proyectos de pavimentación en esta vía.

Esta evaluación se realizó con la finalidad de establecer el procedimiento de correlación para un tipo de suelo o para un tramo de pavimentación en estudio. Para obtener la correlación de dos valores de ensayos, se requiere un porcentaje de confianza de tal manera que el exponente del índice de penetración debe ser mayor de 1 y obtener la mayor cantidad de puntos (mayor de 10), dependiendo de la longitud del proyecto. Esta información nos permite brindar mayor seguridad, para ser utilizada como una alternativa para el cálculo del CBR del suelo evaluado.

Finalmente con el propósito de brindar mayor seguridad a la correlación obtenida, $CBR = 249 / DN^{1.128}$, se analizará algunos pavimentos existentes y se efectuara una comparación para cada proyecto entre los CBR de la correlación de la tesis, CBR in situ, CBR de laboratorio y CBR de correlaciones obtenidas en otros proyectos. Estos valores se obtendrán de un método estadístico considerando el nivel de tráfico que transita por la vía en diseño. Con al finalidad de comprobar los resultados de la correlación de tesis se utilizó la ecuación en proyectos de pavimentación como se presentará en el sub capítulo siguiente.

GRAFICO N° 2
COMPARACION DE LA CORRELACION OBTENIDA EN LA TESIS Y DE OTROS PAISES

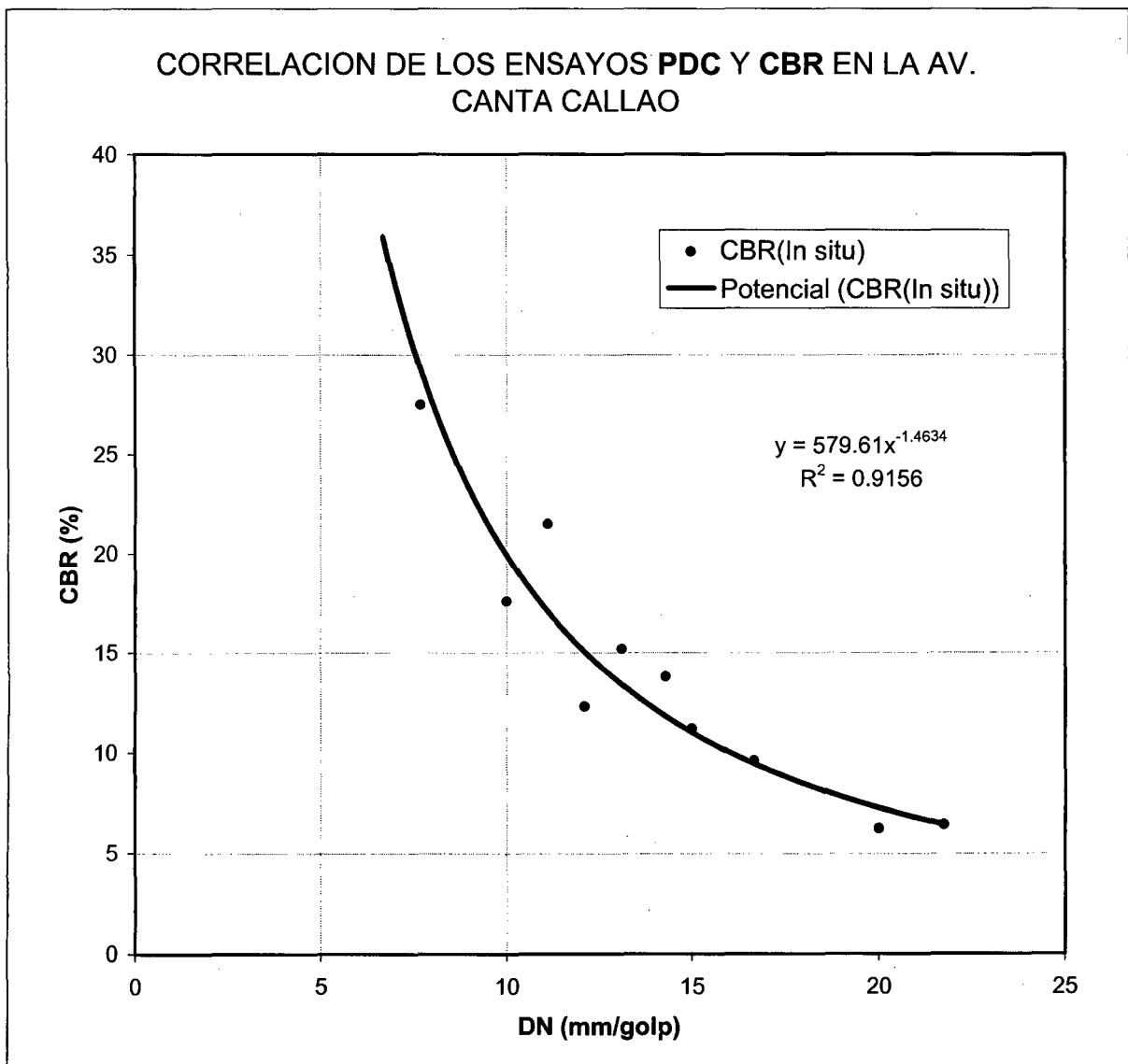


El acercamiento del grafico obtenido de la correlación de la tesis y los obtenidos en otros paises indica otra posibilidad matematica a utilizar en evaluaciones futuras del suelo de fundación de un pavimento

CUADRO N° 7A
CORRELACION DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LA AV. CANTA CALLAO

PDC	CBR(In situ)	X	Y	X ²	XY	Y ²
12.12	12.3	1.084	1.090	1.174	1.181	1.188
13.13	15.2	1.118	1.182	1.251	1.322	1.397
15	11.2	1.176	1.049	1.383	1.234	1.101
14.29	13.8	1.155	1.140	1.334	1.317	1.299
10	17.6	1.000	1.246	1.000	1.246	1.551
16.67	9.6	1.222	0.982	1.493	1.200	0.965
11.11	21.5	1.046	1.332	1.094	1.393	1.775
21.74	6.4	1.337	0.806	1.788	1.078	0.650
20	6.2	1.301	0.792	1.693	1.031	0.628
7.69	27.5	0.886	1.439	0.785	1.275	2.072

GRAFICO N° 3



4.4.2 EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y PAVIMENTOS EXISTENTES CON EL ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

Se establece entonces que si el contenido de humedad es pequeño (menor de 5%), las medidas del índice de Penetración Dinámica son pequeñas, es decir mayor resistencia del suelo y por consiguiente puede resultar un valor de CBR elevado, lo contrario sucede si el contenido de humedad es elevado.

Si el valor de CBR resulta elevado puede suceder que el suelo presenta ligera humedad lo cual no es recomendable como valor de información, o también puede presentarse que el suelo contenga gravillas por lo que aumenta su fricción, aumentando por consiguiente la resistencia a la penetración.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la tesis, presentaron la posibilidad de comparación de los ensayos de CBR de laboratorio y el CBR obtenido de la correlación de la tesis bajo ciertos parámetros de humedad y de resistencia a la penetración. Este análisis se va a realizar en la evaluación de los proyectos de pavimentación.

La comparación de los valores de CBR se realiza con un criterio de percentil, variable con el nivel de tráfico expresado como EAL. En el siguiente cuadro se establece los límites:

LIMITES DE DISEÑO DE LA SUB RASANTE

Nivel de Tráfico EAL	Valor de Percentil de Diseño de la sub-rasante (%)
10^4 o menos	60
Entre 10^4 y 10^6	75
10^4 o más	87.5

En el Anexo I se presenta las figuras de comparación del perfil del Índice de Penetración Dinámica y los registros de calicatas de los proyectos evaluados.

A continuación, utilizando el equipo de PDC, se realizó una evaluación geotécnica en los siguientes estudios: Proyecto de Pavimentación de las Avs. Canta Callao y Naranjal en el Dist. Los Olivos - Prov. Lima, Proyectos de Asfalto de las Avenidas ubicadas en las Provs. Huacho y Barranca, Proyecto Litoral Norte en la Prov. de Lima, Proyecto Especial Periférico Vial Norte en la Prov. Lima, Proyecto Carretera Imperial - Izcuchaca en Huancayo y Proyecto Geotécnico con fines de Pavimentación de la Vía Carrozable Tiwinza ubicado en la Frontera con el Ecuador.

PROYECTO EXPLORACION GEOTECNICA CON FINES DE PAVIMENTACION CANTA CALLAO – AV. NARANJAL

El tramo de pavimentación tiene una extensión de 5.5 km. comprendiendo las Avs. Canta Callao y Naranjal, ubicadas en el distrito de Los Olivos.

En el proyecto se realizaron sondajes de exploración de campo, ensayos de densidad de campo, ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) y los respectivos muestreos de suelos para ser enviados al laboratorio.

Se realizó una comparación de los registros de calicatas y los resultados del PDC, ver Figura N° 8 (Anexo I). El perfil del índice de penetración dinámica (ensayos de PDC cada 100 m), $DN = 23.81 \text{ mm/golp}$, permite identificar en la Av. Canta Callao, el tramo Km. 0+230 al Km. 2+100 y en la profundidad de 0.30 m. a 1.00 m. un estrato de media a baja resistencia, verificando con el registro de calicata la existencia de un suelo tipo arcilla limosa (CL) indicando un $CBR (95\%) = 10.5\%$, luego con la facilidad de realizar mas ensayos de PDC cada 50 m. se identificó en el tramo Km. 2+100 al Km. 2+600 y en la profundidad 0.30 m. a 1.20 m un estrato de media resistencia ($DN = 15 \text{ mm/golp}$), verificando con el registro de calicata la existencia de un suelo limoso (ML) presentando un $CBR (95\%) = 18.9 \%$.

En la Av. Naranjal el perfil del índice de resistencia ($DN = 18.18 \text{ mm/golp}$) identificó un estrato en la profundidad 0.30 m. a 1.20 m, un suelo tipo arcilla limosa (CL) de baja resistencia de $CBR (95\%) = 9.02\%$.

Entonces según los resultados del ensayo de PDC y la consistencia media (ver Cuadro N° 5), se logró identificar el tipo de suelo sin la necesidad de realizar una excavación.

CUADRO N° 8

Nro.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR (PDC)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA									OBSERVACION	
								95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60	N 140		N 200
1	15.23	SM	1.88	12.5	28	-	-	14	18.2	21.5	2.4	1.52	11.54	-	-	-	-	100	99.5	84.1	47.5	21.7	20.4	Posible transito
2	16.67	SM			29	-	-	16.9	18	18.5	5		10.42	-	-	-	-	100	99.6	75.9	43.9	18.2	16.4	
3	23.81	CL	1.79	17.3	39.4	20.4	19.1	10.5	15.06	18	9.8		6.97	-	-	100	99.94	99.48	97.43	92.11	84.73	66.51	61.4	Aceptado
4	16.67	SM	1.8	14.5	28	-	-	17.8	19	19.5	3.1	1.65	10.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	9.8	SM	-	-	-	-	-	22	23	23.8	-	-	18.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	7.89	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Compactado
7	8.3	SM+CL	-	-	-	-	-	22	23	24	-	-	22.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Area de lote
8	8.62	SM	-	-	-	-	-	23	24	25.8	-	-	21.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	14.71	CL	1.74	17.2	35.8	22.2	13.6	10.7	11.02	11.3	4.28	-	12.00	-	-	-	100	99.76	99.39	98.23	96.59	93.9	92.22	
10	37.5	CL						2.8	3.7	4.5			4.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	15	SM	1.88	13.5	32	-	-	23			2.7	-	11.74	-	-	-	-	100	98.5	96.7	78.3	47.6	45.4	
12	45.83	ML	1.62	21.9	39	29	10	18.9	21.9	23.02	6.92	-	3.33	-	-	100	99.97	97.19	92.77	89.82	88.05	82.15	77.81	Aceptado
13	14.18	SM	-	-	-	-	-	20	23	24			12.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	8.93	ML	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	17.24	CL	1.75	19.9	36.8	22.2	14.6	11.8	13.45	14.2	17.75	-	10.03	-	-	100	99.04	98.78	98.2	95.93	91.79	80.63	76.77	Aceptado
16	6.9	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	11.21	CL	1.76	18	39.8	21.2	18.6	2.1	3	4.3	26.3	-	16.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	14.63	CL-ML	-	-	-	-	-	2.8	3.4	4.3	-	-	12.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	12.24	CL	1.9	13.5	29.7	19.3	10.4	4.2	4.9	6.1	6.9	1.7	14.76	-	-	-	100	99.2	97.6	85.4	69.7	55.7	54.6	Aceptado
20	13.64	CL	-	-	-	-	-	4	4.7	5.8			13.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	16.67	CL	-	-	-	-	-	4.2	4.6	5.1	-	-	10.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	11.54	ML	-	-	-	-	-						15.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	17.71	CL	-	-	-	-	-	3.2	3.9	4.4	-	-	9.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	90	ML	-	-	-	-	-						1.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible relleno
25	9.09	ML	-	-	-	-	-	24.8	30	36	-	-	20.65	-	-	100	98.7	98	97.2	90.7	74.4	52.8	50.7	
26	16.67	CL	-	-	-	-	-	3.1	3.8	4.3	-	-	10.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	35	CL	-	-	-	-	-	2.5	3.5	4.1	-	-	4.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	7.89	CL	1.8	15.2	-	-	-	6					24.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	No considerar
29	18.18	CL	1.562	22.4	52	27.3	24.6	9.02	9.82	10.1	6.11	-	9.45	-	-	-	100	91.28	85.43	81.25	77.41	70.04	67.7	Aceptado
30	24	CL	-	-	-	-	-	5.5	-	-	-	-	6.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible compa..
31	40	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible relleno
32	7.35	CL	1.72	17	-	-	-	22.5	-	-	25.5	-	26.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	22.5	CL	-	-	38.8	22	16.8	3	3.9	4.5	-	-	7.43	-	100	98.7	97.3	96.1	94.5	92.7	91	83	81.6	Aceptado
34	13.71	SM	-	-	-	-	-	21	-	-	-	-	12.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible compa..
35	16.67	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible compa..
36	7.53	CL	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	25.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Posible compa..
37	6.16	ML	-	-	31.3	-	-	21.5	30.1	36.5	-	-	32.03	-	100	96.3	95.7	95	94.5	94.4	94.2	86.9	85.5	

En el Cuadro N° 8 se registra los ensayos de PDC y los resultados de los ensayos de laboratorio.

El cálculo final del CBR del terreno de cimentación de un pavimento se realiza de acuerdo al nivel de tráfico representado por el número de repeticiones de carga equivalente de los distintos vehículos que transitarán por la vía a diseñarse. Por ejemplo, para un tráfico de 10^6 , le corresponde un porcentaje de 87.5% de igual o mayor valor.

En el Gráfico N° 4 del Proyecto Futura Autopista Canta Callao – Av. Naranjal donde se realizaron ensayos de PDC in situ, se calculó el CBR (correlación de tesis) según el nivel de tráfico de acuerdo a la correlación resultando un valor de 5.7%; luego se calculó el CBR de los ensayos de laboratorio (ver Gráfico N° 5) cuyo valor es 2.6% en condición desfavorable y finalmente se calculó el CBR in situ (ver Gráfico N° 6), resultando un valor de 6.20%. En el cuadro N° 9 se indica el resumen de los CBR obtenidos.

CUADRO N° 9

CBR PDC (tesis)	CBR IN-SITU	CBRLABORATOR. (95%)
(%)	(%)	(%)
5.71	6.24	2.91

De esta manera se comprueba la cercanía de los valores de CBR obtenidos de ensayos in situ y los obtenidos de la correlación propuesta en la tesis.

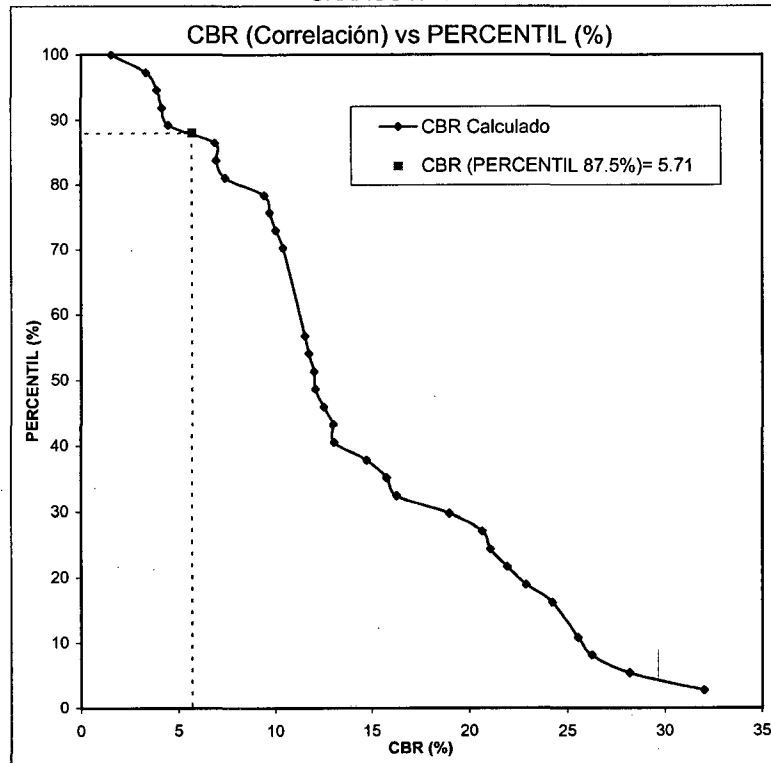
El equipo de PDC permitió identificar los suelos de baja resistencia y sectorizar por tramos, sin la necesidad de obtener muestras.

Para los suelos arcillosos (CL), que presentan humedad entre 4 a 15 % y DN = 14 a 17 mm/golp, el CBR de la correlación de la tesis es próximo

CALCULO DEL CBR in situ FINAL A PARTIR DEL ENSAYO PDC SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
15.23	11.54	32.03	1	2.70
16.67	10.42	28.18	2	5.41
23.81	6.97	26.24	3	8.11
16.67	10.42	25.54	4	10.81
9.8	18.97	24.23	6	16.22
7.89	24.23	22.88	7	18.92
8.3	22.88	21.93	8	21.62
8.62	21.93	21.07	9	24.32
14.71	12.00	20.65	10	27.03
37.5	4.18	18.97	11	29.73
15	11.74	16.30	12	32.43
45.83	3.33	15.78	13	35.14
14.18	12.51	14.76	14	37.84
8.93	21.07	13.07	15	40.54
17.24	10.03	12.99	16	43.24
6.9	28.18	12.51	17	45.95
11.21	16.30	12.07	18	48.65
14.63	12.07	12.00	19	51.35
12.24	14.76	11.74	20	54.05
13.64	13.07	11.54	21	56.76
16.67	10.42	10.42	26	70.27
11.54	15.78	10.03	27	72.97
17.71	9.73	9.73	28	75.68
90	1.56	9.45	29	78.38
9.09	20.65	7.43	30	81.08
16.67	10.42	6.97	31	83.78
35	4.51	6.91	32	86.49
7.89	24.23	4.51	33	89.19
18.18	9.45	4.18	34	91.89
24	6.91	3.88	35	94.59
40	3.88	3.33	36	97.30
7.35	26.24	1.56	37	100.00
22.5	7.43	-	-	-
13.71	12.99	-	-	-
16.67	10.42	-	-	-
7.53	25.54	-	-	-
6.16	32.03	-	-	-

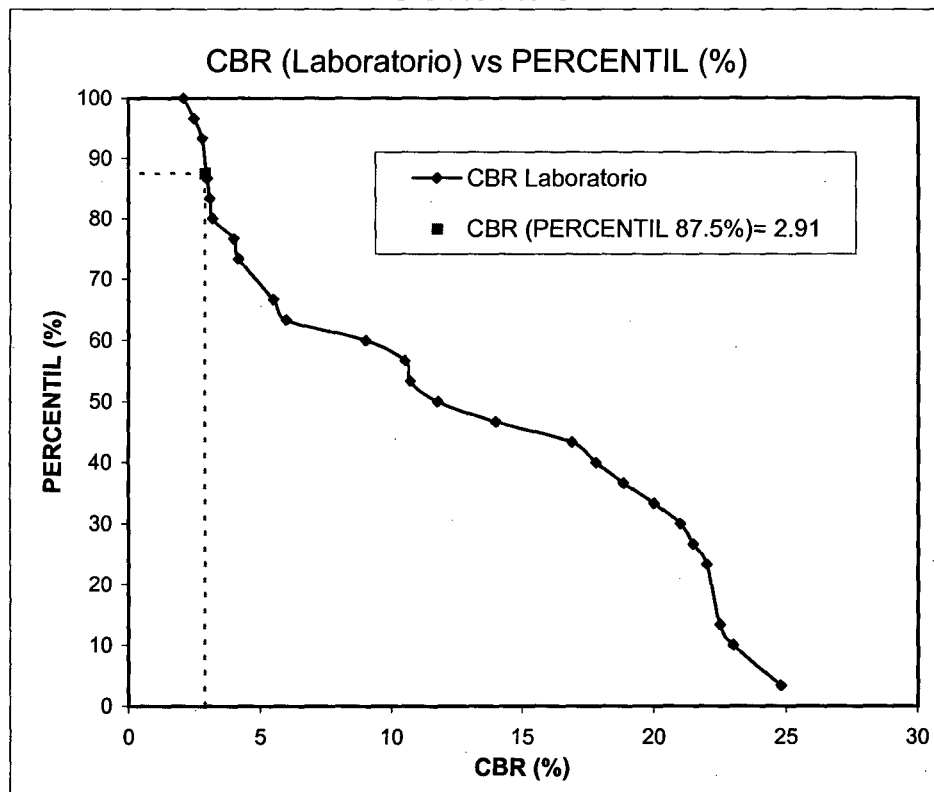
GRAFICO N° 4



CALCULO DEL CBR Laboratorio FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR Laboratorio	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
14	24.8	1	3.33
16.9	23	3	10.00
10.52	22.5	4	13.33
17.8	22	7	23.33
22	21.5	8	26.67
22	21	9	30.00
23	20	10	33.33
10.73	18.86	11	36.67
2.8	17.8	12	40.00
23	16.9	13	43.33
18.86	14	14	46.67
20	11.78	15	50.00
11.78	10.73	16	53.33
2.1	10.52	17	56.67
2.8	9.02	18	60.00
4.2	6	19	63.33
4	5.5	20	66.67
4.2	4.2	22	73.33
3.2	4	23	76.67
24.8	3.2	24	80.00
3.1	3.1	25	83.33
2.5	3	26	86.67
6	2.8	28	93.33
9.02	2.5	29	96.67
5.5	2.1	30	100.00
22.5			
3			
21			
22			
21.5			

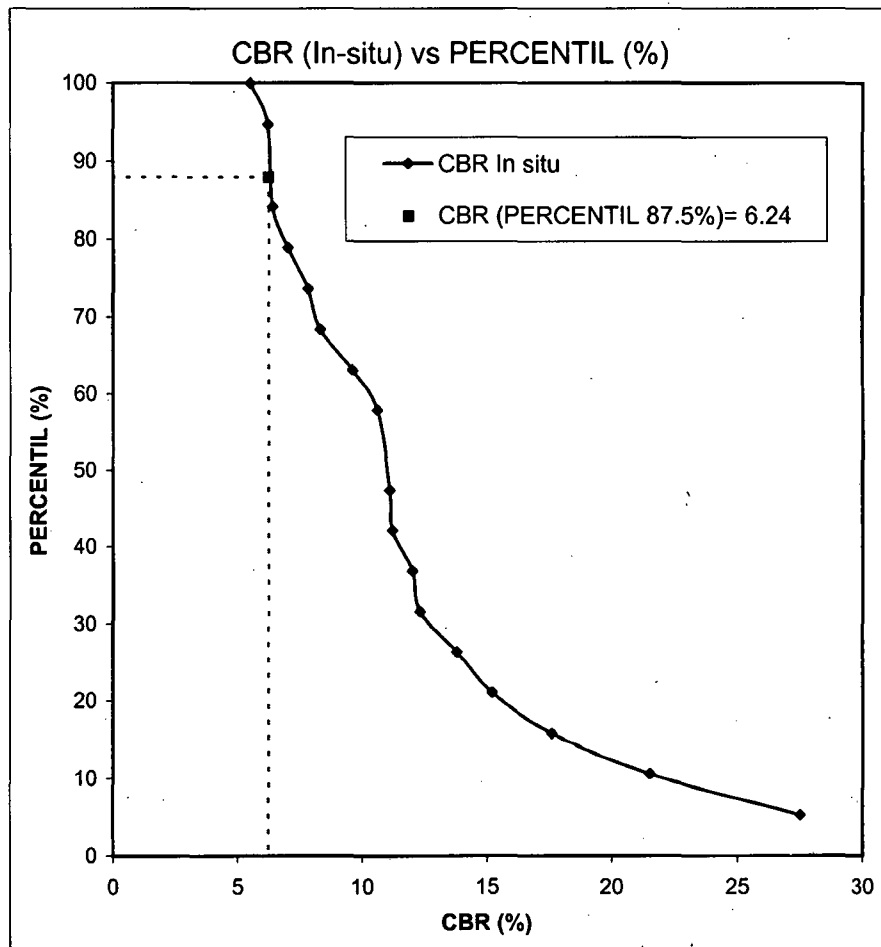
GRAFICO N° 5



CALCULO DEL CBR in situ FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR In situ	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
7	27.5	1	5.26
11.1	21.5	2	10.53
8.3	17.6	3	15.79
10.6	15.2	4	21.05
12	13.8	5	26.32
7.8	12.3	6	31.58
6.2	12	7	36.84
12.3	11.2	8	42.11
15.2	11.1	9	47.37
10.6	10.6	11	57.89
11.2	9.6	12	63.16
13.8	8.3	13	68.42
17.6	7.8	14	73.68
9.6	7	15	78.95
21.5	6.4	16	84.21
6.4	6.2	18	94.74
5.5	5.5	19	100.00
6.2			
27.5			

GRAFICO N° 6



al CBR de laboratorio al 100% de la Máxima Densidad Seca y para los que resultaban con $DN = 17$ a 25 mm/golp el CBR de la correlación de tesis es próximo al CBR de laboratorio al 95% de la Máxima Densidad Seca. La aproximación de CBR es mas o menos de 3%. Esta información se puede complementar con los siguientes proyectos de evaluación.

De esta manera se deja establecido información de las características del suelo en los lugares investigados (Av. Canta Callao y Av. Naranjal) para cualquier proyecto futuro de evaluación geotecnica del pavimento que se realizará en esta zona.

Es importante tener en cuenta el nivel de la sub rasante definida, para que con los ensayos de PDC pueda realizarse directamente los ensayos sobre el suelo que servirá como fundación.

Finalmente, se recomienda para proyectos de exploración geotécnica, realizar menor número de calicatas y con el equipo de PDC identificar los tramos más críticos y obtener la capacidad de soporte final.

PROYECTO DE ASFALTADO DE LAS CALLES HUACHO Y PUERTO SUPE

El tramo de pavimentación tiene una extensión de 4 Km. entre las Av. Libertad y Av. Perú en el Distrito Santa María de la Provincia de Huacho y 1.3 Km. entre las Av. Callao, Av. Tarapacá, Av. Grau en el Distrito de Puerto Supe, Provincia de Barranca. El financiamiento lo realizan las Municipalidades Distritales.

En el proyecto se realizaron sondajes de exploración de campo, ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC) y los respectivos muestreos de suelos para ser enviados al laboratorio.

Los ensayos de PDC se realizaron al lado de los sondajes de exploración cada 200 m. En la Figura N° 9 (Anexo I) se indica la comparación de los perfiles.

Los perfiles del índice de penetración dinámica ($DN=17.85\text{mm/golp}$), indican en el tramo Km. 0+000 al Km. 1+360 y en la profundidad de 0.75 m a 1.25m, una resistencia de media a baja, identificando con el registro de calicata un suelo limoso con baja plasticidad (ML), presentando un CBR (95%) = 6 a 10%.

En la Av. Perú se registró con el índice de resistencia de dos tramos del Km 2+300 al Km. 2+580 y en la profundidad de 0.45 m a 0.95 m, $DN = 8.16 \text{ mm/golp}$ y con el registro de calicata la presencia de un suelo areno limoso mal gradado (SP-SM). En el tramo Km. 2+580 al 4+000 y en la profundidad 0.90 m. a 1.40 m se registró una baja resistencia $DN = 23.81 \text{ mm/golp}$ e identificándose como un suelo tipo arcilla limosa (CL).

En el Distrito Puerto Supe se observa en el perfil del índice de resistencia en el tramo Km 2+300 al Km. 2+580 y en la profundidad de 0.45

CUADRO N° 10

AV. LIBERTAD - AV. PERU PROV. HUACHO

Nro.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR (PDC)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA										OBSERVACION
								95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60	N 140	N 200	
1	44.44	SM+CL	-	-	19	-	3	-	-	-	3	-	3.45	100	99	95	91	90	89	88	87	69	50	Correcc. Malla
2	23.52	SM+CL	-	-	21	-	-	-	-	-	0.5	-	7.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Presencia Arcilla
3	17.85	ML+CL	1.98	11	19	14	5	6	9.05	12	-	-	9.65	-	-	-	100	98	96	93	89	65	56	
4	10.71	SM	2.01	9.5	17	15	2	10	13.9	20	1.3	-	17.16	-	100	95	90	64	50	41	38	34	30	No tramo PDC
5	8.16	SP+SC	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-	23.32	-	-	100	95	80	61	43	30	6	4	Presencia Arcilla
6	8.33	SP+SC	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	22.79	-	-	-	100	97	76	51	38	18	10	Presencia Arcilla
7	23.81	CL	1.995	10	24	15	9	5	8.78	13	5.4	-	6.97	99	97	95	93	92	91	89	86	72	64	

AV. CALLAO - AV. TARAPACA - AV. GRAU PROV. PUERTO SUPE

Nro.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR (PDC)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA										OBSERVACION
								95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60	N 140	N 200	
1	10.61	SP-SM	-	-	18	-	-	-	-	-	9	-	17.35	100	98	92	86	76	67	57	48	15	9	Aceptado
2	6.58	SP-SM	2.019	8	-	-	-	11	16.1	27	14	-	29.73	-	-	-	100	92	82	67	49	22	19	N.F. a 1.10m
3	8.33	SP-SM	-	-	16	-	-	-	-	-	2.1	-	22.79	-	-	100	99	82	65	52	28	17	12	Difer. Estado Arena
4	5.88	SP-SM	2.089	9.2	-	-	-	15	22.3	32	0.7	-	33.76	100	98	96	95	84	72	62	54	14	6	Estado seco Arena

m a 0.70 m una resistencia alta $DN = 8.16$ mm/golp y con el registro de calicata la presencia de un suelo tipo arena limosa mal gradada (SP-SM), que tiene $CBR (95\%) = 11\%$.

Entonces, de acuerdo al Cuadro N° 5 se puede comprobar el tipo de suelo existente directamente del ensayo de PDC.

En el Cuadro N° 10 se registra los ensayos de PDC y los resultados de los ensayos de laboratorio.

En el Gráfico N° 7 del Proyecto Pavimentación Asfáltica en la Av. Libertad – Av. Perú, donde se realizaron ensayos de PDC in situ, se calculó el CBR según el nivel de tráfico de acuerdo a la correlación de tesis, resultando un valor de 6.59%, luego se calculó el CBR de los ensayos de Laboratorio (ver Gráfico N° 8) cuyo valor es 5.23% en condición desfavorable. En el Cuadro N° 11 se indica el resumen de los CBR obtenidos.

CUADRO N° 11

CBR PDC (tesis)	CBR LABORATORIO (95%)
(%)	(%)
6.59	5.23

Los valores de CBR obtenidos brindan información sobre las condiciones existentes del suelo y las condiciones en el laboratorio, esta comparación nos permite definir la variación de las condiciones del suelo y de esta manera dar una solución del proyecto.

En un esfuerzo por estimar el CBR de laboratorio de los resultados del ensayo de PDC en campo se puede observar en el ensayo N° 3 (del proyecto de pavimentación de la Av. Libertad, Av. Perú) donde el índice de penetración (DN) es igual a 17.85 mm/golp resultando un CBR (correlación de tesis) igual a 9.65 %, el cual es la resistencia en campo y el CBR de

laboratorio al 95% de la MDS es 6%, puede certificar el acercamiento de ambos resultados. De igual manera en el ensayo N° 7, para un suelo arcilloso (CL), donde resulta un CBR (correlación de tesis) igual a 6.97 % y el CBR (de laboratorio al 95% de la MDS) igual a 6.97%, se comprueba por consiguiente el acercamiento que existe entre el CBR de laboratorio y el CBR de la correlación de tesis en base al PDC, siempre y cuando se cumpla que el suelo arcilloso ensayado in situ presente humedad entre 4 a 15 % y un índice de penetración entre 17 a 25 mm/golp.

Para la pavimentación de las calles del Distrito Puerto Supe se obtuvo del Gráfico N° 9, según el nivel de tráfico al 87.5% del percentil un CBR = 20%, resultando del laboratorio un CBR promedio de 13% la diferencia es demasiada alta debido a que los ensayos in situ se realizaron a una humedad menor de 5% y la consistencia es muy densa.

La alternativa de utilizar la información de los ensayos de Penetración Dinámica permite registrar por tramos el terreno de fundación y con la correlación de la tesis obtener los CBR in situ.

En lo que respecta a la utilidad del equipo necesario para la compactación del terreno de fundación, puede presentarse la posibilidad de la falta de compactación de estratos de suelos mas profundos, es decir mientras que la compactación se realiza hasta los 0.50 m de profundidad puede resultar riesgoso la falta de tratamiento en la profundidad de 0.50m a 1.00m, lo cual traería consecuencias como el asentamiento de una vía donde es posible el tránsito pesado en forma continua.

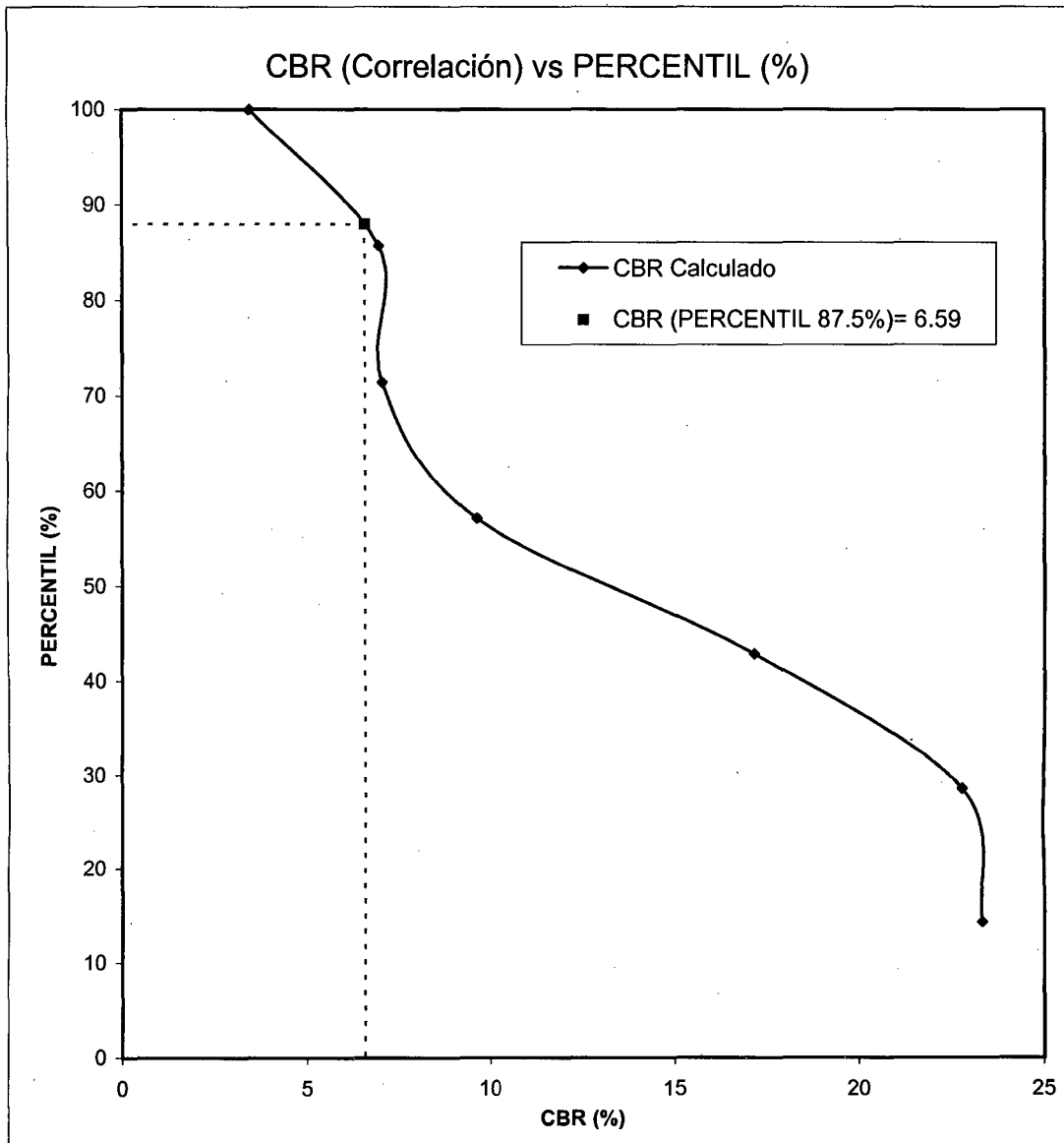
En conclusión, en un proyecto de bajos recursos, donde resulta costoso enviar muestras de suelos hasta la ciudad de Lima, realizar los ensayos de CBR in situ y disponer de la maquinaria necesaria para el tratamiento respectivo, se presenta la necesidad de ensayos de equipos

ligeros, rápidos y económicos lo cual puede ser cubierto por el equipo de PDC.

**CALCULO DEL CBR in situ FINAL A PARTIR DEL ENSAYO DE PDC
SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO**

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
44.44	3.45	23.32	1	14.29
23.52	7.07	22.79	2	28.57
17.85	9.65	17.16	3	42.86
10.71	17.16	9.65	4	57.14
8.16	23.32	7.07	5	71.43
8.33	22.79	6.97	6	85.71
23.81	6.97	3.45	7	100.00

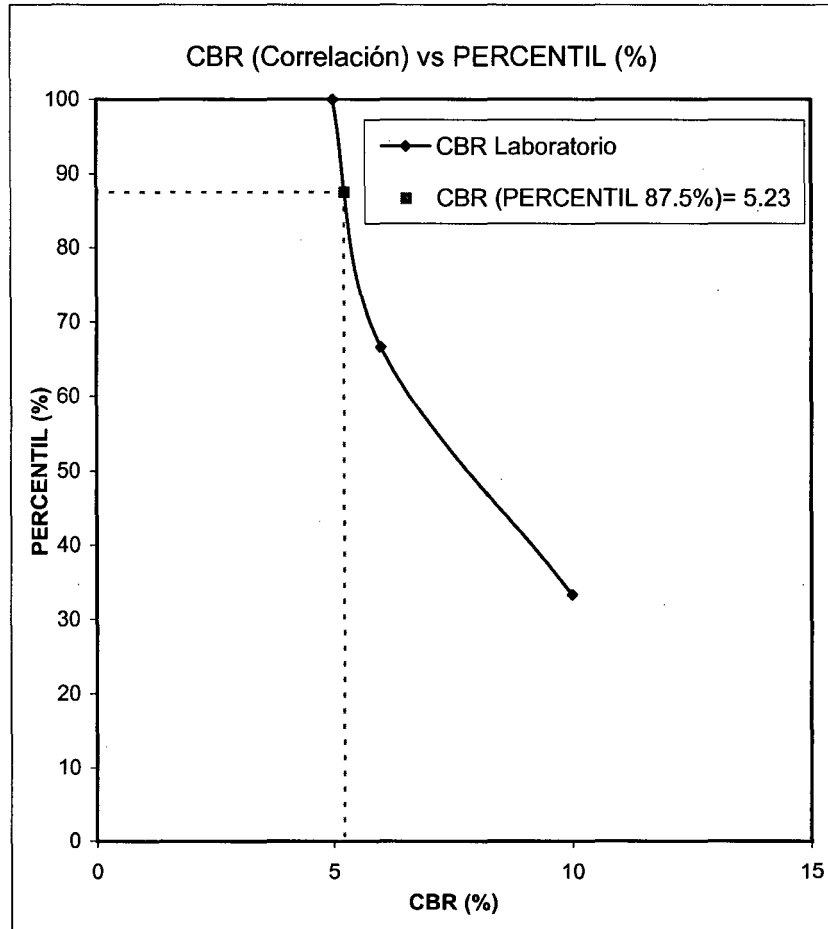
GRAFICO N° 7



CALCULO DEL CBR Laboratorio FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR Laboratorio	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
6	10	1	33.33
10	6	2	66.67
5	5	3	100.00

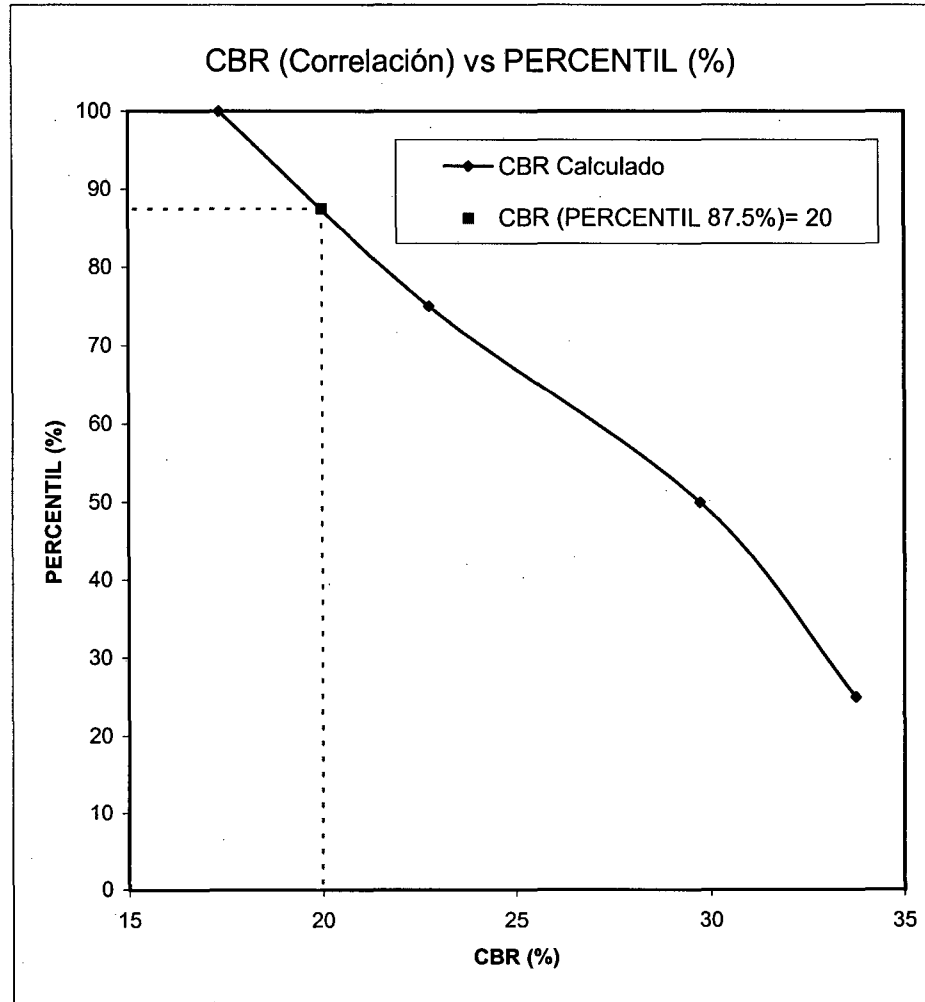
GRAFICO N° 8



CALCULO DEL CBR in situ FINAL A PARTIR DEL ENSAYO PDC SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
10.61	17.35	33.76	1	25.00
6.58	29.73	29.73	2	50.00
8.33	22.79	22.79	3	75.00
5.88	33.76	17.35	4	100.00

GRAFICO N° 9



PROYECTO LITORAL NORTE

Se realizaron sondajes de exploración geotécnica, ensayos de Penetración Dinámica y los respectivos muestreos para enviar al laboratorio muestras de suelo. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 12.

En la Figura N° 10 (Anexo I) se obtuvo con los ensayos de PDC en el tramo Km. 1+000 al Km. 1+500 y en la profundidad 0.90 a 1.50 m, un suelo de baja resistencia, mayor de 16.67 mm/golp, identificándose con los registros de calicata un suelo tipo arcilla limosa (CL), el cual tiene un CBR (95%) = 3.53 % de laboratorio. La comparación del perfil de resistencia a la penetración y los registros de calicata permitió concluir la baja resistencia, según los ensayos de auscultación PDC-1 y PDC-2 ubicados cerca de la calicata C-2, para un suelo arcilloso (CL).

De esta manera con los ensayos de PDC se registró una resistencia mayor de 16.67 mm/golp, con humedad mayor de 5% lo cual según el Cuadro N° 5, corresponde a un suelo arcilloso o limoso, pero según la información complementaria como la humedad de 15.21% y después de 3 ensayos consecutivos correspondía a un suelo arcilloso. Así se llegó a identificar un suelo sin la necesidad de realizar muchas calicatas.

En el cálculo del CBR in situ por medio de la correlación obtenida en la tesis se obtuvo el valor de 7.22 %, presentando humedad natural de 19.3%, estas condiciones pueden ser considerados como el CBR al 95% de la máxima densidad seca de laboratorio. Esta consideración se toma en cuenta por encontrarse los resultados del suelo en las condiciones de humedad mayor de 4 % y el índice de penetración (DN) entre 16.67 a 25 mm/golp y además existe un acercamiento mas o menos de 3 % entre el CBR de laboratorio y el CBR de la correlación de tesis.

CUADRO N° 12
PROYECTO LITORAL NORTE

Nro.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR (PDC)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA									OBSERVACION		
								95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60	N 140		N 200	
1	23.08	CL	1.72	17.3	41.1	17.2	23.9	3.8	4.21	4.59	19.3	-	7.22	-	-	89.4	83.11	79.16	76.22	74.9	68.71	61.47	57.16	Cerca Calicata	
2	21.15	CL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A 46m del anterior
3	16.67	CL	1.82	14.5	31.5	15.2	16.3	3.53	6.57	8.63	15.21	-	10.42	-	-	95.9	94.14	92.4	90.1	87.2	82.73	73.39	67.91	Cerca Calicata	

Al identificar el suelo en estudio con el menor número de calicatas de exploración y con mayor utilidad del equipo de PDC permite menos gastos y una pronta información. Además, la posibilidad de que el suelo existente se encuentre muy próximo a las condiciones de laboratorio permite realizar precauciones y dar la solución necesaria para el proyecto.

Es importante indicar que los resultados de PDC fueron de un análisis de varios ensayos realizados en la zona en estudio.

PROYECTO ESPECIAL PERIFERICO NORTE

En el estudio geotécnico con fines de pavimentación realizado en la Av. El Sol se efectuaron sondajes de exploración de campo, CBR in situ, CBR de laboratorio y el ensayo de PDC.

En el Cuadro N° 13 se presenta los resultados de los ensayos realizados y en la Figura N° 11 (Anexo I) se presenta la comparación del perfil de índice de penetración dinámica y los registros de calicatas. Se registró en el tramo Km. 13+226 al Km. 14+763 y en la profundidad de 0.20m a 1.00m, una resistencia media (7 a 16 mm/golp), identificándose con el registro de calicatas un suelo de arena mal gradada limosa (SP-SM), que tiene $CBR(95\%) = 14.5\%$; luego en el tramo Km. 24+247 al Km. 26+594 y en la profundidad 0.30m a 0.60m. se presenta una resistencia de media a alta (7 a 13 mm/golp), identificándose con los registros de calicata un suelo tipo arena limosa (SM) con un $CBR(95\%) = 16\%$; en la profundidad 0.60m. se registró el rechazo del equipo de PDC y con el registró de la calicata se identificó un suelo gravoso mal gradado (GP). En la Av. Naranjal, tramo Km. 6+925 al Km. 7+142 y en la profundidad 0.25m a 1.00m se obtuvo una resistencia alta (4 a 13mm/golp), con el registro de calicata se identificó un suelo tipo arena limosa (SM), pero con los resultados del índice de penetración dinámica se localizó la existencia de un suelo de baja resistencia ($DN=21.74$ mm/golp). En el tramo Km. 7+100 al Km. 7+142 y en la profundidad 0.40 m a 0.95 m., se verificó resultando con el ensayo de CBR in situ = 9.26 % y con el registro de calicata la existencia de un suelo tipo arcilla limosa (CL), además el CBR de laboratorio resultó en 8.5%.

Luego de una serie de análisis del comportamiento del suelo ante el ensayo de PDC, se evalúa los resultados con el Cuadro N° 5 obtenido de acuerdo a la investigación de tesis. Para los suelos de arena limosa (SM) y arena mal gradada (SP) se presenta una compacidad media (menor de 16.67 mm/golp) como indicamos en el Cuadro N° 5. Esto indica al utilizar el

CUADRO N° 13

PROYECTO ESPECIAL PERISFERICO VIAL NORTE

Vro.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR IN SITU	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA								OBSERVACION					
								95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60		N 80	N 200			
1	7	SM	-	-	-	-	-	17.2	-	23.9	5.45	1.72	20.30	-	-	-	100	-	-	-	-	-	38.2	11.95	A 10m de Calicata PS 28		
2	10	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A lado de PS 28	
3	4.17	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Adelante de 20m de PS 28	
4	5.63	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A 10m de PS 28A y 70 de PS 28	
5	10	SM	-	-	-	-	-	25.2	-	41.2	2.53	1.5	16.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A 10m lateral de PS 28	
6	7.14	SP	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.69	-	-	-	-	69.25	-	-	-	-	-	7.15	2.59	-	A lado de PS 31	
7	7.5	SP	-	-	-	-	-	14.7	-	32.9	1	1.85	14.60	-	-	-	92.29	-	-	-	-	-	9.77	5.58	-	A 70m de PS 31 y cerca de PS 32	
8	13.89	SP	-	-	-	-	-	-	-	-	3.22	1.75	14.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A 2m de PS 36
9	13.33	SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A 5m atrás de PS 36
10	25	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.37	-	-	-	100	-	-	-	-	-	29.07	15.45	-	Cerca de PS 37	
11	21.74	ML/CL	-	-	15.1	-	-	8.5	-	18	7.34	1.89	9.26	-	-	-	95.4	-	-	-	-	-	38.96	15.56	-	Cerca de PS 03	
12	14.29	SM	-	-	-	-	-	16.5	-	24.1	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	22.75	6.6	-	-	
13	12.5	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	1.92	15.91	-	-	-	100	-	-	-	-	-	21.94	8.39	-	Cerca de PS 79	
14	11	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cerca de PS 91
15	3.49	SM	-	-	-	-	-	28	-	33	8.32	2.39	16.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cerca de PS 72
16	5	SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	12.63	1.34	-	A lado de PS 66	

equipo de PDC, si los resultados del índice de penetración (DN) estuvieran dentro del rango de valores establecidos en el Cuadro N° 5 clasifica al suelo en evaluación en forma aproximada de arena limosa o arena mal gradada. Además, lo mismo sucedió con el suelo arcilloso el cual presentó un índice a la penetración (DN) igual a 21.74 mm/golp encontrándose dentro del rango para suelos cohesivos establecidos en el Cuadro N° 5.

Otro aspecto importante es la comparación del registro de calicata con los resultados de penetración (los valores DN) en toda la profundidad ensayada, como se puede observar en la Figura N° 11, la calicata PS 28 y los registros del PDC 2, este ultimo indica en todo sus resultados valores de índice de penetración (DN) entre 4 a 13 mm/golp lo cual corresponde según el Cuadro N° 5 a un suelo arenoso.

Según el nivel de vehículos, en el Gráfico N° 10 se cálculo el CBR de diseño a partir del ensayo de PDC, en el Gráfico N° 11 se calcula el CBR in situ realizados por la entidad encargada del Proyecto Especial Periférico Norte y en el Gráfico N° 12 se determina el CBR de laboratorio. En el Cuadro N° 14 se indica un resumen de los CBR obtenidos para un percentil del 87.5% de los diferentes ensayos realizados.

CUADRO N° 14

CBR PDC (tesis)	CBR IN-SITU	CBRLABORAT. (95%)
(%)	(%)	(%)
12.20	12.00	13.43

Los resultados obtenidos indican valores muy próximos de los CBR correlacionados de los ensayos de PDC y los ensayos de CBR in situ, brindando la confianza necesaria para ser considerado el ensayo PDC como una herramienta útil de evaluación de campo.

Con el propósito de comparar los valores de CBR de laboratorio con los valores de CBR obtenidos de la correlación de tesis, se estableció lo

siguiente: si la humedad se encuentra entre 3 a 15 % y se tiene una resistencia de 5 a 8 mm/golp entonces el CBR de la correlación es próximo al CBR obtenido al 100 % de la Máxima Densidad Seca del laboratorio, condición sobre la que se encuentra el ensayo N° 1 del Cuadro N° 13 y además cuando presenta una resistencia de 17 a 25 mm/golp con humedad de 4 a 15%, resulta el CBR de la correlación de tesis próximo al CBR obtenido al 95 % de la Máxima Densidad Seca del laboratorio, esto se puede comprobar con el ensayo N° 11 del Cuadro N° 13.

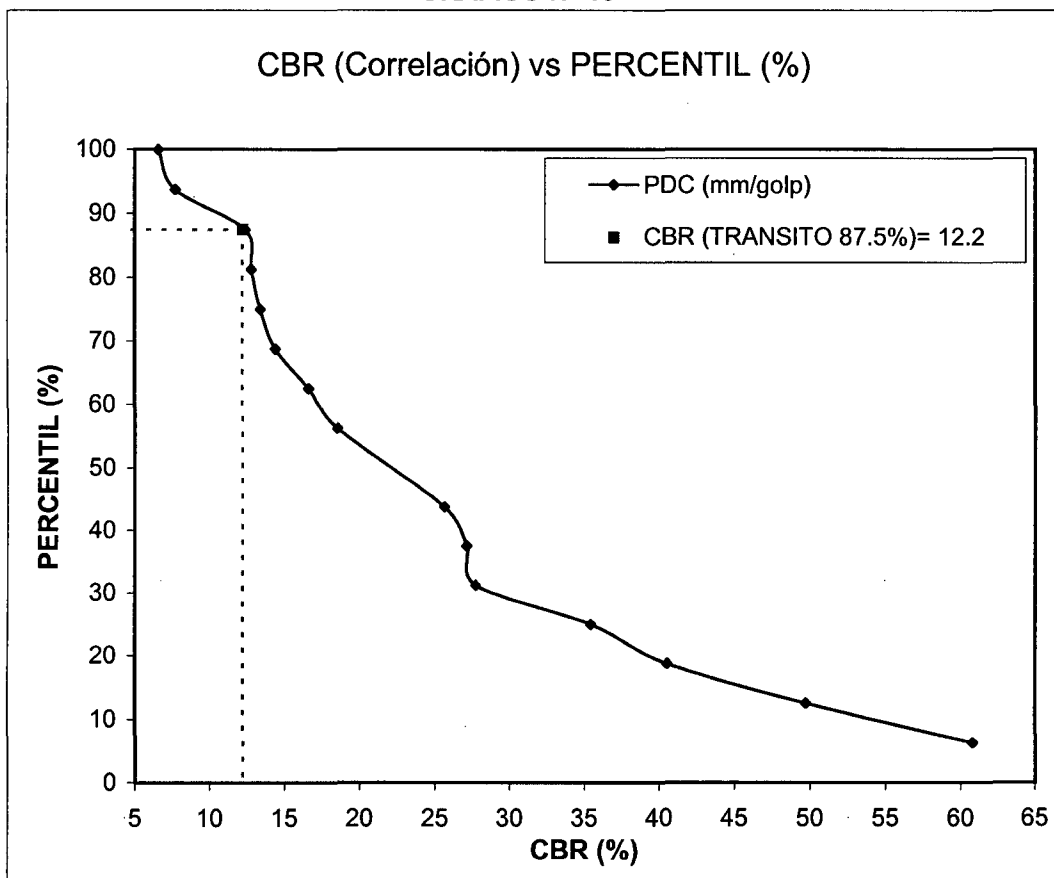
La poca variación de los valores de Laboratorio y los ensayos in situ indica ligero cambio del comportamiento del suelo de arena limosa (SM) ante la variación del contenido de humedad.

La facilidad del desarrollo del ensayo de PDC y su bajo costo nos permite realizar mayor número de sondajes y así se puede localizar zonas de menor capacidad de soporte que serian perjudiciales para una vía de elevado tránsito vehicular.

CALCULO DEL CBR in situ FINAL A PARTIR DEL ENSAYO PDC SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
7	27.73	60.80	1	6.25
10	18.54	49.74	2	12.50
4.17	49.74	40.53	3	18.75
5.63	35.45	35.45	4	25.00
10	18.54	27.73	5	31.25
7.14	27.12	27.12	6	37.50
7.5	25.65	25.65	7	43.75
13.89	12.80	18.54	9	56.25
13.33	13.41	16.65	10	62.50
25	6.60	14.42	11	68.75
21.74	7.72	13.41	12	75.00
14.29	12.40	12.80	13	81.25
12.5	14.42	12.40	14	87.50
11	16.65	7.72	15	93.75
3.49	60.80	6.60	16	100.00
5	40.53			

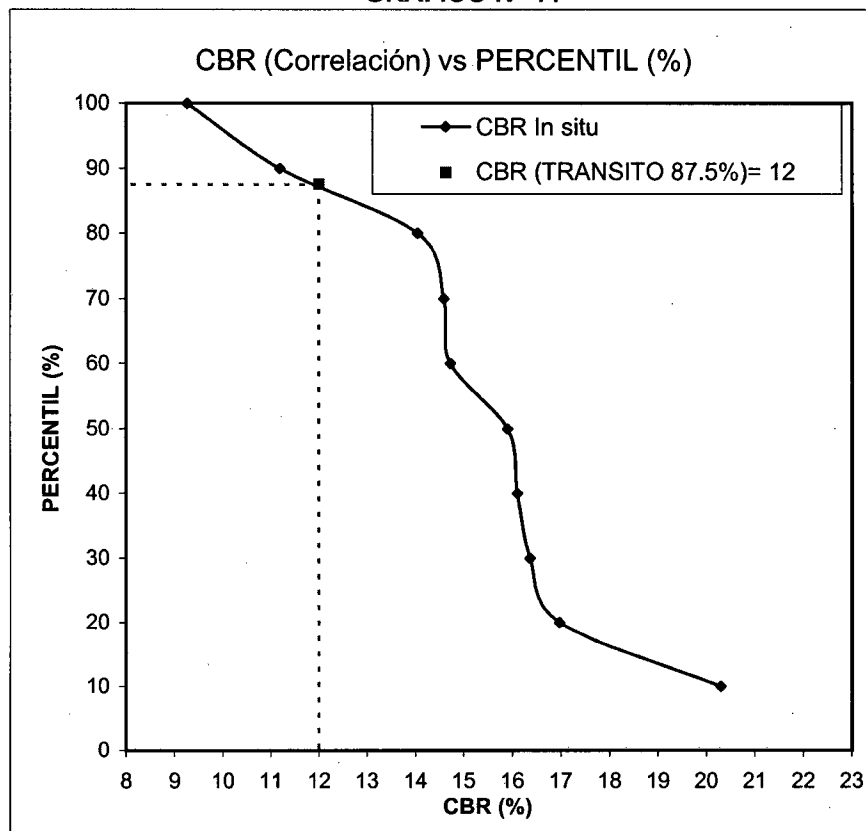
GRAFICO N° 10



CALCULO DEL CBR in situ FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR In situ	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
20.30	20.30	1	10.00
16.11	16.97	2	20.00
14.60	16.37	3	30.00
14.05	16.11	4	40.00
16.37	15.91	5	50.00
9.26	14.73	6	60.00
15.91	14.60	7	70.00
16.97	14.05	8	80.00
14.73	11.19	9	90.00
11.19	9.26	10	100.00

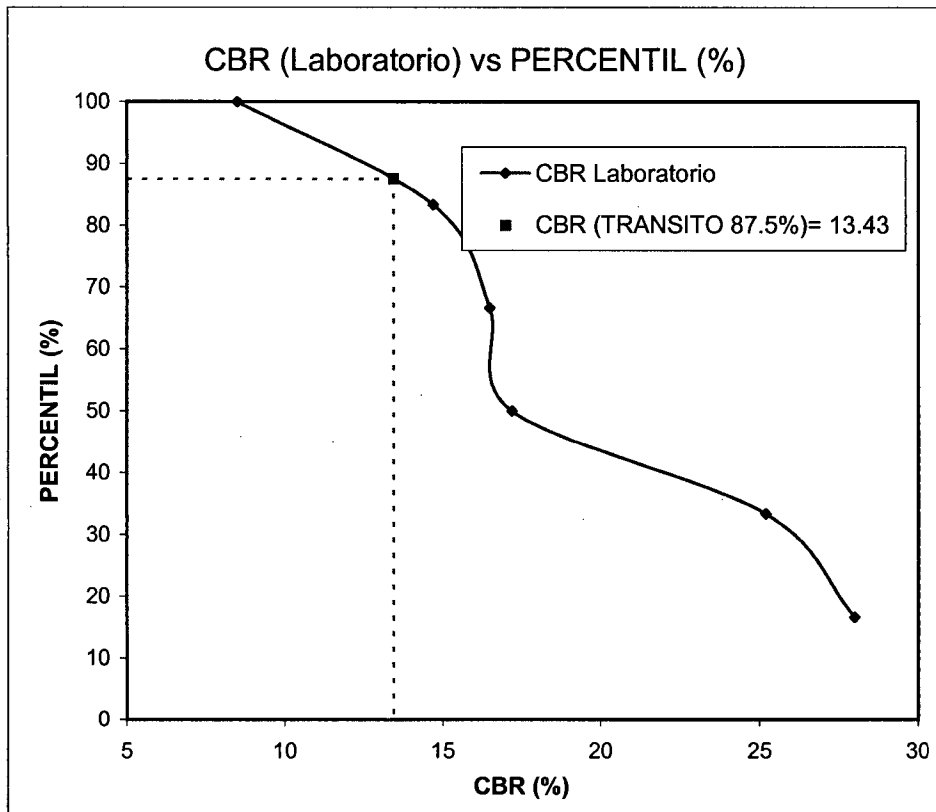
GRAFICO N° 11



CALCULO DEL CBR Laboratorio FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR Laboratorio	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
17.2	28	1	16.67
25.2	25.2	2	33.33
14.7	17.2	3	50.00
8.5	16.5	4	66.67
16.5	14.7	5	83.33
28	8.5	6	100.00

GRAFICO N° 12



PROYECTO CARRETERA IMPERIAL – IZCUCHACA EN EL DEPARTAMENTO DE HUANCAYO

En el estudio geotécnico con fines de pavimentación se realizaron sondeos de exploración, ensayos de PDC y muestreo de suelos para ser enviados al laboratorio; en el Cuadro N° 15 se muestra los resultados obtenidos.

La Figura N° 12 (Anexo I) muestra el perfil del índice de penetración dinámica sectorizando el tramo del Km 0+000 al Km 5+000 y en la profundidad 0.20m a 1.00m una resistencia de media a baja (DN= 10 a 20 mm/golp); con el registro de calicata se identificó la existencia de un suelo tipo arcilla y limo (CL, ML), con CBR (95%) = 8.9%, además la existencia de un suelo gravoso en la profundidad 1.00 m. Luego en el tramo Km. 5+000 al Km. 7+500 y en la profundidad 0.60 m a 2.00 m se registró la existencia de un suelo arcilloso a suelo orgánico presentando alta consolidación y un CBR (95%) = 6%, es por eso que en este tramo se percibe la vibración del pavimento existente al momento del tránsito de vehículos pesados.

En el Figura N° 12 se puede observar la comparación entre la calicata C-3 y el registro de PDC 15 donde resultan valores de DN mayores de 13.67 mm/golp, característica de un suelo arcilloso (según Cuadro N° 5); lo mismo se puede observar en la comparación de la calicata C-13 y los registros de PDC 27 donde se presenta el índice de penetración (DN) mayor de 22.22 mm/golp, característico de un suelo arcilloso.

En el Gráfico N° 13 se determinó para un nivel de tránsito vehicular (87.5%), un CBR (Correlación de tesis) = 6.44 % y en el Gráfico N° 14 resultó un CBR (95%) = 7.7 %, en el Cuadro N° 16 se presenta el resumen de ambos resultados.

**CUADRO N° 15
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO Y PENETRACION DINAMICA DE CONO**

Vno.	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	CLASF. AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)			W (%)	dm (gr/cc)	CBR (PDC)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA										OBSERVACION
									95%	98%	100%				1"	3/4"	3/8"	N 4	N 10	N 20	N 40	N 60	N 140	N 200	
1	20	CH	A-7	1.627	21.97	68.1	36.6	31.5	8	9.34	10.04	45	1.45	8.48	100	100	100	99.55	99.41	99.19	98.9	98.52	97.92	96.97	Posible transito
2	25	MH	A-8	1.73	15.1	35	24.9	10.1	8.9	9.41	9.69	22.72	1.39	6.60	100	100	98.1	97.65	96.65	96.28	95	92.04	88.16	82.67	
3	20.58	CL	A-7	1.976	11.5	41.1	18.7	22.4	14.03	14.71	14.84	23.21	1.65	8.22	100	100	97.8	95.66	95.07	94.87	94.7	94.46	93.78	92.14	Aceptado
4	21.05	CL	A-6	1.929	13.8	37.2	18.2	19	7.26	8.54	13.79	19.76	1.68	8.01	100	100	100	99.88	98.57	97.83	95.2	89.22	82	74.07	
5	16.67	CH	A-7	1.796	17.4	19.6	11.8	7.76	7.35	8.14	11.69	-	1.65	10.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	25	CL	A-7	1.72	17.2	41	22.6	18.5	9.5	10.2	10.5	42.85	1.68	6.60	100	100	100	100	99.96	99.86	99.5	98.68	97.29	94.77	Compactado
7	26.92	SC	A-2-4	1.978	9.53	22	12.8	9.2	8.6	10	16.8	5.09	2.29	6.07	100	93.1	91.6	90.08	88.28	86.94	73.8	45.24	34.44	29.13	Area de lote
8	50	SC	A-6	1.92	11.5	30.8	11	19.7	10.1	11.2	12.05	24.26	1.24	3.02	100	100	97.7	95	92.61	90.85	87.3	73.54	56.62	44.26	
9	6	ML	A-4	1.88	13.6	32	14.5	17.5	44.9	45.73	46.38	9.85	1.26	32.99	100	97.6	93.2	77.82	73.43	69.63	68.8	67.18	65.65	63.13	
10	11	SM	A-2-4	2.08	7.89	NP	NP	NT	33.8	39.4	42.3	3.79	1.61	16.65	100	93.5	91.2	90.26	88.43	85.48	82.3	74.63	62.43	40.66	
11	12.5	CL	A-6	1.92	13.1	44	25.1	18.8	15.8	15.87	15.87	2.25	1.43	14.42	100	100	84.3	75.25	69.78	66.82	64.6	61.35	57.24	53.21	
12	10	SC	A-2-6	2.1	8.81	16.7	10.8	5.92	9.3	10.2	10.71	15.9	1.58	18.54	100	67	64.5	61.23	57.21	54.84	53.3	52.16	50.72	46.88	Aceptado
13	12.5	SC	A-6	1.98	8.58	31.4	20.3	11.1	16.41	17.08	17.50	7.1	1.29	14.42	100	95.5	91.4	83.25	73.42	63.62	57.4	53.06	49.34	45.51	

CUADRO N° 16

CBR PDC (tesis)	CBR LABORATORIO (95%)
(%)	(%)
6.44	7.70

La proximidad de los valores interpreta el acercamiento de las condiciones in situ y las condiciones desfavorables que adopta el suelo en el laboratorio. Por tal motivo, la información obtenida para las condiciones de la zona Sierra permiten brindar mas credibilidad a los ensayos in situ, información que se puede lograr con los resultados de CBR obtenidos de la correlación de la tesis.

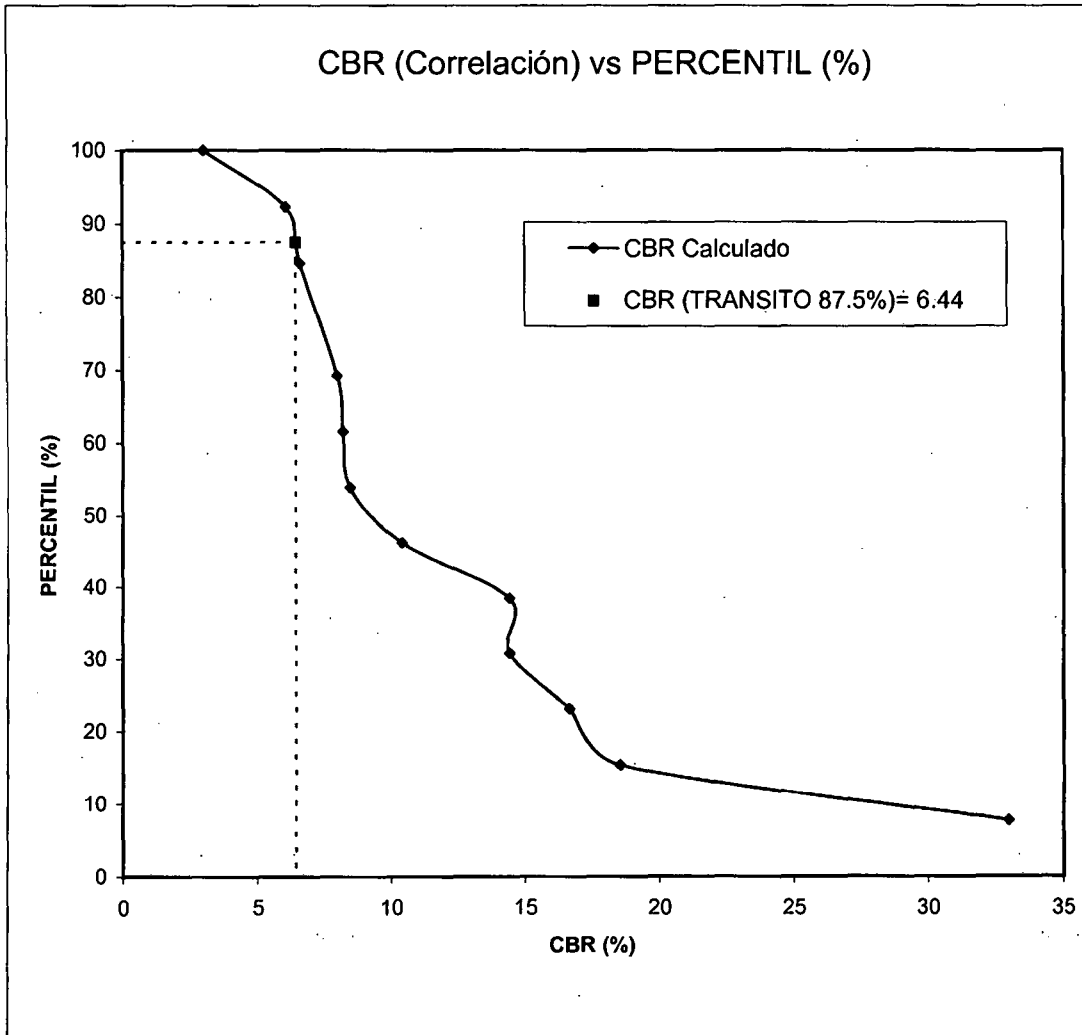
Los ensayos de Penetración Dinámica ayudaron a localizar los tramos críticos, de esta manera se limita los sectores donde vibra el pavimento existente.

Con la finalidad de establecer una relación de los ensayos de CBR de laboratorio y los ensayos de PDC para el tramo en evaluación, se realizaron ensayos de Penetración Dinámica sobre los suelos remoldeados y compactados en los moldes de laboratorio. Cada ensayo de PDC se efectuó sobre una superficie nivelada de suelo compactado en el molde, en 3 puntos ubicados como los vértices de un triángulo equilátero; cada ensayo se continuó si no se perturba el nivel del suelo compactado. En el Gráfico N° 15 se realizó una correlación para los suelos de gravas, limos y arcillas; en el Gráfico N° 16 se realizó la correlación para suelos de arena arcillosa (SC) y en el Gráfico N° 17 solo para grava arcillosa (GC). Como se puede observar en los resultados, los suelos arcillosos presentaron resistencias (DN) mayores de 16.67 mm/golp, encontrándose dentro del intervalo establecido en el Cuadro N° 5 (parámetros que se establecieron en suelo natural) y una capacidad de soporte menor de 9%. Por consiguiente, se puede decir que un suelo natural con humedad entre 4 y 15 % y una resistencia in situ entre 17 a

CALCULO DEL CBR DEFINITIVO SEGÚN EL TRANSITO VEHICULAR

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
20	8.48	32.99	1	7.69
25	6.60	18.54	2	15.38
20.58	8.22	16.65	3	23.08
21.05	8.01	14.42	4	30.77
16.67	10.42	14.42	5	38.46
25	6.60	10.42	6	46.15
26.92	6.07	8.48	7	53.85
50	3.02	8.22	8	61.54
6	32.99	8.01	9	69.23
11	16.65	6.60	11	84.62
12.5	14.42	6.07	12	92.31
10	18.54	3.02	13	100.00
12.5	14.42			

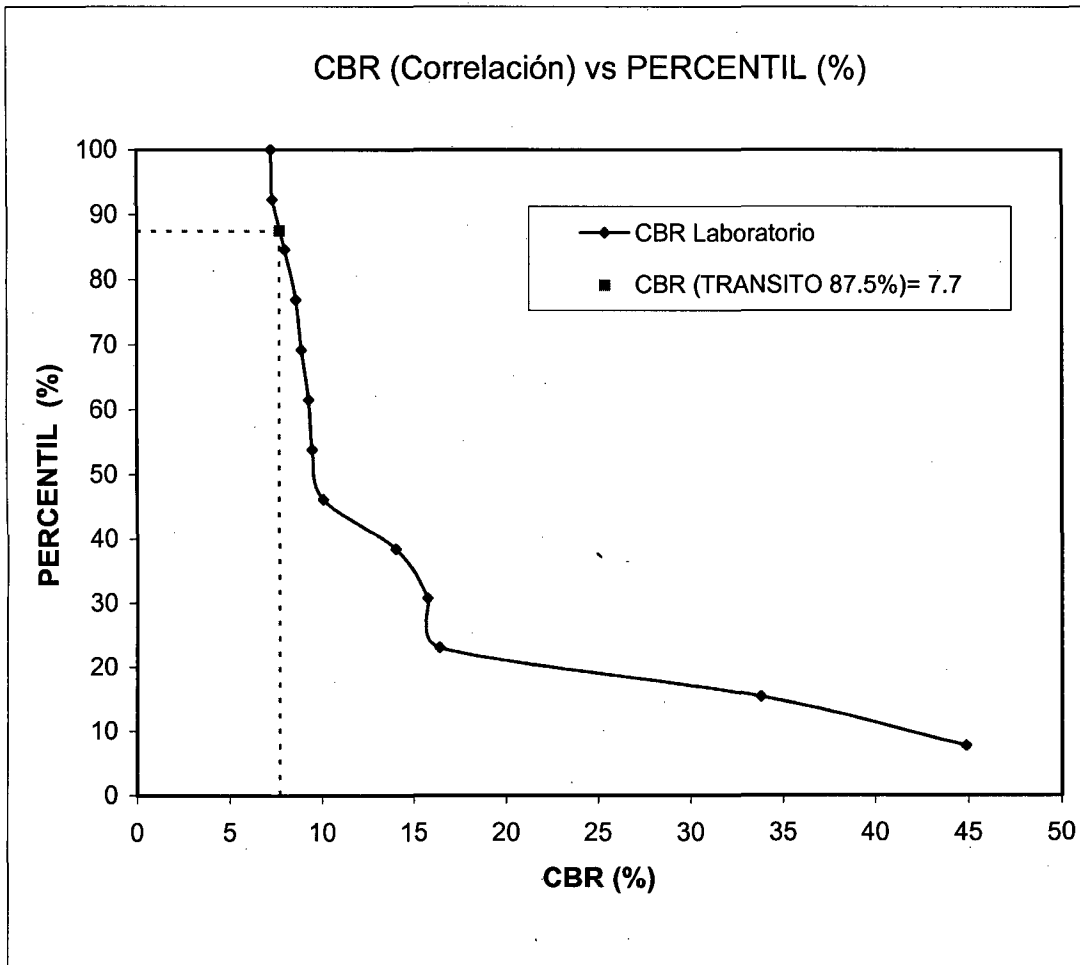
GRAFICO N° 13



CALCULO DEL CBR DEFINITIVO SEGÚN EL TRANSITO VEHICULAR

CBR Laboratorio	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
8	44.88	1	7.69
8.9	33.8	2	15.38
14.03	16.41	3	23.08
7.26	15.76	4	30.77
7.35	14.03	5	38.46
9.5	10.1	6	46.15
8.6	9.5	7	53.85
10.1	9.3	8	61.54
44.88	8.9	9	69.23
33.8	8.6	10	76.92
15.76	8	11	84.62
9.3	7.35	12	92.31
16.41	7.26	13	100.00

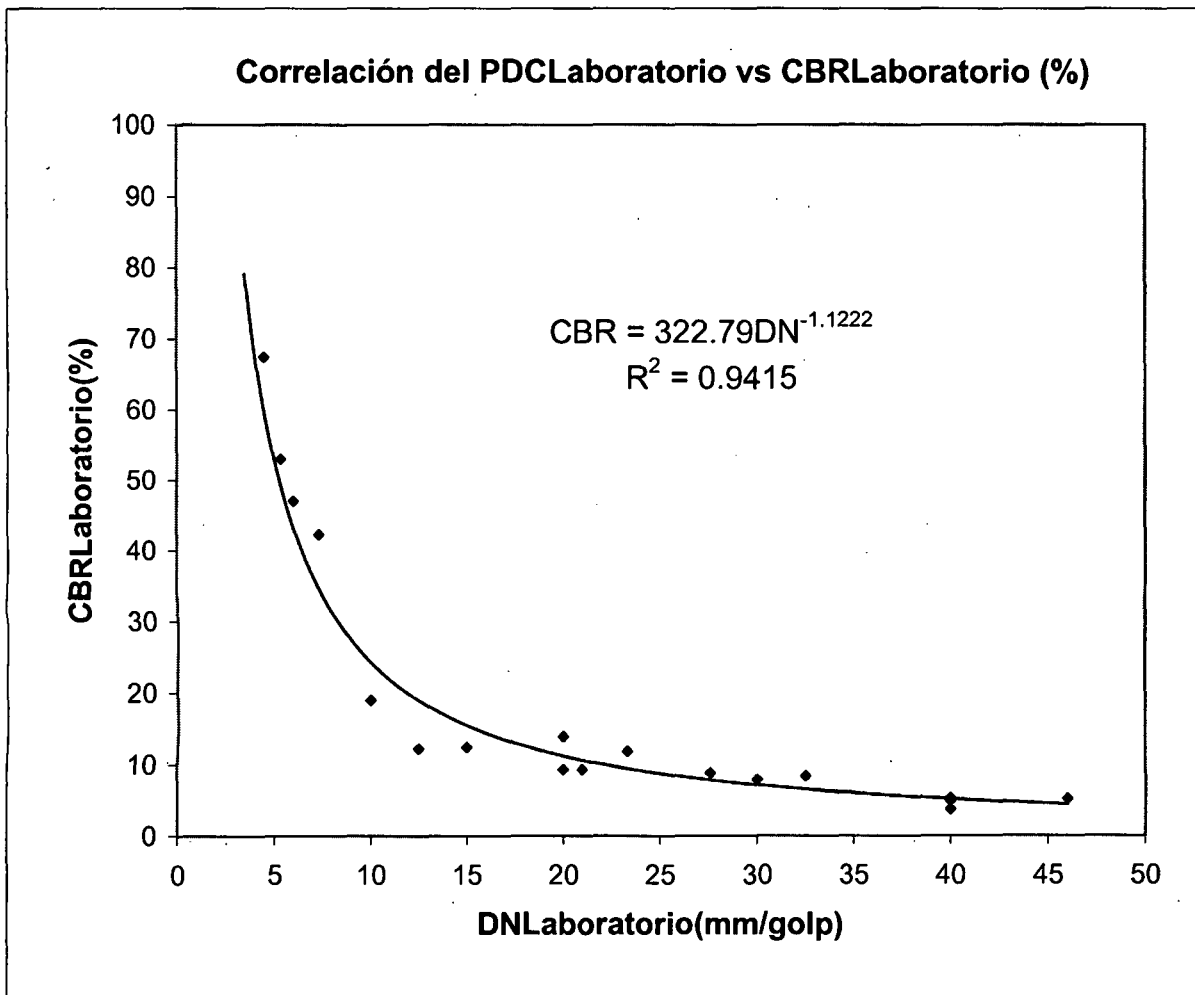
GRAFICO N° 14



SUELOS EVALUADOS EN LABORATORIO

CLASIFIC.	Yd (gr/cc)	CBR (%)	DN (mm/golp)
CL	1.69	9.3	21
CL	1.63	8.8	27.6
CL	1.59	8.4	32.5
ML	2.25	53	5.33
ML	1.94	47	6
ML	1.77	5.2	46
ML	2.01	5.3	40
ML	2.01	13.9	20
ML	2.05	12.2	12.5
SC	1.93	12.4	15
SC	1.89	11.8	23.33
SC	2.15	9.3	20
SC	2.13	7.9	30
SC	1.35	4.9	40
SC	2.22	67.5	4.5
SC	2.1	42.3	7.3
GC	2.13	19	10
GC	2.04	3.7	40

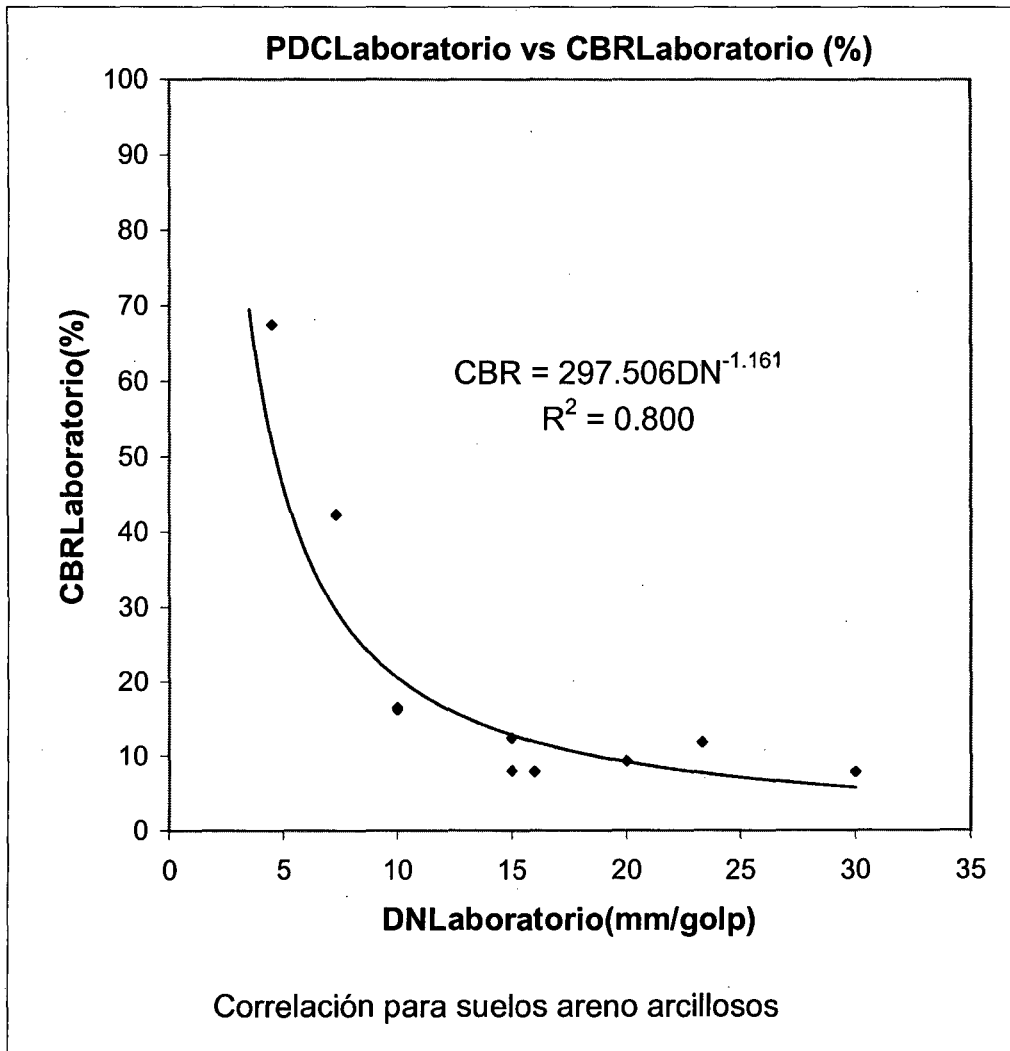
GRAFICO N°15



SUELOS EVALUADOS EN LABORATORIO

CLASIFICA. SUCS	CBR (%)	DN (mm/golp)
SC	12.4	15
SC	11.8	23.33
SC	9.3	20
SC	7.9	30
SC	16.5	10
SC	16.2	10
SC	8	15
SC	7.9	16
SC	67.5	4.5
SC	42.3	7.3

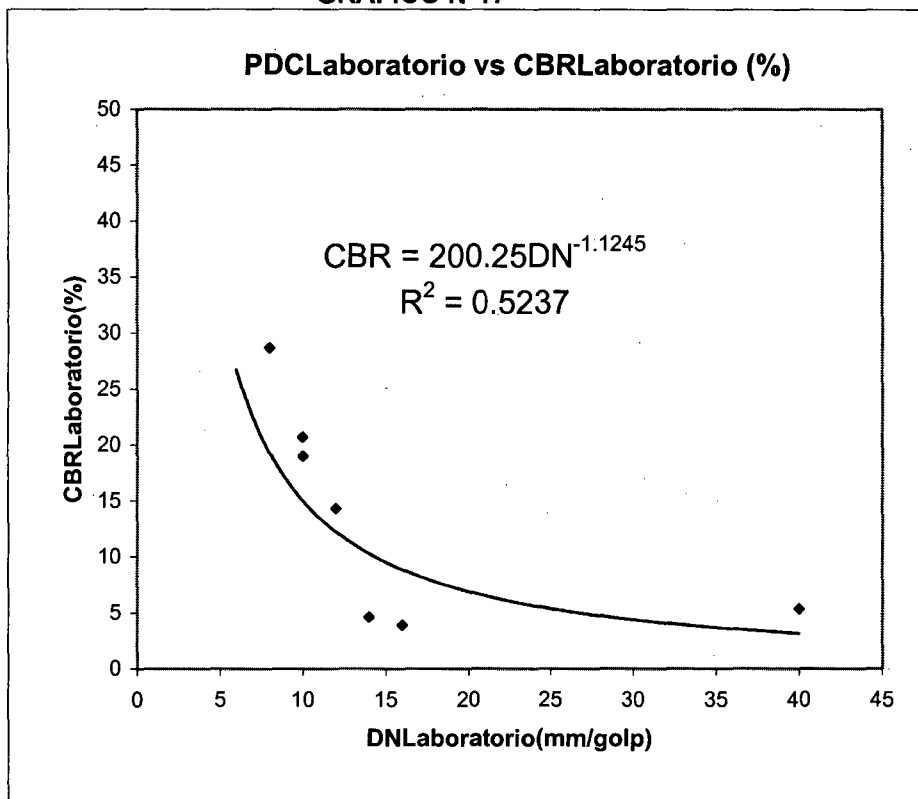
GRAFICO N°16



SUELOS EVALUADOS EN LABORATORIO

CLASIFICA. SUCS	Yd (gr/cc)	CBR (%)	DN (mm/golp)
GC	2.01	5.3	40
GC	2.13	28.7	8
GC	2.07	20.7	10
GC	2.13	19	10
GC	1.99	14.37	12
GC	2.1	4.6	14
GC	2.07	3.9	16

GRAFICO N°17



25 mm/golp presenta un CBR de la correlación de la tesis igual al CBR (95% de la Máxima Densidad Seca) de laboratorio.

En este proyecto se realizó un trabajo particular con los suelos del lugar, efectuando correlaciones del ensayo de CBR de laboratorio y ensayo de PDC sobre muestras compactadas en los moldes de CBR de laboratorio (Gráficos N°14, Gráfico N°15 y Gráfico N°16) resultando las formulas matemática siguientes: para todos los suelos ensayados es $322.79/DN^{1.122}$, solo para los suelos de arena arcillosa es $297.506/DN^{1.161}$ y solo para los suelos de grava arcillosa es $200.25/DN^{1.1245}$.

Estas formulas matemáticas fueron evaluados, resultando valores de CBR mayores que las obtenidas por la correlación de la tesis ($249/DN^{1.128}$) lo cual resultaría muy conservador para la información del proyecto. Pero sin embargo puede ser útil en la etapa de ejecución.

Por el elevado contenido de humedad y considerando el estado in situ del suelo, es una alternativa de comparación con los ensayos de laboratorio el cual se acondiciona en estados desfavorables.

Finalmente es importante informar que un suelo con elevado contenido de humedad necesita ser evaluado en condiciones naturales sin la necesidad de ser evaluado en laboratorio desde el punto de vista de la resistencia. Esto se plantea por los trabajos que se realizan en el laboratorio como por ejemplo: el reemplazó de material, la falta de saturación y equivocaciones en las tomas de lecturas al ensayar la muestra, resultando valores de CBR que no representan las condiciones reales como las que se encuentran los suelos de esta zona. Por consiguiente, la correlación obtenida en la tesis permite la evaluación en forma económica y rápida para estas condiciones de suelo.

PROYECTO ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES DE PAVIMENTACION DE LA VIA CARROZABLE TIWINZA

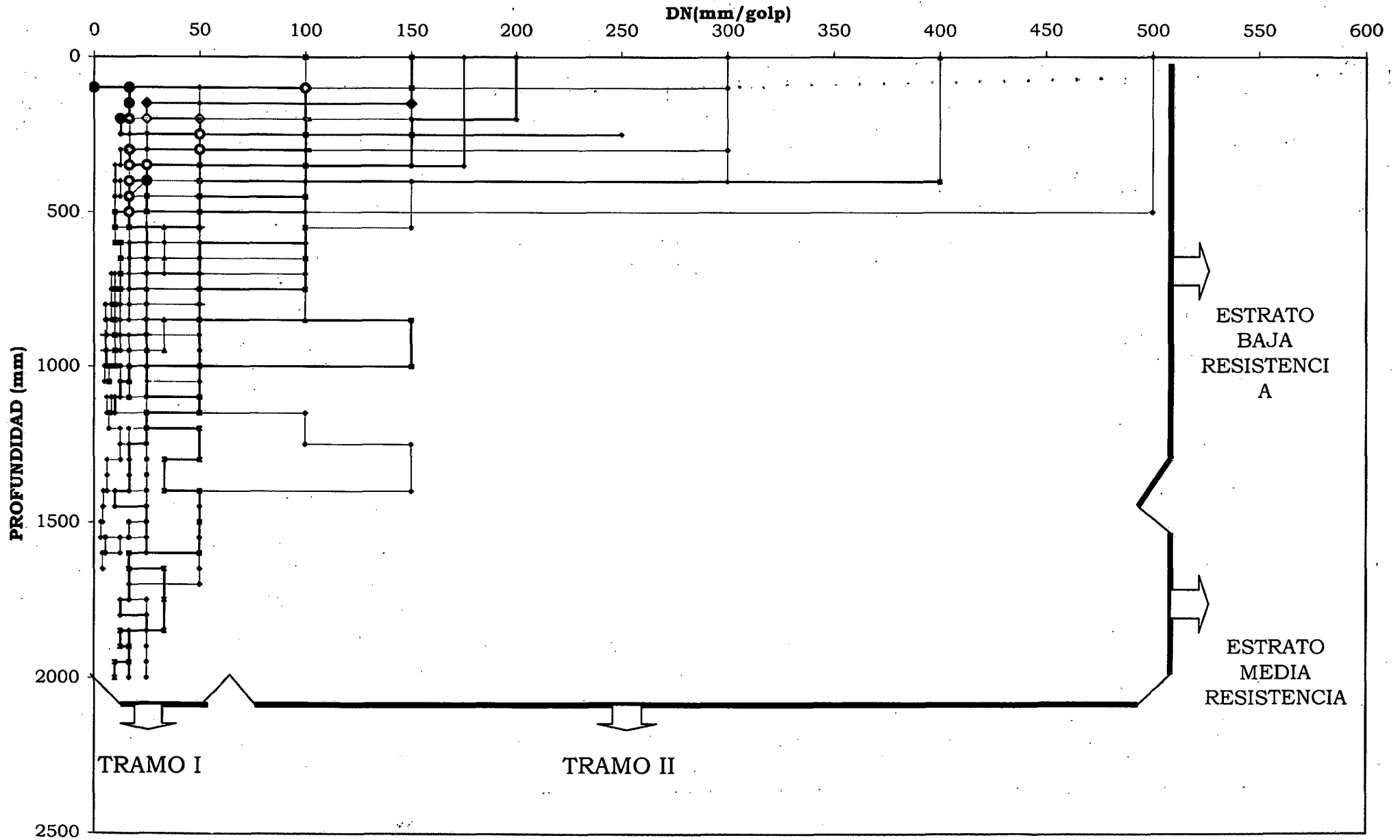
El tramo en estudio tiene 9 Km. de longitud, se encuentra en la Frontera con el Ecuador, presentando una zona accidentada y un suelo residual. En el proyecto se realizaron sondajes de exploración, ensayos de PDC y obtención de muestras alteradas e inalteradas para ser enviadas al laboratorio. En el Cuadro N° 17 se indica los resultados obtenidos.

En la Figura N° 13 (Anexo I) se obtuvo con el perfil del índice de penetración dinámica el tramo del Km. 0+000 al Km 4+200 en la profundidad 0.20m a 0.50m un suelo de resistencia media ($DN < 25\text{mm/golp}$) y un rechazo en la profundidad de 0.50m, los registros de calicatas identificaron la existencia de un estrato de arena limosa sobre un suelo rocoso. Luego, en el tramo del Km 4+200 al Km 8+500 y en la profundidad de 0.30m a 2.00m se obtuvo una resistencia baja ($DN = 50\text{ mm/golp}$) aproximadamente; con los sondajes de exploración se identificó la existencia de un suelo limoso muy plástico (MH), $CBR (95\%) = 14.47\%$.

En el Gráfico N° 18 se realiza la evaluación de la carretera mediante el diagrama estructural, observándose como se dijo anteriormente que existen dos tramos, el primer tramo de resistencia media y el segundo de resistencia baja, además se indica en la capa de 0.00m a 1.50m un suelo de baja resistencia y de 1.50m a 2.00m un estrato de resistencia media, esta información también se puede utilizar ante la posibilidad de realizar un corte para mantener la pendiente del trazo de la carretera, de esta manera se previene la inestabilidad de la formación de un talud.

Luego de realizar un análisis con los ensayos de PDC se verificó el comportamiento del suelo con el Cuadro N°5 (establecida en la tesis), se presentan suelos arcillosos con una consistencia media a suelta (DN mayor

GRAFICO N° 18
EVALUACION DEL TRAMO CARRETERA CARROZABLE TIWINZA
DIAGRAMA ESTRUCTURAL



de 16.67 mm/golp), con humedad elevada y suelos de arena limosa de consistencia media (DN entre 5.56 a 16.67 mm/golp) y con humedad media a alta (mayor de 8%).

Para realizar la comparación del CBR de la correlación de tesis y el CBR de laboratorio se tomo en cuenta el nivel de trafico comprendido 10000 a 1000000 correspondiendo 75% igual o mayor. De esta manera en el Gráfico N° 19 el CBR final según la correlación obtenida resulta un valor de 1.48% y en el Gráfico N° 20 resulta CBR (95%) = 15.33%. En el Cuadro N° 18 se establece una comparación.

CUADRO N° 18

CBR PDC (tesis)	CBR LABORATORIO (95%)
(%)	(%)
1.48	15.33

A continuación en el Cuadro N° 19 se presenta un resumen de los valores de CBR obtenidos de laboratorio, correlación de tesis, muestra inalterada, densidad natural y de correlaciones obtenidas en otros países. Los resultados provenientes de ensayos in situ indican CBR menor de 3.5 %, los obtenidos de muestra inalterada son menores de 1.7%, el cual se considera demasiado conservador. Los valores de laboratorio CBR(95%) = 16%, el cual de acuerdo al tipo de suelo limos muy plásticos (MH) resultan elevados.

En el Cuadro N° 19 se puede comprobar el acercamiento que existe entre los valores de la correlación de la tesis y los valores correlacionados por Kleyn (1975), y con menor acercamiento de las correlaciones de Sánchez (1992) y Ponce (1990). Las demás correlaciones presentan mucha diferencia para ser consideradas.

Con el propósito de establecer una comparación de los índices de penetración dinámica y los CBR de laboratorio, se realizó el Gráfico N° 21.

El desarrollo de los ensayos de PDC se llevó a cabo sobre suelos remoldeados y compactados en los moldes de laboratorio, se efectuó tres puntos por cada molde en forma equitativa y uno a continuación de otro siempre que no exista perturbación de la superficie de suelo compactado, si sucede lo contrario se detiene el ensayo. Esta comparación nos permitió conocer los resultados del ensayo de PDC en el laboratorio, los cuales son próximos a los resultados de PDC in situ, esto se puede comprobar con la evaluación de los suelos arcillosos, que presentan una resistencia mayor de 16.67 mm/golp, ya sea sobre muestras compactadas en los moldes de laboratorio o en las condiciones naturales. De tal manera se puede establecer que un suelo de fundación que presenta humedad natural entre 4 a 15 % y resistencia de 16.67 a 25 mm/golp resulta un CBR de la correlación de la tesis próxima al CBR (95% de la Máxima Densidad Seca) de laboratorio.

El resultado de la correlación resultó ligera pérdida de energía de la penetración dinámica, esto sucede por el tipo de suelo en evaluación donde no existe fricción, considerándose una correlación muy conservadora y además no muy real de las condiciones en que se encuentra in situ, pero se deja establecido la correlación desde el punto de vista del laboratorio para el suelo en análisis

En resumen, observar los resultados de los CBR obtenidos de la correlación de la tesis, que en su mayoría resultan bajos, lo cual es lógico por las condiciones que presenta el terreno y los valores de CBR de laboratorio, el cual se realiza en las condiciones más desfavorables que puede adoptar el suelo, nos permite concluir que no se puede brindar toda la credibilidad a los resultados de laboratorio cuando el suelo natural presenta humedad elevada, obligando a la necesidad de mayores ensayos in situ. Los suelos arcillosos en muchos casos por su baja permeabilidad no llegan a adoptar la saturación que se requiere en el laboratorio, siendo uno de los motivos por lo cual no se pueden simular las condiciones desfavorables del suelo en evaluación. Otro de los problemas que presentan los suelos cohesivos es el proceso de

compactación en los moldes de laboratorio. Por tal motivo se debe tener cuidado en los resultados de laboratorio, indicando mas que un valor exacto un valor estadístico de la capacidad de soporte del tipo de suelo.

En una zona como la Selva, específicamente en la zona de Tiwinza donde es imposible llevar equipos pesados para realizar ensayos de CBR in situ o traer sacos del suelo para su análisis es imposible y resulta gran pérdida de tiempo y costos. Además ante la baja capacidad de soporte del suelo de fundación registrada hasta los tres metros de profundidad con el equipo de PDC, ya nos esta indicando que el suelo existente necesita de un mejoramiento, reemplazo o una estabilización de acuerdo al criterio del ingeniero del proyecto, por lo que nos permite, estando en el campo, realizar una búsqueda y conocer el material disponible en la zona, para efectuar el tratamiento respectivo.

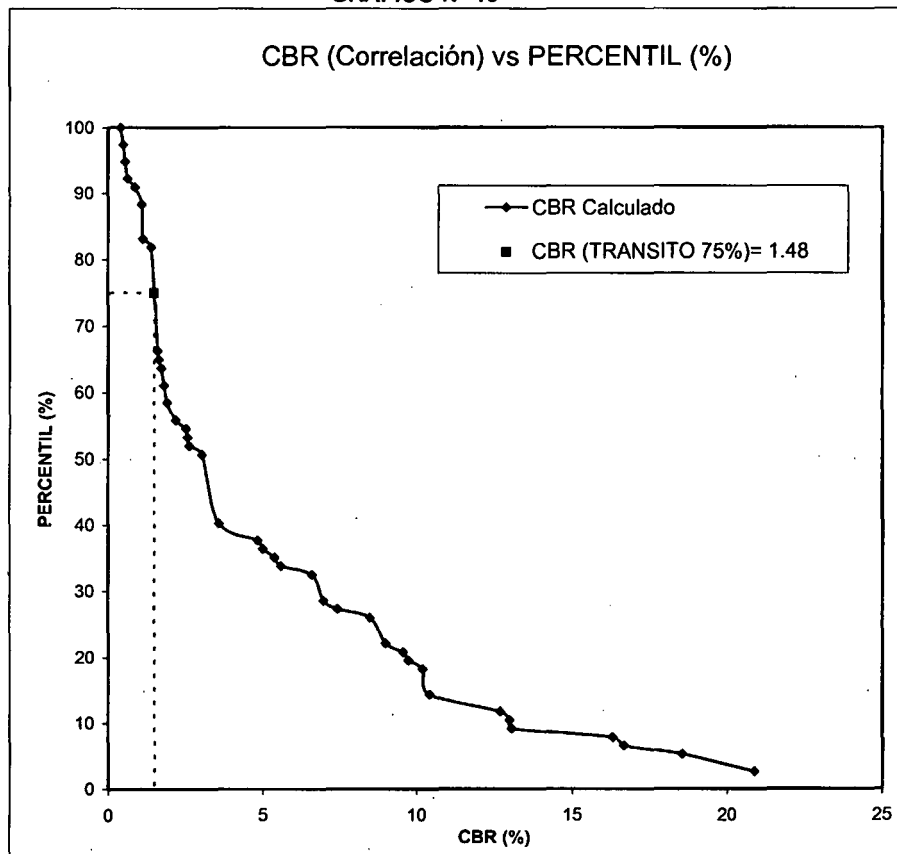
La utilidad del equipo de PDC no indica eliminar completamente el muestreo de las calicatas, sino conseguir el material necesario para complementar la evaluación en corto tiempo.

Por tal motivo el uso del equipo de PDC es necesario e indispensable para los estudios donde se hace difícil el acceso a la zona de proyecto. De esta manera en el Capitulo V se presentará el análisis económico en la determinación del CBR in situ por medio del equipo de PDC.

CALCULO DEL CBR in situ FINAL A PARTIR DEL ENSAYO DE PDC
SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

PDC (mm/golp)	CBR Calculado	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
17	10.19	20.88	2	2.60
20	8.48	18.54	4	5.19
23.81	6.97	16.65	5	6.49
16.67	10.42	16.30	6	7.79
20	8.48	13.07	7	9.09
83	1.70	12.99	8	10.39
86	1.64	12.69	9	11.69
17	10.19	10.42	11	14.29
50	3.02	10.19	14	18.18
100	1.38	9.73	15	19.48
10	18.54	9.56	16	20.78
11	16.65	8.99	17	22.08
25	6.60	8.48	20	25.97
11.21	16.30	7.43	21	27.27
19	8.99	6.97	22	28.57
13.64	13.07	6.60	25	32.47
32	4.99	5.58	26	33.77
17.71	9.73	5.37	27	35.06
225	0.55	4.99	28	36.36
50	3.02	4.82	29	37.66
59	2.50	3.58	31	40.26
100	1.38	3.02	39	50.65
29	5.58	2.60	40	51.95
20	8.48	2.55	41	53.25
14	12.69	2.50	42	54.55
25	6.60	2.17	43	55.84
100	1.38	1.91	45	58.44
22.5	7.43	1.80	47	61.04
13.71	12.99	1.70	49	63.64
16.67	10.42	1.64	50	64.94
18	9.56	1.60	51	66.23
10	18.54	1.38	63	81.82
67	2.17	1.11	64	83.12
79	1.80	1.07	68	88.31
58	2.55	0.87	70	90.91
30	5.37	0.63	71	92.21
50	3.02	0.55	73	94.81
150	0.87	0.49	75	97.40
225	0.55	0.40	77	100.00

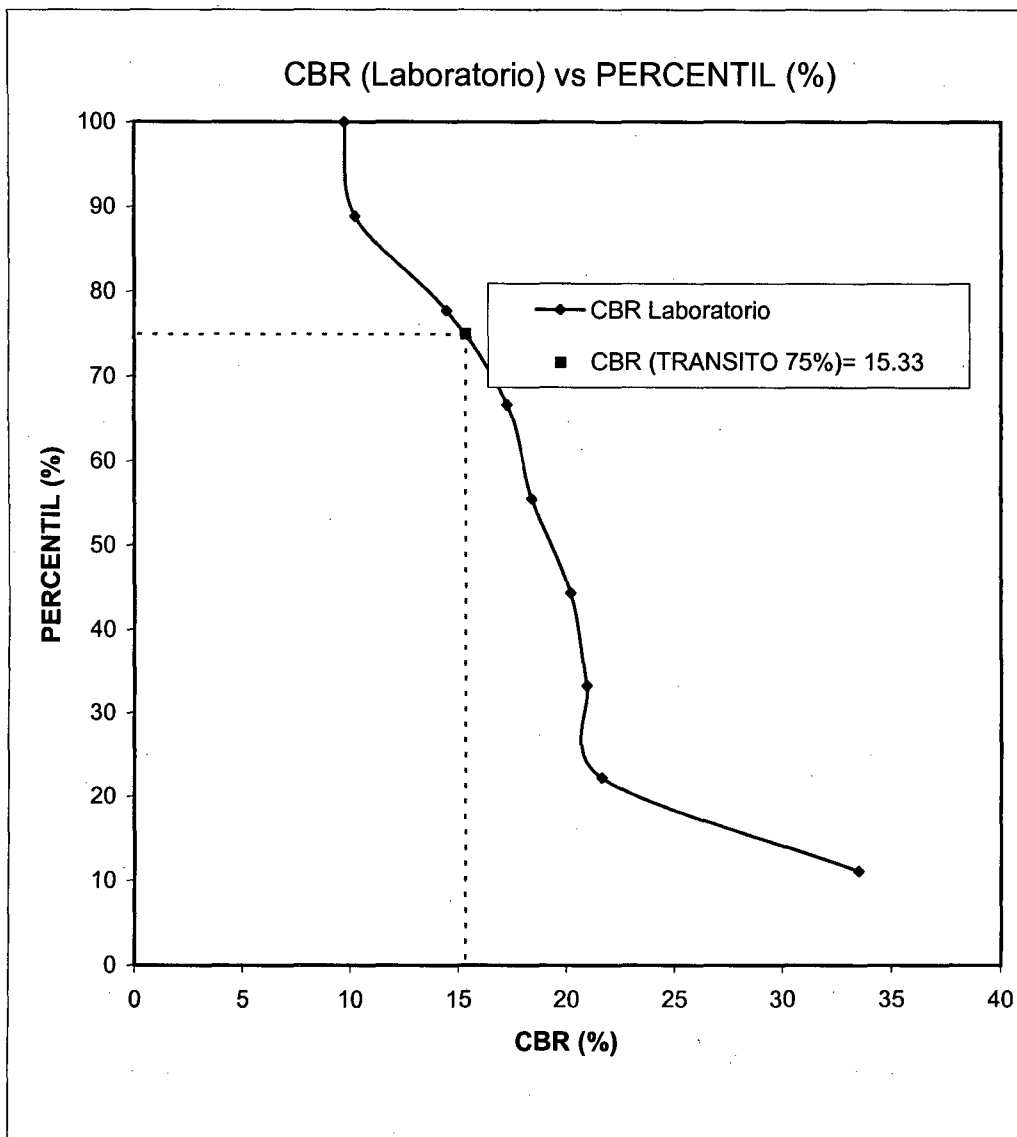
GRAFICO N° 19



CALCULO DEL CBR Laboratorio FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR Laboratorio	Ordenamiento CBR	Numero mayor o Igual	% Mayor o igual
14.47	33.5	1	11.11
9.75	21.63	2	22.22
17.24	20.93	3	33.33
10.24	20.17	4	44.44
20.93	18.4	5	55.56
33.5	17.24	6	66.67
21.63	14.47	7	77.78
18.4	10.24	8	88.89
20.17	9.75	9	100.00

GRAFICO N° 20



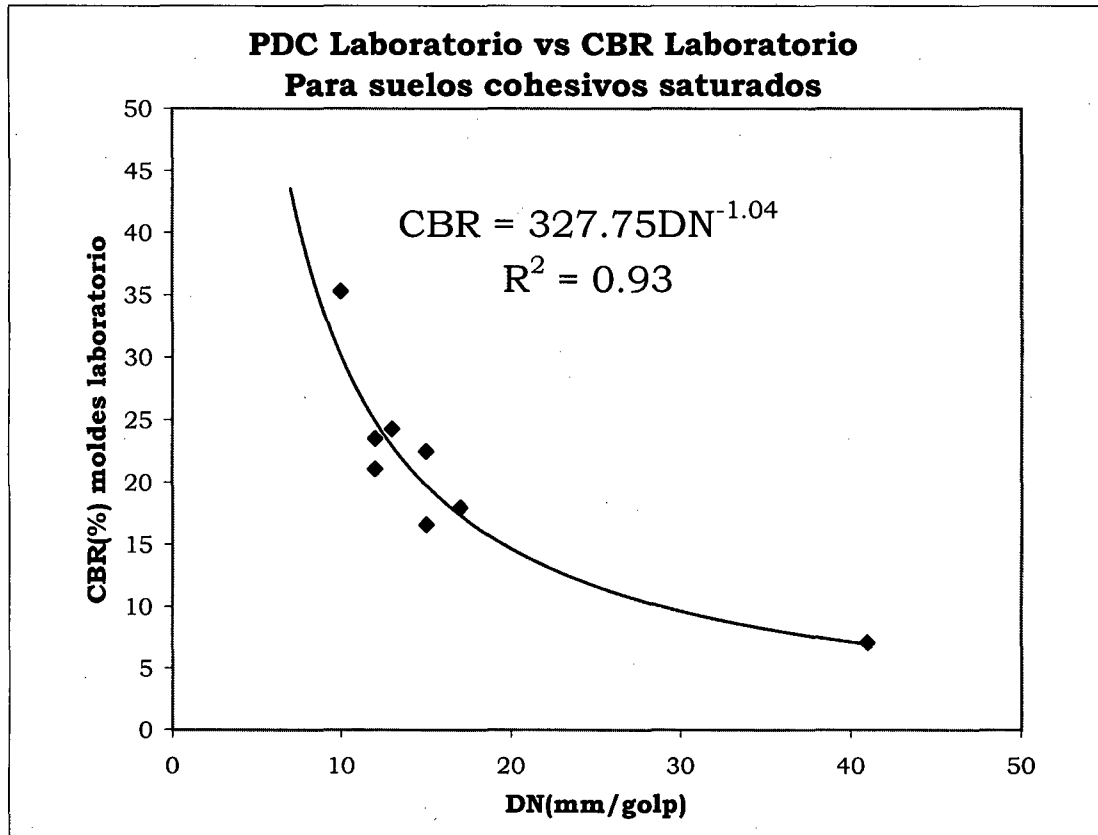
CUADRO N° 19
PROYECTO VIA CARROZABLE TIWINZA

PROGRESIVA	CLASIFICACION		PDC	LABORATORIO					CORRELACIONES CON EL ENSAYO DE PDC OBTENIDAS EN DIFERENTES PAISES					
				ALTERADO Y SUMERGIDO			INALTERADO SUMERGIDO	DE LA DENSIDAD CAMPO	PERU	AUSTRALIA	SUDAFRICA	ARGENTINA	CHILE	COLOMB
	SUCS	AASHTO	(mm/golp)	95%MDS	98%MDS	100%MDS			LIMA	HARISOH	KLEYN	TOSCARELLI	PONCE	SANCHE
3+300	CL	A-6 (17)	59	14.47	15.97	16.5	-	0.2	2.50	2.97	2.34	6.22	2.02	1.88
4+800	MH	A-7-5 (28)	250	17.24	19.12	20.8	1.2	5	0.49	0.44	0.38	1.37	0.24	0.25
5+200	MH	A-7-5 (22)	125	20.93	31.3	33	1.7	-	1.07	1.10	0.91	2.83	0.67	0.66
5+400	MH	A-7-5 (21)	100	33.5	39.6	42.5	-	0.5	1.38	1.48	1.20	3.57	0.93	0.90
6+000	MH	A-7-5 (14)	50	-	-	-	0.65	-	3.02	3.69	2.88	7.40	2.57	2.37
6+600	MH	A-7-5 (21)	75	21.63	24.5	25.5	0.62	0.2	1.91	2.16	1.73	4.84	1.42	1.34
7+200	MH	A-7-5 (18)	45	18.4	21.66	22.2	1.1	0.4	3.40	4.25	3.29	8.27	2.99	2.75
7+500	MH	A-7-5 (18)	50	20.17	21.29	22.8	-	-	-	-	-	-	-	-
7+800	MH	A-7-5 (18)	250	-	-	-	0.77	-	0.49	0.44	0.38	1.37	0.24	0.25
8+400	MH	A-7-5 (18)	50	-	-	-	1.1	-	3.02	3.69	2.88	7.40	2.57	2.37

COMPARACION DE LOS ENSAYOS **PDC** Y **CBR** EN LABORATORIO

CALICATA	CLASIFIC. SUCS	PROFUND. (m)	DN (mm/golp)	CBR (%)
C-6/3+300/m1	CL	,10-1,20	41	7.1
C-6/3+300/m2	CL	,10-1,21	15	16.6
p10/5+400/M1	MH	0,10-1,40	10	35.3
p10/5+400/M2	MH	0,10-1,41	13	24.3
p9/4+800/M0	MH	0,20-1,19	12	21.1
p9/4+800/M1	MH	0,20-1,20	17	18
C13/7+200/M2	MH	0,60-1,15	15	22.5
C-1/5+120/M1	ML	0,10-2,00	12	23.53

GRAFICO N° 21



CAPITULO. V

EVALUACIÓN ECONÓMICA

CAPITULO. V**EVALUACIÓN ECONOMICA**

En este capítulo se presenta una comparación económica de las alternativas de evaluación del terreno de cimentación de un pavimento.

A continuación se presentará el tiempo de duración y el costo de los ensayos en tres programas de evaluación de un proyecto de pavimentación de un suelo homogéneo donde se realizará cuatro calicatas (separadas cada 200m), ensayos estándar y dos ensayos CBR de laboratorio.

En primer lugar se va a realizar una programación clásica en la evaluación de una pavimentación.

PROGRAMACIÓN N° 1

TRABAJO A REALIZAR	TIEMPO (día)	COSTO (S/.)
Preparación de las calicatas	1	50
Extracción de muestra, densidad natural.	1	80
Ensayos Estándar y CBR de Laboratorio	8	880
Tiempo Total (día)	9	
Costo total (S/.)	1010	

Los resultados de los ensayos, obtenidos de una calicata, permiten plantear un diseño de un pavimento en las condiciones más desfavorables del suelo de cimentación, obtenidos en el Laboratorio. En esta programación no se considera la resistencia del suelo in situ, lo cual puede ser perjudicial si las condiciones del suelo tienen poca probabilidad de encontrarse en estado desfavorable o ya se encuentran en dicho estado. Por tal motivo en la siguiente programación se considera el ensayo de un CBR in situ como una información del terreno natural.

PROGRAMACIÓN N°2

TRABAJO A REALIZAR	TIEMPO (día)	COSTO (S/.)
Preparación de las calicatas.	1	50
Extracción de muestra, densidad natural, CBR in situ	1	430
Ensayos Estándar y CBR de Laboratorio.	8	880
Tiempo Total (día)	9	
Costo total (S/.)	1360	

Los resultados obtenidos permiten una mayor información de las condiciones del suelo de cimentación. La desventaja de esta forma de programación es el elevado costo que resulta en la evaluación de campo, el cual es básicamente la realización del ensayo de CBR in situ, que necesita disponer de un camión cargado para la reacción en el desarrollo del ensayo. El costo de la evaluación en esta oportunidad se eleva en S/. 350 manteniéndose el tiempo de duración.

Esta forma de evaluación sería la menos escogida por los ingenieros proyectistas, por lo tanto, obtendríamos menos información del suelo in situ. Ante esta falta de información se plantea una forma de evaluación utilizando el equipo de Penetración Dinámica (7 puntos cada 140 m) realizar 3 calicatas de exploración y un ensayo de CBR de laboratorio, dicha programación permite identificar con mayor amplitud el suelo existente.

PROGRAMACIÓN N° 3

TRABAJO A REALIZAR	TIEMPO (día)	COSTO (S/.)
Extracción de muestra, y envío al Laboratorio, PDC in situ.	1	470
Ensayos Estándar y un CBR de laboratorio.	5	535
Tiempo Total (día)	6	
Costo total (S/.)	1005	

Los resultados de los ensayos de Penetración Dinámica in situ y de la correlación obtenida que permite obtener el valor del CBR in situ, interpretar según su resistencia, los tramos críticos y el cambio del tipo de suelo que existe.

En esta programación existe una considerable ventaja ya sea en el tiempo de realización como en el costo de los ensayos, permitiendo una etapa de evaluación rápida, económica y real de las condiciones del suelo, ofreciendo informaciones que previenen cualquier contradicción en los resultados.

Como una información adicional de la evaluación económica en el desarrollo de una exploración geotécnica se indica en el Cuadro N° 21 un análisis del tiempo y gastos que se

realizaron en el proyecto de Pavimentación de la Vía Carrozable Tiwinza. En esta oportunidad se realizaron 27 calicatas, 34 clasificaciones estándar, 9 CBR sobre muestras remoldeadas y 7 CBR sobre muestras inalteradas.

CUADRO N° 21

TRABAJOS A REALIZAR	TIEMPO DURACION (Dias)	COSTO (S/.)
Preparación de calicatas cada 300m utilizando 5 personas	3	750
Registro de calicata y extracción de muestra	9	840
Ensayos estándar y CBR sobre muestra alterada e inalterada en Laboratorio (cuatro moldes de CBR)	16	7990
TOTAL	28	9580

La valores obtenidos con los ensayos de PDC registraron solo dos tramos de resistencias diferentes esto brinda una alternativa de realizar una programación con 14 calicatas, 21 clasificaciones, 7 CBR de laboratorio y 77 ensayos de Penetración Dinámica.

En el Cuadro N° 22 se indica el tiempo y gasto del proyecto en la etapa de exploración de campo y laboratorio.

CUADRO N° 22

TRABAJO A REALIZAR	TIEMPO DURACION (Dias)	COSTO (S/.)
Preparación de calicatas cada 300m utilizando 5 personas	3	375
Registro de calicata, extracción de muestra y ensayo de PDC	5	5140
Ensayos estándar y CBR sobre muestra alterada en Laboratorio (cuatro moldes de CBR)	16	3945
TOTAL	24	9460

Al utilizar el equipo de PDC y disminuir el número de calicatas resultó menor tiempo de exploración de campo y laboratorio, menores gastos y mayor zonificación del tramo en evaluación. Además, permitió un transporte con equipo ligero y desde ya advierte al ingeniero, la alternativa de mejoramiento, remplazo o estabilización de la sub rasante, para lo cual estaría pensando en la utilidad del material que existe en los alrededores de la zona de estudio.

Cuando se realiza la exploración geotécnica de un tramo en estudio, utilizar el ensayo de Penetración Dinámica de Cono en una primera evaluación, ofrece la alternativa de identificar los tramos homogéneos y críticos para luego ubicar y determinar el número

de sondajes de exploración. Además conocer la capacidad de soporte in situ, evita trabajos innecesarios de campo y ofrece mayor información a los estados en las que puede encontrarse el suelo en evaluación.

CAPITULO. VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO. VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), se describe como un instrumento liviano de fácil transporte para ser utilizado en lugares inaccesibles y obtener la información geotécnica que brindan los métodos tradicionales para el diseño y evaluación de pavimentos, en forma rápida, confiable y económica.

Se presentaron tres métodos para la evaluación de los resultados obtenidos con el PDC como son: Curva PDC, Diagrama Estructural y Curva de Balance Estructural. La Curva PDC da lugar a una recta representativa cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración (DN), el Número de PDC indica el espesor aproximado de las capas del suelo y/o las variaciones de calidad que ocurren en ellas y la Curva de Balance Estructural relaciona el porcentaje de golpes necesarios para penetrar cierta profundidad.

Los suelos arcillosos indica medidas de 14 a 25mm/golpe a una consistencia media y humedad de 7% a 15%. Para suelos arenosos y limosos indica medidas de 5 a 16mm/golpe a una consistencia media y contenido de humedad mayor 7%. Estos valores de índice de penetración (DN) para los tipos de suelos nombrados son los que se deben considerar en la evaluación con el ensayo de PDC.

Para un suelo arcilloso que resultan medidas menores de 14 mm/golp indica que presenta ligera humedad no siendo recomendable como parámetro de evaluación, pero si la resistencia es mayor de 25 mm/golp puede resultar muy blando por el exceso de humedad o suelto con ligera humedad, si es el caso por el exceso de humedad puede ser considerado como información de campo, pero si es por las condiciones sueltas no se debe considerar como parámetro de las condiciones naturales.

Para los suelos arenosos que resultan con una resistencia menor de 5 mm/golp puede suceder por la ligera humedad y alta compactación o por la presencia de un elemento químico, si fuera por la ligera humedad puede resultar valores conservadores ya que estos

tipos de suelos no presentan cambios en su compacidad ante una variación de humedad pero se densifican con humedad de saturación, si el comportamiento del suelo se altera por la presencia de elementos químicos (como contenido de sales) no es recomendable considerar como parámetros de campo, si los suelos arenosos presentan índice de penetración (DN) mayor de 16.67 mm/golp no es recomendable tomarlo en cuenta por la baja compacidad que presenta.

En esta información del comportamiento del suelo ante los valores de índice de penetración (DN) puede resultar menores (elevada resistencia) por las características granulométricas del suelo, lo cual se puede comprobar en el tamizado para la clasificación del suelo, esta posibilidad puede resultar hasta un tamaño máximo de las partículas de 3/4", en 5%, en un suelo bien gradado, mayor de este tamaño ocasiona el rechazo del equipo de PDC.

Se recomienda luego de una serie de ensayos de PDC se realicen los gráficos del Diagrama de Resistencia de Capas y Balance Estructural en forma global para definir en forma clara los tramos homogéneos y críticos.

Se debe tener cuidado cuando se tiene el mínimo contenido de humedad, menor de 5%, puede variar las lecturas del PDC e interpretar otro tipo de suelo, de igual manera sucede cuando los suelos arenosos y limosos tengan una consistencia baja.

La correlación obtenida en la tesis es $CBR = 249 / DN^{1.128}$ la cual se obtuvo de una serie de ensayos y bajo un modelo matemático establecido, además resulta una línea de tendencia muy próxima a los gráficos de correlaciones obtenidas en otros países (ver Figura N° 7). Esta correlación ha sido utilizada para la evaluación de los proyectos de pavimentación en Huacho, Barranca, Huancayo, Tiwinza y el Periférico Norte, comprobando la certeza y buena información de la capacidad de soporte in situ. También nos permitió el acercamiento, bajo ciertas condiciones y en forma estadísticas, del CBR in situ y el CBR de laboratorio, siendo el objetivo de investigación de muchos años en diferentes lugares del mundo. De acuerdo a los ensayos realizados en distintos lugares del país se concluye como información complementaria que la correlación obtenida por Kley

(1975) ofrece resultados próximos a los valores reales. Con la idea de establecer ciertas formulas matemáticas se realizó la correlación para la Avenida Canta Callao lo cual solo queda como información local.

La evaluación del terreno de fundación de un pavimento siempre se realiza bajo los resultados de los CBR de laboratorio, pensando en las condiciones desfavorables que pueda adoptar el suelo. Es por eso que se presentó una correlación de los ensayos de PDC y CBR en laboratorio en los proyectos de pavimentación de Imperial – Izcuchaca en Huancayo y Tiwinza en la Selva Alta frontera con el Ecuador, los resultados informaron que los índices de penetración (DN) obtenidos sobre suelos compactados en los moldes de laboratorio se encuentran, según el tipo de suelo, dentro de los rangos establecidos en el Cuadro N° 5, los cuales se formaron sobre ensayos realizados en terreno natural. Por tal motivo, de acuerdo a las evaluaciones realizadas y presentadas, se determinó para los suelos arcillosos, que si la humedad se encuentra entre 4% y 15% y el índice de resistencia se encuentra entre 14 mm/golp a 17mm/golp, el CBR de la correlación resulta próximo al CBR de laboratorio al 100%, pero cuando el índice de resistencia está entre 17mm/golp a 25 mm/golp, el CBR de la correlación es cercano al CBR de laboratorio al 95%, en ambos casos la aproximación es mas o menos 3%. Para los suelos arenosos que presentan humedad entre 3% a 15% y el índice de resistencia entre 5mm/golp a 8mm/golp, el CBR de la correlación es cercano al CBR de laboratorio al 100%, pero cuando el índice de resistencia esta entre 8mm/golp a 11mm/golp, el CBR de la correlación es próximo al CBR de laboratorio al 95%, en ambos casos la aproximación es mas o menos de 5%. Esta comparación se obtiene bajo el concepto que la densidad de campo se aproxima a la máxima densidad seca de laboratorio como se comprueba de la serie de ensayos de PDC en terreno natural y en laboratorio, existiendo poca variación de la capacidad de soporte del terreno ante el cambio de humedad

Para los casos de los suelos que tienen poca probabilidad de adoptar las condiciones del laboratorio o contienen alto contenido de humedad, se determina el CBR directamente de los resultados de campo y no buscar soluciones como el oreo (cuando presentan elevada humedad) para luego compactar, lo que puede ocasionar el fenómeno del desplazamiento del agua al suelo, perjudicando las condiciones del mismo.

La determinación de las características de resistencia de los suelos naturales se puede lograr con el equipo de PDC a diferentes profundidades en un mismo sondaje, lo cual no puede suceder con los ensayos realizados por los proyectos convencionales, esta comparación puede observarse de los proyectos presentados y de la evaluación económica analizada para un estudio, lo cual indica un menor costo y menor tiempo perdido en la obtención de los resultados de campo.

Los ingenieros proyectistas deben tener en cuenta que no se puede depender del dinero y de la maquinaria necesaria para el proyecto. Además, los resultados de CBR de laboratorio obedecen más que a un valor exacto a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis, por eso al utilizar el equipo de Penetración Dinámica de Cono no quiere decir que se deja de realizar los ensayos de CBR en laboratorio sino que permite obtener mayor información de la capacidad de soporte del suelo. La determinación de una correlación para los suelos de la ciudad de Lima ofrece mayor confianza que las correlaciones obtenidas en otros países y deja información para futuros proyectos, con las comparaciones que se realizaron en las ciudades de la Provincia de Huacho, Provincia de Barranca, Departamento de Huancayo y en la zona Selva de Tiwinza certificaron la utilidad de la correlación obtenida en la presente tesis.

El Ingeniero debe hacer suposiciones que en muchos casos no son estrictamente correctas, pero que le permitirá arribar a una respuesta suficientemente verdadera para el propósito inmediato. Por consiguiente, en la ingeniería siempre se busca la mayor información en la etapa de evaluación y las mejores soluciones técnicas y económicas para vías y carreteras que se ajusten a realidades geográficas específicas y a las necesidades inherentes de sus diferentes suelos.

BIBLIOGRAFIA:

1. Van Vuuren D.J. Rapid Determination of C.B.R. with the portable Dynamic Cone Penetrometer The Rhodesian Engineer. 1969
2. Burrow J.C. The investigation of existing roads, Transvaal Roads Department, Report L1/25, Pretoria. Sudáfrica. 1975
3. Kleyn E.G. The use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Transvaal Roads Department, Report, Pretoria Sudáfrica. 1975
4. Bester M.D. and L. Hallet, Dinamiese Kegelpels taaf (DKP), University of Pretoria, Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Sudáfrica. 1977
5. De Villiere P.J. Dinamiese Kegelpels taaf Korrelasie met Eenassigge druksterkte University of Pretoria, Pretoria (Dynamic Cone Penetrometer correlation with Unconfined Compressive Strength). Pretoria. Sudáfrica. 1980
6. Wolmarans C.H. The construction of Roads and Airfields on Low – Density windblown sands. ABG Annual Conference. Munich – Alemania. 1977
7. Kleyn E.G. , Maree J.H. and Savage P.F. , The application of a portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer to determine “in situ” bearing properties of Roads Pavement layers and subgrades in South Africa, Proc II European Symposium on Penetration Testing Amsterdam. Sudáfrica . 1982
8. Sánchez Nabogal, F. División de Ingeniería de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Manual del Penetrómetro Dinámico de Cono. Colombia. 1992
9. Angelone S. , Tosticarelli J. y Martínez F. Rioboamba y Berutti – (2000). Instituto Mecánica Aplicada y Estructura (IMAE) – Facultad de Ingeniería – Universidad del Rosario. El Penetrómetro Dinámico de Cono su aplicación al Control y Diseño Estructural de Pavimento. Rosario Argentina. 1990
10. Del Castillo 1994 – Mecánica de Suelos en la Ingeniería Vial. T. II México.

ANEXO I

FIGURAS DE COMPARACION DE LOS REGISTROS DE CALICATAS Y SONDAJES DEL ENSAYO DE PDC

ANEXO II

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO

**ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINAMICA
DE CONO**

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-1

TESIS

: Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico

UBICACIÓN: Av. Santa Callao

FECHA 09-Sep-99

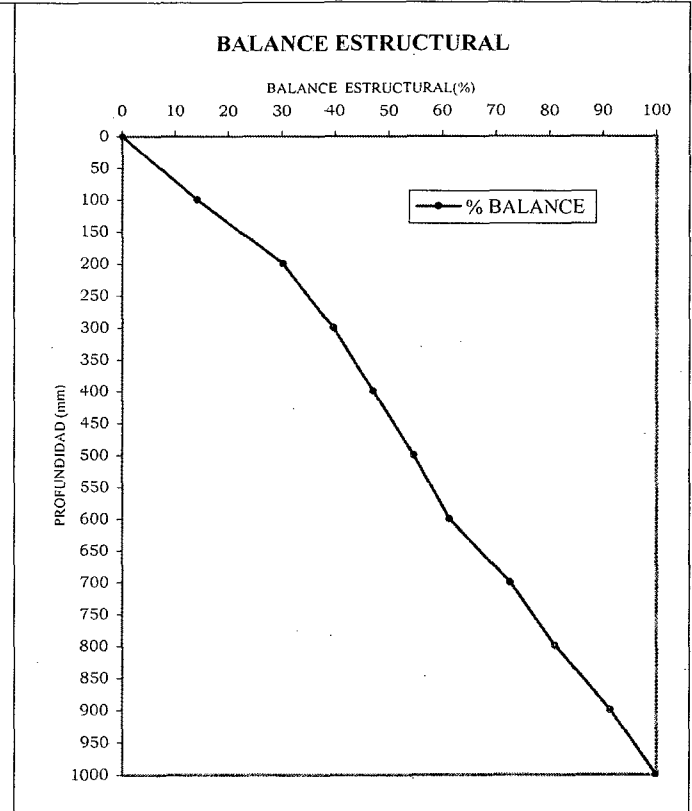
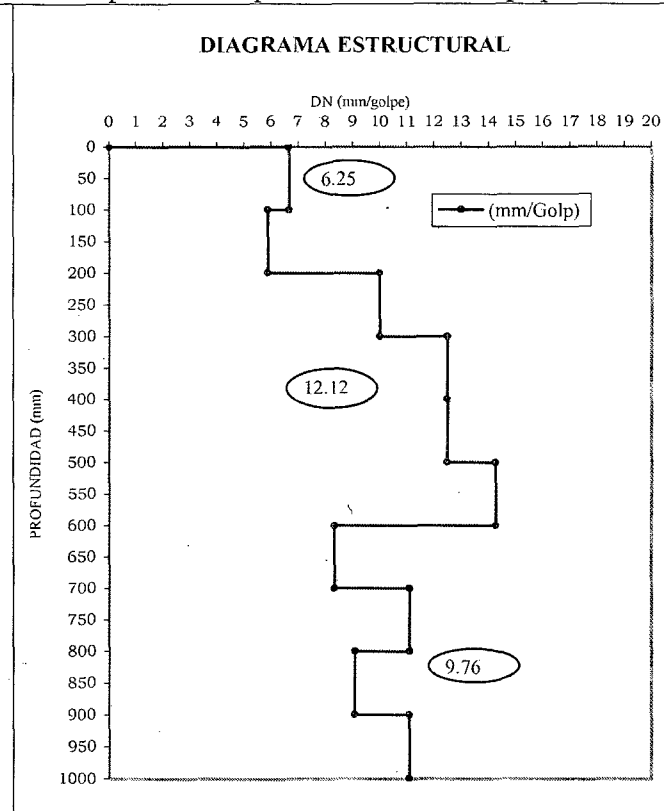
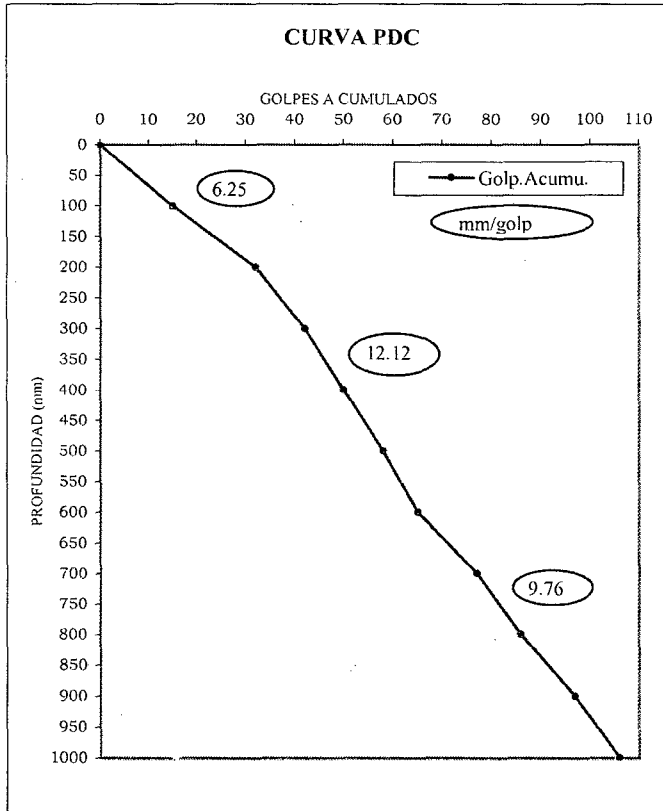


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-2

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99

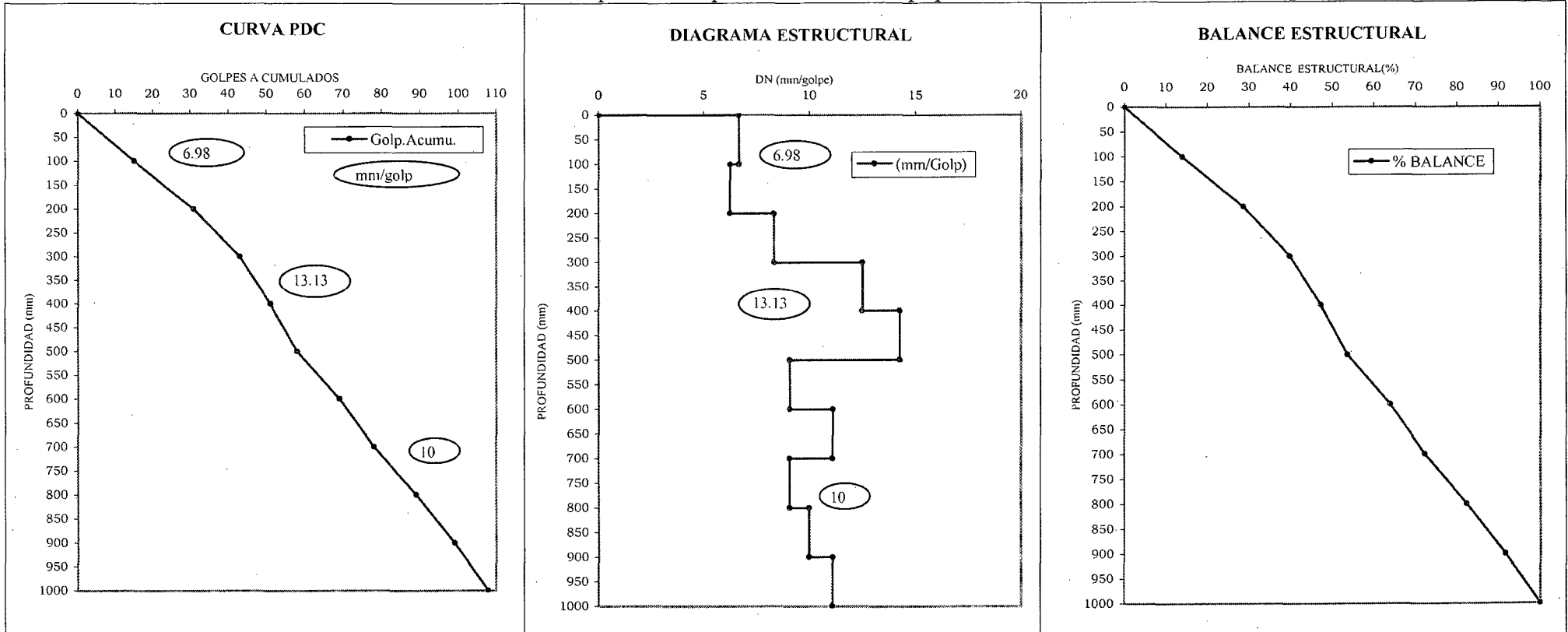


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-3

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99

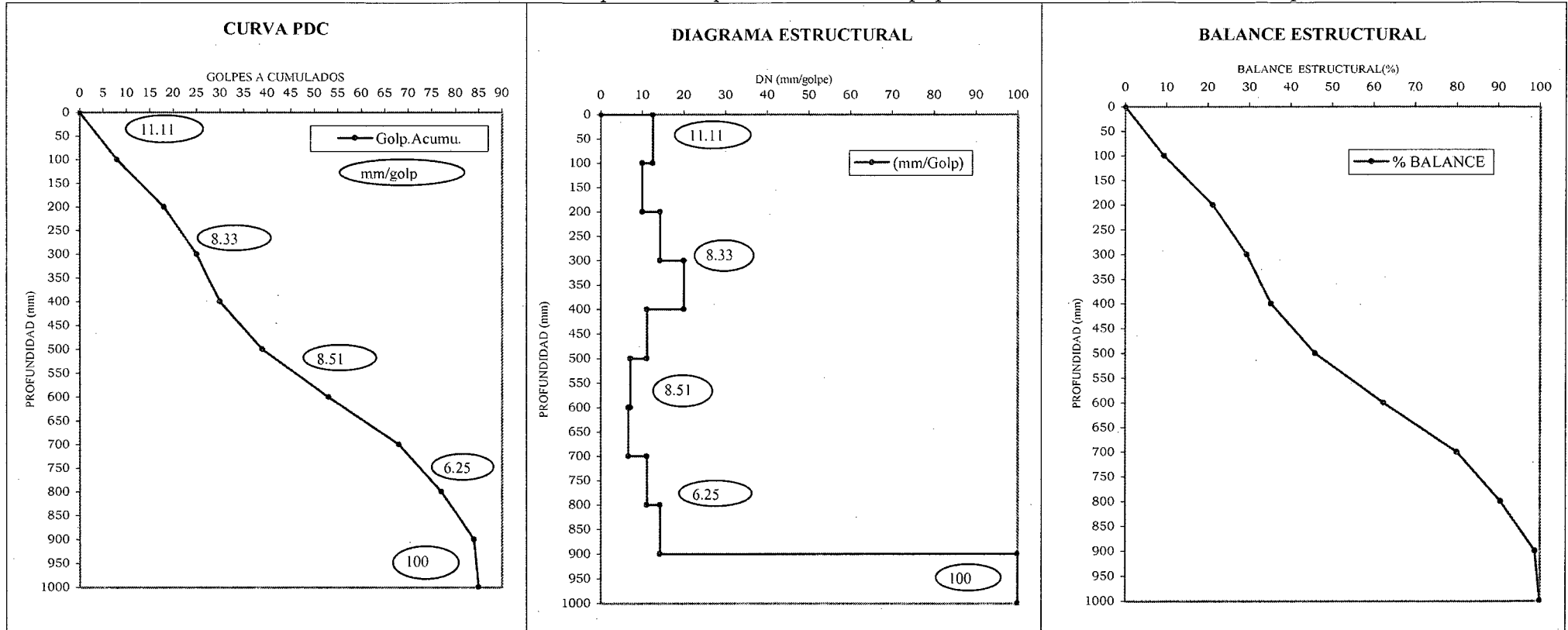
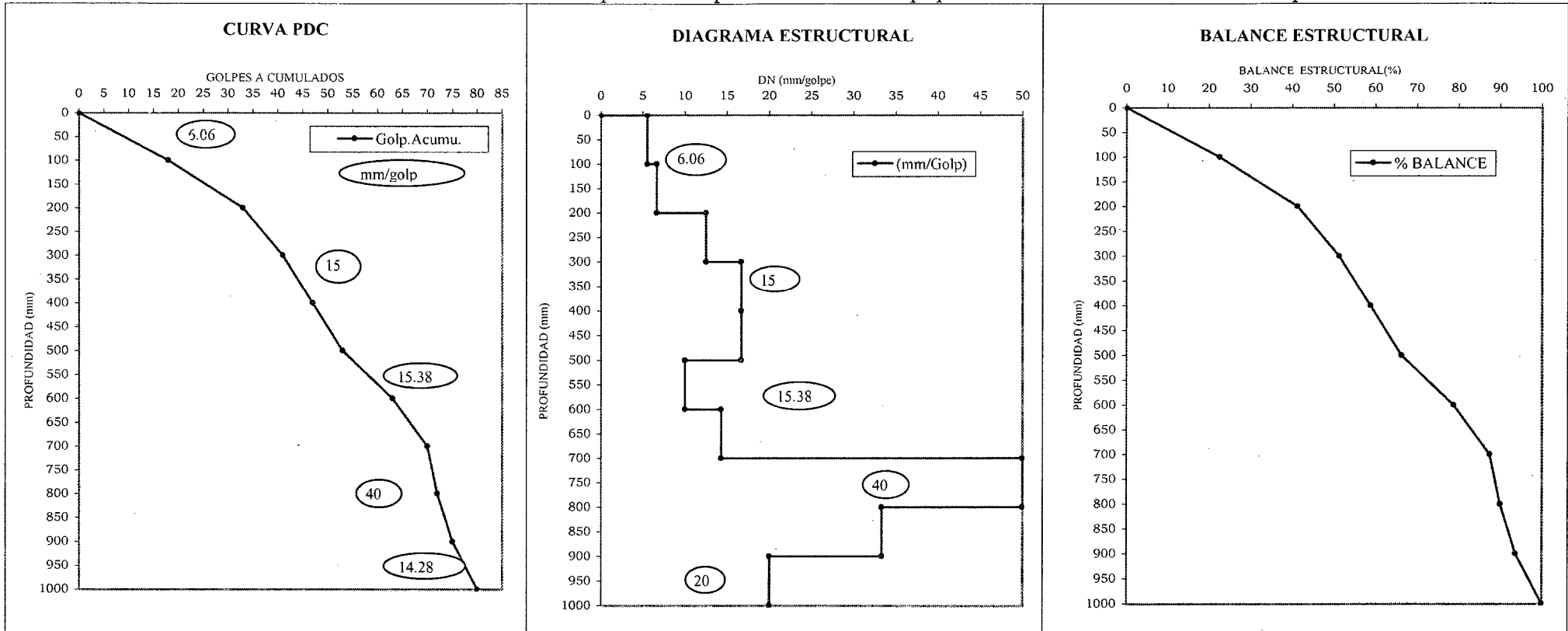


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-4

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99



ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

TESIS	Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico		
UBICACION	Av. Canta Callao		
FECHA	09-Sep-99	PROF. INICIAL(m)	PROF. N.F. (m)
PDC-5		-	-
			PROF.MAX.(m) 1

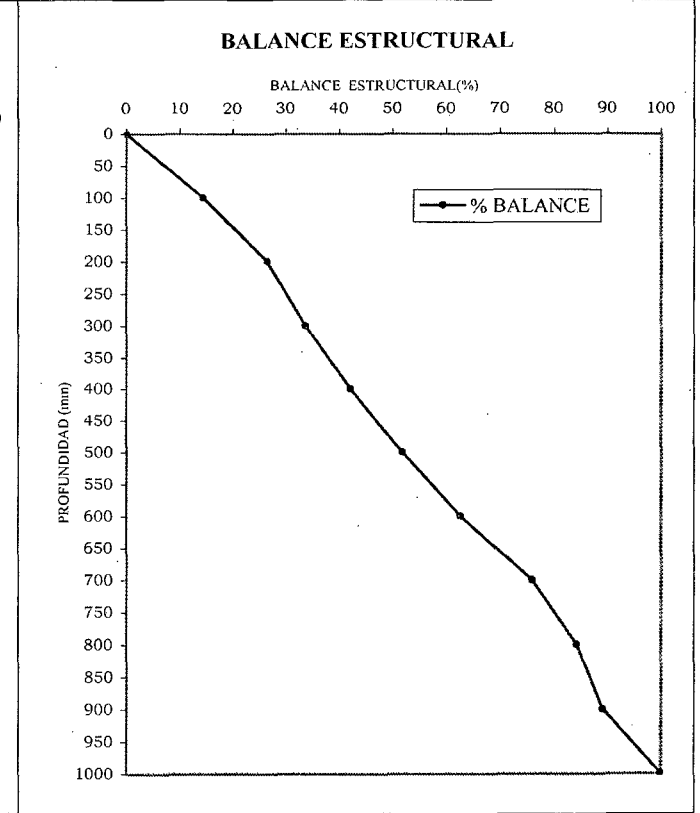
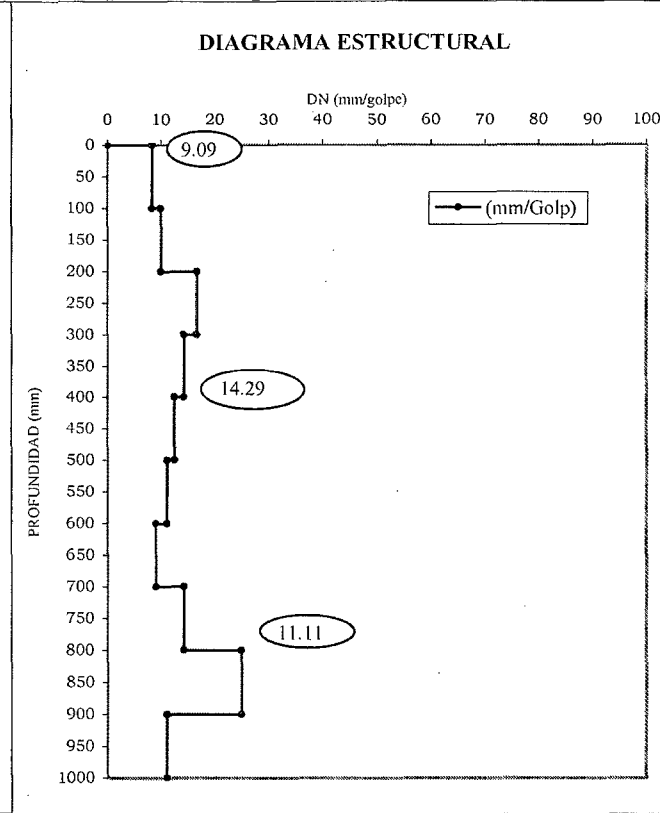
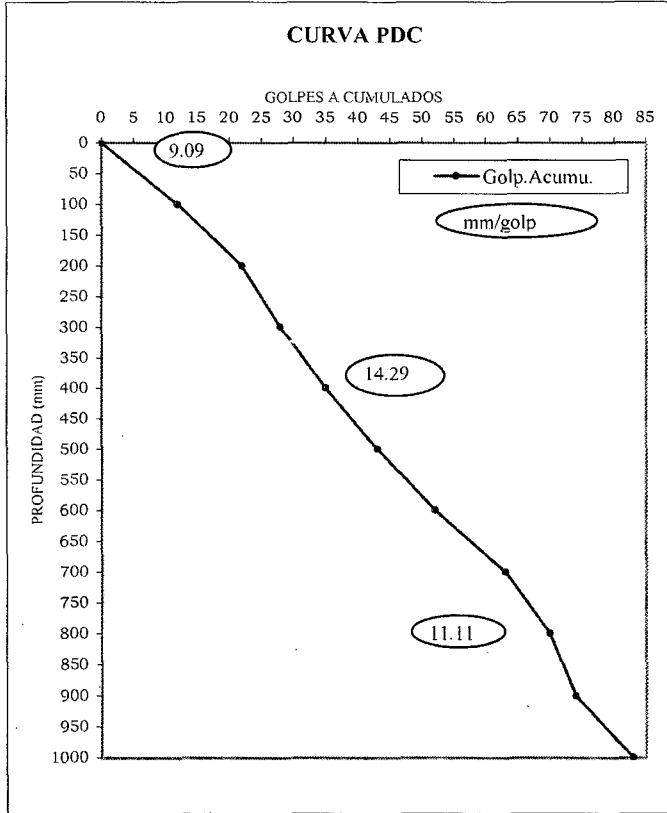
Prof. (mm)	No. GOLPE	Golp.Acumu.	DN (mm/Golp)	DN repres. (mm/Golp)	% BALANCE ESTRUCTU.
0	0	0	0.00	0.00	0.00
100	12	12	8.33	8.33	14.46
200	10	22	10.00	10.00	26.51
300	6	28	16.67	16.67	33.73
400	7	35	14.29	14.29	42.17
500	8	43	12.50	12.50	51.81
600	9	52	11.11	11.11	62.65
700	11	63	9.09	9.09	75.90
800	7	70	14.29	14.29	84.34
900	4	74	25.00	25.00	89.16
1000	9	83	11.11	11.11	100.00

¡Rechazó!

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-5

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99



ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

TESIS	Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico		
UBICACION	Av. Canta Callao		
FECHA	09-Sep-99	PROF. INICIAL(m)	PROF. N.F. (m)
PDC-6		-	-
			1

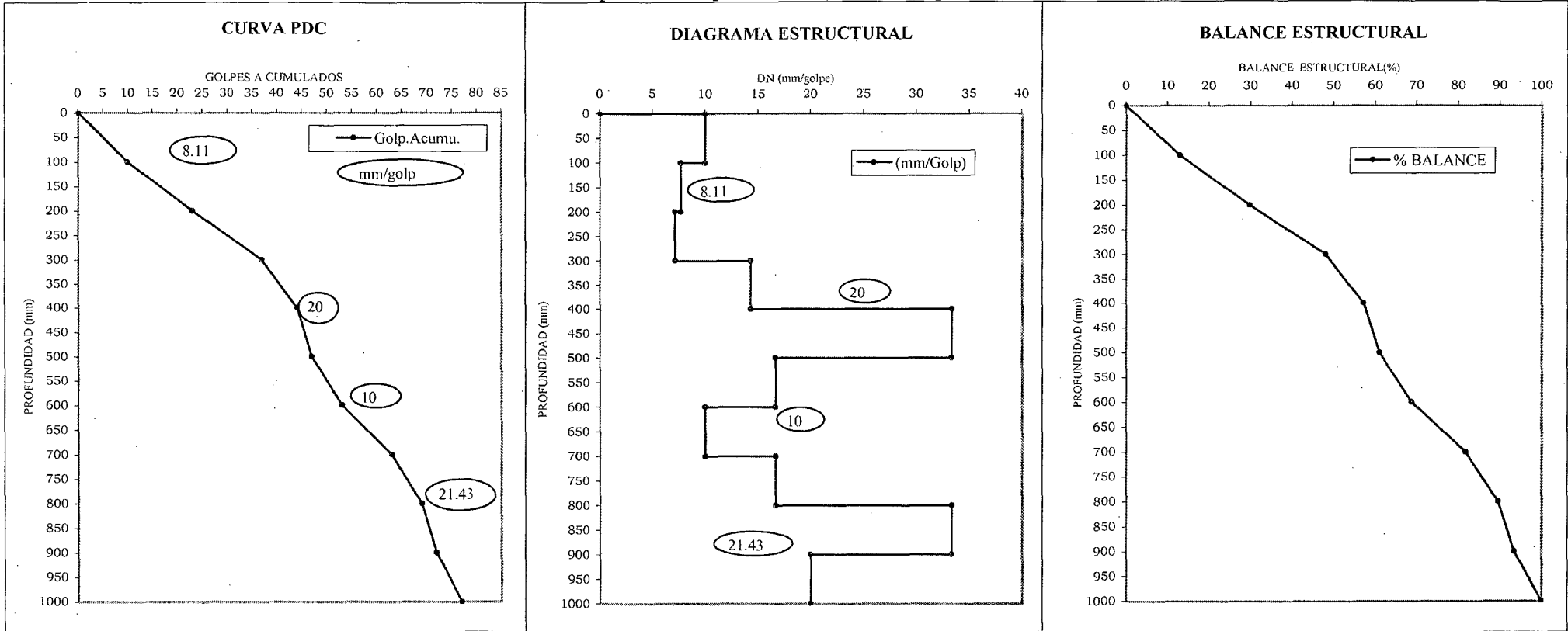
Prof. (mm)	No. GOLPE	Golp.Acumu.	DN (mm/Golp)	DN repres. (mm/Golp)	% BALANCE ESTRUCTU.
0	0	0	0.00	0.00	0.00
100	10	10	10.00	10.00	12.99
200	13	23	7.69	7.69	29.87
300	14	37	7.14	7.14	48.05
400	7	44	14.29	14.29	57.14
500	3	47	33.33	33.33	61.04
600	6	53	16.67	16.67	68.83
700	10	63	10.00	10.00	81.82
800	6	69	16.67	16.67	89.61
900	3	72	33.33	33.33	93.51
1000	5	77	20.00	20.00	100.00

¡Rechazó!

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-6

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99



ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

TESIS	Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico		
UBICACION	Av. Santa Callao		
FECHA	09-Sep-99	PROF. INICIAL(m)	PROF. N.F. (m)
PDC-7	-	-	1

Prof. (mm)	No. GOLPE	Golp.Acumu.	DN (mm/Golp)	DN repres. (mm/Golp)	% BALANCE ESTRUCTU.
0	0	0	0.00	0.00	0.00
100	9	9	11.11	11.11	13.24
200	9	18	11.11	11.11	26.47
300	7	25	14.29	14.29	36.76
400	6	31	16.67	16.67	45.59
500	7	38	14.29	14.29	55.88
600	8	46	12.50	12.50	67.65
700	8	54	12.50	12.50	79.41
800	3	57	33.33	33.33	83.82
900	3	60	33.33	33.33	88.24
1000	8	68	12.50	12.50	100.00

¡Rechazó!

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-7

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99

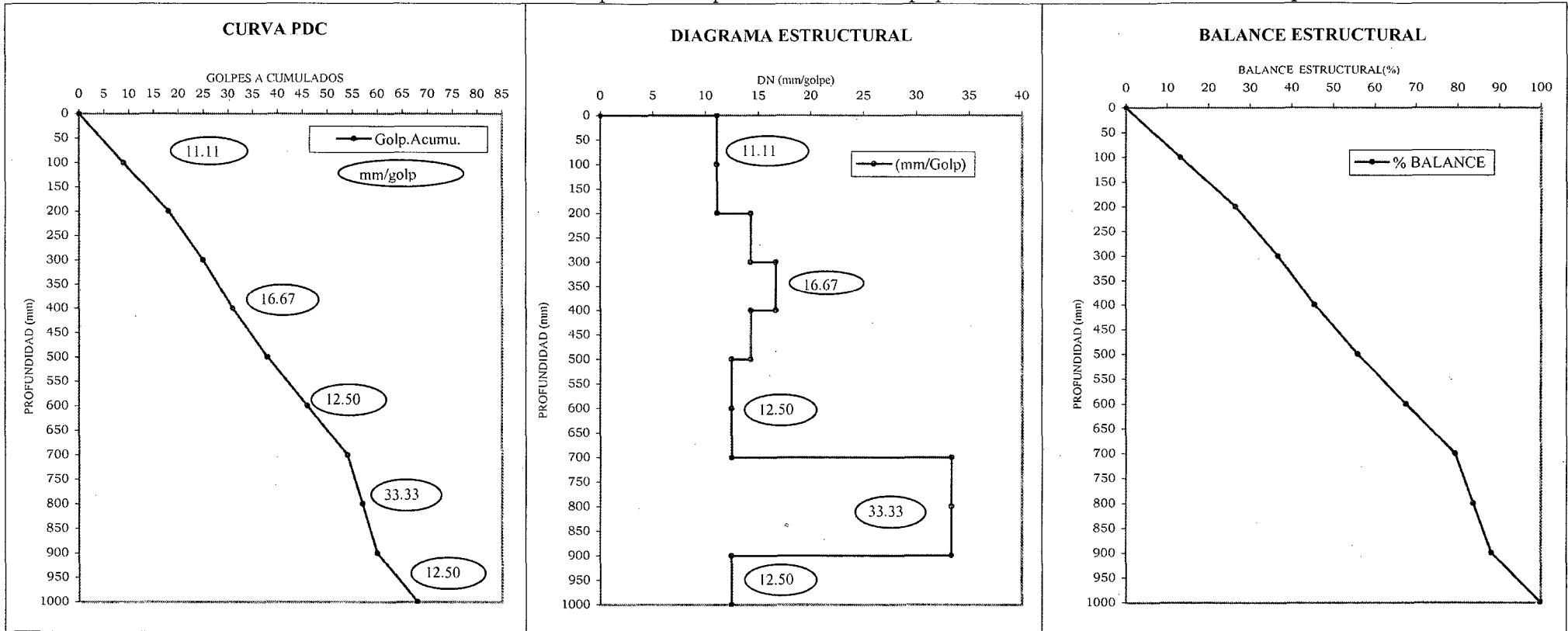


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-1

TESIS

:

Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal

FECHA 08-Sep-99

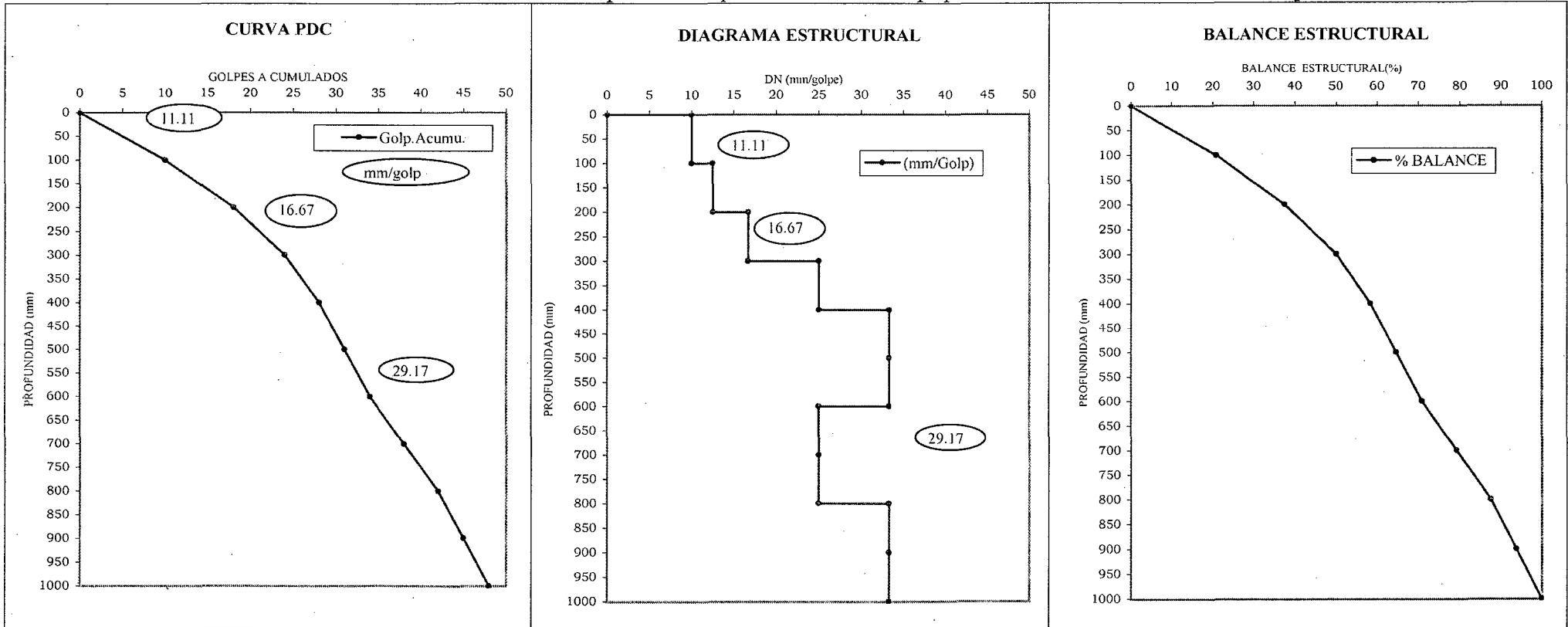


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-2

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal
FECHA 08-Sep-99

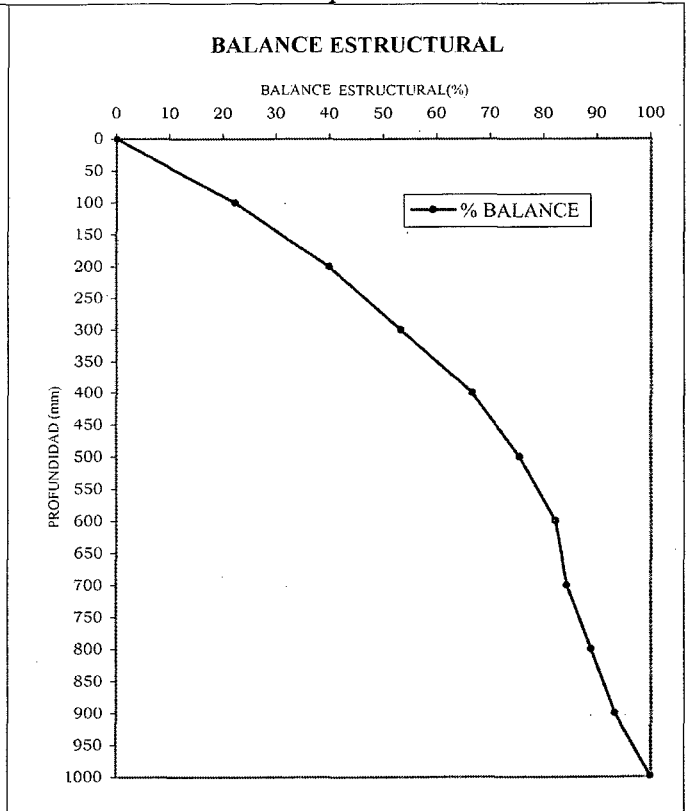
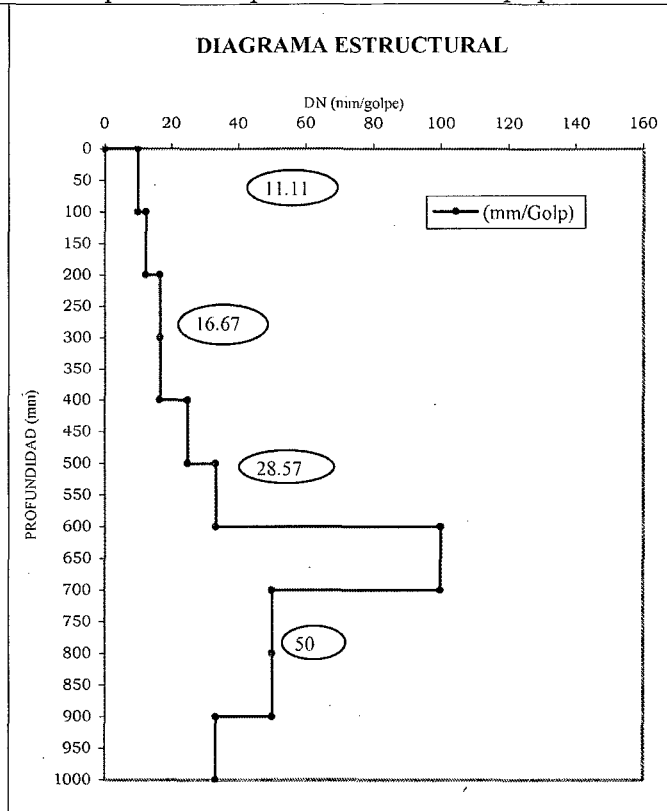
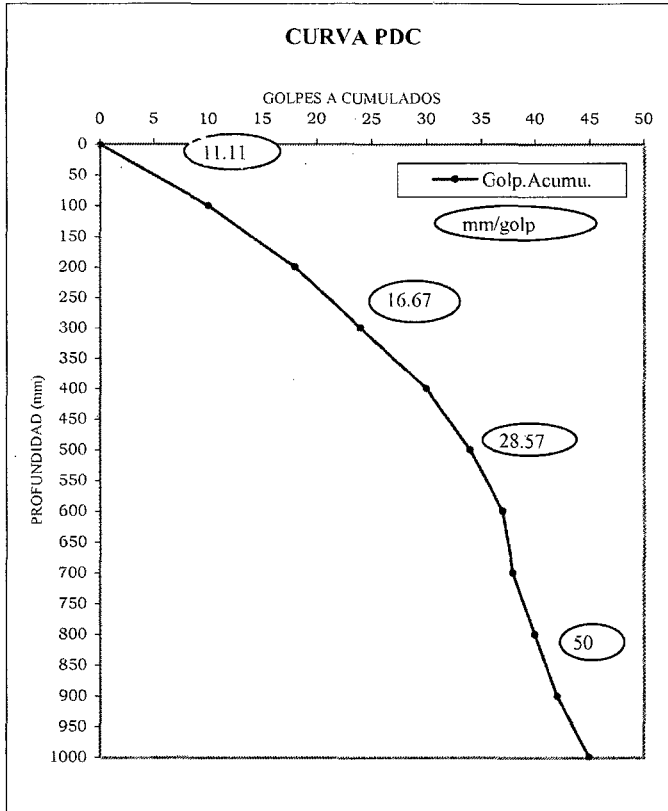


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-3

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal
FECHA 08-Sep-99

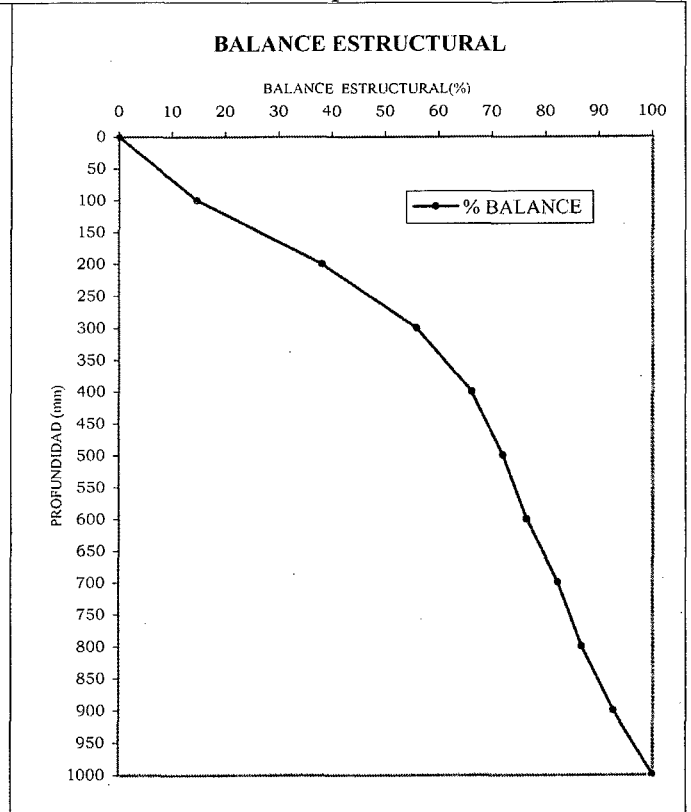
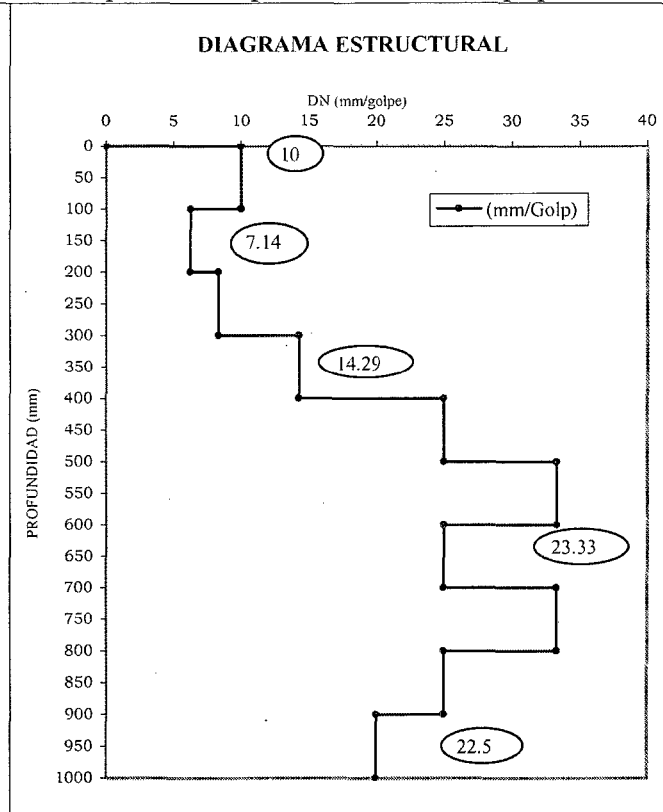
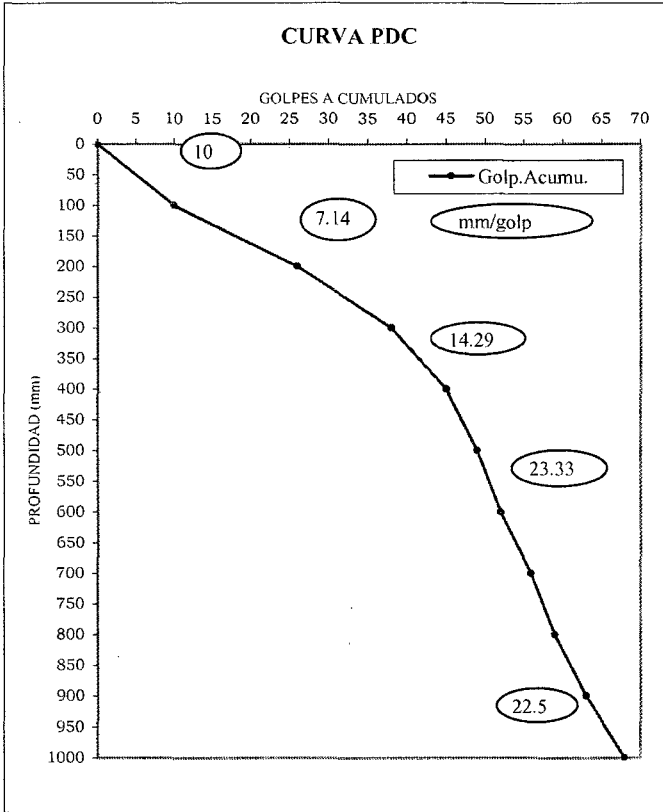
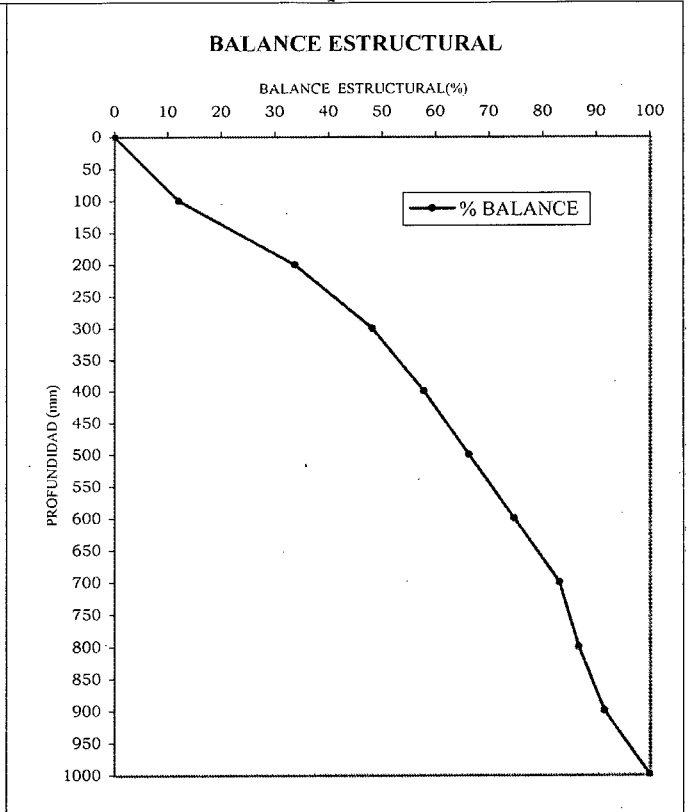
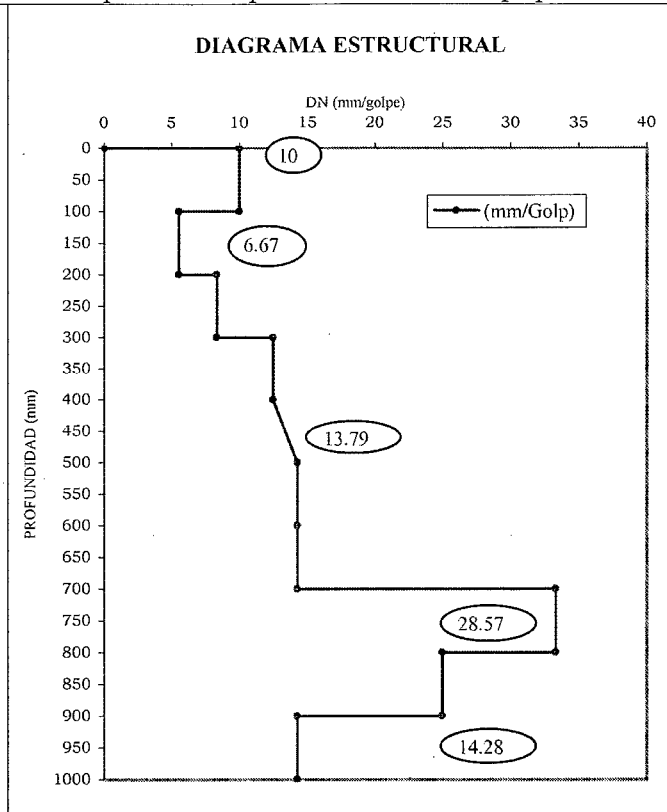
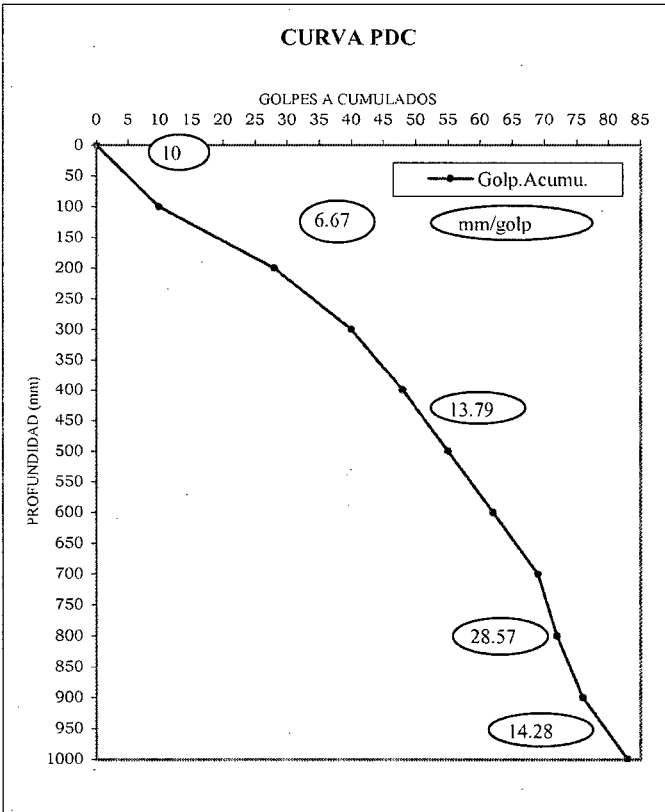


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-4

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal
FECHA 08-Sep-99



ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

TESIS	Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico		
UBICACION	Av. Naranjal		
FECHA	08-Sep-99	PROF. INICIAL(m)	PROF. N.F. (m)
PDC-5		-	-
			1

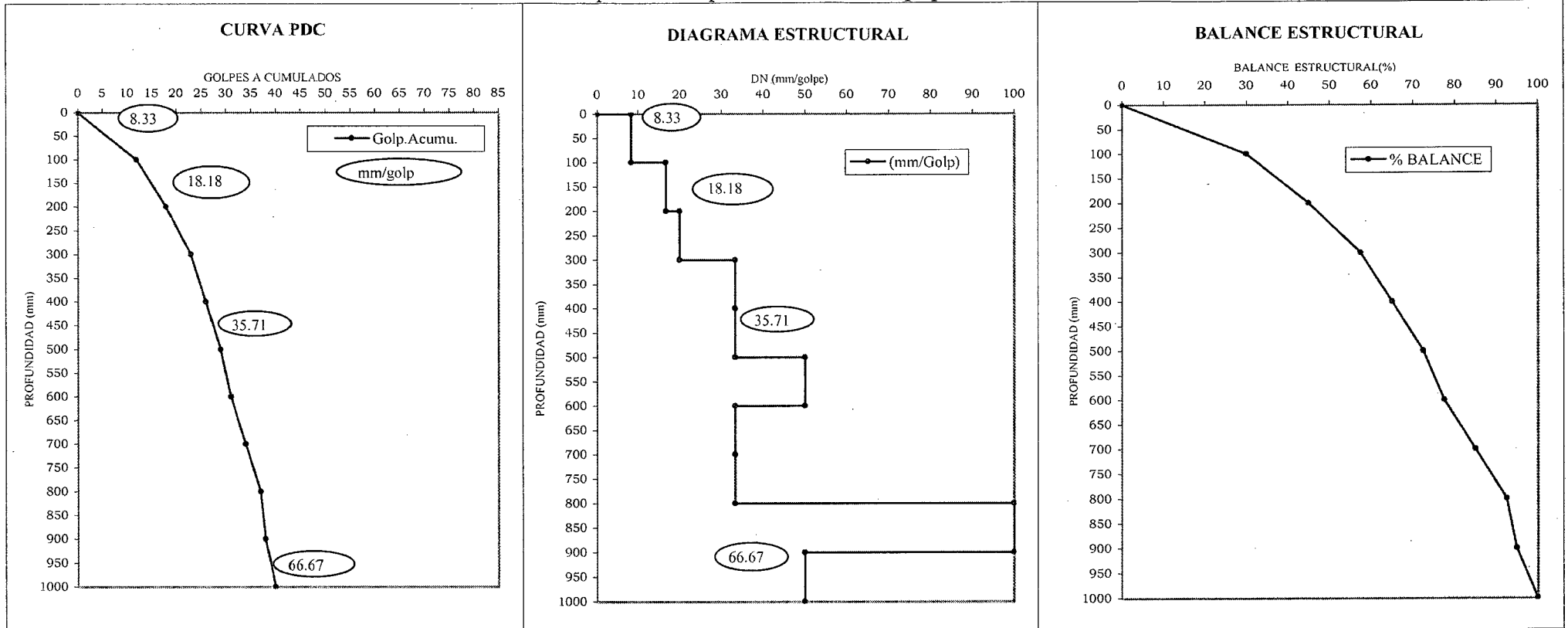
Prof. (mm)	No. GOLPE	Golp.Acumu.	DN (mm/Golp)	DN repres. (mm/Golp)	% BALANCE ESTRUCTU.
0	0	0	0.00	0.00	0.00
100	12	12	8.33	8.33	30.00
200	6	18	16.67	16.67	45.00
300	5	23	20.00	20.00	57.50
400	3	26	33.33	33.33	65.00
500	3	29	33.33	33.33	72.50
600	2	31	50.00	50.00	77.50
700	3	34	33.33	33.33	85.00
800	3	37	33.33	33.33	92.50
900	1	38	100.00	100.00	95.00
1000	2	40	50.00	50.00	100.00

¡Rechazó!

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-5

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal
FECHA 08-Sep-99



ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

TESIS	Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico			
UBICACION	Av. Naranjal			
FECHA	08-Sep-99	PROF. INICIAL(m)	PROF. N.F. (m)	PROF.MAX.(m)
PDC-6		-	-	1

Prof. (mm)	No. GOLPE	Golp.Acumu.	DN (mm/Golp)	DN repres. (mm/Golp)	% BALANCE ESTRUCTU.
0	0	0	0.00	0.00	0.00
100	10	10	10.00	10.00	12.05
200	15	25	6.67	6.67	30.12
300	7	32	14.29	14.29	38.55
400	4	36	25.00	25.00	43.37
500	6	42	16.67	16.67	50.60
600	6	48	16.67	16.67	57.83
700	9	57	11.11	11.11	68.67
800	6	63	16.67	16.67	75.90
900	6	69	16.67	16.67	83.13
1000	6	75	16.67	16.67	90.36
1100	8	83	12.50	12.50	100.00

¡Rechazó!

DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-6

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Naranjal
FECHA 08-Sep-99

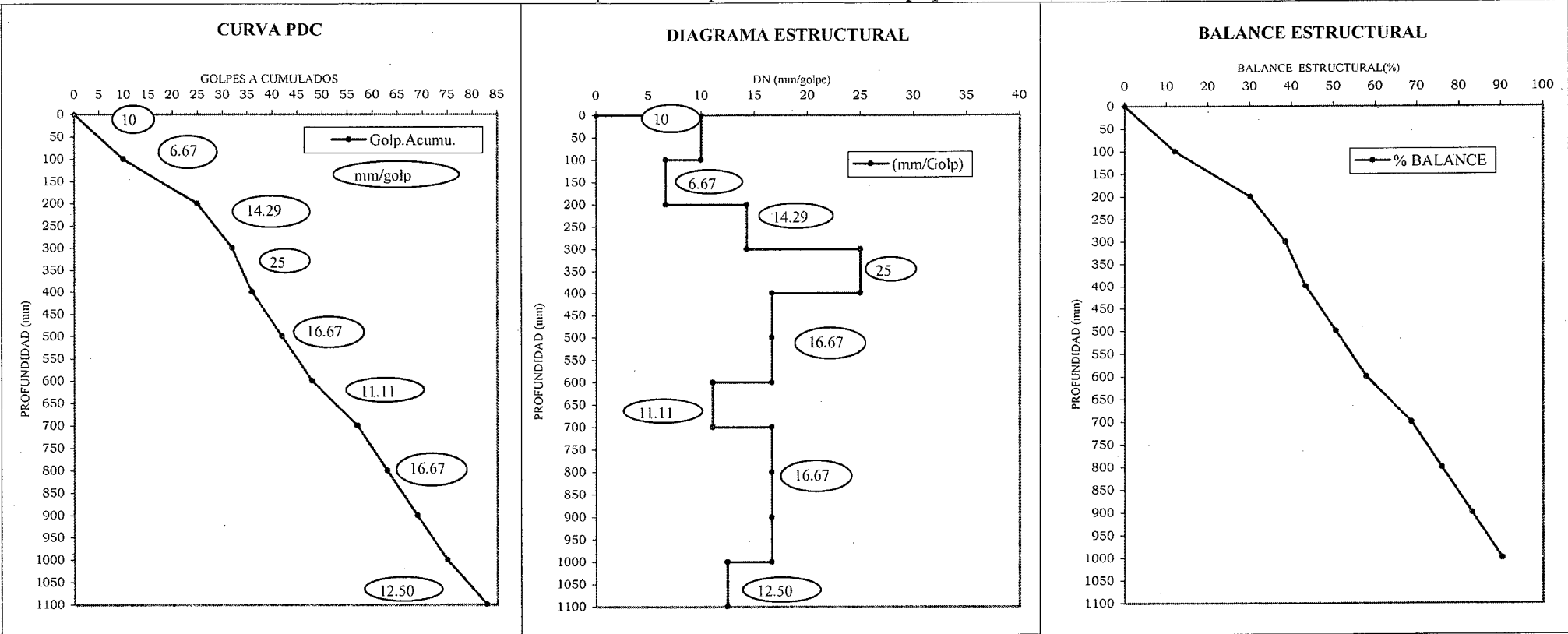


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-8

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 09-Sep-99

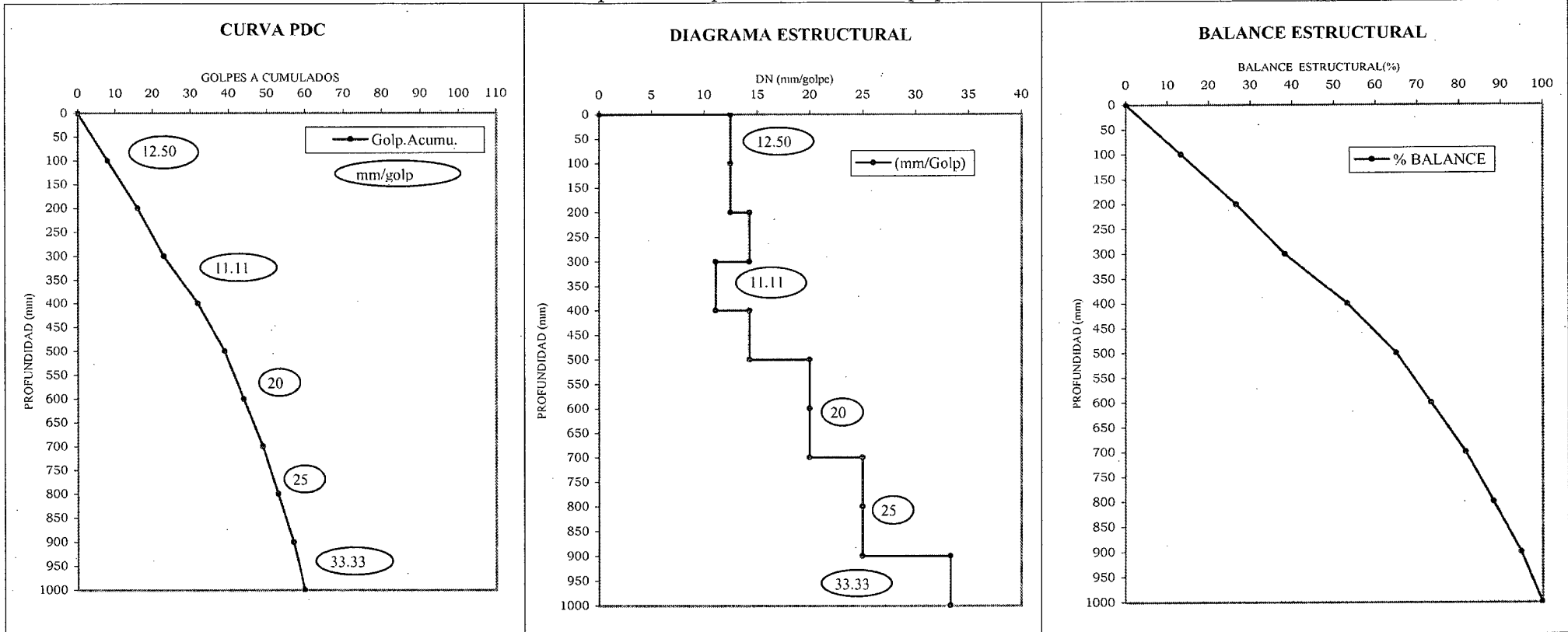


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-9

TESIS

:

Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao

FECHA 09-Sep-99

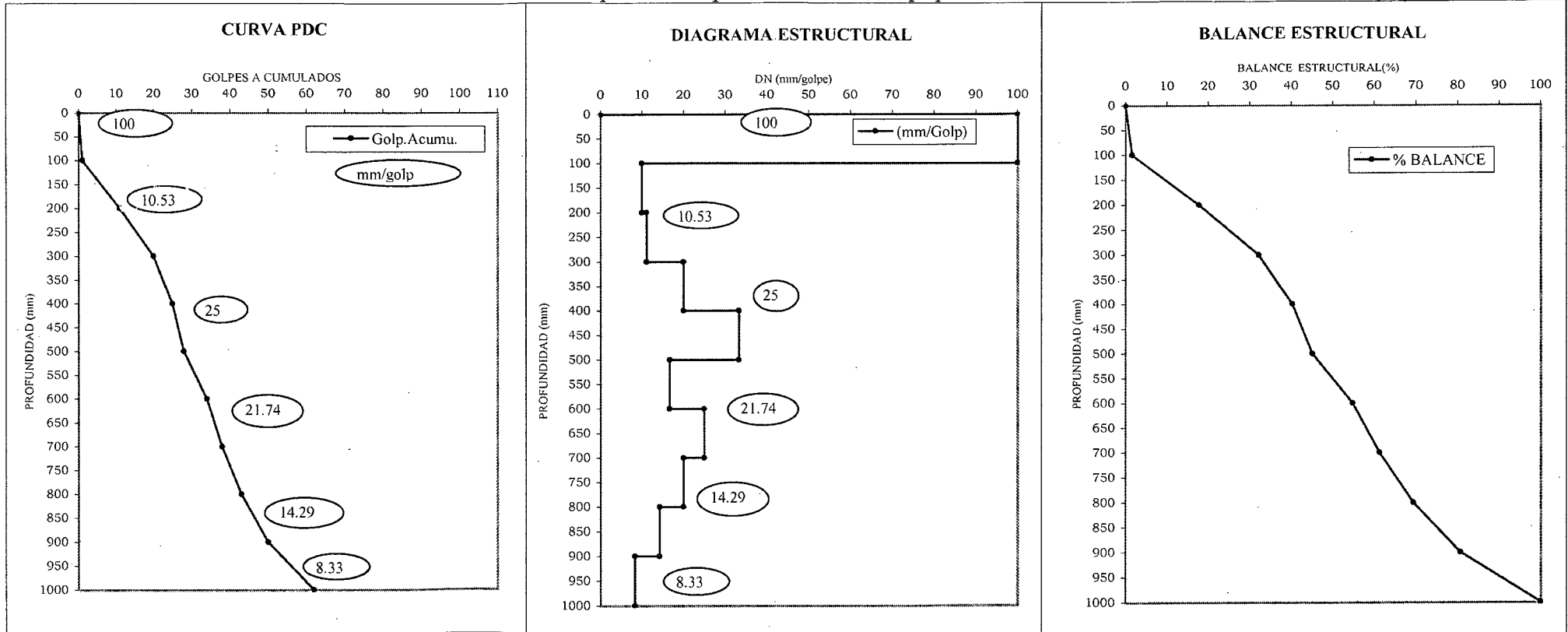


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-1

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 16-Sep-99

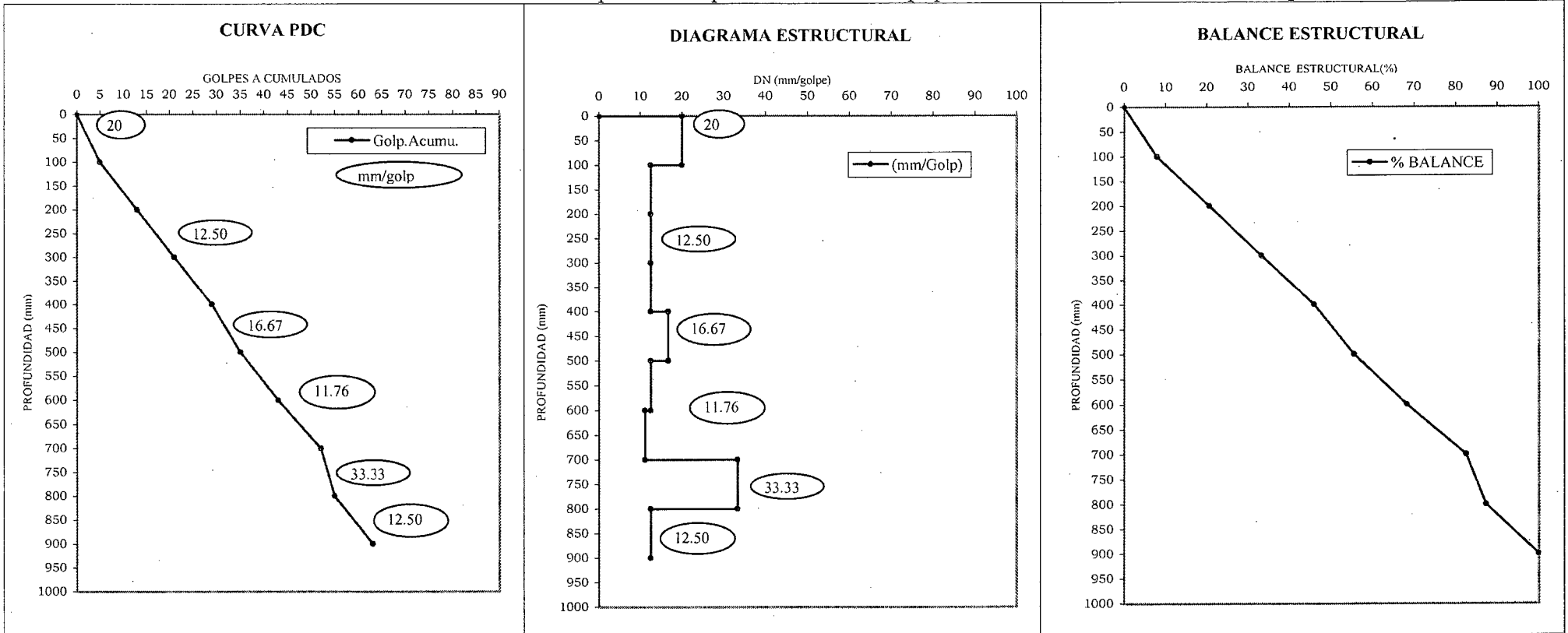


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-2

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinamico

UBICACIÓN: Av. Canta Callao
FECHA 16-Sep-99

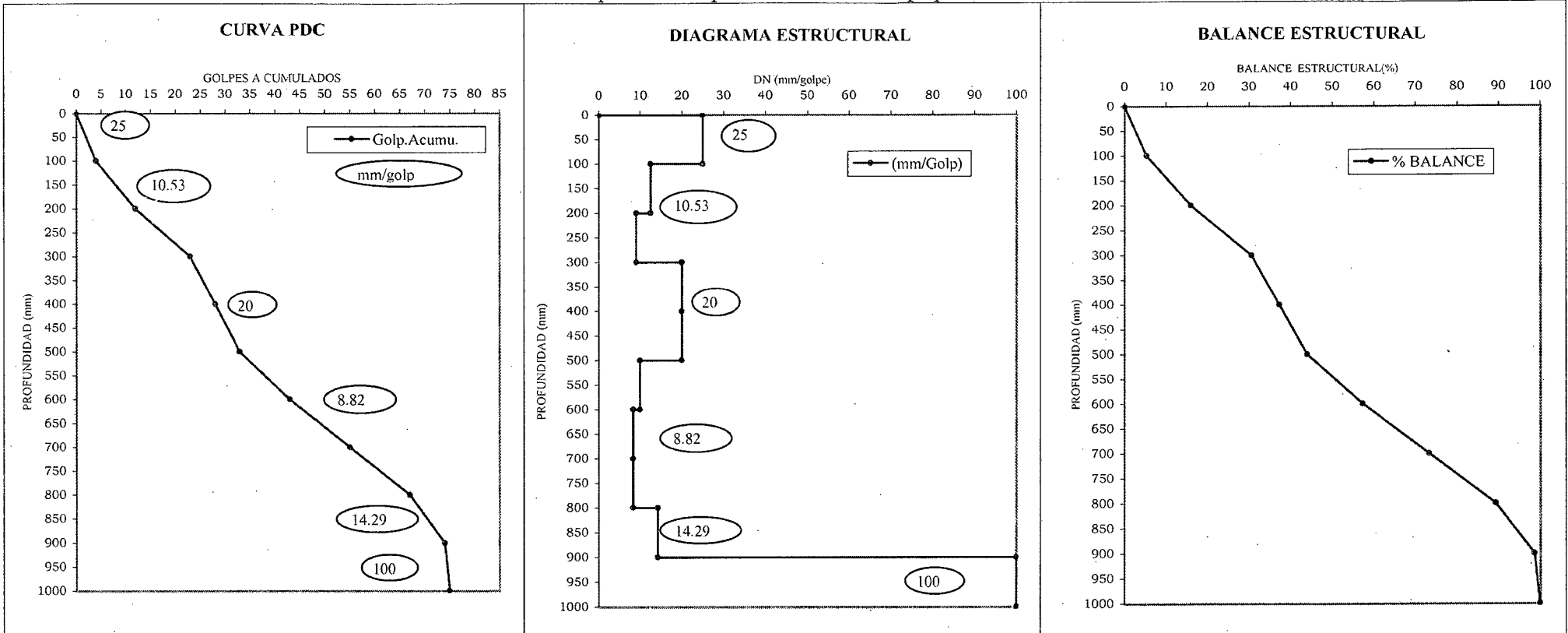
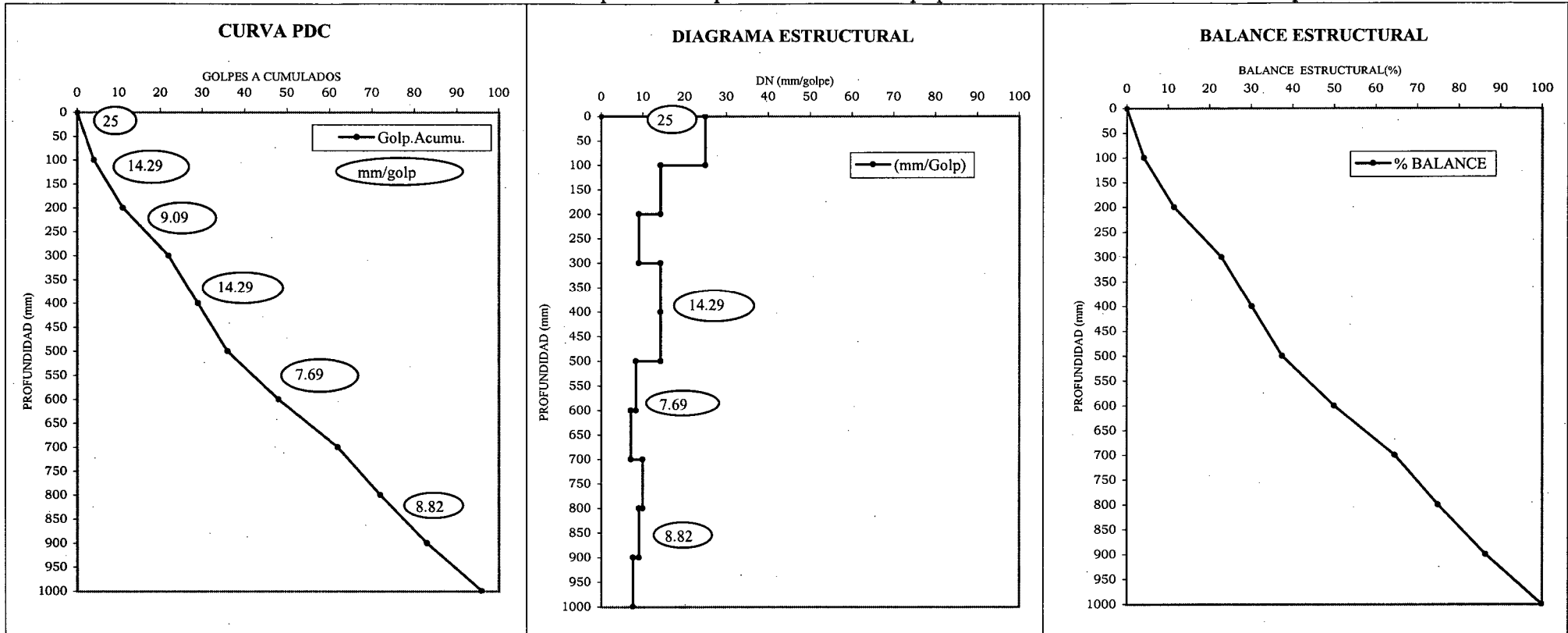


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS PDC-3

TESIS : Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico

UBICACIÓN: Av. Santa Callao
FECHA 16-Sep-99



ENSAYOS DE CBR IN SITU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

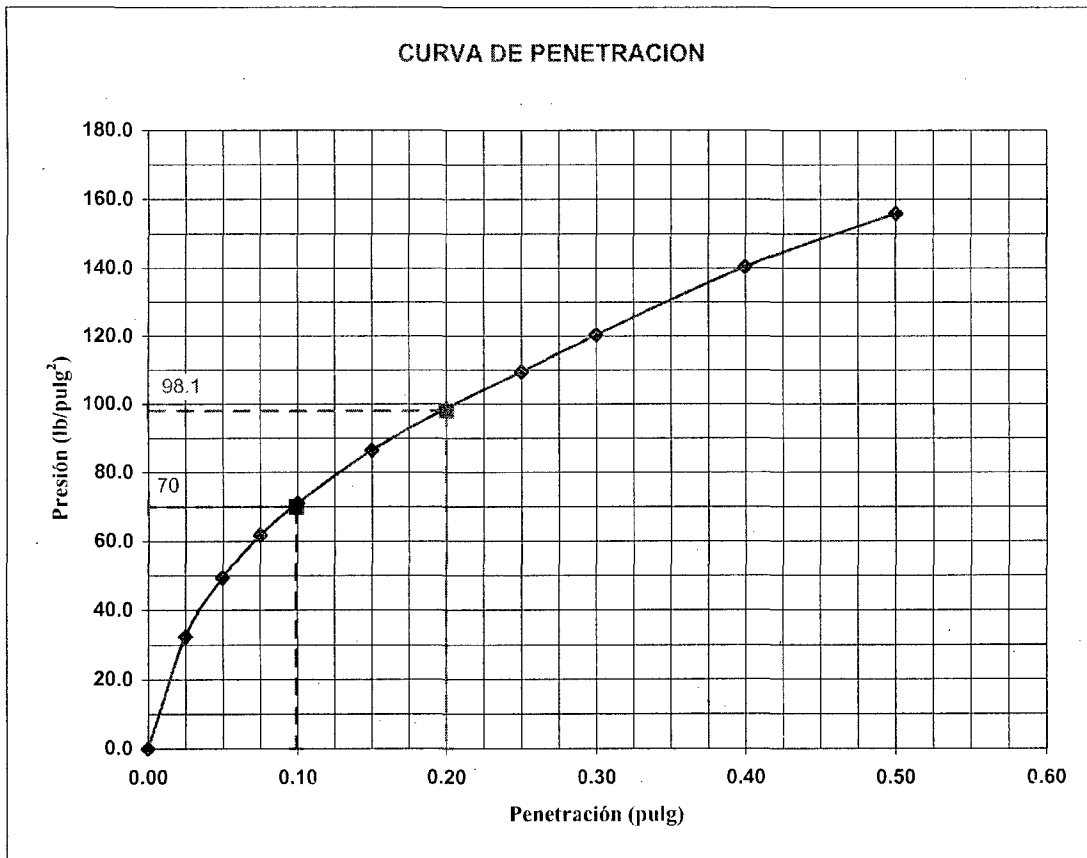
Ensayo : P-1
Profundidad : 0,40 m
Clasf. (SUCS) : MH
Clasf. (AASTHO) : A-7-5 (17)

Densidad Natural : 1.320 g/cm³
Humedad Natural : 18.20%

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 7.00%
C.B.R (0.2") : 6.54%

Penetración		Lect. Anillo (10 ² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.10	32.42
1.270	0.050	3.20	49.40
1.905	0.075	4.00	61.75
2.540	0.100	4.60	71.01
3.810	0.150	5.60	86.45
5.080	0.200	6.40	98.80
6.350	0.250	7.10	109.61
7.620	0.300	7.80	120.42
10.160	0.400	9.10	140.49
12.700	0.500	10.10	155.92





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

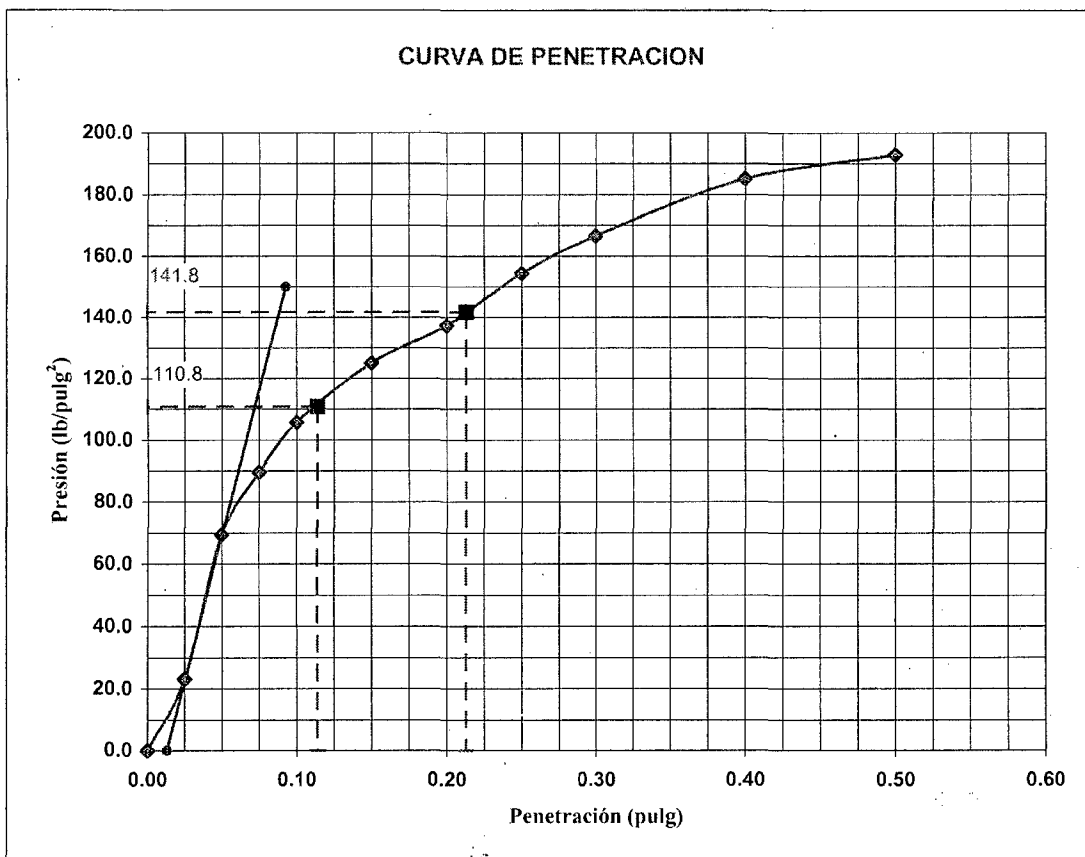
Ensayo : P-2
Profundidad : 0,45 m
Clasf. (SUCS) : MH
Clasf. (AASHTO) : A-7-5 (17)

Densidad Natural : 1.260 g/cm³
Humedad Natural : 18.32%

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 11.08%
C.B.R. (0.2") : 9.45%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	1.50	23.16
1.270	0.050	4.50	69.47
1.905	0.075	5.80	89.54
2.540	0.100	6.85	105.75
3.810	0.150	8.10	125.05
5.080	0.200	8.90	137.40
6.350	0.250	10.00	154.38
7.620	0.300	10.80	166.73
10.160	0.400	12.00	185.26
12.700	0.500	12.50	192.98





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

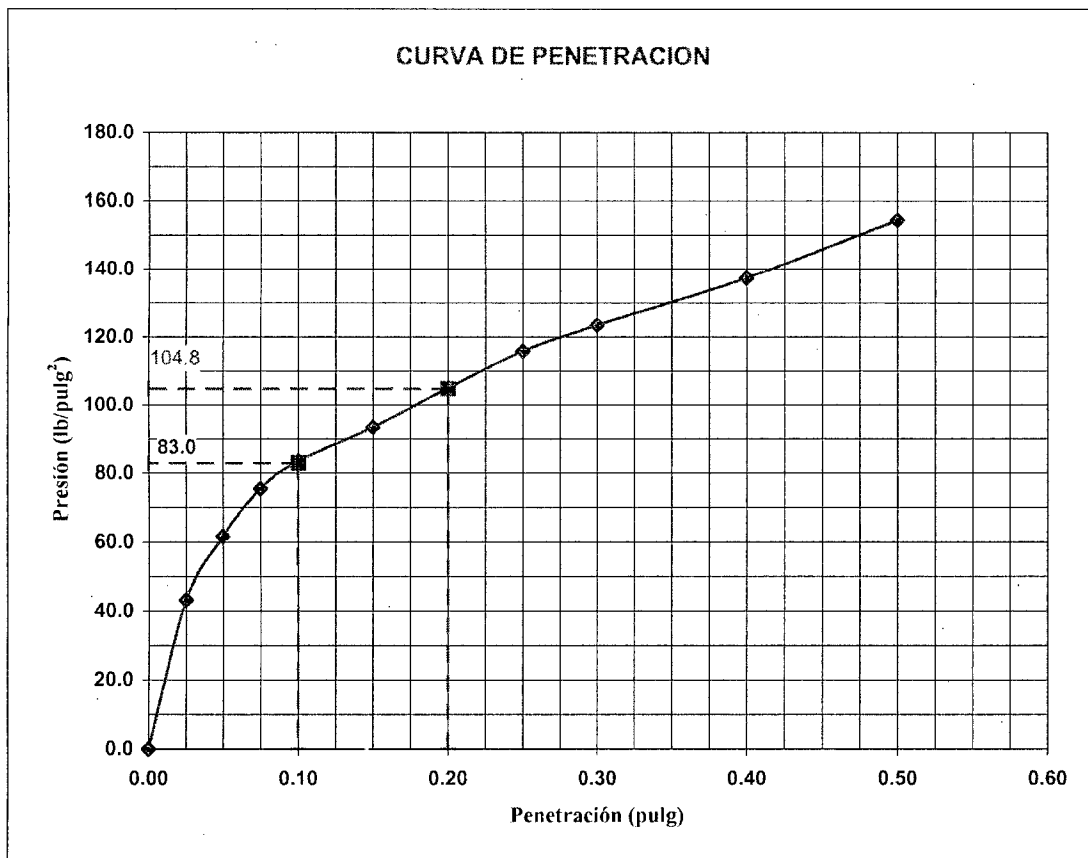
Ensayo : P-3
Profundidad : 0,40 m
Clasf. (SUCS) : MH
Clasf. (AASHTO) : A-7-5 (18)

Densidad Natural : 1.1200 g/cm³
Humedad Natural : 17.92%

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 8.30%
C.B.R. (0.2") : 6.99%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.80	43.23
1.270	0.050	4.00	61.75
1.905	0.075	4.90	75.65
2.540	0.100	5.41	83.52
3.810	0.150	6.05	93.40
5.080	0.200	6.80	104.98
6.350	0.250	7.50	115.79
7.620	0.300	8.00	123.50
10.160	0.400	8.90	137.40
12.700	0.500	10.00	154.38





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

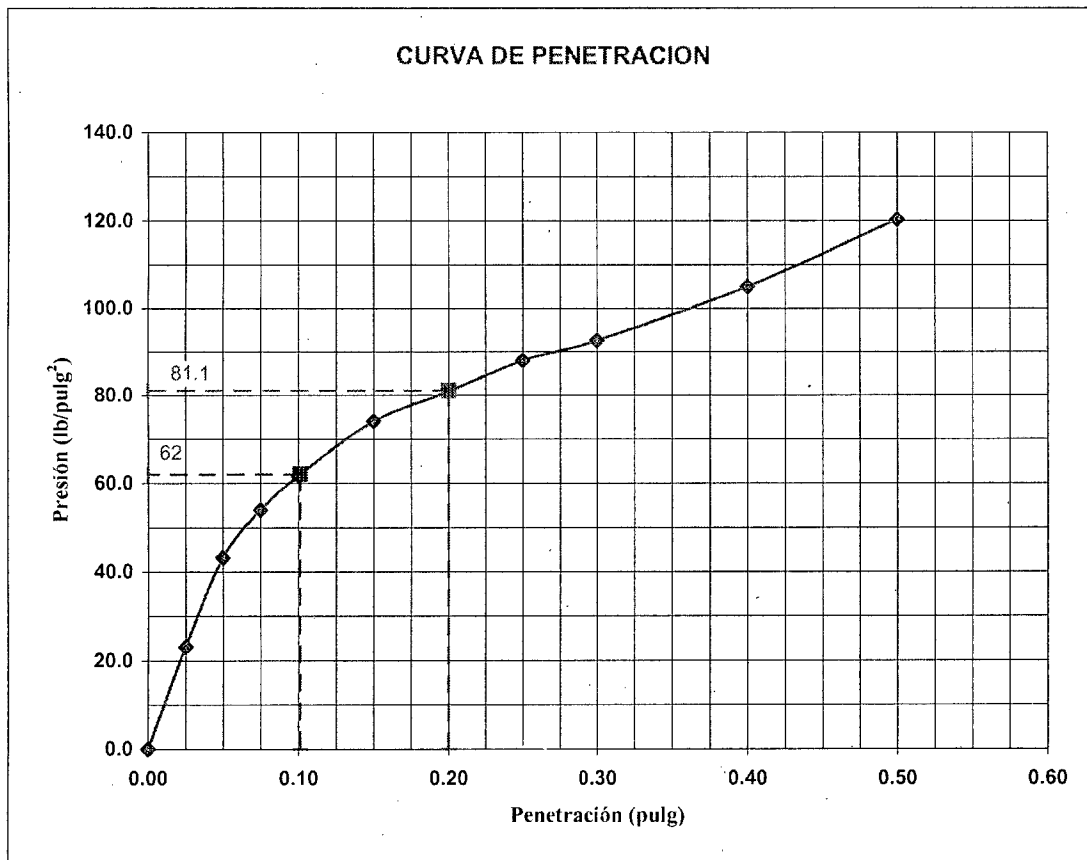
INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

Ensayo : P-3
Profundidad : 0.70 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASTHO) : A-7-6 (12)
Densidad Natural : 1.19 g/cm³
Humedad Natural : 18.6 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 6.20%
C.B.R. (0.2") : 5.41%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	1.50	23.16
1.270	0.050	2.80	43.23
1.905	0.075	3.50	54.03
2.540	0.100	4.00	61.75
3.810	0.150	4.80	74.10
5.080	0.200	5.24	80.90
6.350	0.250	5.70	88.00
7.620	0.300	6.00	92.63
10.160	0.400	6.80	104.98
12.700	0.500	7.80	120.42





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

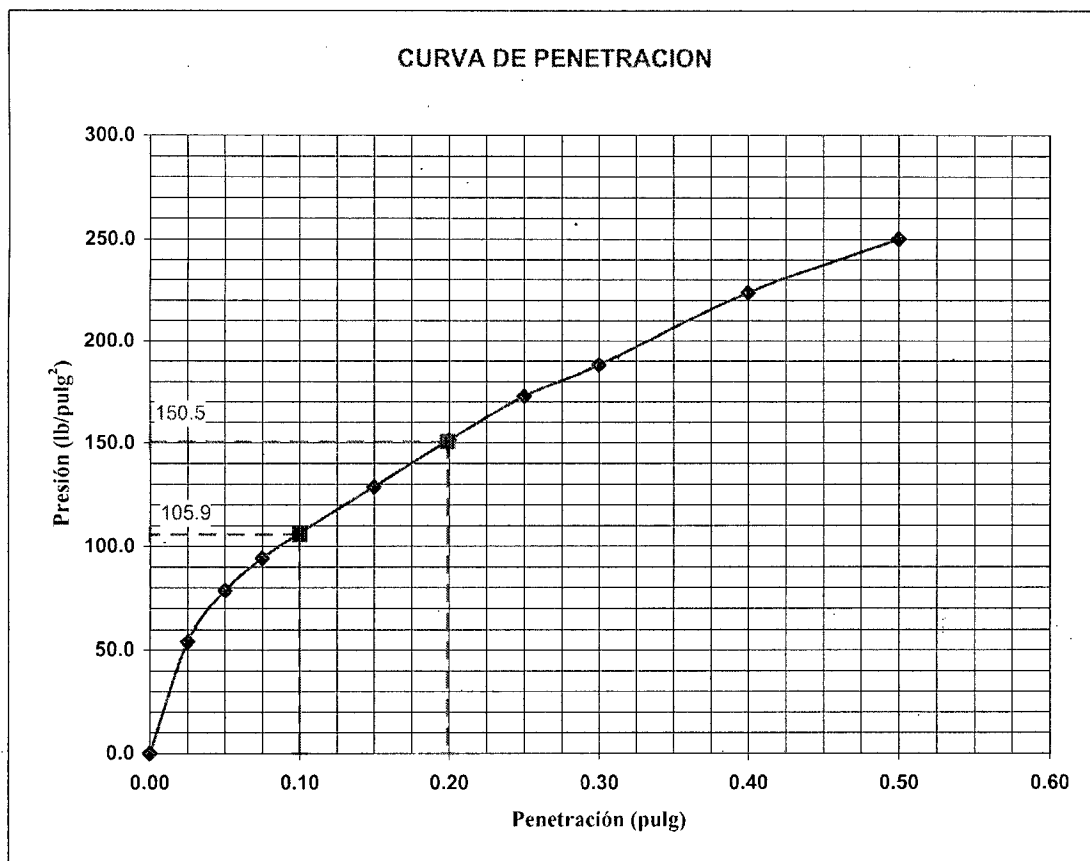
Ensayo : P-4
Profundidad : 0,40 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (8)

Densidad Natural : 1.3100 g/cm³
Humedad Natural : 17.00%

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 10.59%
C.B.R. (0.2") : 10.03%

Penetración		Lect. Anillo (10 ² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	3.50	54.03
1.270	0.050	5.10	78.73
1.905	0.075	6.10	94.17
2.540	0.100	6.90	106.52
3.810	0.150	8.35	128.91
5.080	0.200	9.80	151.29
6.350	0.250	11.20	172.91
7.620	0.300	12.20	188.34
10.160	0.400	14.50	223.85
12.700	0.500	16.20	250.10





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

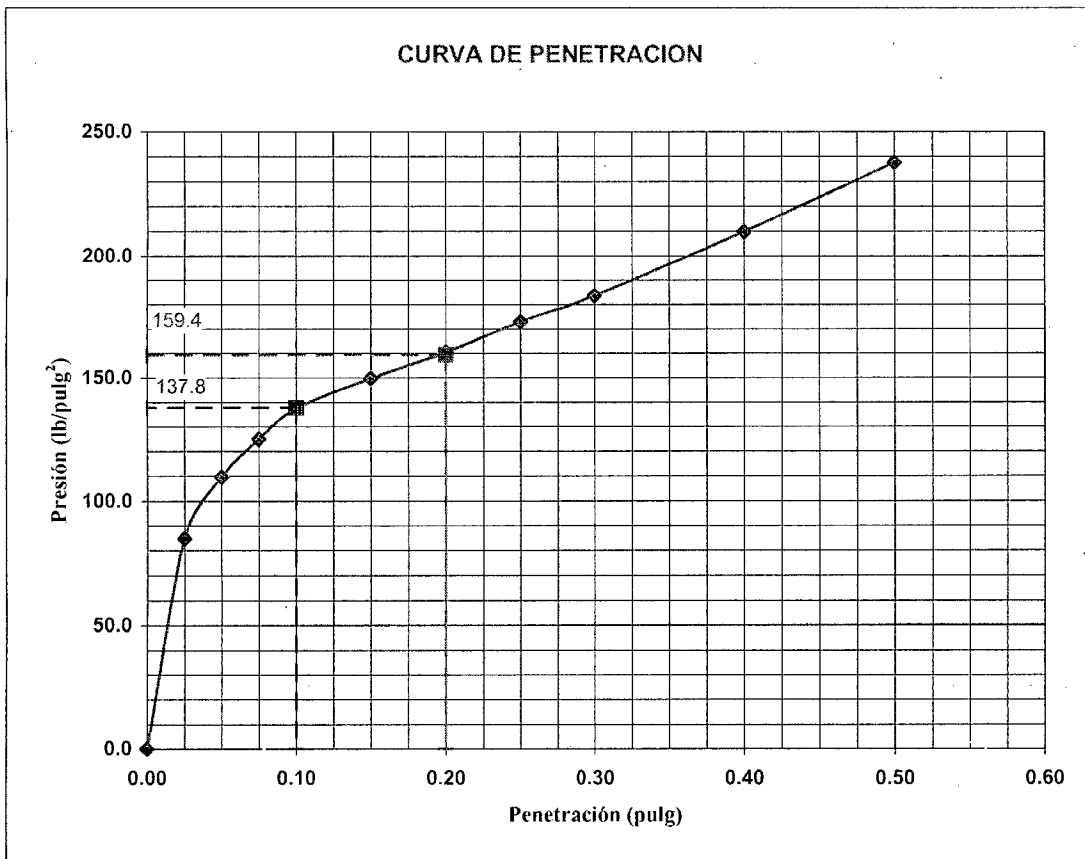
Ensayo : P-5
Profundidad : 0.40 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (12)

Densidad Natural : 1.4900 g/cm³
Humedad Natural : 18.50%

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 13.78%
C.B.R. (0.2") : 10.63%

Penetración		Lect. Anillo (10 ² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	5.50	84.91
1.270	0.050	7.10	109.61
1.905	0.075	8.10	125.05
2.540	0.100	8.90	137.40
3.810	0.150	9.70	149.75
5.080	0.200	10.40	160.56
6.350	0.250	11.20	172.91
7.620	0.300	11.90	183.71
10.160	0.400	13.60	209.96
12.700	0.500	15.40	237.75





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Naranjal - Los Olivos - Lima
FECHA : 08 de Setiembre de 1999

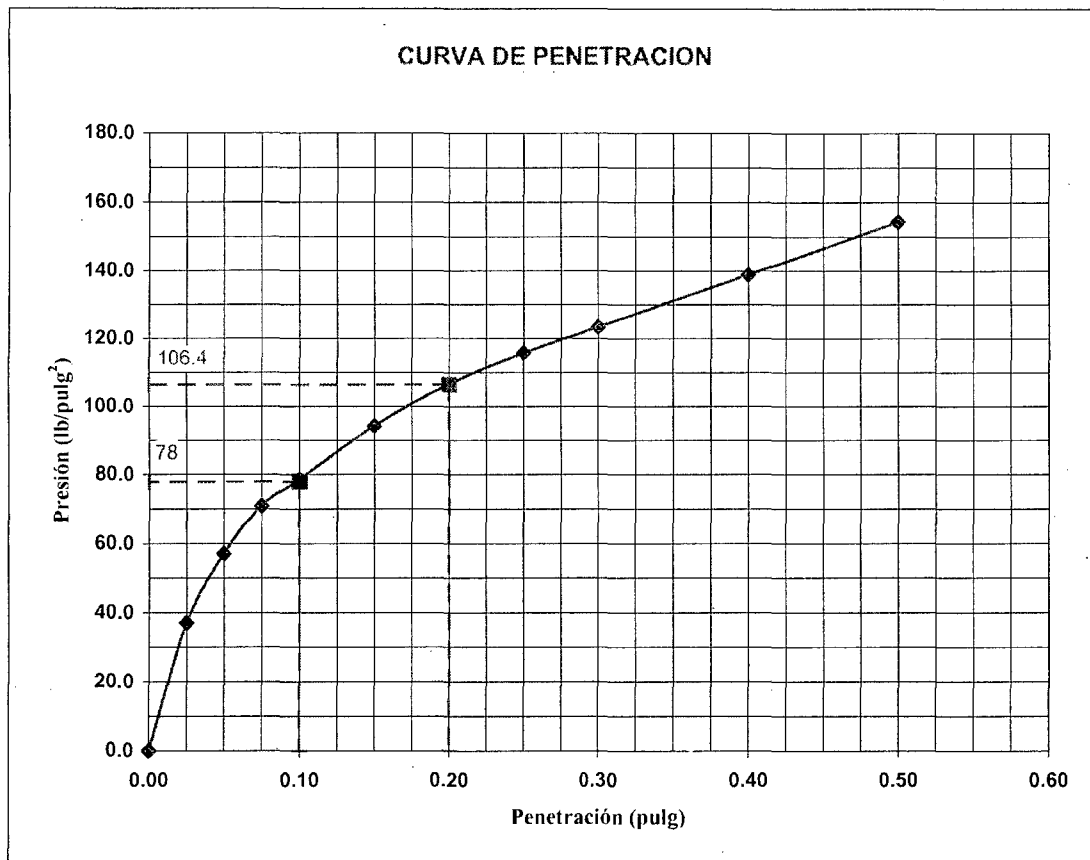
Ensayo : P-6
Profundidad : 0.35 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (12)

Densidad Natural : 1.280 g/cm³
Humedad Natural : 18.30%

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 7.80%
C.B.R. (0.2") : 7.09%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.40	37.05
1.270	0.050	3.70	57.12
1.905	0.075	4.60	71.01
2.540	0.100	5.10	78.73
3.810	0.150	6.10	94.17
5.080	0.200	6.90	106.52
6.350	0.250	7.50	115.79
7.620	0.300	8.00	123.50
10.160	0.400	9.00	138.94
12.700	0.500	10.00	154.38





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

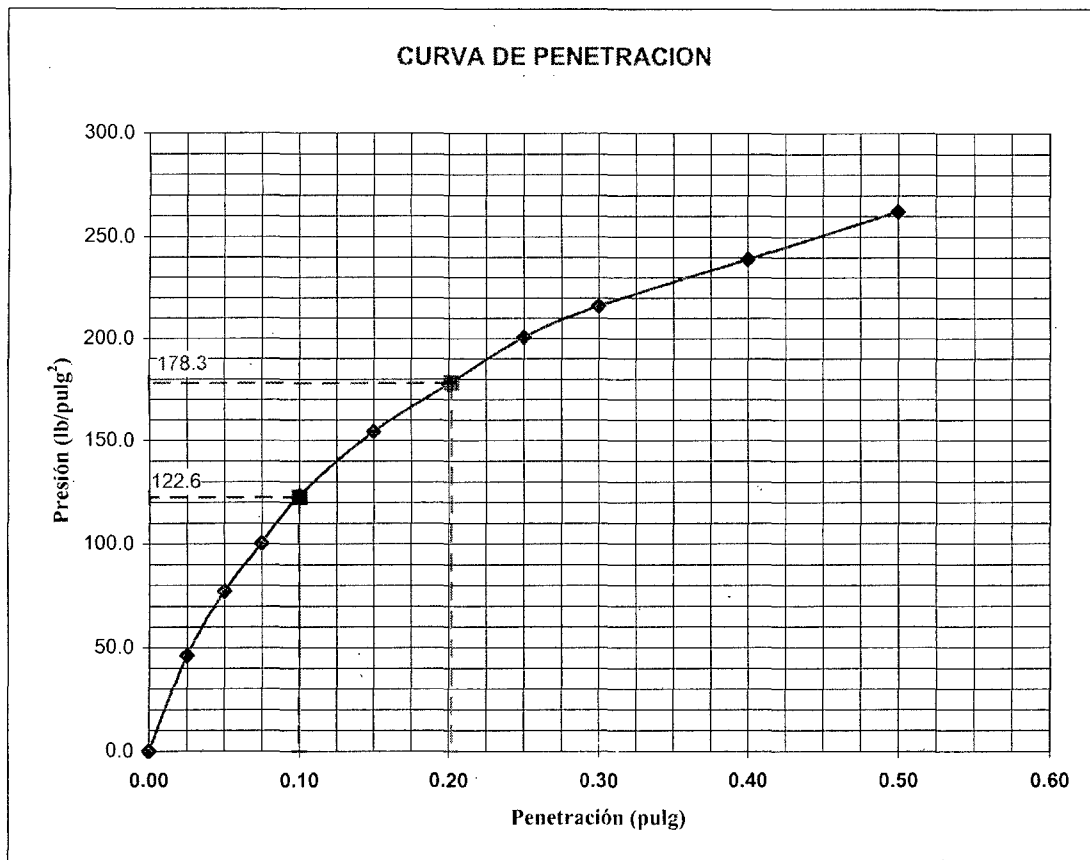
INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

Ensayo : PP-1
Profundidad : 0.35 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (13)
Densidad Natural : 1.25 g/cm³
Humedad Natural : 7.2 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 12.26%
C.B.R. (0.2") : 11.89%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	3.00	46.31
1.270	0.050	5.00	77.19
1.905	0.075	6.50	100.35
2.540	0.100	8.00	123.50
3.810	0.150	10.00	154.38
5.080	0.200	11.50	177.54
6.350	0.250	13.00	200.69
7.620	0.300	14.00	216.13
10.160	0.400	15.50	239.29
12.700	0.500	17.00	262.45





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

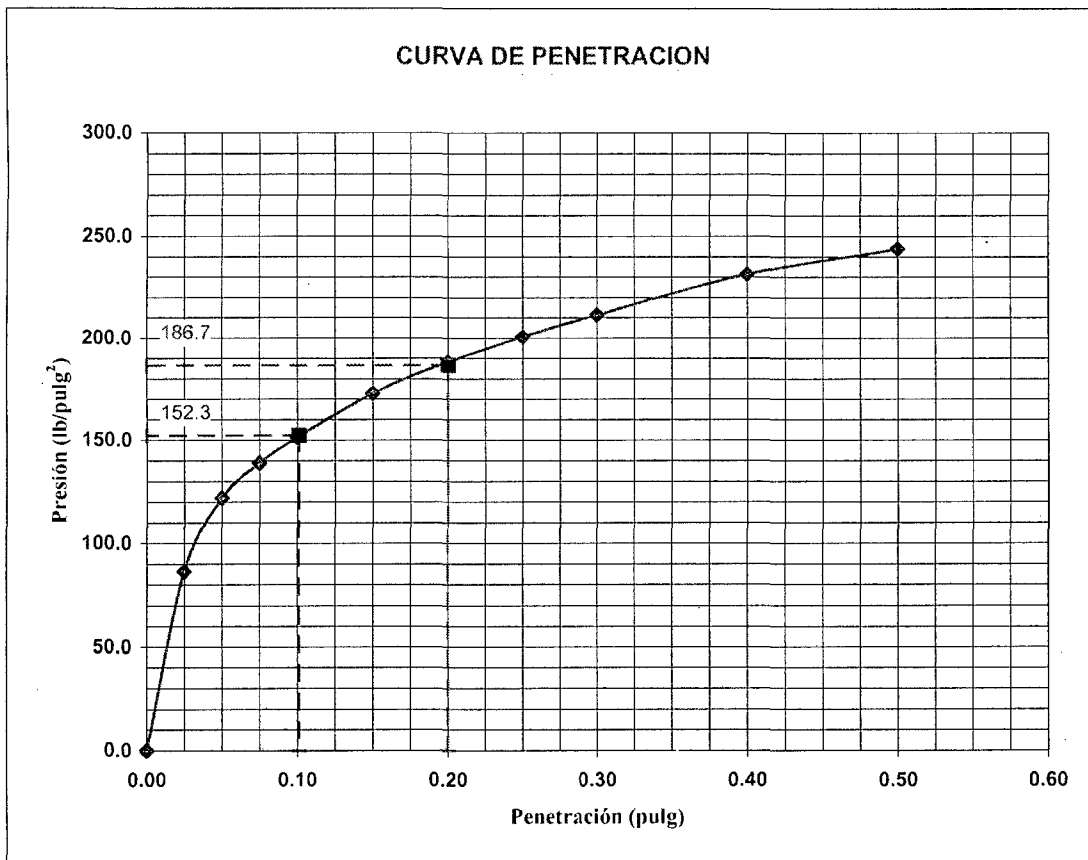
Ensayo : PP-2
Profundidad : 0,35 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASTHO) : A-7-6 (12)

Densidad Natural : 1.18 g/cm³
Humedad Natural : 6.15 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 15.23%
C.B.R. (0.2") : 12.45%

Penetración		Lect. Anillo (10 ² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	5.60	86.45
1.270	0.050	7.90	121.96
1.905	0.075	9.00	138.94
2.540	0.100	9.80	151.29
3.810	0.150	11.20	172.91
5.080	0.200	12.20	188.34
6.350	0.250	13.00	200.69
7.620	0.300	13.70	211.50
10.160	0.400	15.00	231.57
12.700	0.500	15.80	243.92





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

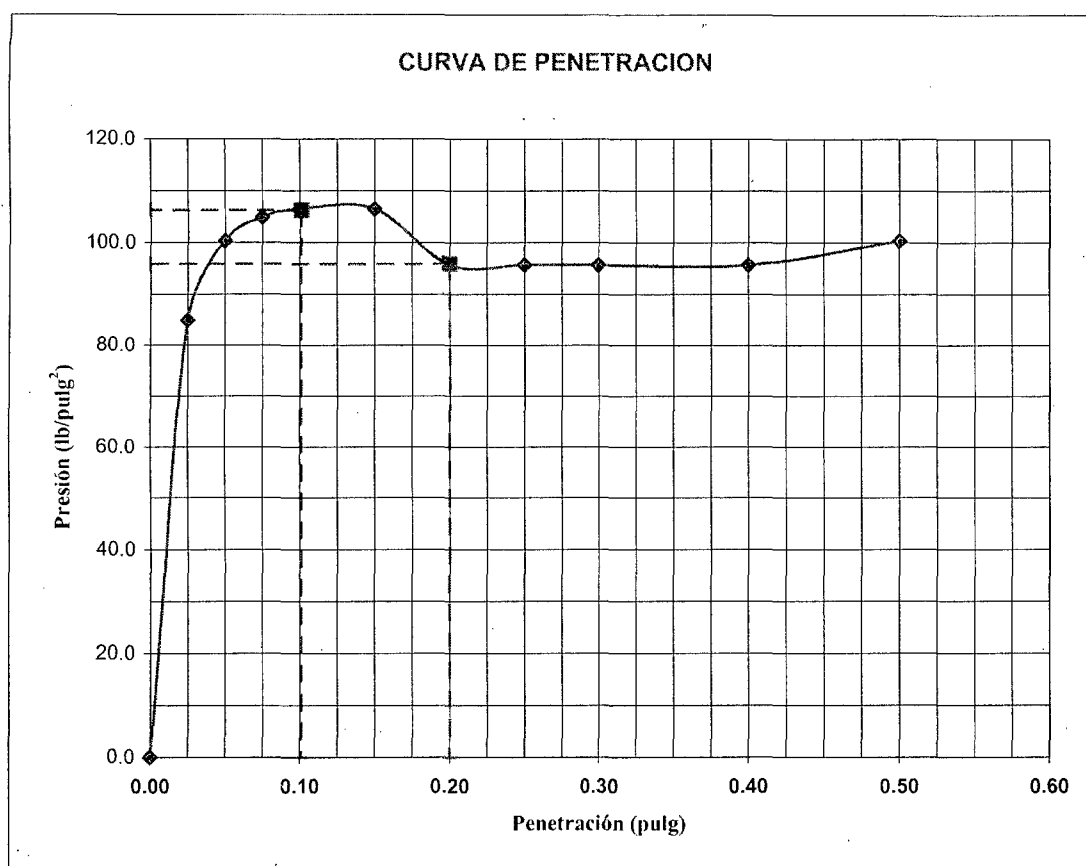
Ensayo : PP-3
Profundidad : 0,60 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.5 g/cm³
Humedad Natural : 6.5 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 10.63%
C.B.R (0.2") : 6.39%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	5.50	84.91
1.270	0.050	6.50	100.35
1.905	0.075	6.80	104.98
2.540	0.100	6.90	106.52
3.810	0.150	6.90	106.52
5.080	0.200	6.20	95.72
6.350	0.250	6.20	95.72
7.620	0.300	6.20	95.72
10.160	0.400	6.20	95.72
12.700	0.500	6.50	100.35





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

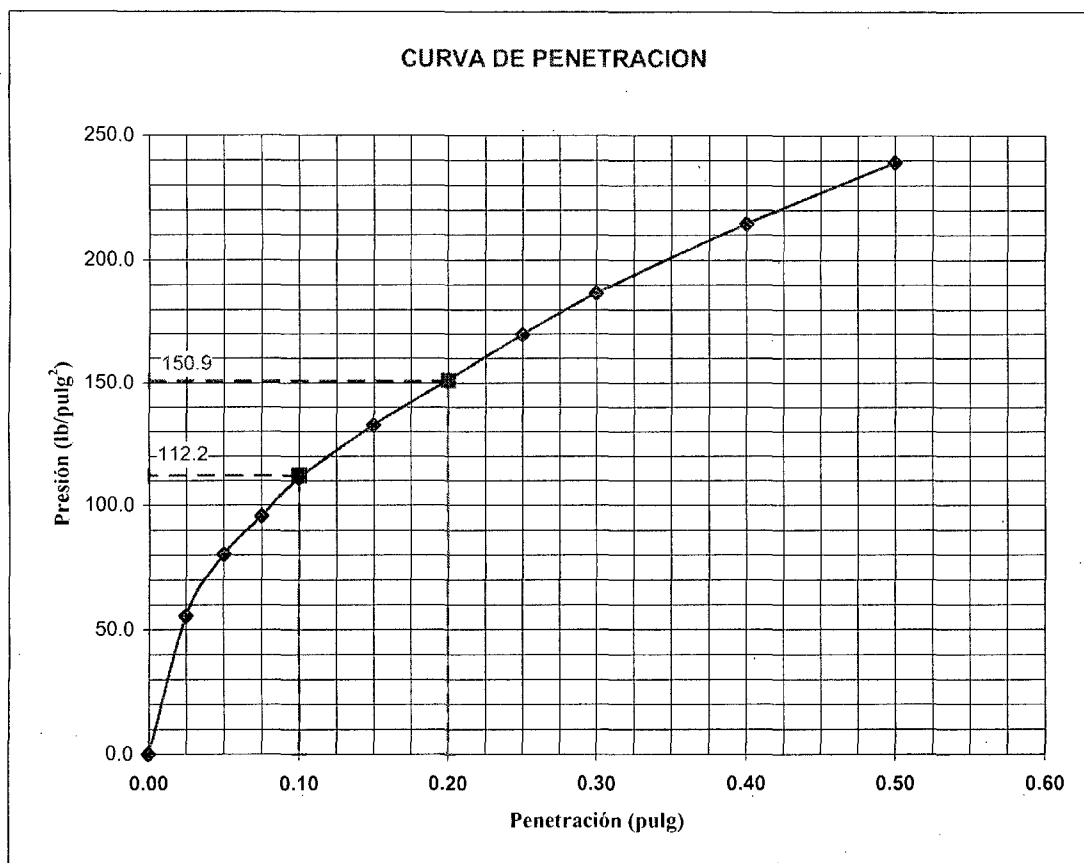
Ensayo : PP-4
Profundidad : 0,40 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.48 g/cm³
Humedad Natural : 7.95 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 11.22%
C.B.R (0.2") : 10.06%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	3.60	55.58
1.270	0.050	5.20	80.28
1.905	0.075	6.20	95.72
2.540	0.100	7.20	111.15
3.810	0.150	8.60	132.77
5.080	0.200	9.80	151.29
6.350	0.250	11.00	169.82
7.620	0.300	12.10	186.80
10.160	0.400	13.90	214.59
12.700	0.500	15.50	239.29





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

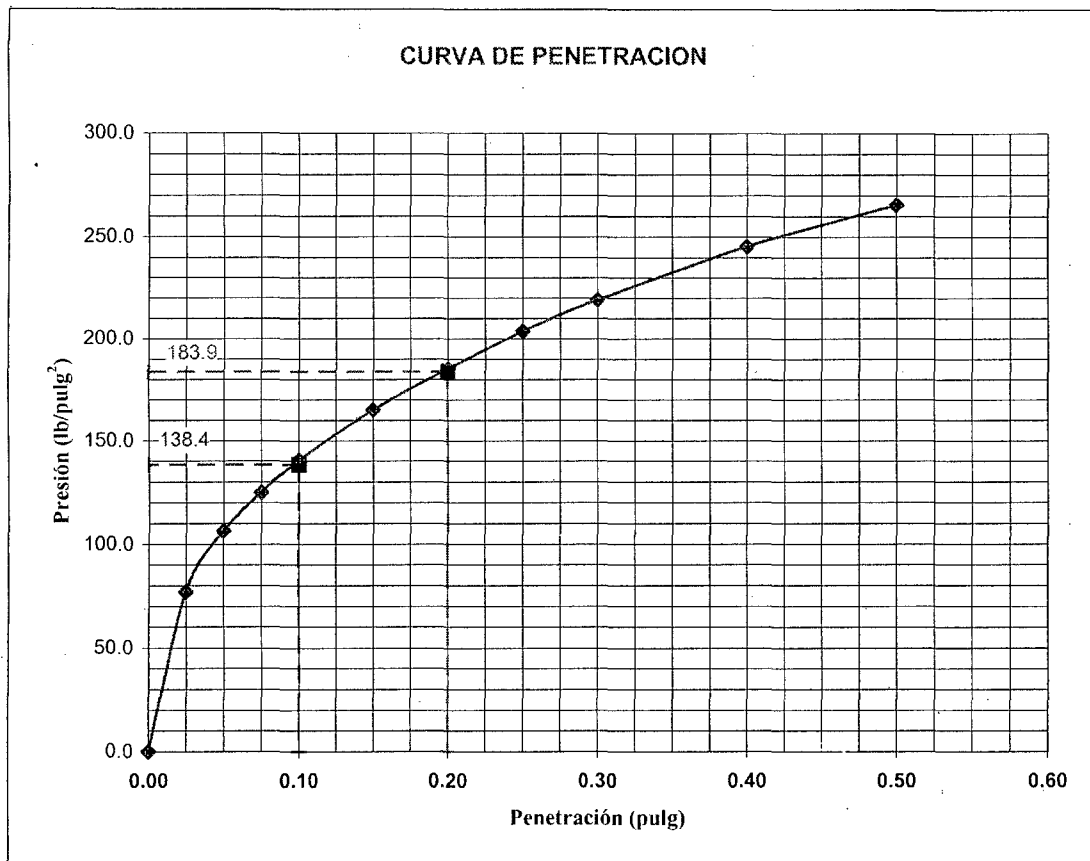
Ensayo : PP-5
Profundidad : 0,35 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.43 g/cm³
Humedad Natural : 7.18 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 13.84%
C.B.R. (0.2") : 12.26%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	5.00	77.19
1.270	0.050	6.90	106.52
1.905	0.075	8.10	125.05
2.540	0.100	9.10	140.49
3.810	0.150	10.70	165.19
5.080	0.200	12.00	185.26
6.350	0.250	13.20	203.78
7.620	0.300	14.20	219.22
10.160	0.400	15.90	245.46
12.700	0.500	17.20	265.53





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

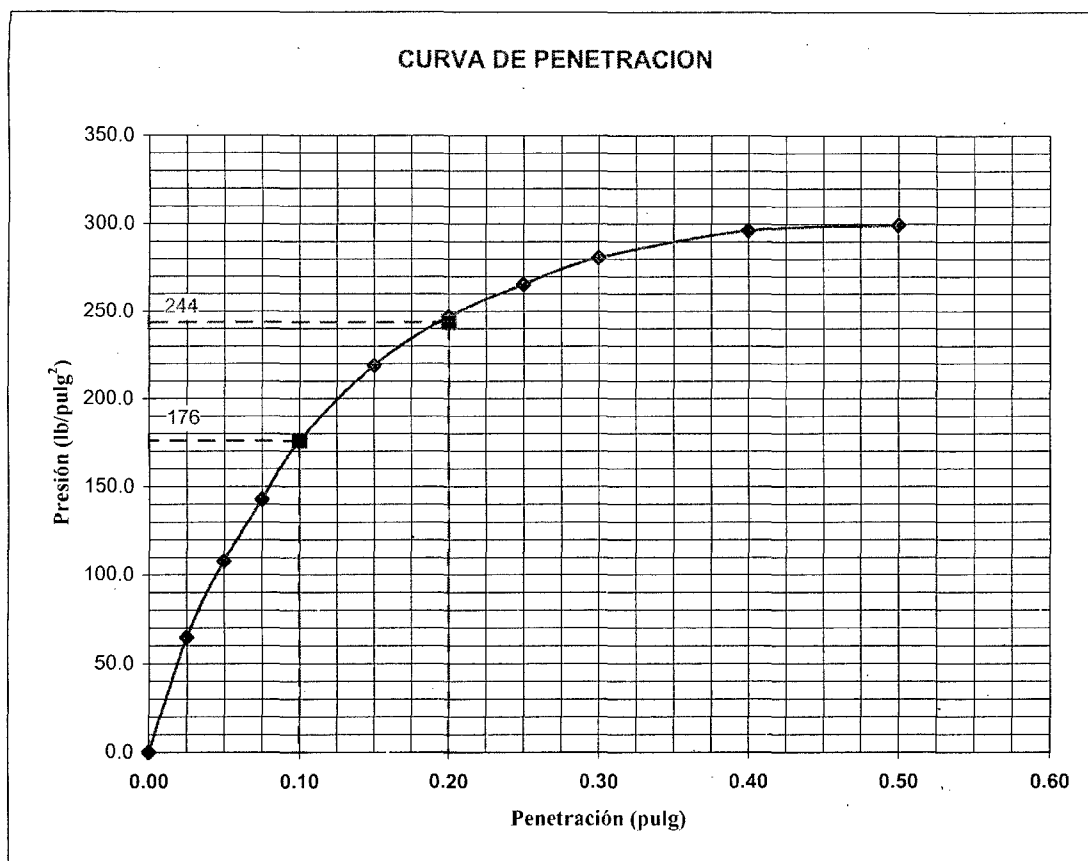
Ensayo : PP-6
Profundidad : 0,65 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.24 g/cm³
Humedad Natural : 10.67 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 17.60%
C.B.R (0.2") : 16.27%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	4.20	64.84
1.270	0.050	6.99	107.91
1.905	0.075	9.25	142.80
2.540	0.100	11.40	175.99
3.810	0.150	14.20	219.22
5.080	0.200	16.00	247.01
6.350	0.250	17.20	265.53
7.620	0.300	18.20	280.97
10.160	0.400	19.20	296.41
12.700	0.500	19.40	299.50





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

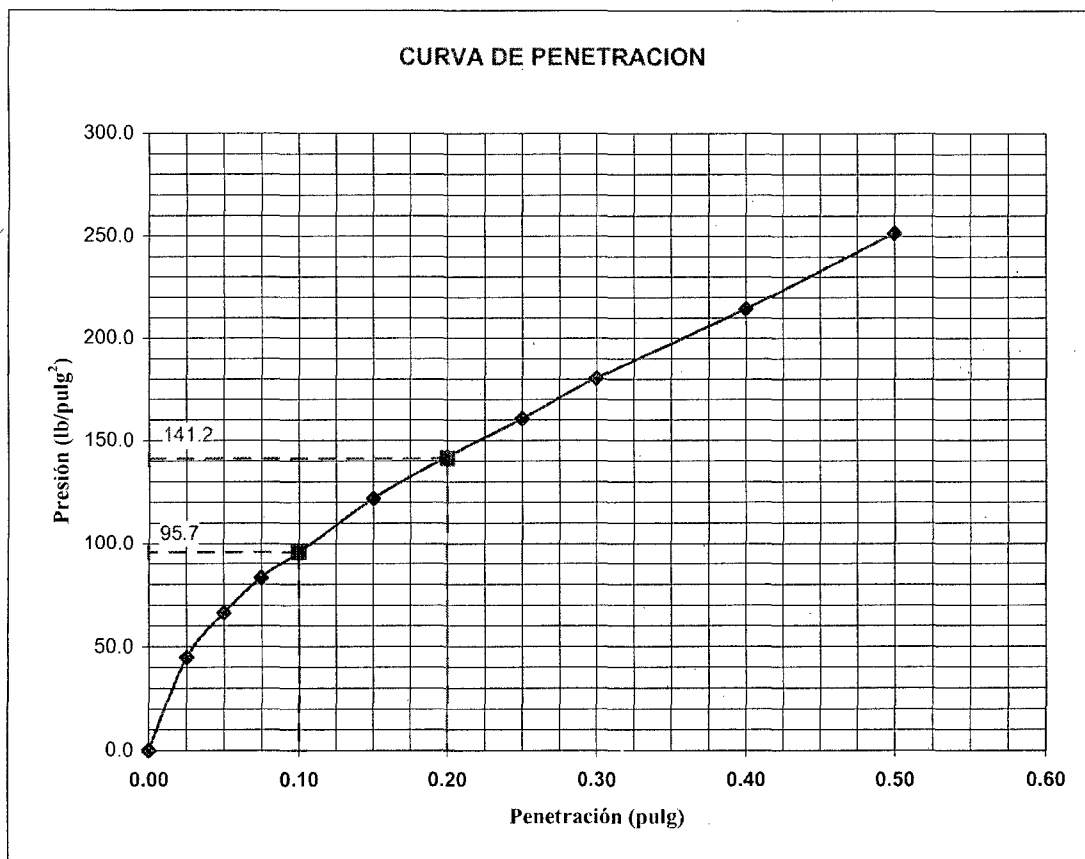
Ensayo : PP-7
Profundidad : 0,40 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.68 g/cm³
Humedad Natural : 4.3 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 9.57%
C.B.R (0.2") : 9.41%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.90	44.77
1.270	0.050	4.30	66.38
1.905	0.075	5.40	83.37
2.540	0.100	6.20	95.72
3.810	0.150	7.90	121.96
5.080	0.200	9.20	142.03
6.350	0.250	10.40	160.56
7.620	0.300	11.70	180.62
10.160	0.400	13.90	214.59
12.700	0.500	16.30	251.64





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

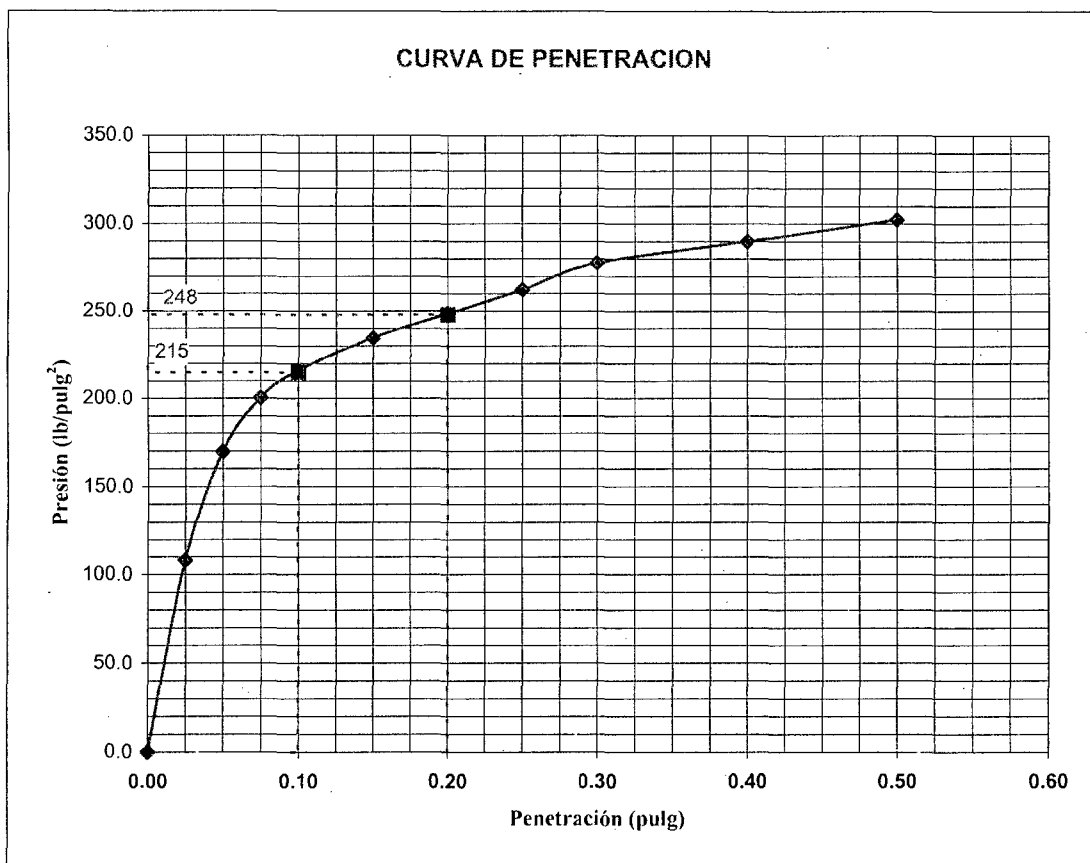
Ensayo : PP-8
Profundidad : 0,35 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-6 (13)

Densidad Natural : 1.3 g/cm³
Humedad Natural : 2.986 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 21.50%
C.B.R. (0.2") : 16.53%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	7.00	108.07
1.270	0.050	11.00	169.82
1.905	0.075	13.00	200.69
2.540	0.100	14.00	216.13
3.810	0.150	15.20	234.66
5.080	0.200	16.10	248.55
6.350	0.250	17.00	262.45
7.620	0.300	18.00	277.88
10.160	0.400	18.80	290.23
12.700	0.500	19.60	302.58





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinamico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 09 de Setiembre de 1999

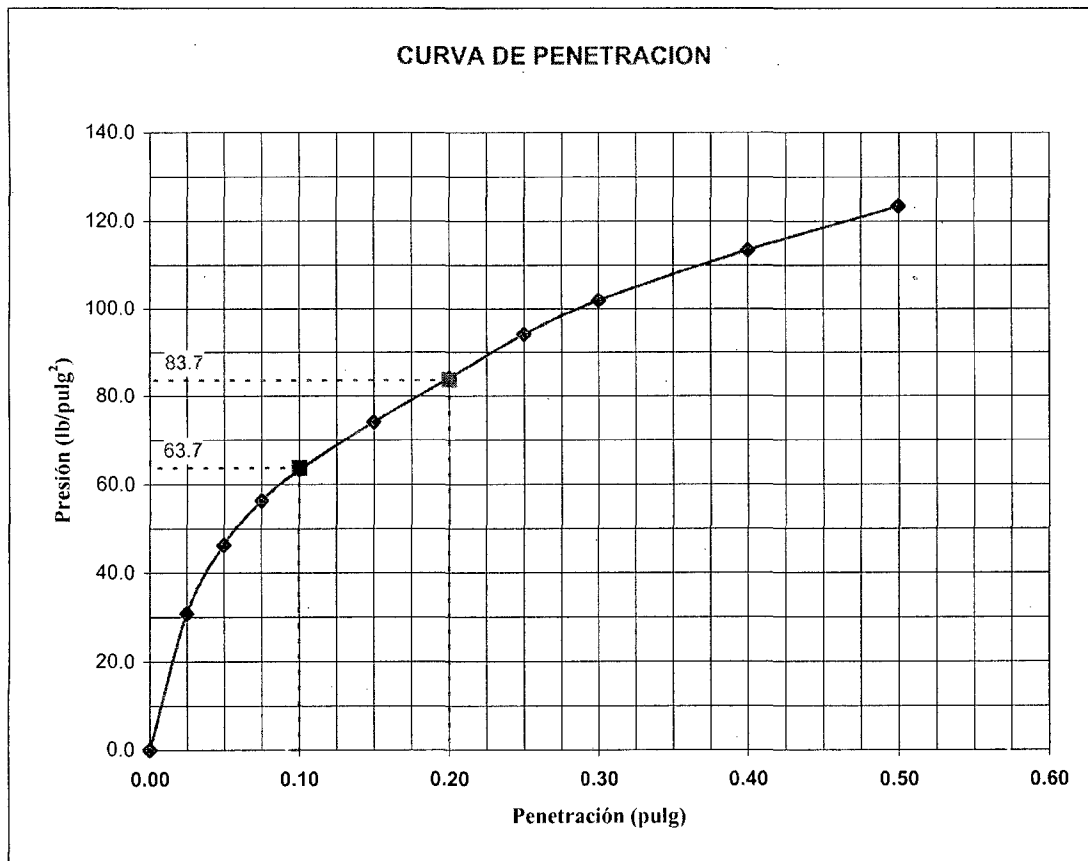
Ensayo : PP-9
Profundidad : 0,50 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-6 (13)

Densidad Natural : 1.29 g/cm³
Humedad Natural : 8.82 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 6.37%
C.B.R (0.2") : 5.58%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.00	30.88
1.270	0.050	3.00	46.31
1.905	0.075	3.65	56.35
2.540	0.100	4.10	63.30
3.810	0.150	4.80	74.10
5.080	0.200	5.45	84.14
6.350	0.250	6.10	94.17
7.620	0.300	6.60	101.89
10.160	0.400	7.35	113.47
12.700	0.500	8.00	123.50





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinamico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 16 de Setiembre de 1999

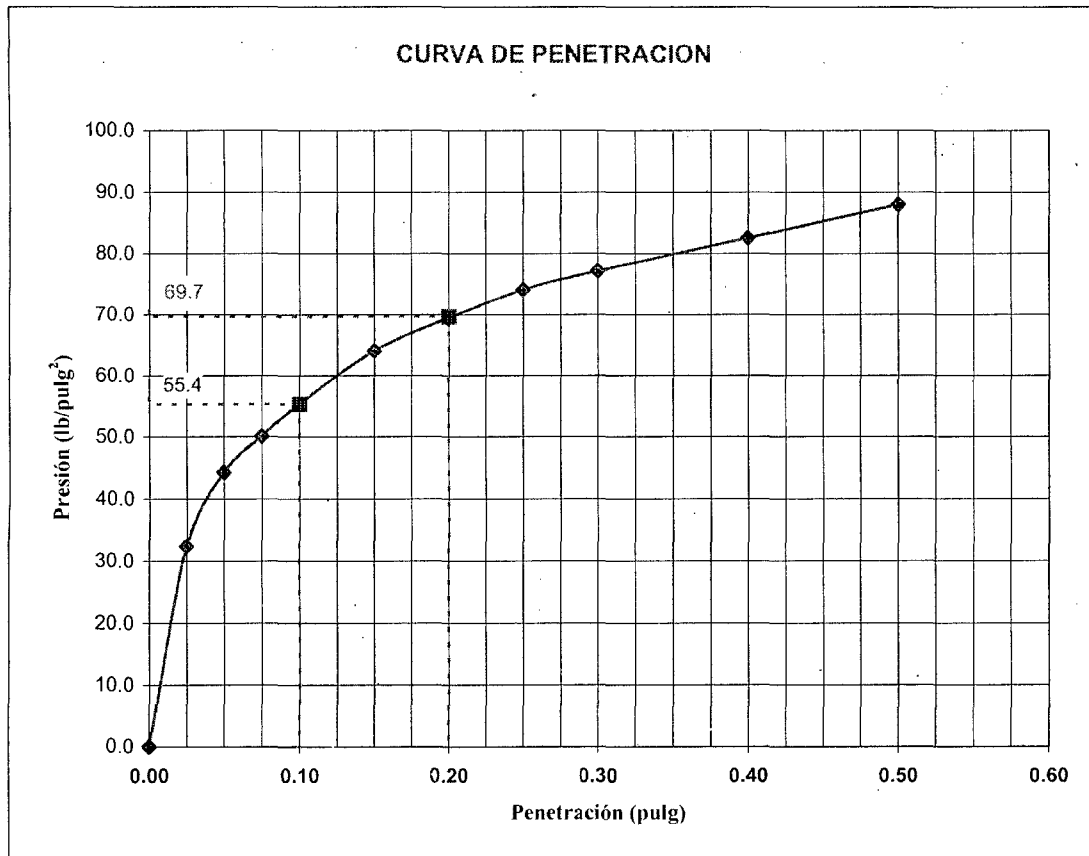
Ensayo : PPP-1
Profundidad : 0,50 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-7 (19)

Densidad Natural : 1.29 g/cm³
Humedad Natural : 5.74 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 5.54%
C.B.R. (0.2") : 4.65%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.10	32.42
1.270	0.050	2.87	44.31
1.905	0.075	3.25	50.17
2.540	0.100	3.59	55.42
3.810	0.150	4.15	64.07
5.080	0.200	4.50	69.47
6.350	0.250	4.80	74.10
7.620	0.300	5.00	77.19
10.160	0.400	5.35	82.59
12.700	0.500	5.70	88.00





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
TESIS : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinamico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 16 de Setiembre de 1999

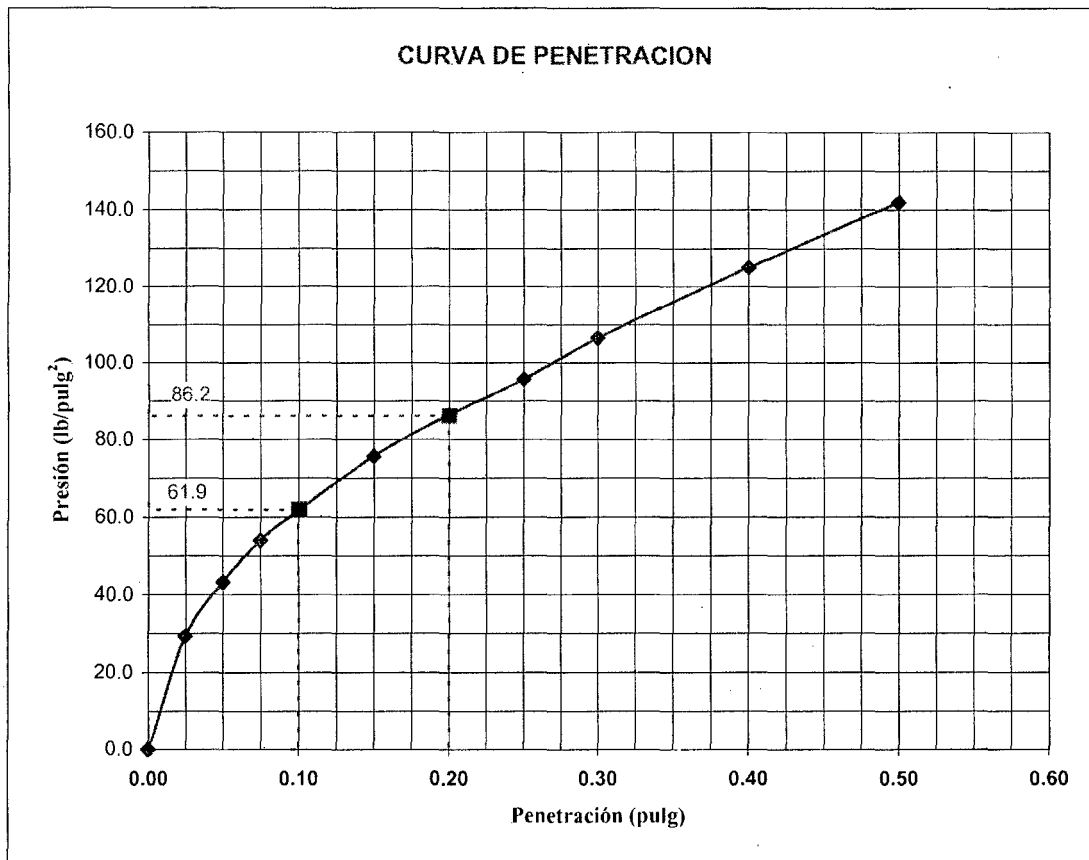
Ensayo : PPP-2
Profundidad : 0,45 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-7 (19)

Densidad Natural : - g/cm³
Humedad Natural : - %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 6.19%
C.B.R. (0.2") : 5.75%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	1.90	29.33
1.270	0.050	2.80	43.23
1.905	0.075	3.50	54.03
2.540	0.100	4.00	61.75
3.810	0.150	4.90	75.65
5.080	0.200	5.60	86.45
6.350	0.250	6.20	95.72
7.620	0.300	6.90	106.52
10.160	0.400	8.10	125.05
12.700	0.500	9.20	142.03





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D4429)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
PROYECTO : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 16 de Setiembre de 1999

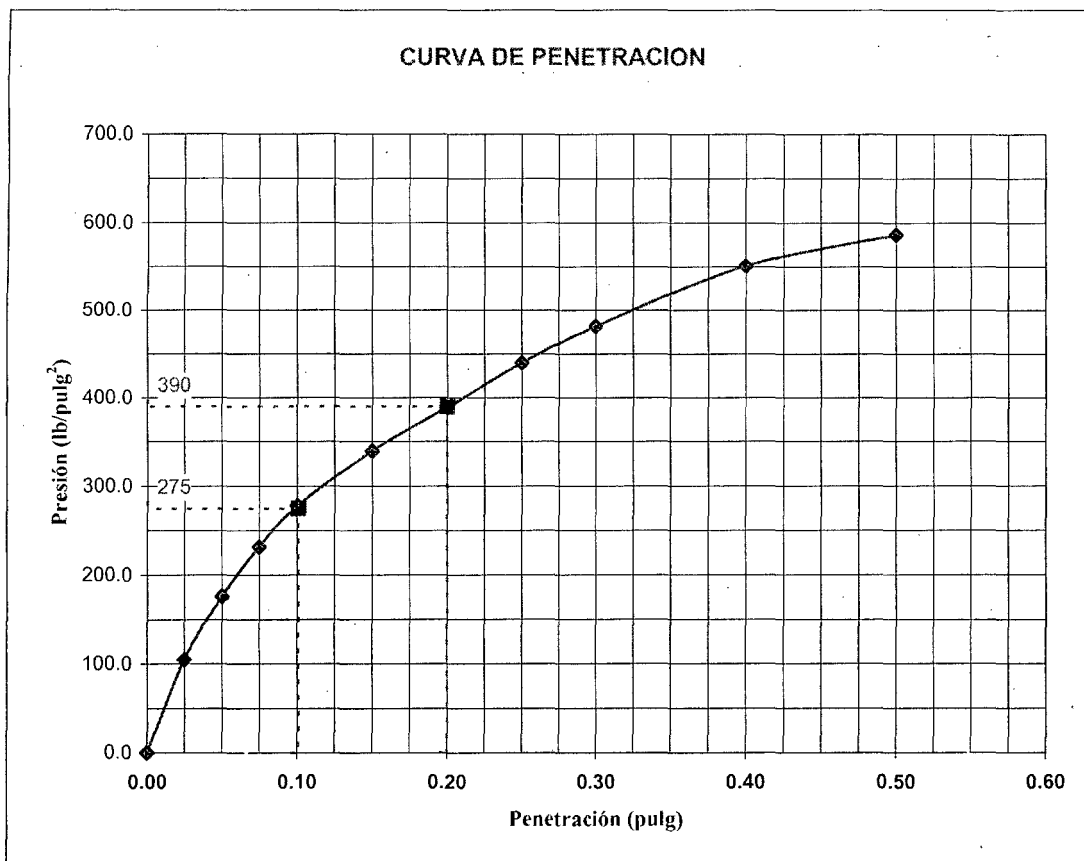
Ensayo : PPP-3
Profundidad : 0,50 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (10)

Densidad Natural : 1.47 g/cm³
Humedad Natural : 5.99 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 27.50%
C.B.R. (0.2") : 26.00%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	6.80	104.98
1.270	0.050	11.40	175.99
1.905	0.075	15.00	231.57
2.540	0.100	18.00	277.88
3.810	0.150	22.00	339.64
5.080	0.200	25.20	389.04
6.350	0.250	28.50	439.98
7.620	0.300	31.20	481.67
10.160	0.400	35.70	551.14
12.700	0.500	38.00	586.64





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D1883)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
PROYECTO : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Santa Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 10 de Setiembre de 1999

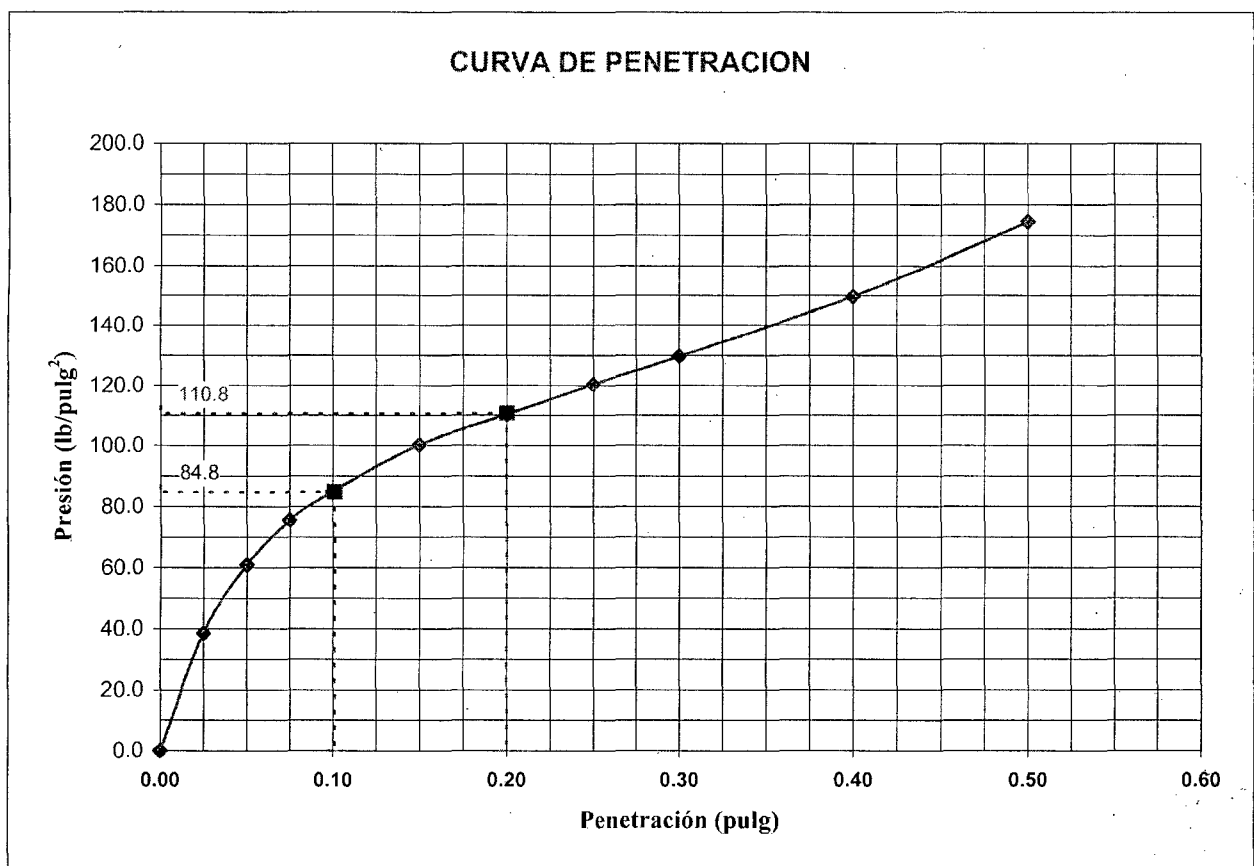
Ensayo : PP-3 M. Inalterada
Profundidad : 0,60 m
Clasf. (SUCS) : ML
Clasf. (AASHTO) : A-4 (8)

Densidad Natural : 1.5 g/cm³
Humedad Natural : 6.5 %

RESULTADOS

C.B.R (0.1") : 8.48%
C.B.R (0.2") : 7.39%

Penetración		Lect. Anillo	Presion
(mm)	(pulg)	(10 ⁻² mm)	(lb/pulg ²)
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.50	38.60
1.270	0.050	3.95	60.98
1.905	0.075	4.90	75.65
2.540	0.100	5.50	84.91
3.810	0.150	6.50	100.35
5.080	0.200	7.15	110.38
6.350	0.250	7.80	120.42
7.620	0.300	8.40	129.68
10.160	0.400	9.70	149.75
12.700	0.500	11.30	174.45





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D1883)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
PROYECTO : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 10 de Setiembre de 1999

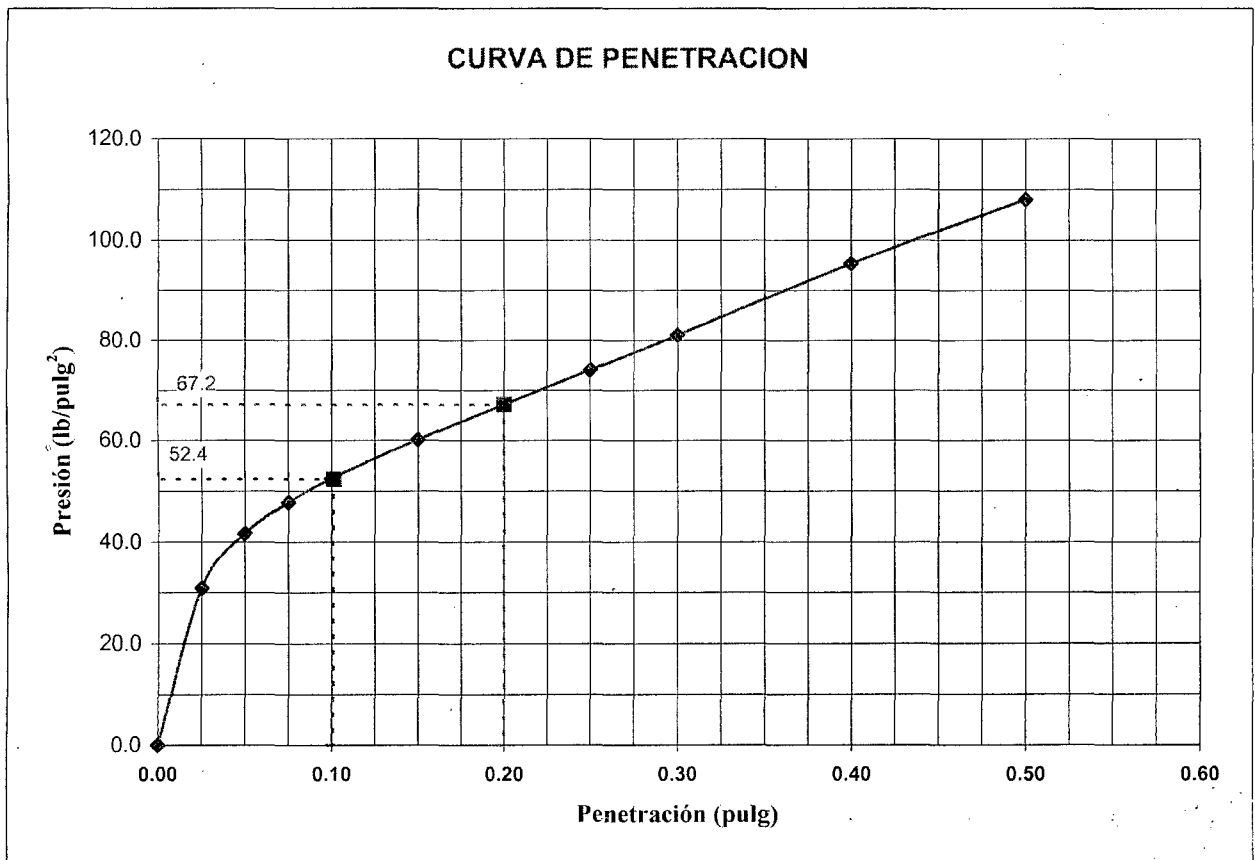
Ensayo : PP-3 M. Inalterada
Profundidad : 0,80 m
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (12)

Densidad Natural : 1.5 g/cm³
Humedad Natural : 6.5 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 5.24%
C.B.R. (0.2") : 4.48%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	2.00	30.88
1.270	0.050	2.70	41.68
1.905	0.075	3.10	47.86
2.540	0.100	3.40	52.49
3.810	0.150	3.90	60.21
5.080	0.200	4.35	67.16
6.350	0.250	4.80	74.10
7.620	0.300	5.25	81.05
10.160	0.400	6.18	95.41
12.700	0.500	7.00	108.07





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYO DE C.B.R. IN SITU (ASTM - D1883)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : Bachiller Carlos Tupia Córdova
PROYECTO : Determinación de las características de Soporte de un terreno de cimentación de un Pavimento por medio de un Equipo Dinámico
LUGAR : Av Canta Callao - Los Olivos - Lima
FECHA : 10 de Setiembre de 1999

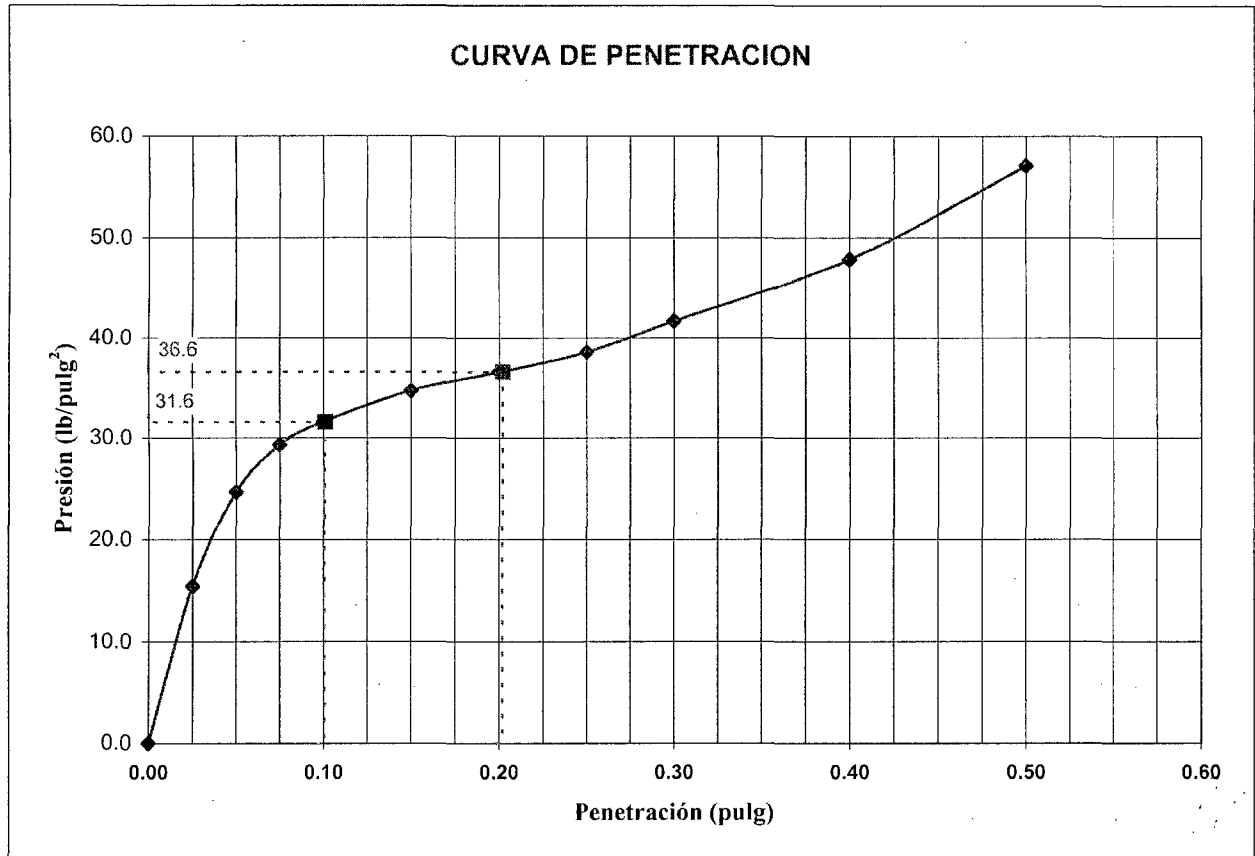
Ensayo : PP-3 M. Inalterada
Profundidad : 0,80 m Saturado
Clasf. (SUCS) : CL
Clasf. (AASHTO) : A-7-6 (12)

Densidad Natural : 1.5 g/cm³
Humedad Natural : 6.5 %

RESULTADOS

C.B.R. (0.1") : 3.16%
C.B.R. (0.2") : 2.44%

Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
(mm)	(pulg)		
0.000	0.000	0.00	0.00
0.635	0.025	1.00	15.44
1.270	0.050	1.60	24.70
1.905	0.075	1.90	29.33
2.540	0.100	2.05	31.65
3.810	0.150	2.25	34.74
5.080	0.200	2.37	36.59
6.350	0.250	2.50	38.60
7.620	0.300	2.70	41.68
10.160	0.400	3.10	47.86
12.700	0.500	3.70	57.12



DENSIDAD DE CAMPO

METODO DEL CONO DE ARENA
(ASTM :D1556-82)

N°	1	2	3	4
LADO	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo
CALICATA	P-1	P-2	P-3	P-4
MUESTRA	M1	M1	M1	M1
PROFUNDIDAD	0,40-0,55	0,40-0,55	0,40-0,55	0,40-0,55
1	Peso del frasco y arena (grs)	10500	10500	10500
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)	4650	4270	4400
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)	5850	6230	6100
4	Peso arena del cono (grs)	1378	1378	1378
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)	4472	4852	4722
6	Densidad de la arena (gr/cc)	1.33	1.33	1.33
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)	3362.41	3648.12	3550.38
8	Peso del suelo-grava (grs)	4440	4610	4000
9	Densidad humeda (gr/cc)	1.320	1.264	1.127
10	Contenido de humedad promedio(%)	18.24	18.32	17.92
11	Densidad seca (gr/cc)	1.117	1.068	0.955

N°	5	6		
LADO	Izquierdo	Izquierdo		
CALICATA	P-5	P-6		
MUESTRA	M1	M1		
PROFUNDIDAD	0,40-0,55	0.35-0,50		
1	Peso del frasco y arena (grs)	10500	10500	
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)	4690	5180	
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)	5810	5320	
4	Peso arena del cono (grs)	1378	1378	
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)	4432	3942	
6	Densidad de la arena (gr/cc)	1.33	1.33	
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)	3332.33	2963.91	
8	Peso del suelo-grava (grs)	4980	3800	
9	Densidad humeda (gr/cc)	1.494	1.282	
10	Contenido de humedad promedio(%)	18.5	18.3	
11	Densidad seca (gr/cc)	1.261	1.084	

N°				
PROGRESIVA				
LADO				
CALICATA				
MUESTRA				
PROFUNDIDAD				
1	Peso del frasco y arena (grs)			
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)			
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)			
4	Peso arena del cono (grs)			
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)			
6	Densidad de la arena (gr/cc)			
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)			
8	Peso del suelo-grava (grs)			
9	Densidad humeda (gr/cc)			
10	Contenido de humedad promedio(%)			
11	Densidad seca (gr/cc)			

METODO DEL CONO DE ARENA
(ASTM :D1556-82)

N°	7	8	9	
LADO	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo	
CALICATA	PP-1	PP-2	PP-3	
MUESTRA	M1	M1	M1	
PROFUNDIDAD	0,35-0,50	0,35-0,50	0,40-0,55	
1	Peso del frasco y arena (grs)	10000	10000	10000
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)	3580	3300	3200
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)	6420	6700	6800
4	Peso arena del cono (grs)	1378	1378	1378
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)	5042	5322	5422
6	Densidad de la arena (gr/cc)	1.33	1.33	1.33
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)	3790.98	4001.50	4076.69
8	Peso del suelo-grava (grs)	4750	4750	6120
9	Densidad humeda (gr/cc)	1.253	1.187	1.501
10	Contenido de humedad promedio(%)	7.2	6.15	6.50
11	Densidad seca (gr/cc)	1.169	1.118	1.410

N°				
LADO				
CALICATA				
MUESTRA				
PROFUNDIDAD				
1	Peso del frasco y arena (grs)			
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)			
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)			
4	Peso arena del cono (grs)			
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)			
6	Densidad de la arena (gr/cc)			
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)			
8	Peso del suelo-grava (grs)			
9	Densidad humeda (gr/cc)			
10	Contenido de humedad promedio(%)			
11	Densidad seca (gr/cc)			

N°				
PROGRESIVA				
LADO				
CALICATA				
MUESTRA				
PROFUNDIDAD				
1	Peso del frasco y arena (grs)			
2	Peso del frasco y arena sobrante (grs)			
3	Peso de la arena empleada (grs) (1)-(2)			
4	Peso arena del cono (grs)			
5	Peso de arena del hueco (grs) (3)-(4)			
6	Densidad de la arena (gr/cc)			
7	Volumen de hueco (cc) (5)/(6)			
8	Peso del suelo-grava (grs)			
9	Densidad humeda (gr/cc)			
10	Contenido de humedad promedio(%)			
11	Densidad seca (gr/cc)			

**PESO UNITARIO DE UN SUELO COHESIVO
(ASTM D2937-71)**

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-2
N° DE SONDAJE	P-3	PROFUNDIDAD	0.70-0.80
N° veces	1	2	
Peso del suelo (gr.)	71.6	100.2	72.28
Peso del suelo + parafina (gr.)	100.12	109	77.98
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	552.85	573.6	553.5
Volumen de agua (ml.)	52.85	73.6	53.5
Volumen del suelo (ml.)	52.85	73.6	53.5
Densidad humeda (ml.)	1.355	1.361	1.351
Contenido de humedad (ml.)	18.6	18.6	18.6
Densidad seca (gr/cc)	1.142	1.148	1.139
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.143	

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-1
N° DE SONDAJE	PP-4	PROFUNDIDAD	0.40-0.80
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	126.67	159.01	136.19
Peso del suelo + parafina (gr.)	134.26	162.78	145.91
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	585.6	607.2	592
Volumen de agua (ml.)	85.6	107.2	92
Volumen del suelo (ml.)	85.6	107.2	92
Densidad humeda (ml.)	1.480	1.483	1.480
Contenido de humedad (ml.)	7.95	7.95	7.95
Densidad seca (gr/cc)	1.371	1.374	1.371
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.372	

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-2
N° DE SONDAJE	PP-5	PROFUNDIDAD	0.60-1.60
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	130.93	112.02	155.53
Peso del suelo + parafina (gr.)	138.53	117.65	163.6
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	591.5	578.5	609
Volumen de agua (ml.)	91.5	78.5	109
Volumen del suelo (ml.)	91.5	78.5	109
Densidad humeda (ml.)	1.431	1.427	1.427
Contenido de humedad (ml.)	7.18	7.18	7.18
Densidad seca (gr/cc)	1.335	1.331	1.331
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.333	

**PESO UNITARIO DE UN SUELO COHESIVO
(ASTM D2937-71)**

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-1
N° DE SONDAJE	PP-6	PROFUNDIDAD	0.40-0.80
N° veces	1	2	
Peso del suelo (gr.)	87.66	100.2	92.5
Peso del suelo + parafina (gr.)	100.12	109	98.4
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	570.5	580.8	574.6
Volumen de agua (ml.)	70.5	80.8	74.6
Volumen del suelo (ml.)	70.5	80.8	74.6
Densidad humeda (ml.)	1.243	1.240	1.240
Contenido de humedad (ml.)	10.7	10.7	10.7
Densidad seca (gr/cc)	1.123	1.120	1.120
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.121	

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-1
N° DE SONDAJE	PP-7	PROFUNDIDAD	0.40-0.80
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	126.67	159.01	136.19
Peso del suelo + parafina (gr.)	134.26	162.78	145.91
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	575.4	594.6	581
Volumen de agua (ml.)	75.4	94.6	81
Volumen del suelo (ml.)	75.4	94.6	81
Densidad humeda (ml.)	1.680	1.681	1.681
Contenido de humedad (ml.)	4.3	4.3	4.3
Densidad seca (gr/cc)	1.611	1.612	1.612
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.611	

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-2
N° DE SONDAJE	PP-8	PROFUNDIDAD	0.60-1.60
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	130.93	112.02	155.53
Peso del suelo + parafina (gr.)	138.53	117.65	163.6
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	600.5	586.5	619
Volumen de agua (ml.)	100.5	86.5	119
Volumen del suelo (ml.)	100.5	86.5	119
Densidad humeda (ml.)	1.303	1.295	1.307
Contenido de humedad (ml.)	2.99	2.99	2.99
Densidad seca (gr/cc)	1.265	1.257	1.269
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.264	

**PESO UNITARIO DE UN SUELO COHESIVO
(ASTM D2937-71)**

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-1
N° DE SONDAJE	PP-9	PROFUNDIDAD	0.40-0.80
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	95.33	100.2	72.28
Peso del suelo + parafina (gr.)	100.12	109	77.98
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	574	577.5	556
Volumen de agua (ml.)	74	77.5	56
Volumen del suelo (ml.)	74	77.5	56
Densidad humeda (ml.)	1.288	1.293	1.291
Contenido de humedad (ml.)	8.82	8.82	8.82
Densidad seca (gr/cc)	1.184	1.188	1.186
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.186	

UBICACIÓN	Canta Callao	FECHA	20/09/1999
TIPO DE SONDAJE	CALICATA	MUESTRA	M-1
N° DE SONDAJE	PPP-3	PROFUNDIDAD	0.40-0.80
N° veces	1	2	3
Peso del suelo (gr.)	89.02	74.62	85.31
Peso del suelo + parafina (gr.)	98.53	83.99	96.13
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada	500	500	500
Lectura final de la probeta (ml.) graduada	560.5	550.7	558
Volumen de agua (ml.)	60.5	50.7	58
Volumen del suelo (ml.)	60.5	50.7	58
Densidad humeda (ml.)	1.471	1.472	1.471
Contenido de humedad (ml.)	5.99	5.99	5.99
Densidad seca (gr/cc)	1.388	1.389	1.388
Densidad seca promedio (gr/cc)		1.388	

UBICACIÓN			
TIPO DE SONDAJE			
N° DE SONDAJE			
N° veces			
Peso del suelo (gr.)			
Peso del suelo + parafina (gr.)			
Lectura inicial de la probeta (ml.) graduada			
Lectura final de la probeta (ml.) graduada			
Volumen de agua (ml.)			
Volumen del suelo (ml.)			
Densidad humeda (ml.)			
Contenido de humedad (ml.)			
Densidad seca (gr/cc)			
Densidad seca promedio (gr/cc)			

ANEXO III

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE

LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

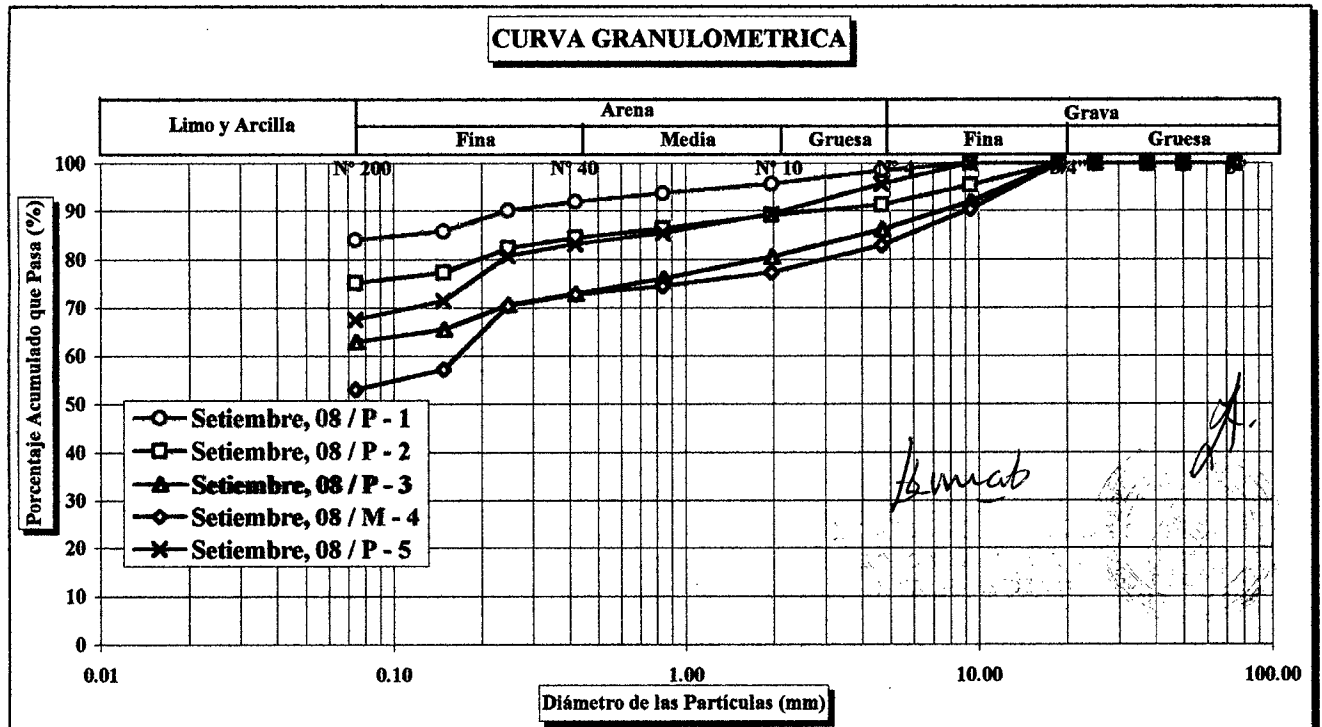


ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : BACHLLER CARLOS TUPIA CORDOVA
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao
FECHA : Setiembre. 1999

Fecha de exploración		Setiembre, 08	Setiembre, 08	Setiembre, 08	Setiembre, 08	Setiembre, 08		
Pozo		P - 1	P - 2	P - 3	M - 4	P - 5		
Profundidad (m)		0.40 - 0.55	---	---	---	---		
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00	
		2 "	50.800	100.00	100.00	100.00	100.00	
		1 1/2 "	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00	
		1 "	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00	
		3/4 "	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00	
		3/8 "	9.525	100.00	95.44	91.90	90.40	100.00
		Nº 004	4.750	98.48	91.29	86.12	82.91	95.66
		Nº 010	2.000	95.67	89.17	80.53	77.26	89.39
		Nº 020	0.850	93.77	86.39	76.05	74.52	85.46
		Nº 040	0.425	91.98	84.39	72.88	72.78	83.20
		Nº 060	0.250	90.16	82.35	70.66	70.47	80.71
Nº 140	0.150	85.73	77.30	65.55	57.19	71.45		
Nº 200	0.075	83.96	75.18	62.88	53.11	67.48		
Contenido de Humedad (%)		39.46	38.28	24.51	17.82	19.24		
Límite Líquido (LL) (%)		56.46	56.55	60.14	41.88	41.13		
Límite Plástico (LP) (%)		NP	30.83	NP	20.74	20.31		
Índice Plástico (IP) (%)		NP	25.72	NP	21.14	20.82		
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	-	-		
Clasificación (S.U.C.S.)		MH	MH	MH	CL	CL		

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO

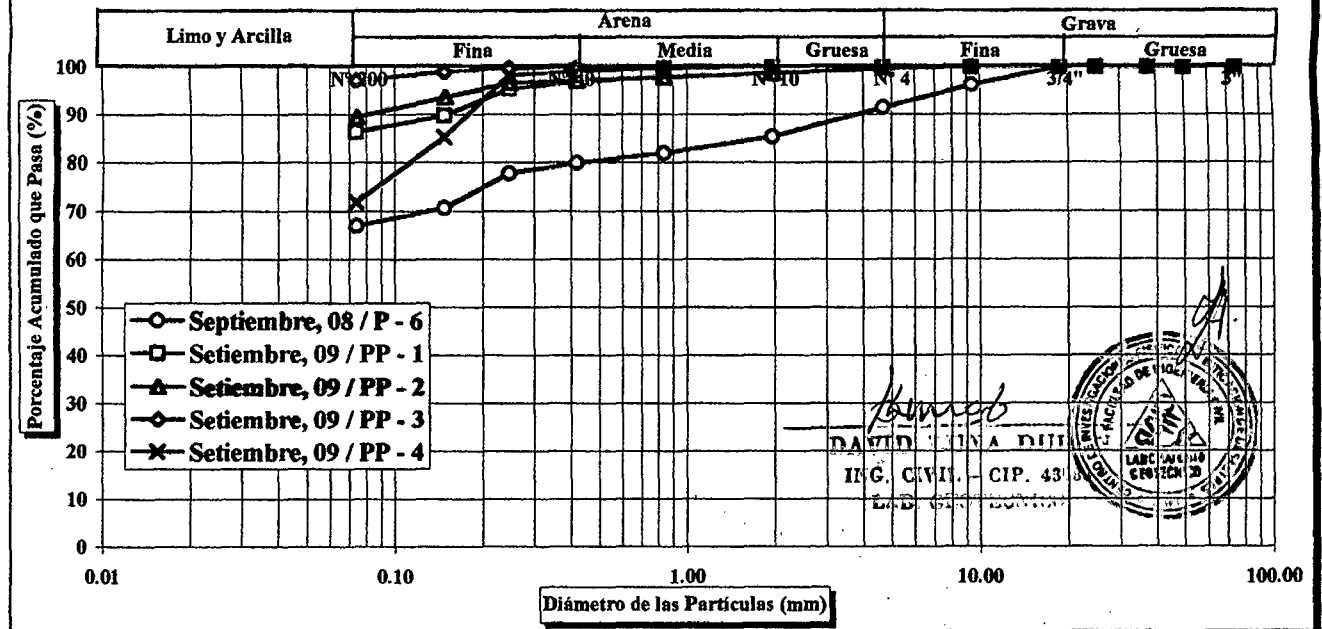


ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : BACHLLER CARLOS TUPIA CORDOVA
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Santa Callao
FECHA : Septiembre. 1999

Fecha de exploración		Septiembre, 08	Setiembre, 09	Setiembre, 09	Setiembre, 09	Setiembre, 09	
Pozo		P - 6	PP - 1	PP - 2	PP - 3	PP - 4	
Profundidad (m)		---	---	---	---	---	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76.200	100.00	100.00	100.00	100.00
		2"	50.800	100.00	100.00	100.00	100.00
		1 1/2"	38.100	100.00	100.00	100.00	100.00
		1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00
		3/4"	19.050	100.00	100.00	100.00	100.00
		3/8"	9.525	96.23	100.00	100.00	100.00
		Nº 004	4.750	91.33	99.52	99.70	100.00
		Nº 010	2.000	85.27	98.71	98.60	99.99
		Nº 020	0.850	81.95	97.87	97.71	99.92
		Nº 040	0.425	79.94	96.90	97.17	99.84
		Nº 060	0.250	77.85	95.39	96.65	99.72
Nº 140	0.150	70.57	89.80	93.61	98.94		
Nº 200	0.075	66.88	86.33	89.47	97.16		
Contenido de Humedad (%)		16.99	8.08	6.64	7.19	5.99	
Límite Líquido (LL) (%)		40.23	44.68	NP	40.13	26.74	
Límite Plástico (LP) (%)		18.82	20.73	NP	NP	NP	
Índice Plástico (IP) (%)		21.41	23.95	NP	NP	NP	
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-	-	-	
Clasificación (S.U.C.S.)		CL	CL	ML	ML	ML	

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

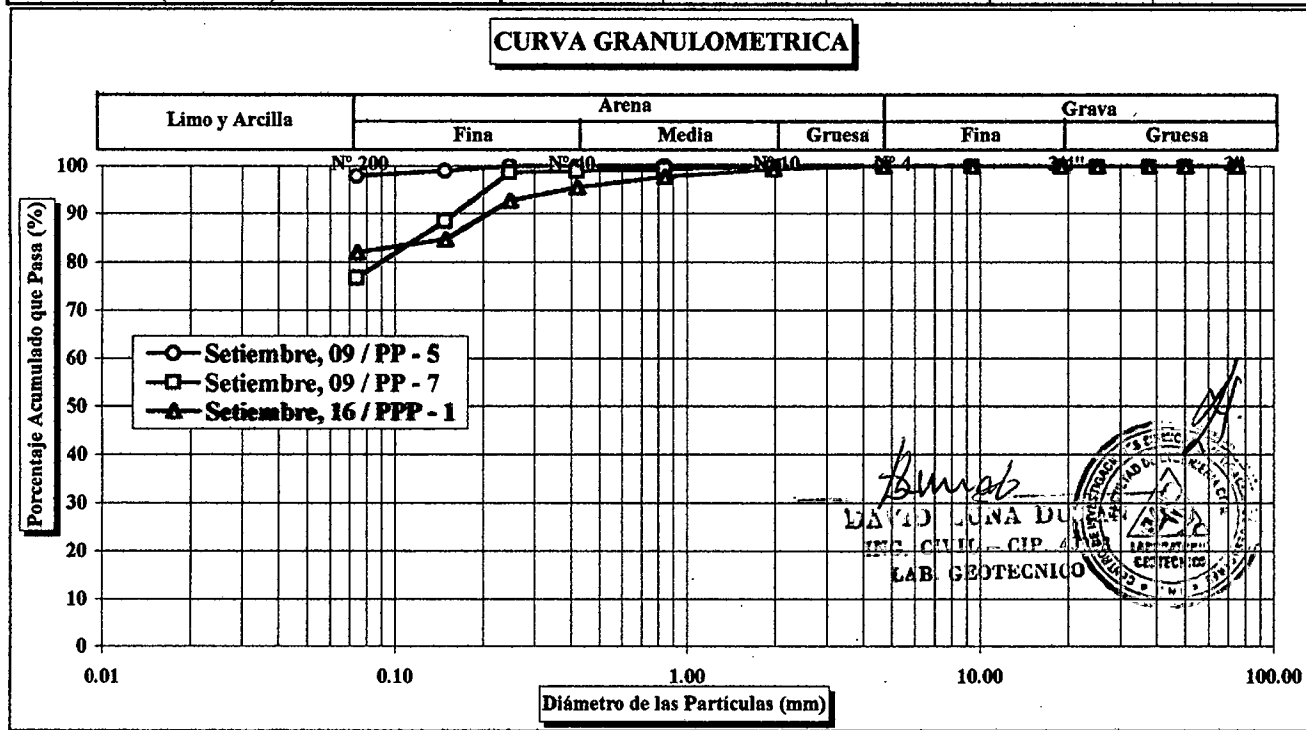
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
 SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
 LABORATORIO GEOTECNICO



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D2216 - D421 - D4318 - D427 - D2487)

INFORME : LG99-110
SOLICITANTE : BACHILLER CARLOS TUPIA CORDOVA
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Santa Callao
FECHA : Septiembre, 1999

Fecha de exploración		Setiembre, 09	Setiembre, 09	Setiembre, 16		
Pozo		PP - 5	PP - 7	PPP - 1		
Profundidad (m)		—	—	—		
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	76.200	100.00	100.00	100.00
		2 "	50.800	100.00	100.00	100.00
		1 1/2 "	38.100	100.00	100.00	100.00
		1 "	25.400	100.00	100.00	100.00
		3/4 "	19.050	100.00	100.00	100.00
		3/8 "	9.525	100.00	100.00	100.00
		Nº 004	4.750	100.00	100.00	100.00
		Nº 010	2.000	100.00	99.98	99.33
		Nº 020	0.850	100.00	99.34	97.77
		Nº 040	0.425	99.98	99.00	95.47
		Nº 060	0.250	99.96	98.62	92.70
Nº 140	0.150	99.03	88.43	84.71		
Nº 200	0.075	97.85	76.77	81.95		
Contenido de Humedad (%)		6.44	3.17	5.74		
Límite Líquido (LL) (%)		35.54	29.79	41.35		
Límite Plástico (LP) (%)		NP	NP	NP		
Índice Plástico (IP) (%)		NP	NP	NP		
Límite de Contracción (LC) (%)		-	-	-		
Clasificación (S.U.C.S.)		ML	ML	ML		

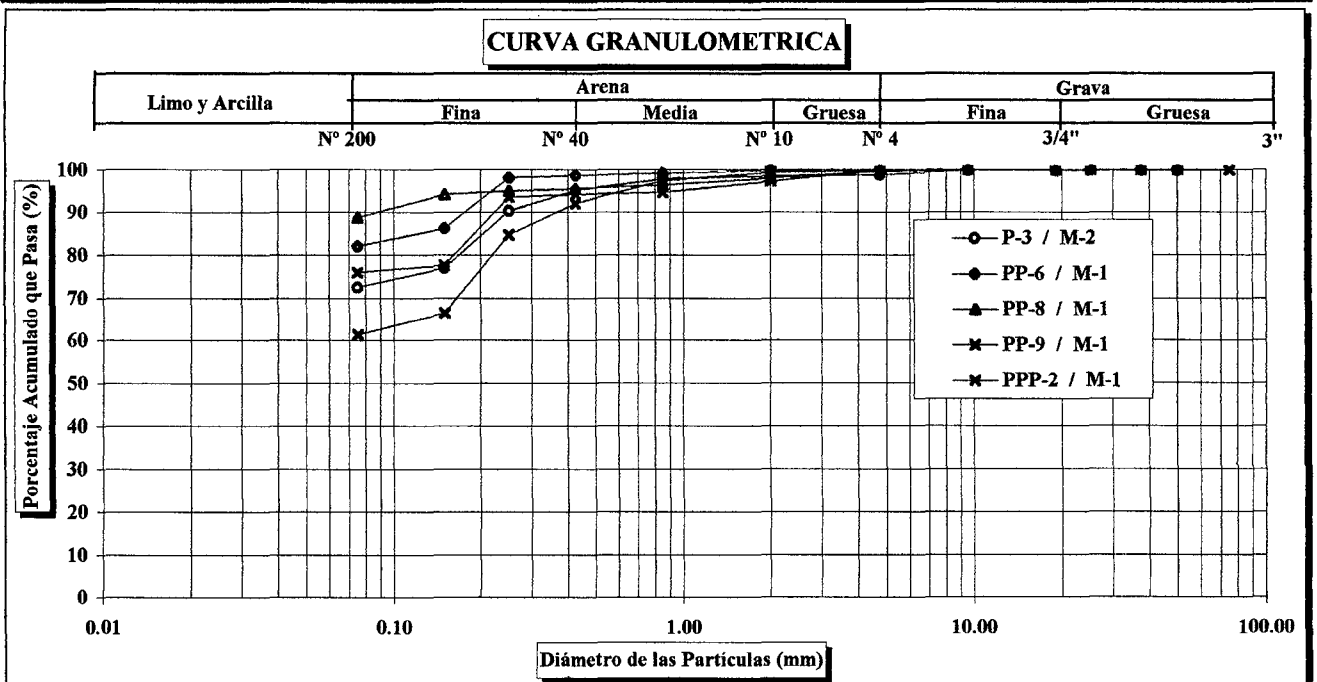




**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION
(ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)**

INFORME : LG99 -110
SOLICITANTE : Bach. CARLOS TUPIA CORDOVA
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao
FECHA : Setiembre 1999

Fecha de exploración			Setiembre, 08	Setiembre, 09	Setiembre, 09	Setiembre, 09	Setiembre, 16	
Muestra			P-3	PP-6	PP-8	PP-9	PPP-2	
Profundidad (m)			0.70 - 1.00	0.65 - 1.00	0.35 - 0.70	0.50 - 1.00	0.45 - 0.70	
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	75.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		2"	50.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		1 1/2"	37.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		1"	25.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		3/8"	9.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
		Nº 004	4.750	98.87	100.00	99.79	99.93	100.00
		Nº 010	2.000	98.56	100.00	98.16	99.48	97.33
		Nº 020	0.850	97.89	99.30	96.54	97.43	94.77
		Nº 040	0.425	95.21	98.70	95.58	92.11	94.17
		Nº 060	0.250	90.34	98.30	95.04	84.73	93.60
		Nº 140	0.150	77.16	86.30	94.21	66.51	77.73
Nº 200	0.075	72.62	82.20	88.79	61.40	76.15		
Contenido de Humedad (%)			17.75	4.10	2.20	9.80	3.60	
Límite Líquido (LL) (%)			37.04	34.50	36.19	39.54	31.12	
Límite Plástico (LP) (%)			22.16	NP	17.86	20.35	NP	
Índice Plástico (IP) (%)			14.88	NP	18.33	19.19	NP	
Límite de Contracción (LC) (%)			-	-	-	-	-	
Clasificación (S.U.C.S.)			CL	ML	CL	CL	ML	

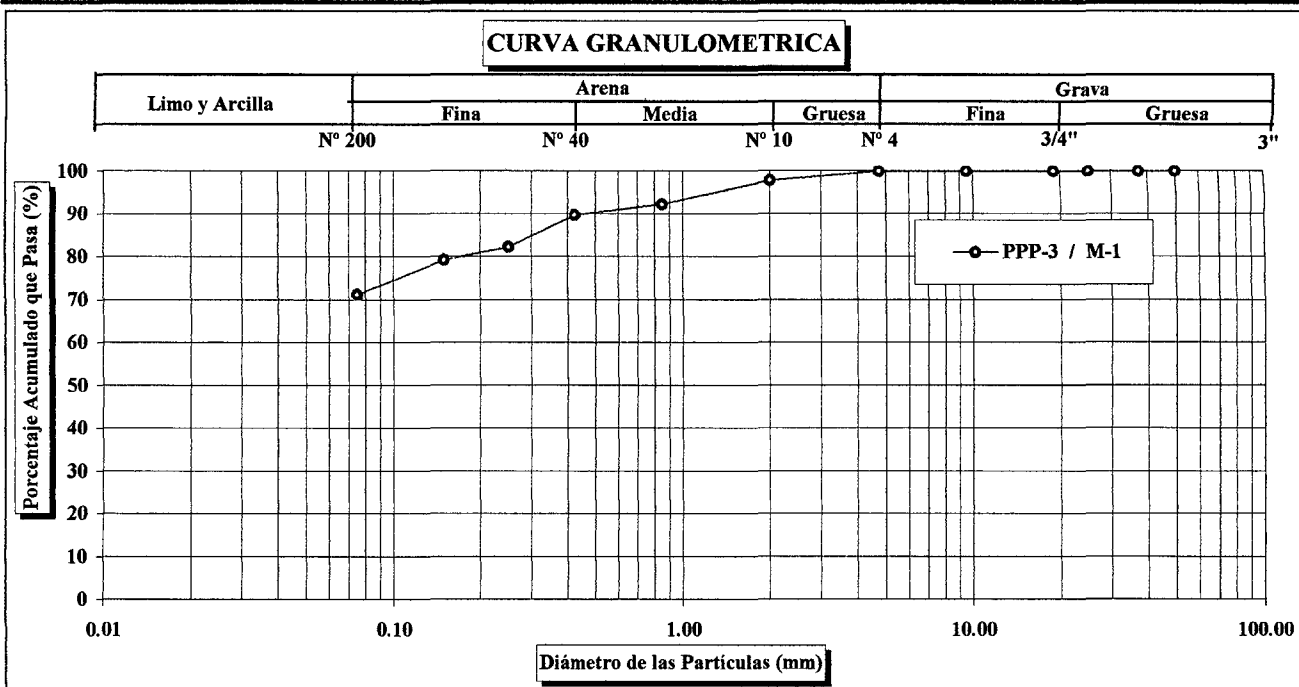




**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION
 (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)**

INFORME : LG99 -110
SOLICITANTE : Bach. CARLOS TUPIA CORDOVA
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao
FECHA : Setiembre 1999

Fecha de exploración		Setiembre, 16			
Muestra		PPP-3			
Profundidad (m)		0.50 - 1.00			
ANALISIS GRANULONETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3 "	75.000	100.00	
		2 "	50.000	100.00	
		1 1/2 "	37.500	100.00	
		1 "	25.000	100.00	
		3/4 "	19.000	100.00	
		3/8 "	9.500	100.00	
		Nº 004	4.750	100.00	
		Nº 010	2.000	97.90	
		Nº 020	0.850	92.19	
		Nº 040	0.425	89.70	
		Nº 060	0.250	82.22	
		Nº 140	0.150	79.24	
Nº 200	0.075	71.16			
Contenido de Humedad (%)		17.75			
Límite Líquido (LL) (%)		29.91			
Límite Plástico (LP) (%)		NP			
Índice Plástico (IP) (%)		NP			
Límite de Contracción (LC) (%)		-			
Clasificación (S.U.C.S.)		ML			





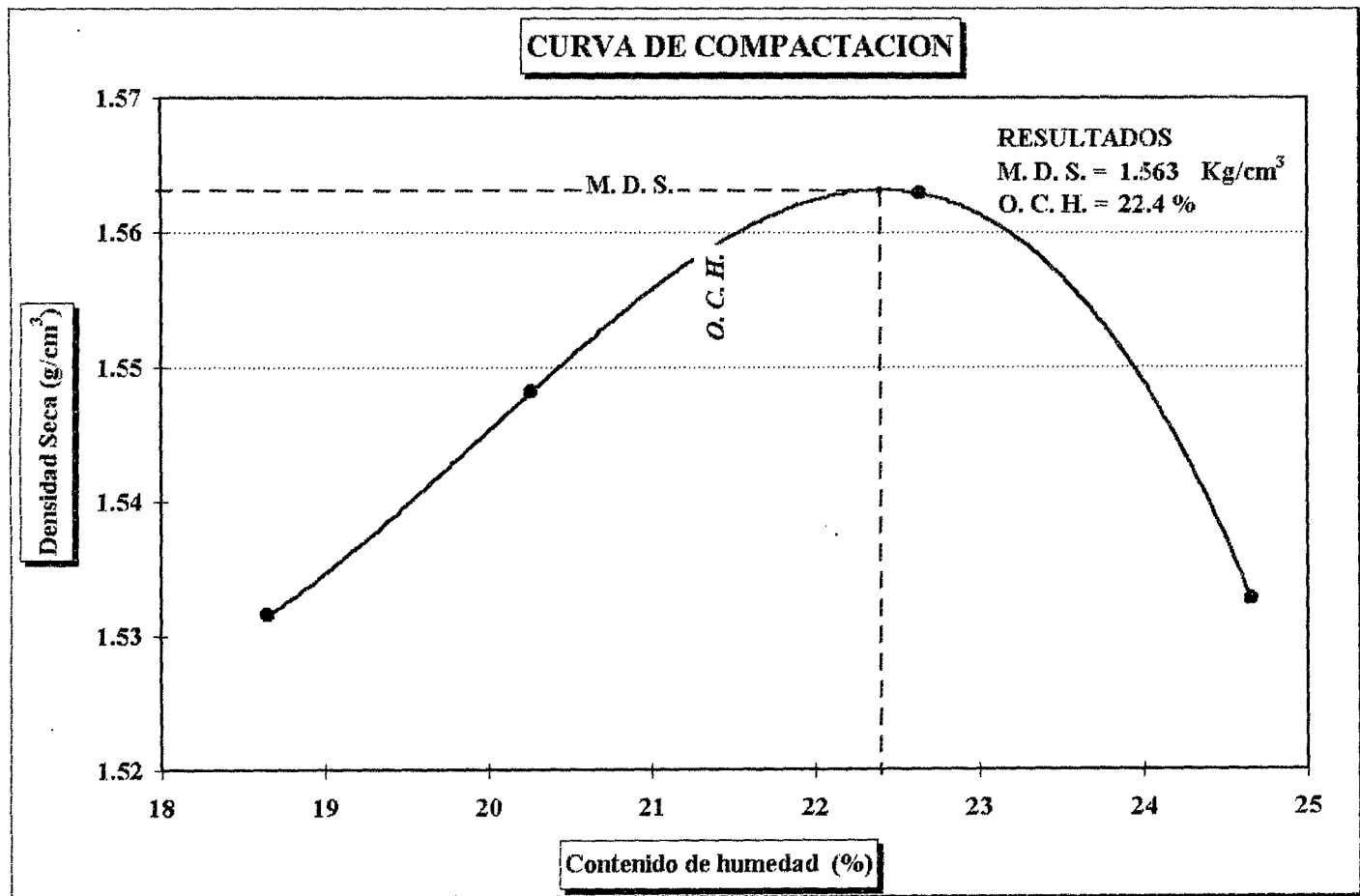
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999
Lugar : Canta Callao
Muestra : M-1 / P-1
Profundidad (m) : 0.30-1.00
Clasific. (SUCS) : MH

CUADRO DE DATOS

Humedad (ω) (%)	18.66	20.27	22.64	24.66
Densidad Seca (γ_d) (g/cm^3)	1.53	1.55	1.56	1.53

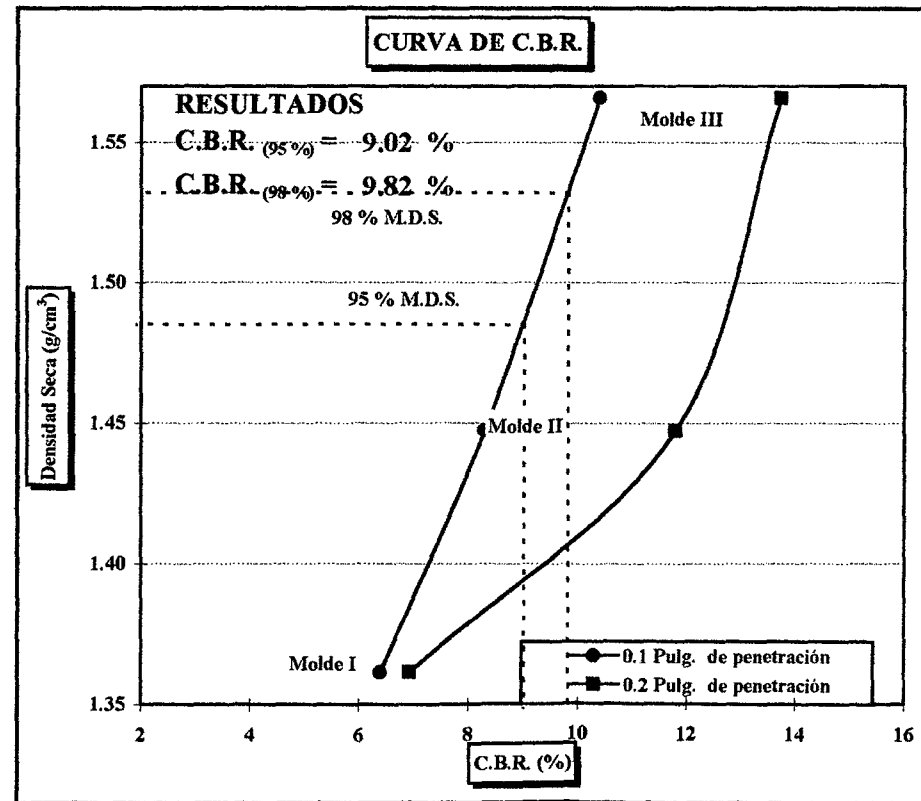
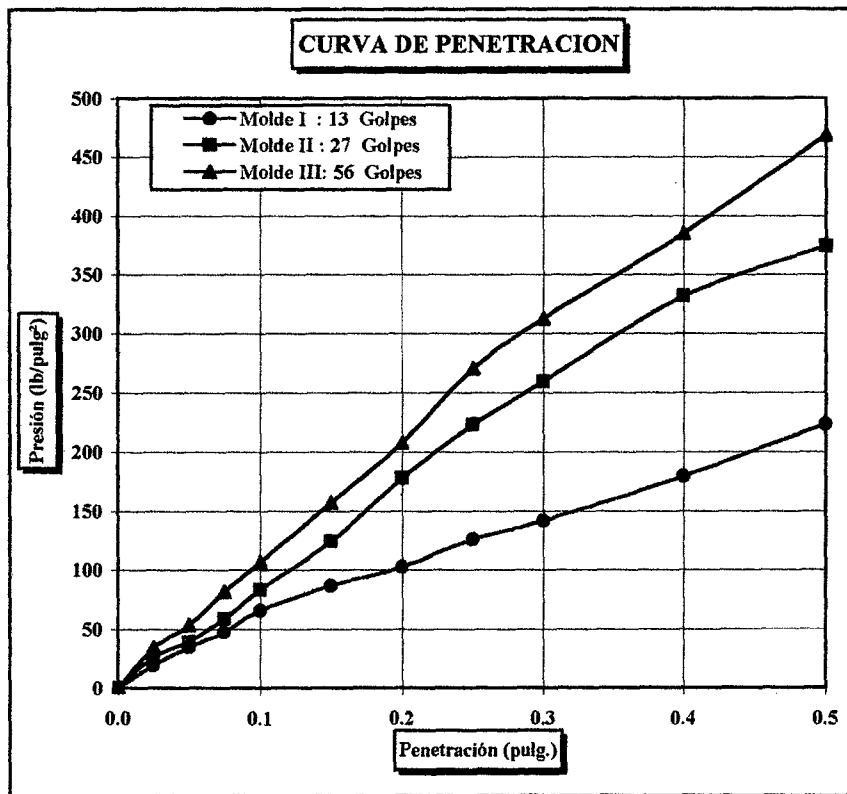
CURVA DE COMPACTACION





ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N°	: LG99-035	Lugar	: Canta Callao
SOLICITANTE	: Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto	Muestra	: M-1 / P-1
TESIS	: Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina.	Profundidad (m)	: 0.30-1.00
UBICACION	: Distrito Los Olivos - Lima	Clasific. (SUCS)	: MH
FECHA	: Septiembre, 1999	Ensayo preliminar	: Proctor modificado





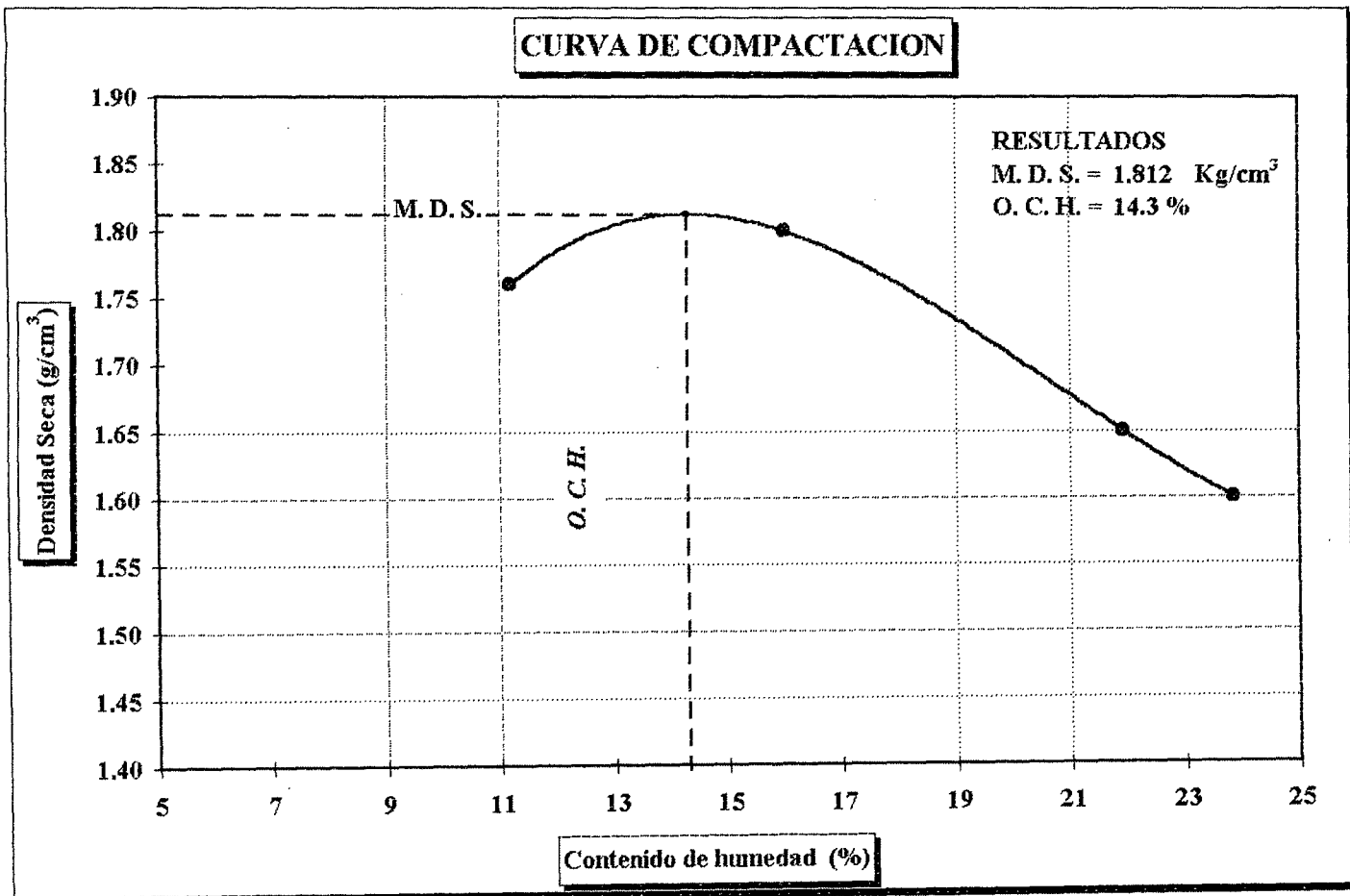
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Naranjal
Muestra : M-1/P-4
Profundidad (m) : 0.40-1.00
Clasific. (SUCS) : CL

CUADRO DE DATOS

Humedad (ω) (%)	11.19	16.02	21.92	23.85
Densidad Seca (γ_d) (g/cm^3)	1.76	1.80	1.65	1.60

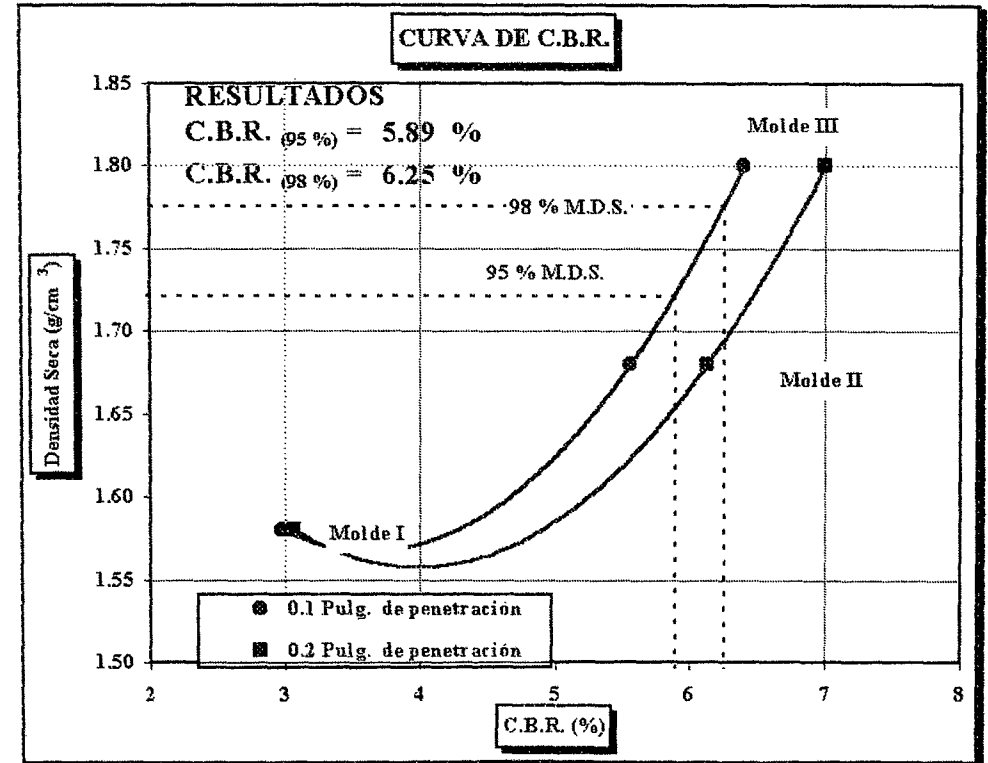
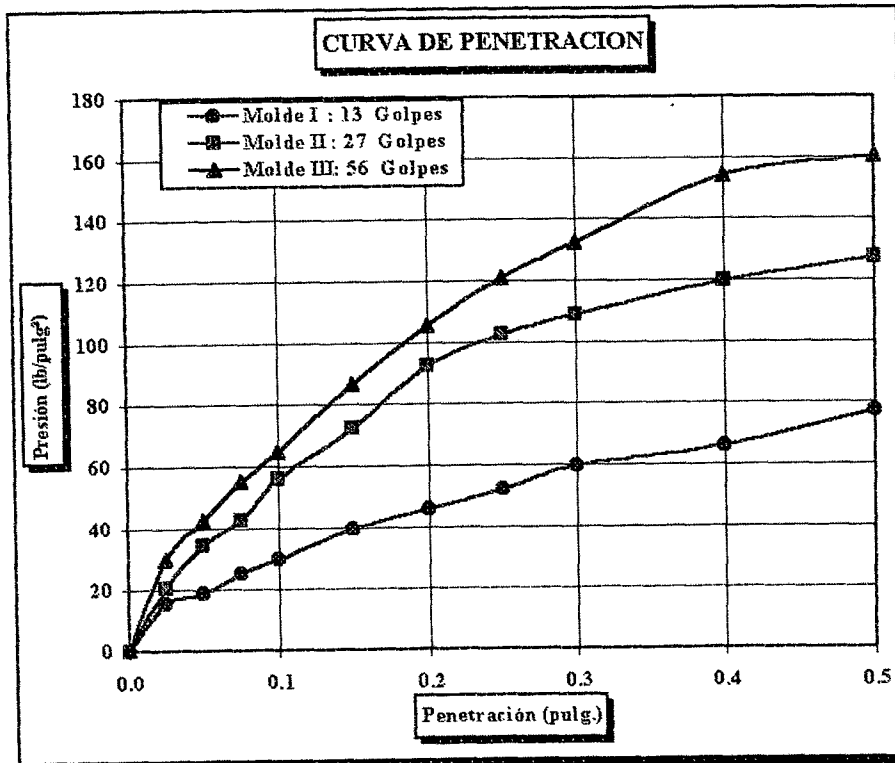




ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
TESIS : Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina.
UBICACION : Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Naranjal
Muestra : M-1/P-4
Profundidad (m) : 0.40-1.00
Clasific. (SUCS) : CL
Ensayo preliminar : Proctor modificado





**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

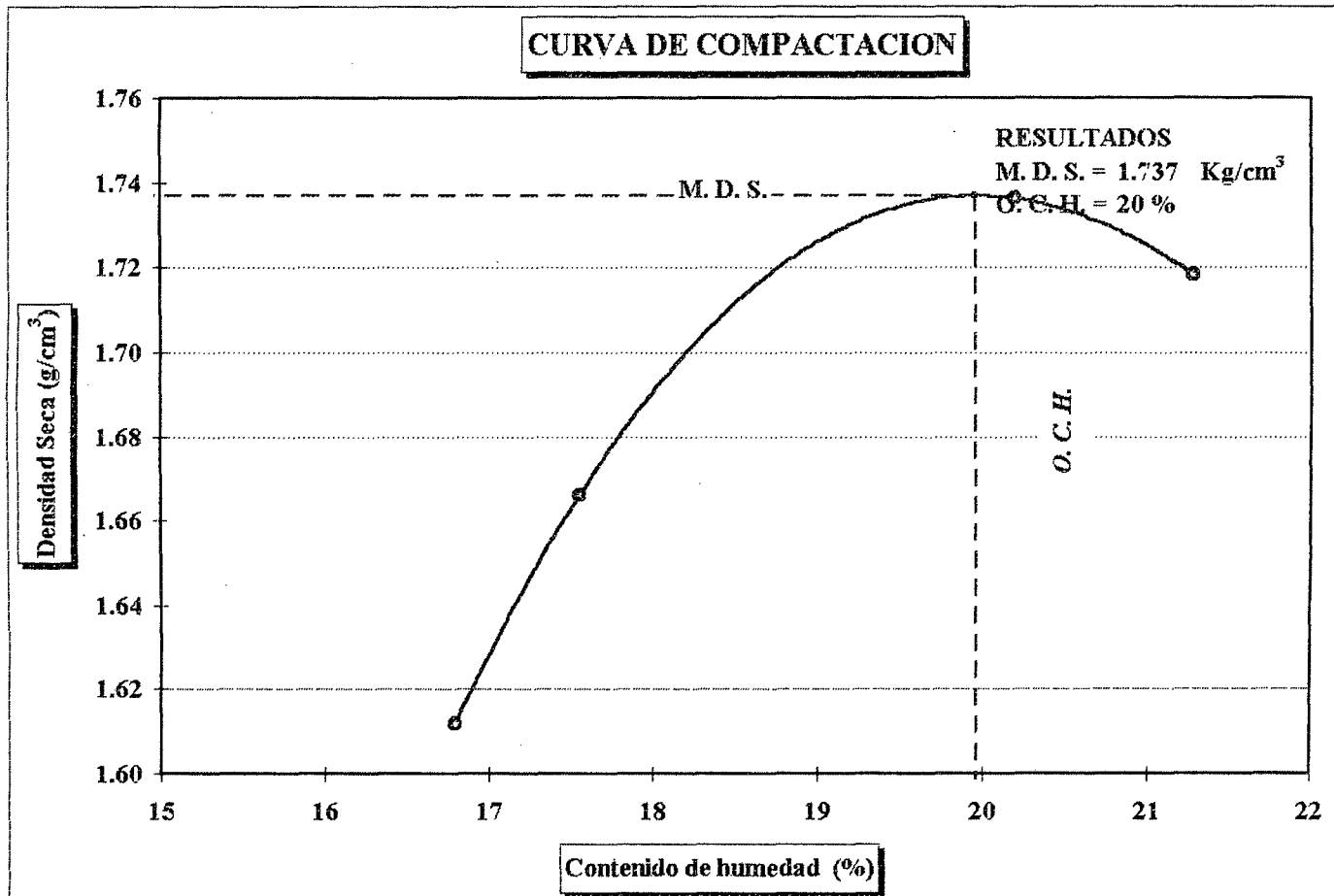
INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Naranjal
Muestra : M-2/P-3
Profundidad (m) : 0.70-1.00
Clasific. (SUCS) : CL

CUADRO DE DATOS

Humedad (ω) (%)	16.79	17.55	20.21	21.29
Densidad Seca (γ_d) (g/cm^3)	1.61	1.67	1.74	1.72

CURVA DE COMPACTACION

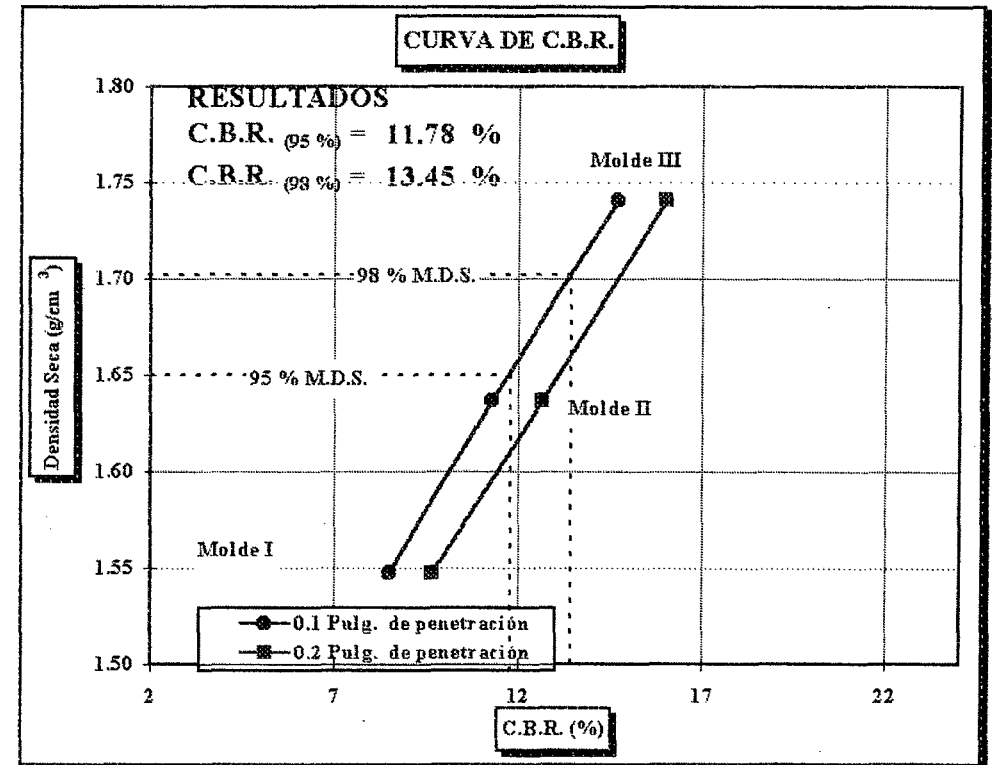
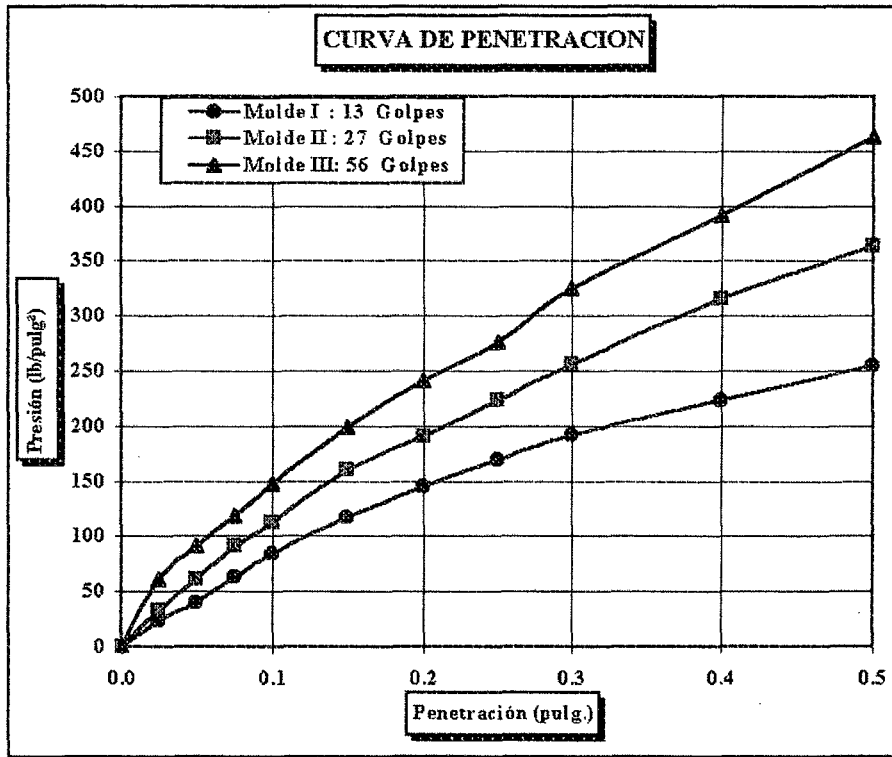




ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
TESIS : Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina
UBICACION : Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Naranjal
Muestra : M-2/P-3
Profundidad (m) : 0.70-1.00
Clasific. (SUCS) : CL
Ensayo preliminar : Proctor modificado



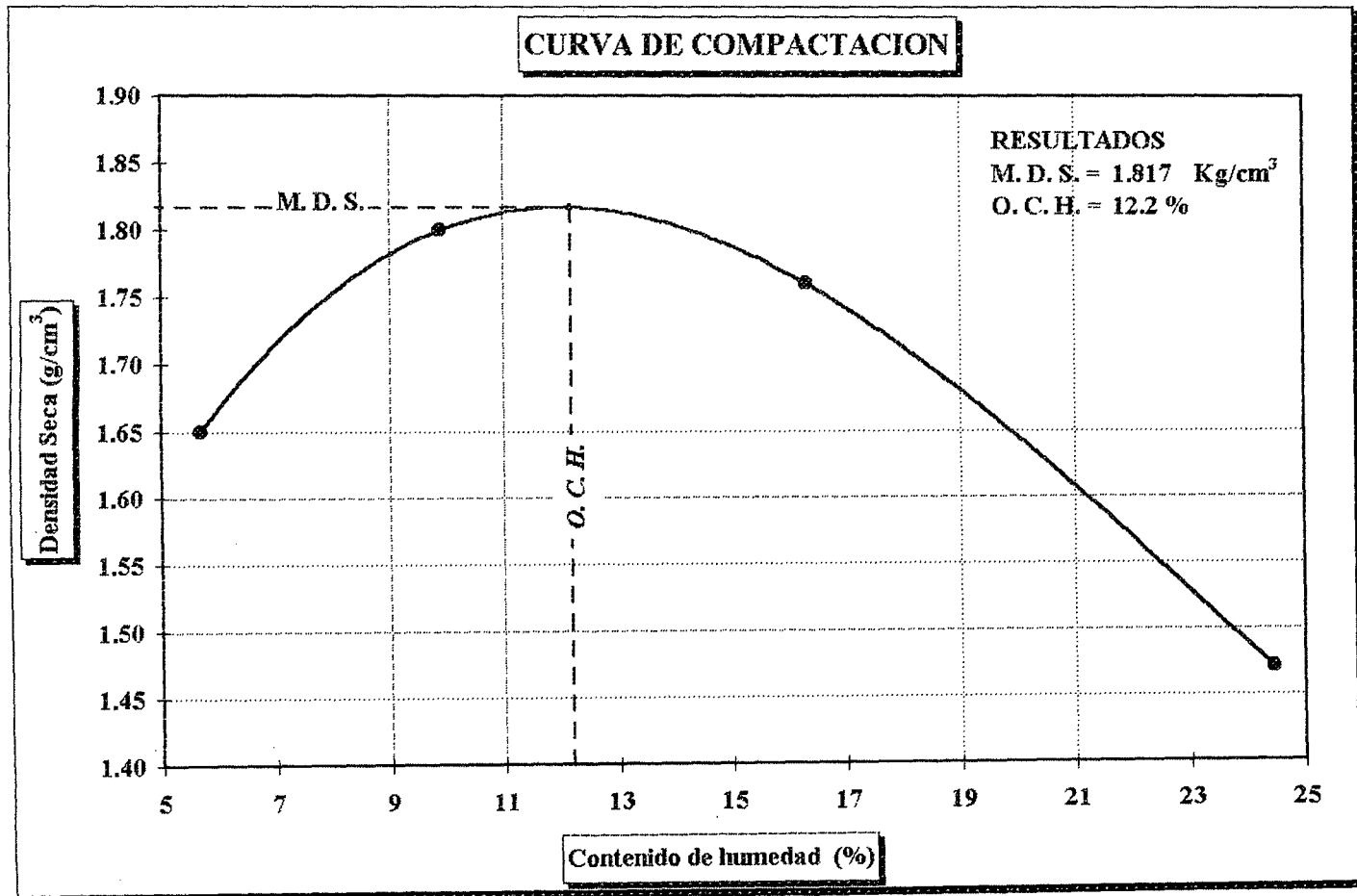


**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Canta Callao
Muestra : M-1/PP3
Profundidad (m) : 0.60-1.00
Clasific. (SUCS) : ML

Humedad (ω) (%)	5.69	9.89	16.33	24.46
Densidad Seca (γ_d) (g/cm^3)	1.65	1.80	1.76	1.47

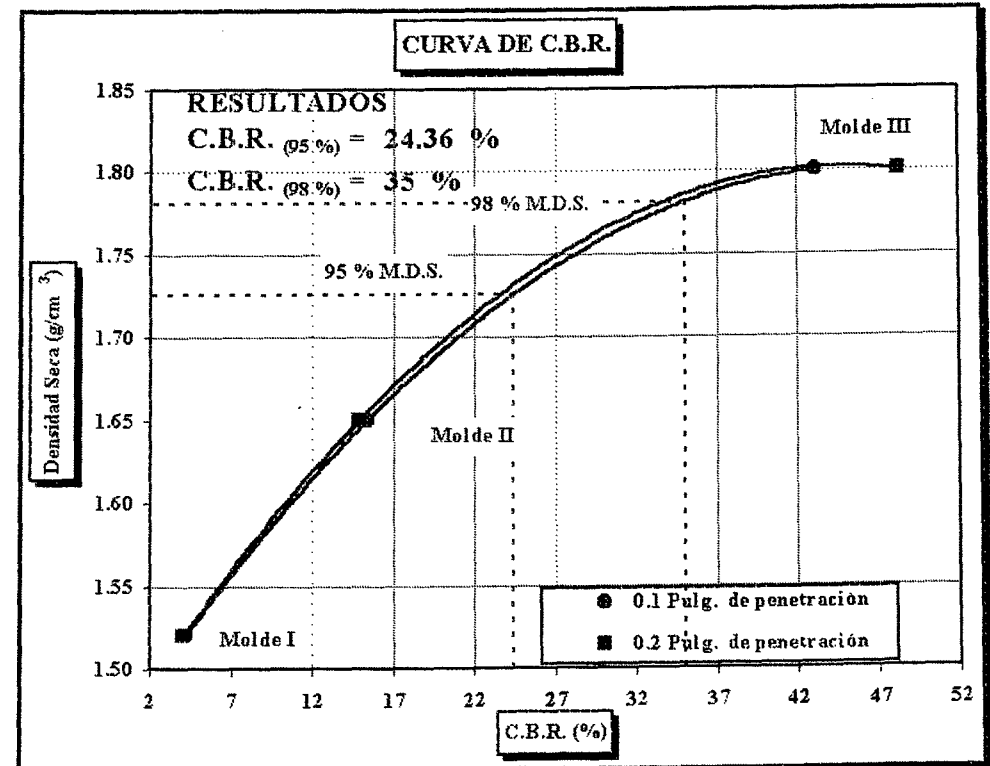
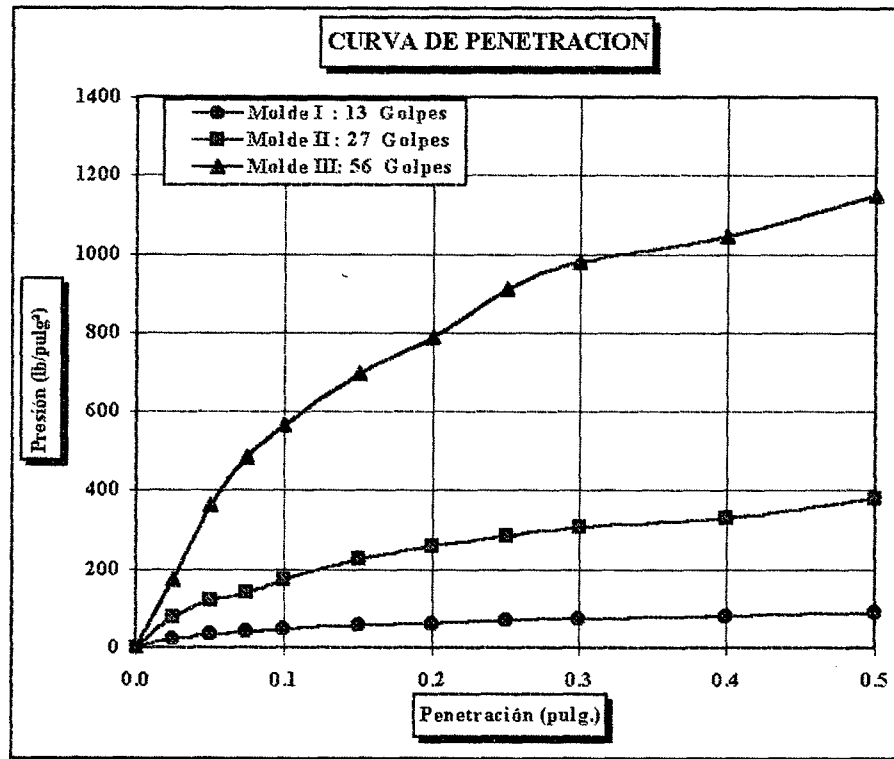




ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
TESIS : Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina.
UBICACION : Av. Canta Callao - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Canta Callao
Muestra : M-1/PP3
Profundidad (m) : 0.60-1.00
Clasific. (SUCS) : ML
Ensayo preliminar : Proctor modificado





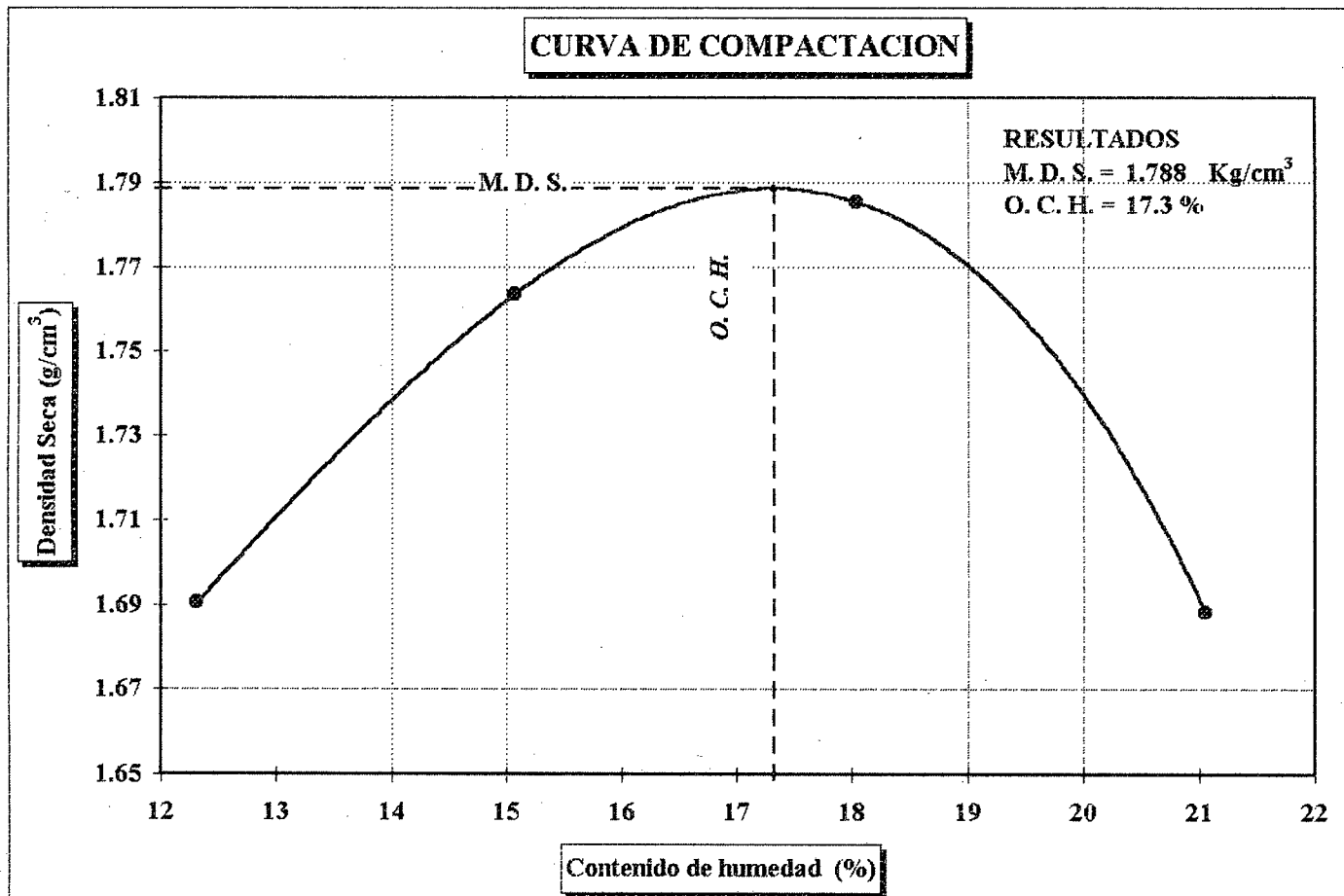
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao y Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Canta Callao
Muestra : M-1/PP-8
Profundidad (m) : 0.35 - 0.70
Clasific. (SUCS) : CL

CUADRO DE DATOS

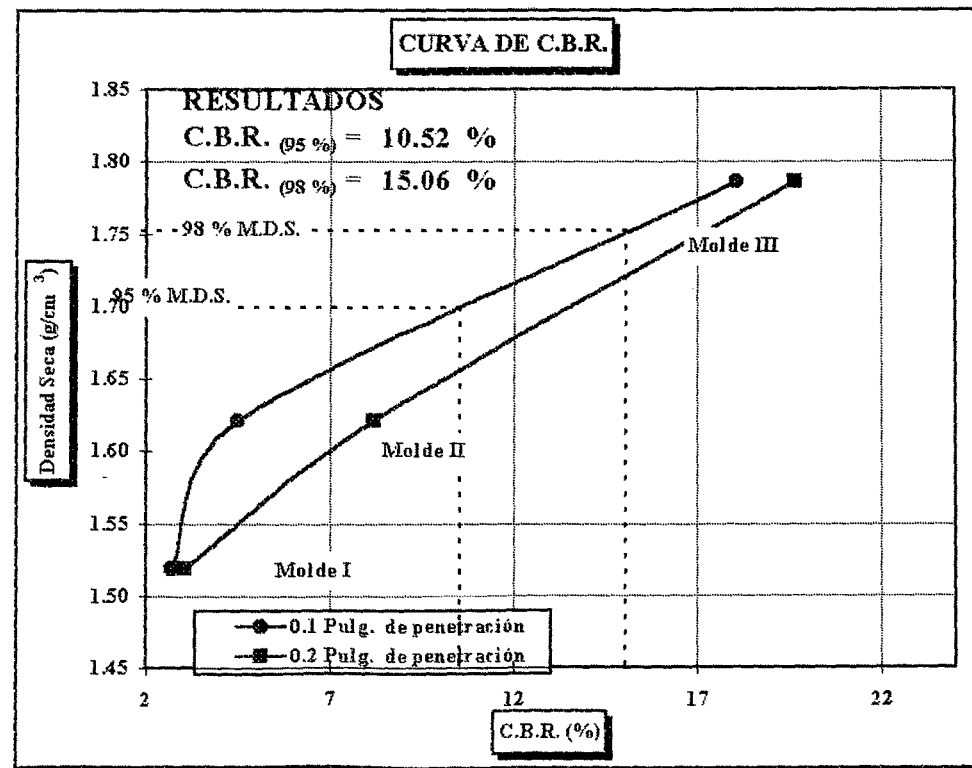
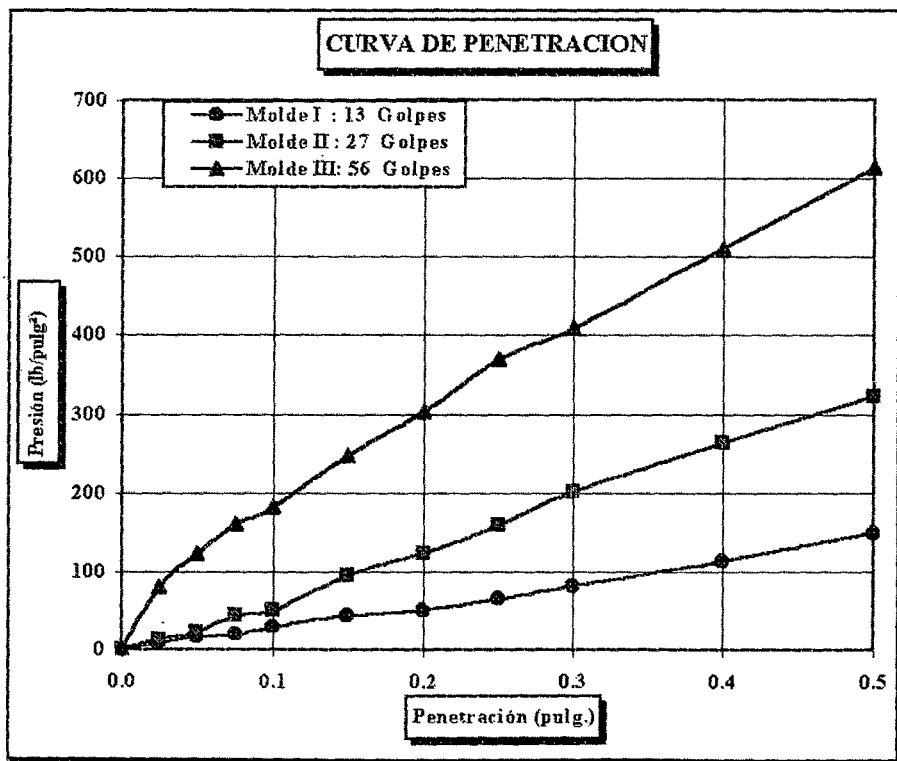
Humedad (ω) (%)	12.32	15.08	18.04	21.06
Densidad Seca (γ_d) (g/cm ³)	1.69	1.76	1.79	1.69





ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N°	: LG99-035	Lugar	: Canta Callao
SOLICITANTE	: Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto	Muestra	: M-1/PP-8
TESIS	: Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina.	Profundidad (m)	: 0.35 - 0.70
UBICACION	: Av. Canta Callao y Av. Naranjal - Distrito Los Olivos - Lima	Clasific. (SUCS)	: CL
FECHA	: Septiembre, 1999	Ensayo preliminar	: Proctor modificado





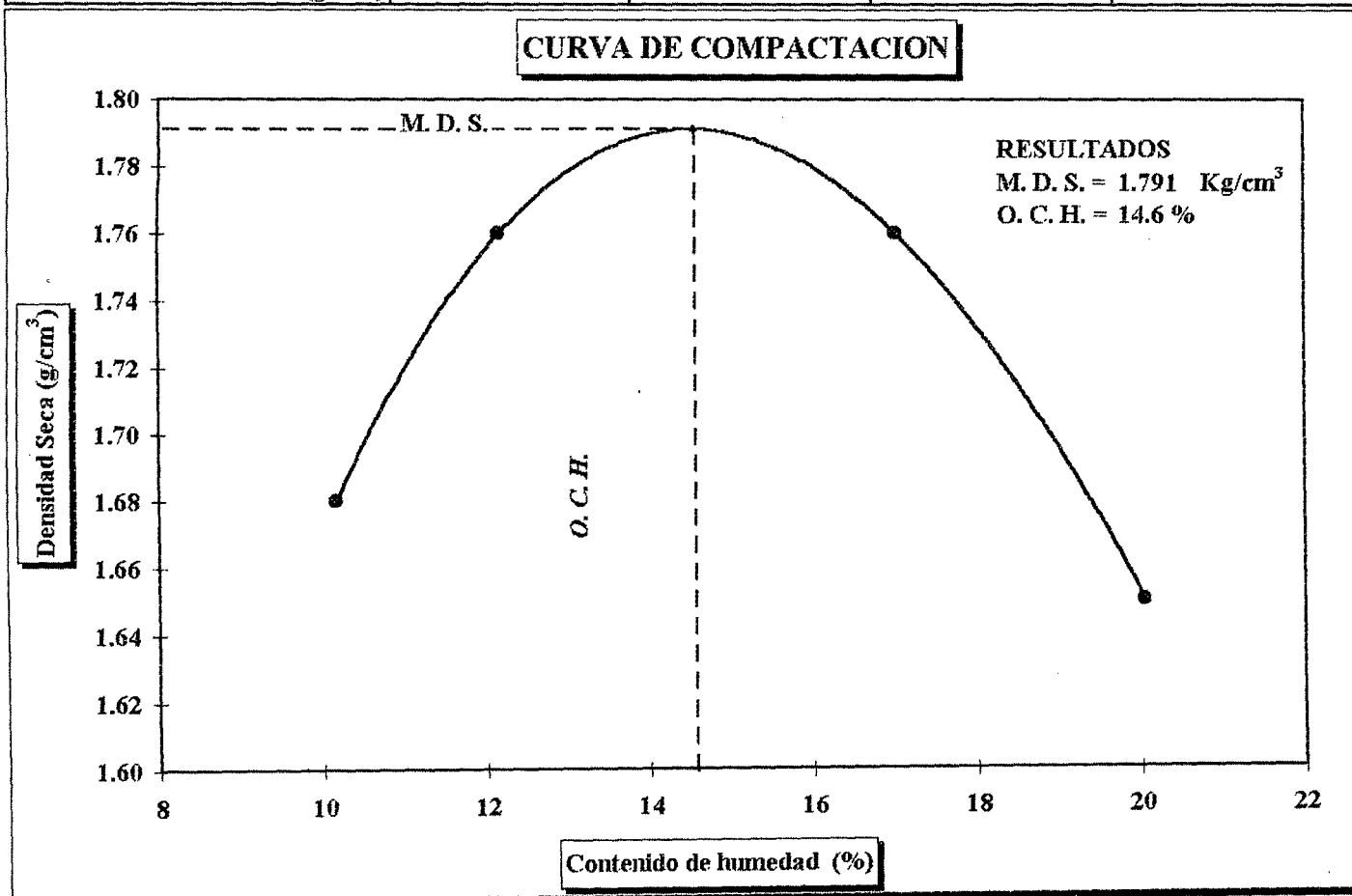
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
(ASTM - D1557 - A)**

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
PROYECTO : Tesis "Determinación de las Características de Soporte de un Terreno de Cimentación de un pavimento por medio de un Equipo Dinámico"
UBICACION : Av. Canta Callao - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Canta Callao
Muestra : M-1/PPP3
Profundidad (m) : 0.50-0.90
Clasific. (SUCS) : ML

CUADRO DE DATOS

Humedad (ω) (%)	10.16	12.17	17.03	20.05
Densidad Seca (γ_d) (g/cm^3)	1.68	1.76	1.76	1.65

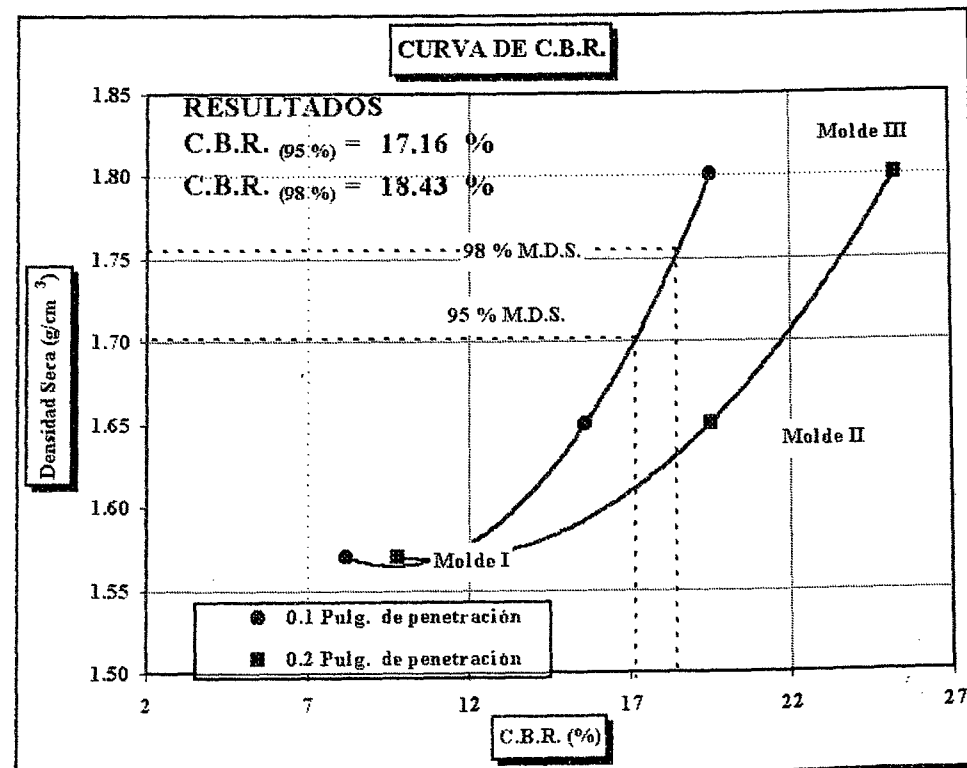
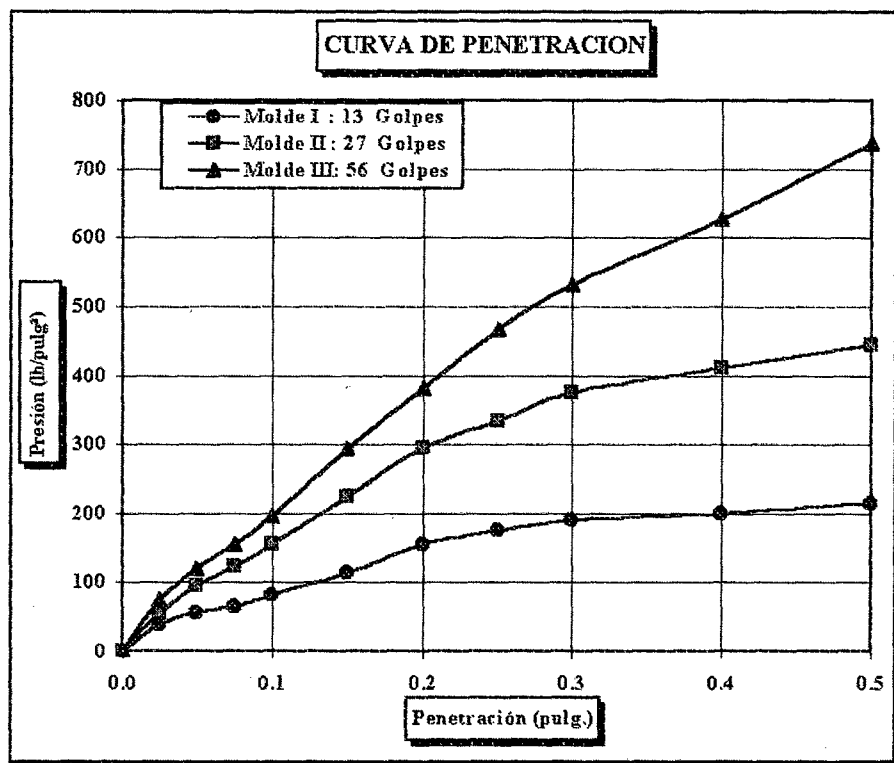




ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
(ASTM - D1883)

INFORME N° : LG99-035
SOLICITANTE : Bach. Tupia Córdova Carlos Alberto
TESIS : Deter.de las Carác.de Sopor.de un Terre.de Cimen.de un Pavi.por medio de un Equi.Dina.
UBICACION : Av. Santa Callao - Distrito Los Olivos - Lima
FECHA : Septiembre, 1999

Lugar : Santa Callao
Muestra : M-1/PPP3
Profundidad (m) : 0.50-0.90
Clasific. (SUCS) : ML
Ensayo preliminar : Proctor modificado

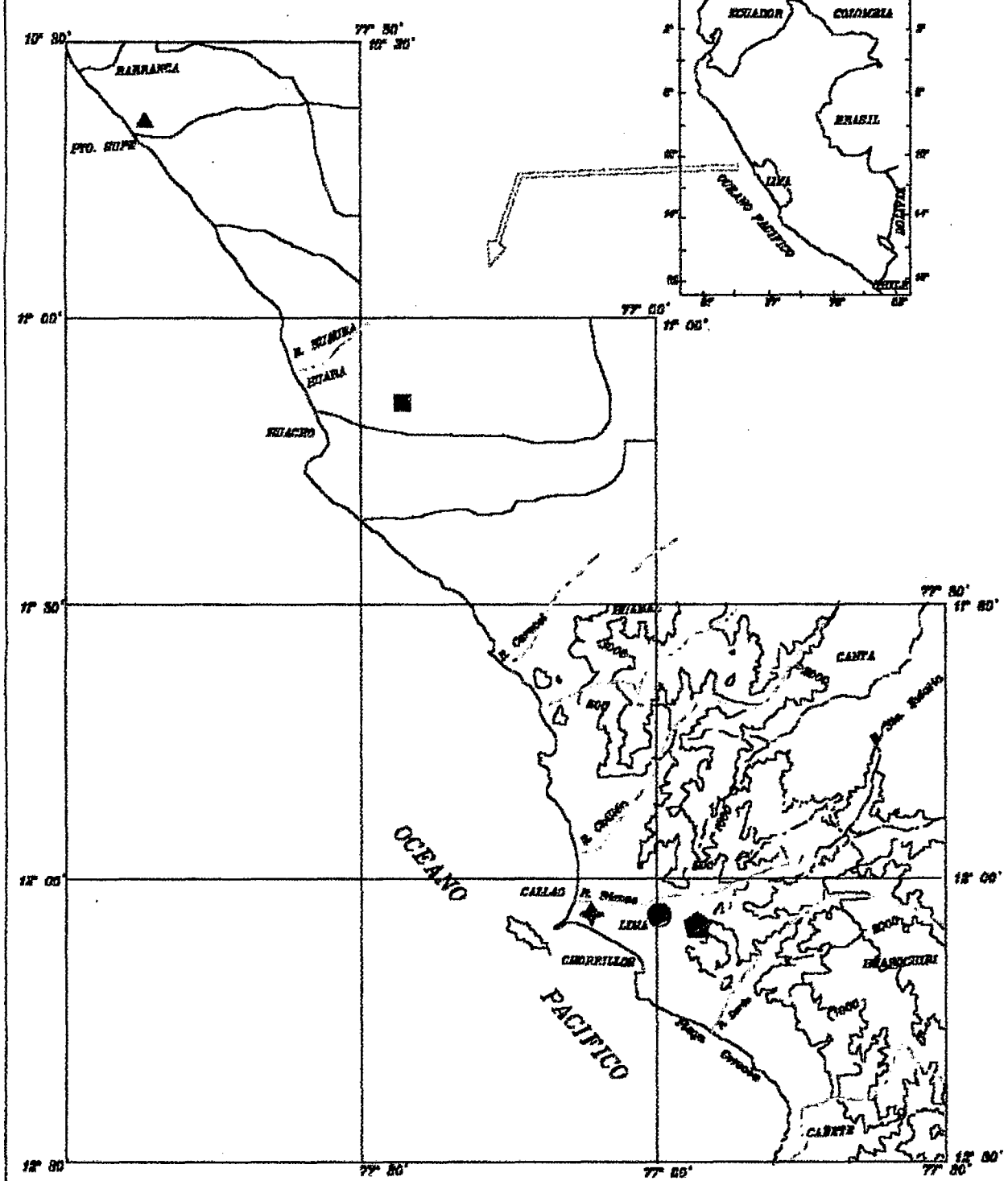


ANEXO IV

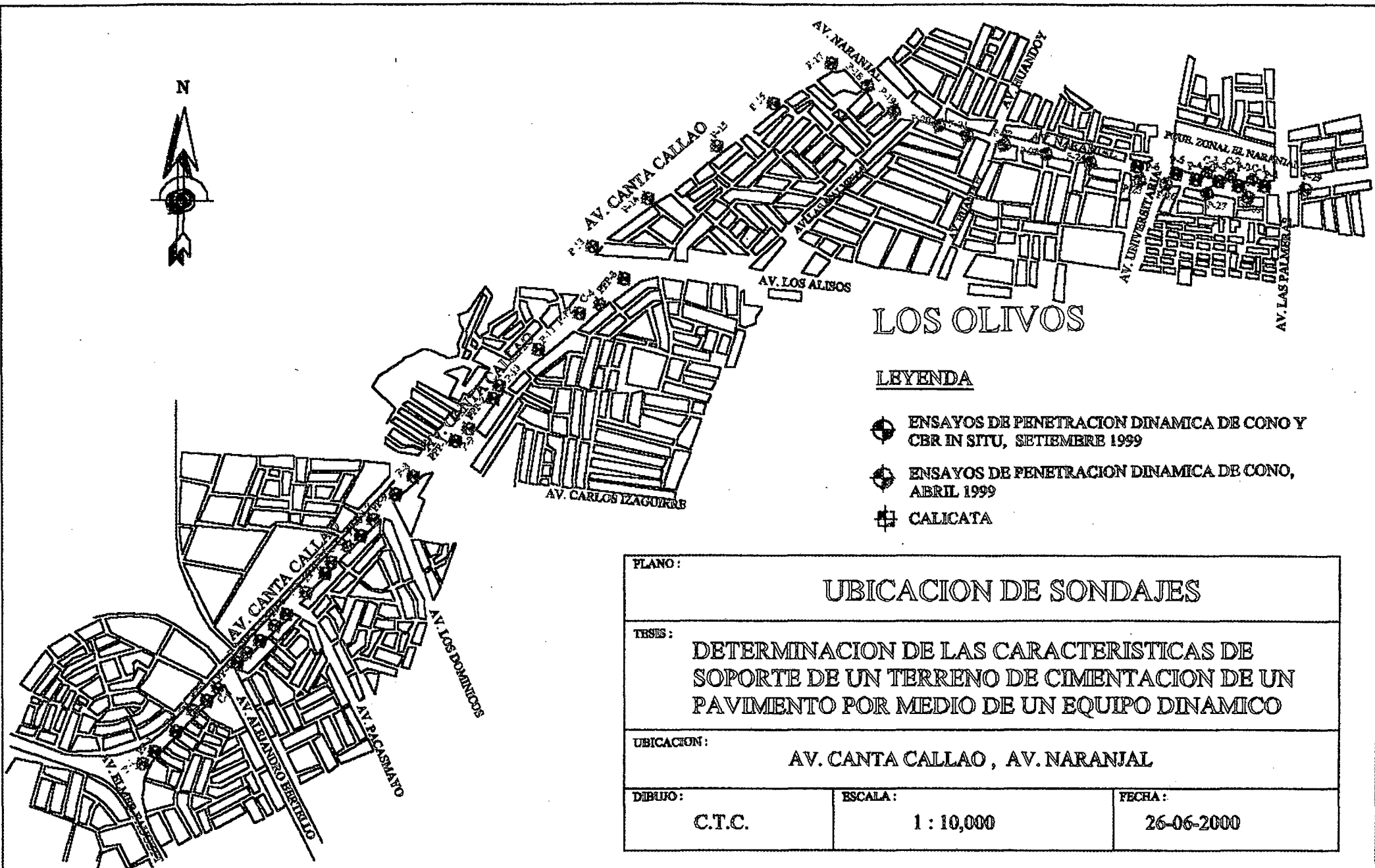
PLANO DE UBICACIÓN Y FOTOS

**PLANOS DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS
DE SONDAJE DE PENETRACIÓN DINAMICA
Y CBR IN SITU**

UBICACION DE LAS AREAS DE ENSAYOS






- ▲ AV. GRAU, AV. CALLAO, AV. TARAPACA - DIST. PUERTO SUFE - PROV. BARRANCA
- AV. LURIAMA, AV. PERU - DISTR. HUALMAY - PROV. HUACHO
- AV. NARANJAL, AV. CANTA CALLAO - DISTR. LOS OLIVOS - PROV. LIMA
- ◆ AV. EL SOL - DISTR. CANTO GRANDE - PROV. LIMA
- ◆ AV. FERROCARRIL - DISTR. EL CALLAO - PROV. EL CALLAO



LOS OLIVOS

LEYENDA

-  ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA DE CONO Y CBR IN SITU, SETIEMBRE 1999
-  ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA DE CONO, ABRIL 1999
-  CALICATA

FLANO:		
UBICACION DE SONDAJES		
TESIS:		
DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE SOPORTE DE UN TERRENO DE CIMENTACION DE UN PAVIMENTO POR MEDIO DE UN EQUIPO DINAMICO		
UBICACION:		
AV. SANTA CALLAO , AV. NARANJAL		
DIBUJO:	ESCALA:	FECHA:
C.T.C.	1 : 10,000	26-06-2000

FOTOS

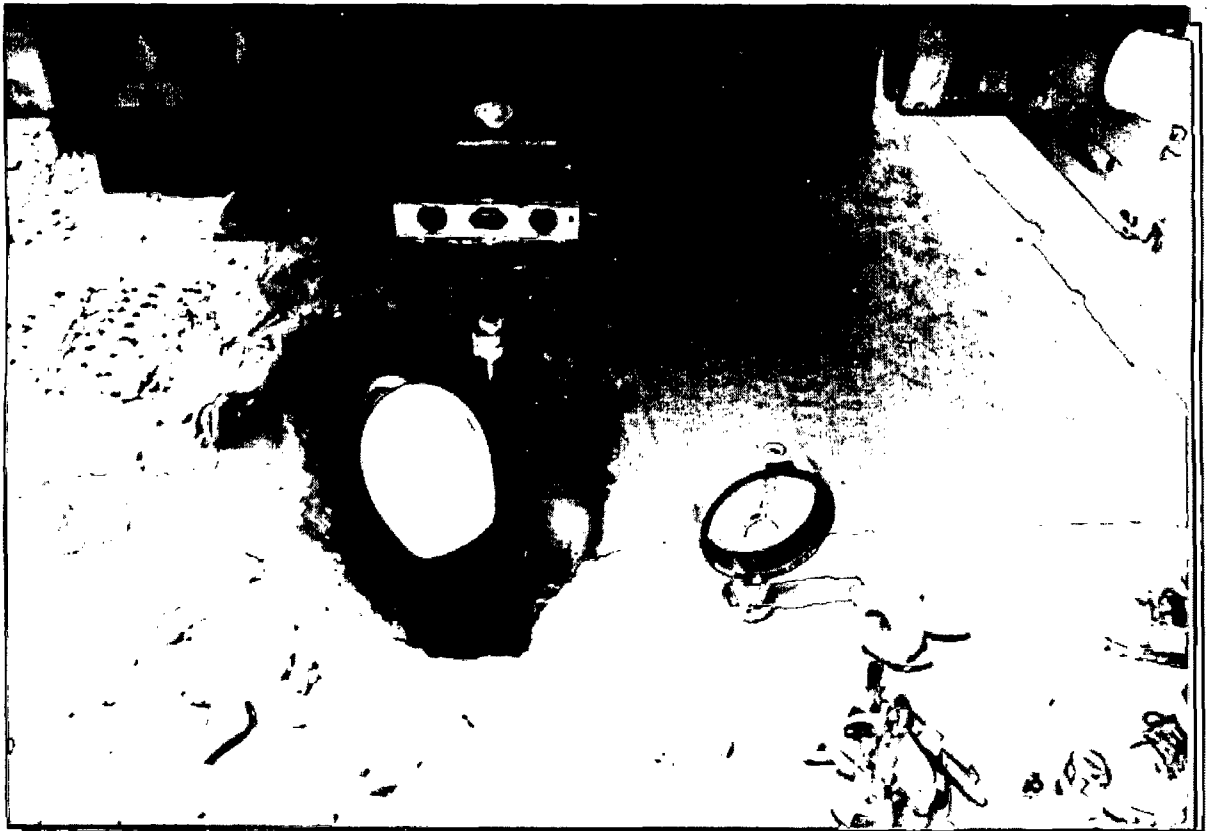


FOTO N° 1 Se ubica el camión en la calicata, luego se nivela el suelo sobre la cual se va ensayar tratando en lo mínimo se pierda humedad.

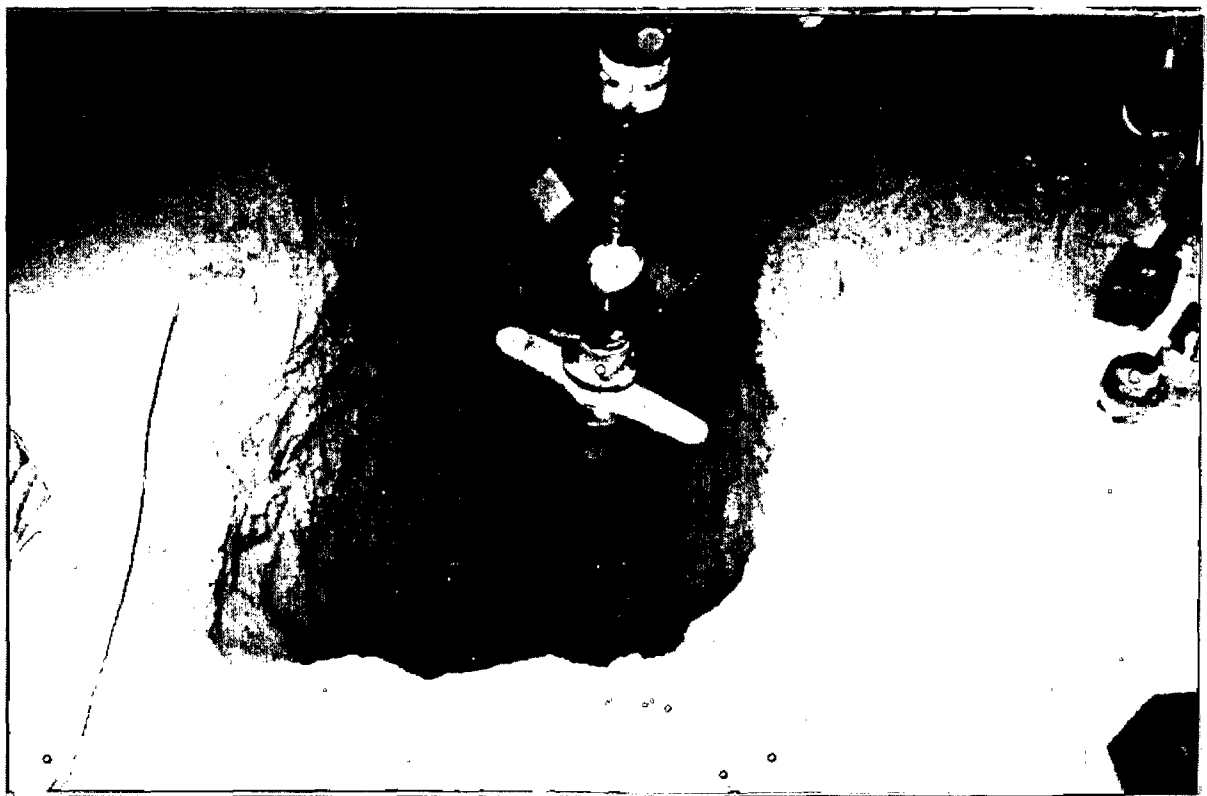


FOTO N° 2 Se coloca el anillo de carga y utilizando la plomada se ubica el pistón adherido las aletas para colocar el anillo de deformaciones.



FOTO N° 3 Luego de la colocación del pistón y a una presión de tal manera que se mantenga vertical se va colocando los anillos de sobrecarga

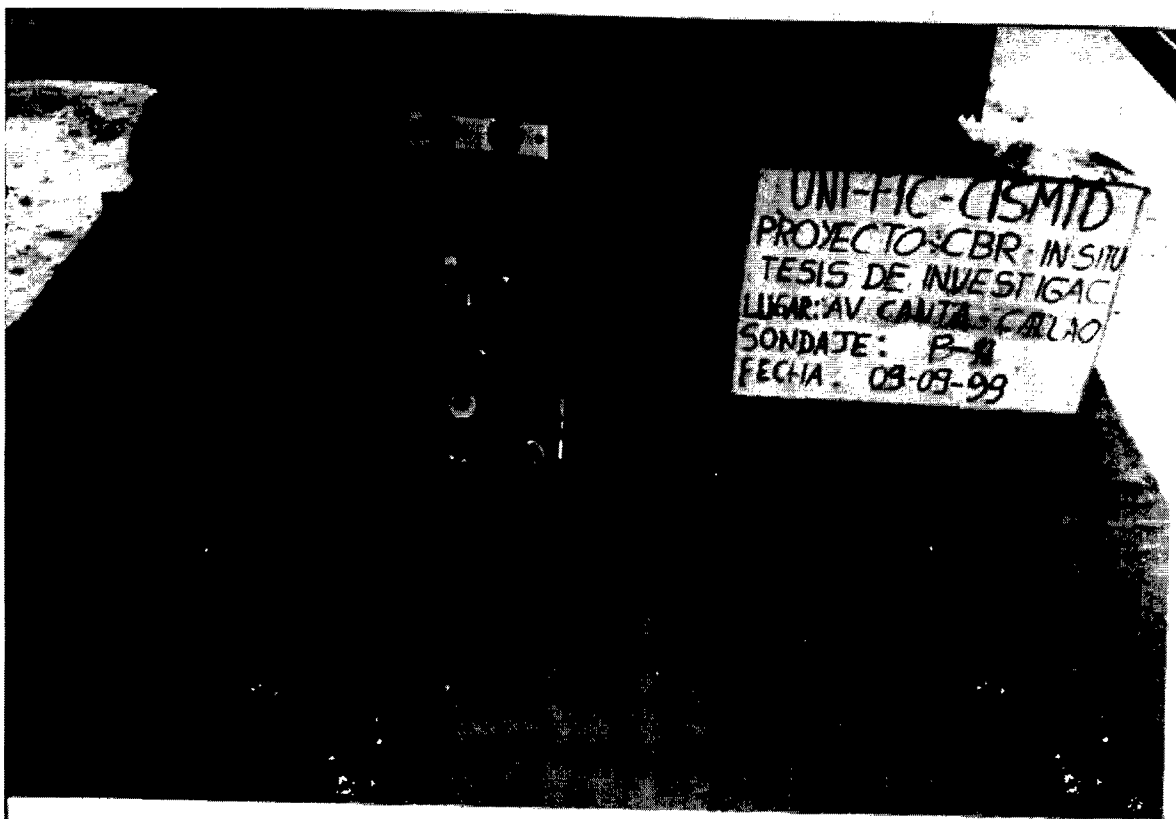


FOTO N° 4 Una vez colocado el equipo de CBR, se encuentra listo para iniciar el ensayo



FOTO N° 5 Se realiza el ensayo con una persona que realiza el giro de la manivela y controla las lecturas de deformaciones, otra persona apunta las lecturas de carga

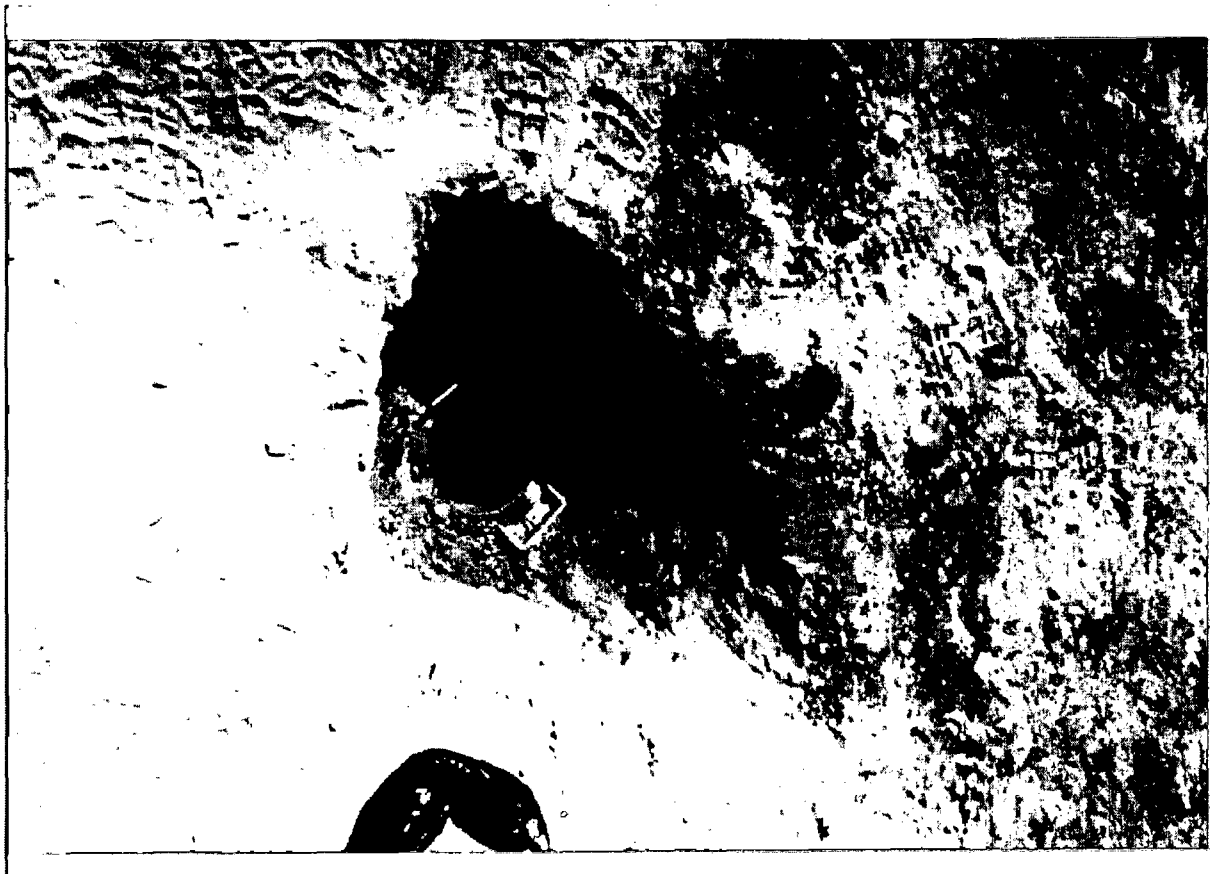


FOTO N° 6 Luego de realizar los ensayos de CBR se procedió a realizar el ensayo de densidad de campo



Foto N°7 Muestra extraída del sondaje P3 del 09/09/99, arcilla limosa, se puede ver en el estrato superior mayor cantidad de vacíos que en el inferior se indica el limite de cambio de material.



Foto N°8 Se observa el desarrollo del ensayo de PDC, realizándose con tres personas y cerca del sondaje P2 del 09/09/99 donde se realizó el ensayo de CBR in situ.



Foto N°9 El ensayo de PDC cerca al lugar del ensayo de CBR in situ, en la evaluación del pavimento de la Av. Naranjal.



Foto N°10 El ensayo de PDC realizado sobre el nivel del suelo natural, excavando previamente el suelo contaminado (Av. Santa Callao).

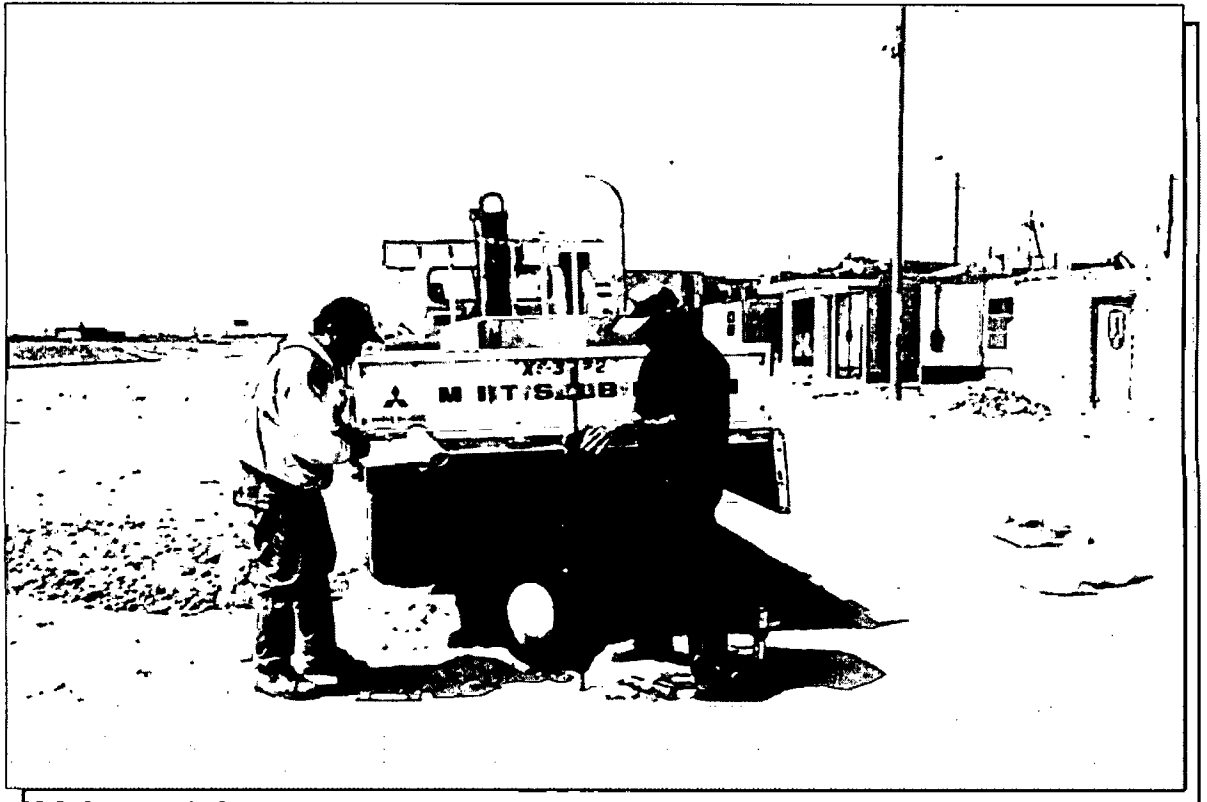


Foto N°11 Ensayo de CBR in situ cerca al punto del ensayo de PDC sobre el nivel del suelo natural.

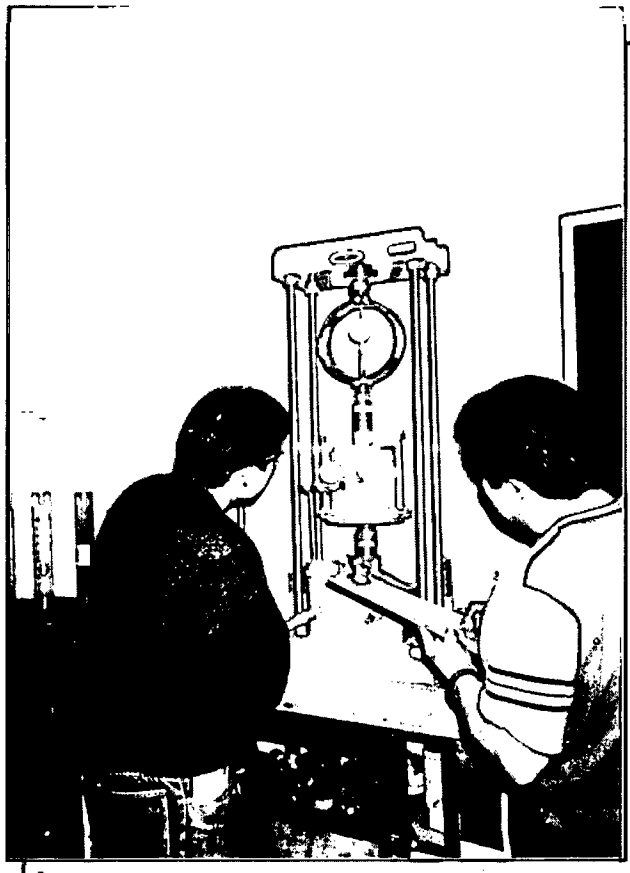


Foto N°12 El ensayo de CBR de Laboratorio sobre muestras remoldeadas (Laboratorio del CISMID).



Foto N°13 En la evaluación de la vía de la Av. Perú, Dist. Santa María de la Prov. Huacho se realiza el ensayo de PDC, previamente eliminado el suelo.



Foto N°14 En la Av. Tarapaca Dist. Supe de la Prov. Barranca se realiza el ensayo de PDC, sobre el nivel de afirmado observando suelo arenoso.

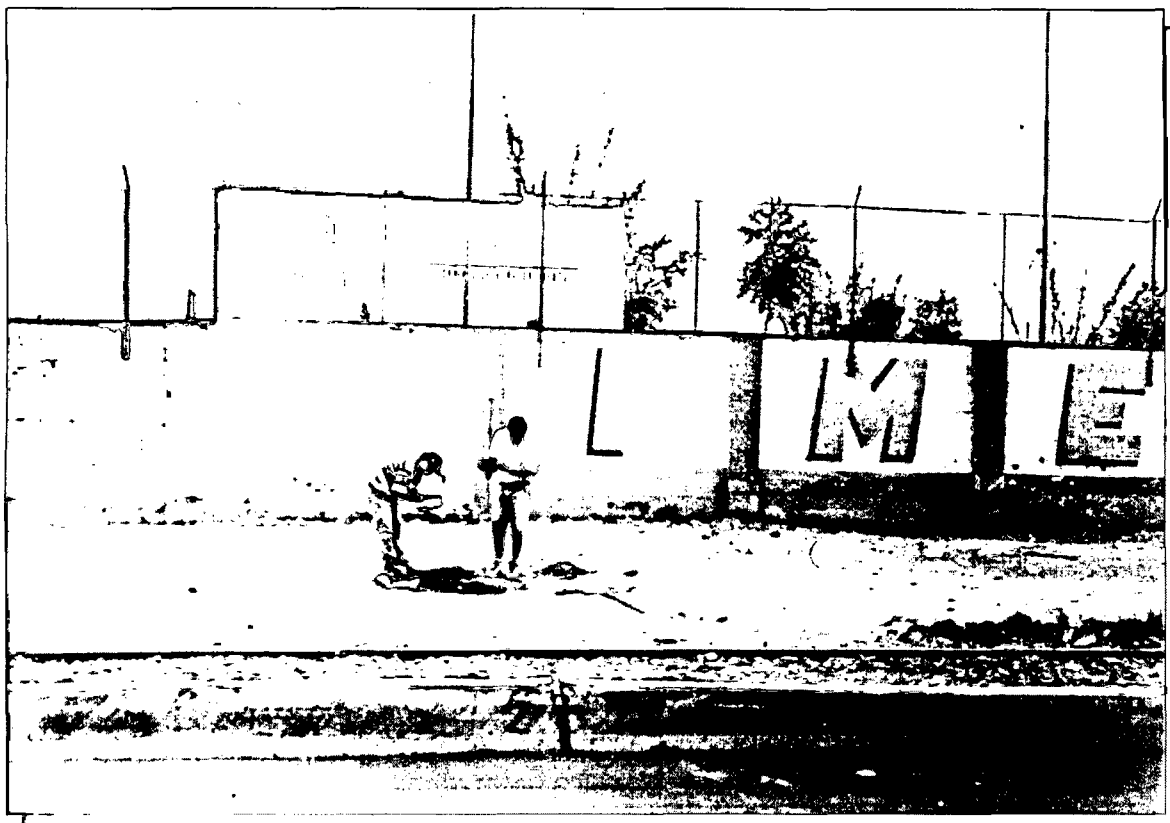


Foto N°15 Ensayo de PDC en la Av. Gambeta del Proyecto Litoral Norte



Foto N°16 Ensayo de PDC sobre el nivel del terreno natural y a lado de la calicata, ubicada en la Av. Gambeta del Proyecto Litoral Norte.

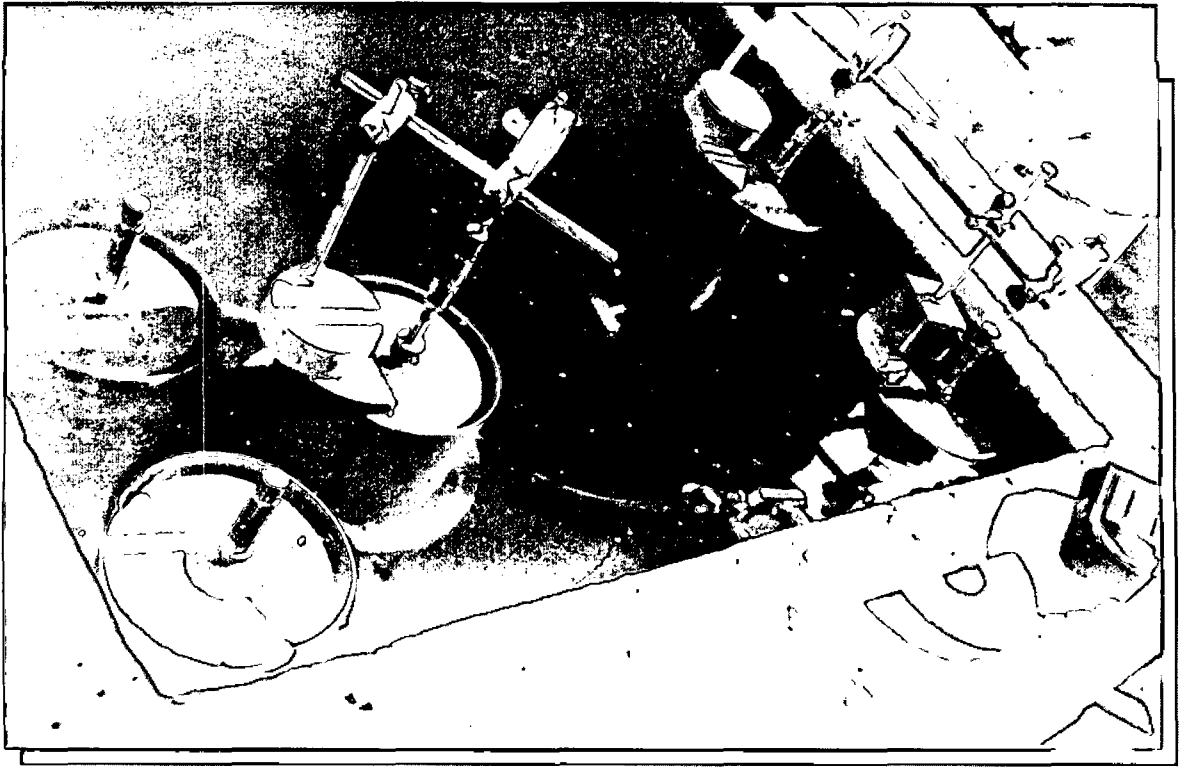


Foto N°17 Saturación de las muestras remoldeadas e inalteradas en el Laboratorio del CISMID.



Foto N°18 Preparación de las muestras inalteradas obtenidas del proyecto Carretera Carrozable Tiwinza para ser ensayadas en el Laboratorio (CISMID).

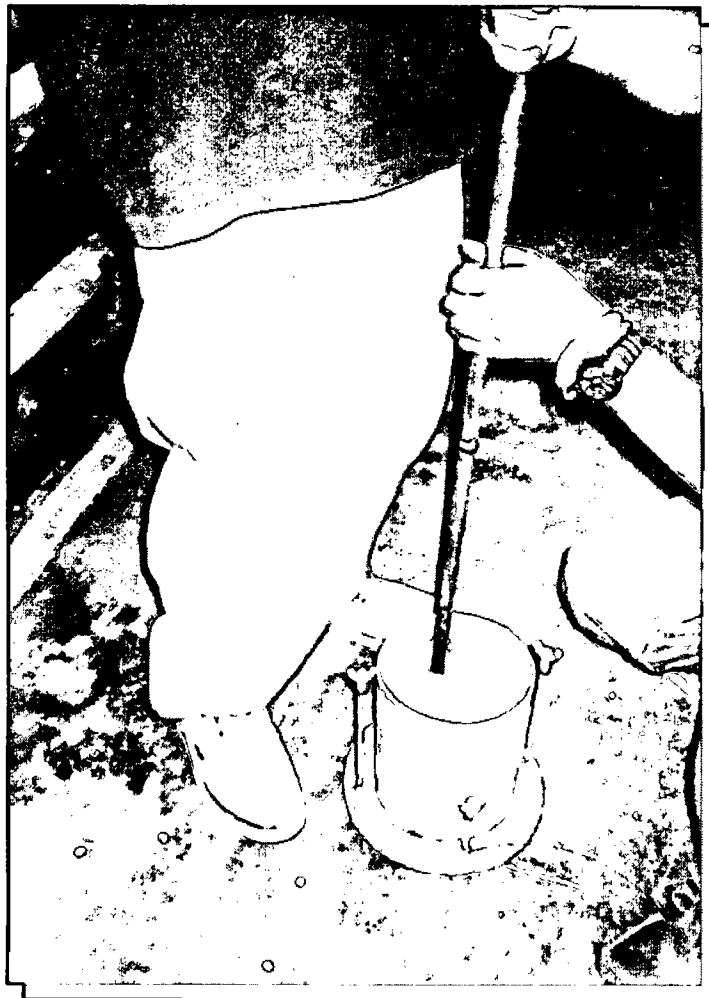


Foto N°19 Ensayo de Penetración Dinámica de Cono sobre muestras en los moldes de CBR de Laboratorio, realizándose en tres puntos equitativos sin alterar la superficie.



Foto N°20 Ensayo de PDC sobre el nivel del afirmado de la Carretera Imperial - Izcuchaca en el Departamento de Huancayo.