

XI CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO

Del 12 al 16 de Noviembre 2001

**EVALUACION DE LAS CAPACIDAD DE SOPORTE DEL
TERRENO POR MEDIO DE UN EQUIPO DE
PENETRACION DINAMICA**

1^{er}AUTOR : Ing. CARLOS A. TUPIA CORDOVA

2^{do}AUTOR : Dr. Ing. JORGE ALVA HURTADO

OBJETIVO

Obtener información de las condiciones reales en la que se encuentra el terreno de cimentación de un pavimento y establecer en forma estadística; los resultados que se obtendrá en laboratorio por medio de un equipo dinámico.

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

CONCEPTO DEL CBR:

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad.

La metodología utilizada en la ejecución de los ensayos es la normada por ASTM-D 1883 para los ensayos de CBR de laboratorio, ASTM-D 4429-93 para los ensayos de CBR in situ.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO CBR in situ



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.

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



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



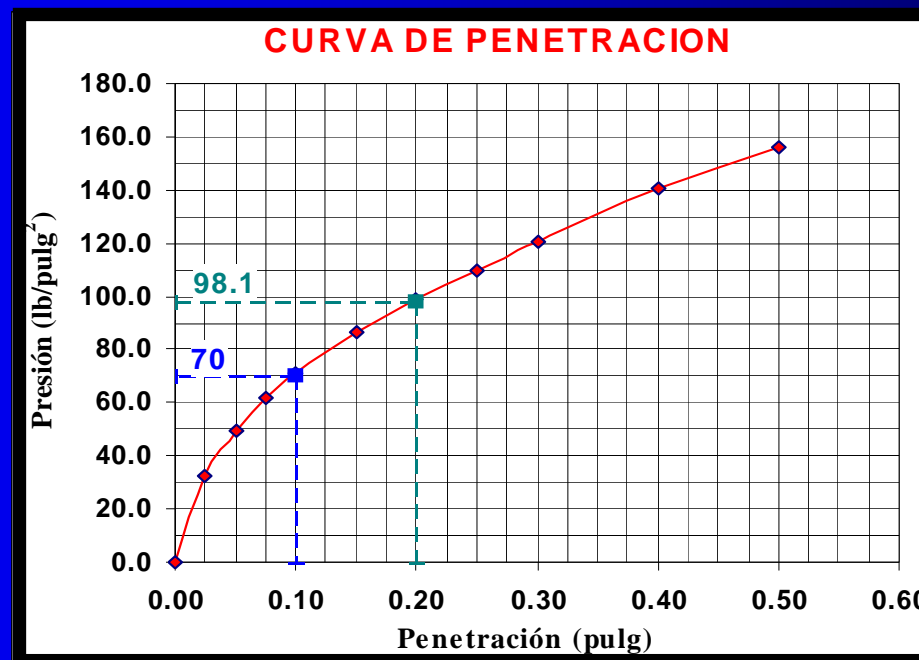
Una vez colocado el equipo de CBR, se encuentra listo para iniciar el ensayo.



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

RESULTADOS DEL ENSAYO CBR

Ensayo	: P-1	Penetración		Lect. Anillo (10 ⁻² mm)	Presion (lb/pulg ²)
Profundidad	: 0,40 m	(mm)	(pulg)		
Clasf. (SUCS)	: MH	0.000	0.000	0.00	0.00
Clasf. (AASHTO)	: A-7-5 (17)	0.635	0.025	2.10	32.42
		1.270	0.050	3.20	49.40
Densidad Natural	: 1.320 g/cm ³	1.905	0.075	4.00	61.75
Humedad Natural	: 18.20%	2.540	0.100	4.60	71.01
		3.810	0.150	5.60	86.45
RESULTADOS		5.080	0.200	6.40	98.80
C.B.R (0.1")	: 7.00%	6.350	0.250	7.10	109.61
C.B.R (0.2")	: 6.54%	7.620	0.300	7.80	120.42
		10.160	0.400	9.10	140.49
		12.700	0.500	10.10	155.92





**PENETRACION DINAMICA
DE CONO
(PDC)**

CONCEPTO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

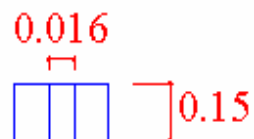
- /El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados.
- /Es un **método no destructivo** capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.
- /El equipo puede ser utilizado en: Identificación 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

DESCRIPCION DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO

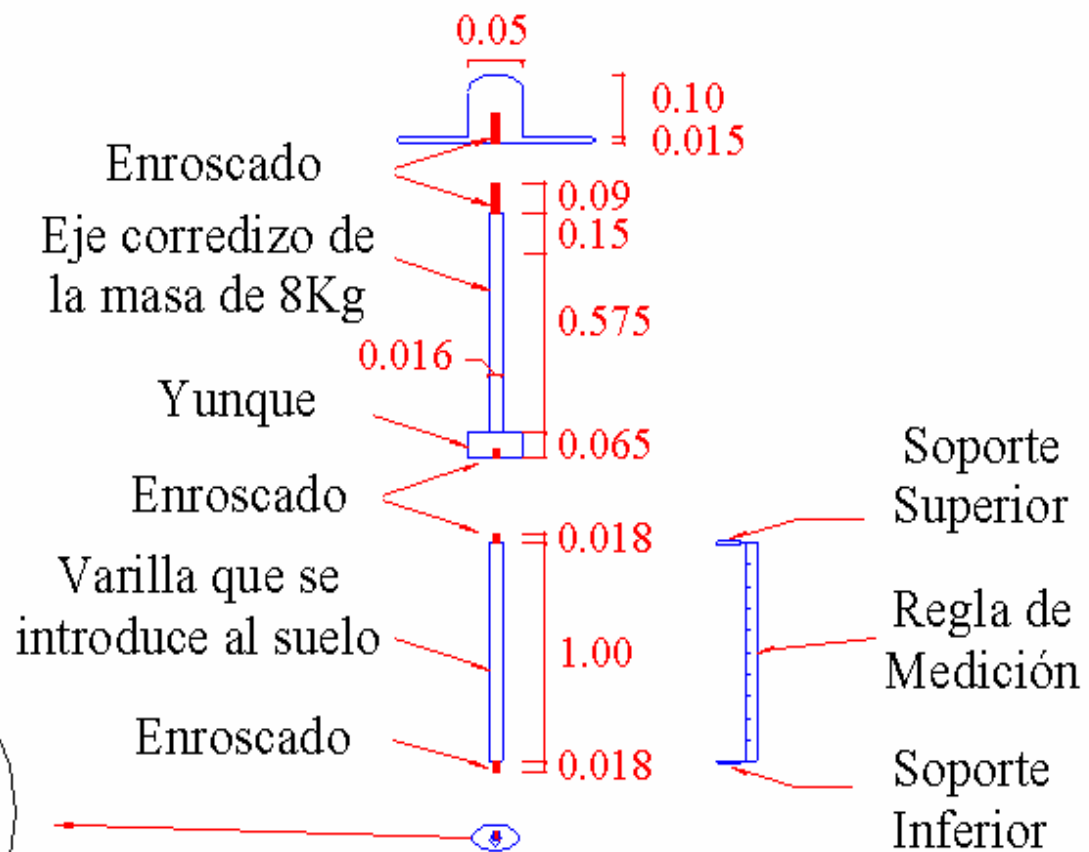
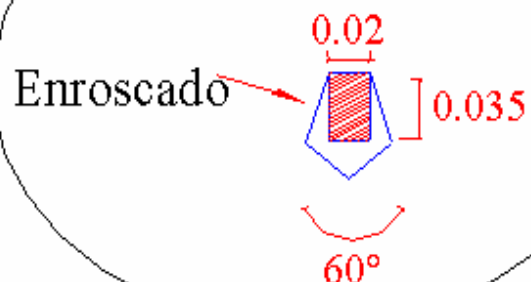
- /El modelo consta de una varilla de acero de penetración de 16mm. de diámetro.
- /En su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y 20mm. de diámetro.
- /El PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm.
- /Para realizar las lecturas posee una regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes, un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las lecturas y un soporte inferior fijo a la regla y unido a la barra de penetración.

EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO (PDC)

Masa de 8Kg



MODELO DE CONO



PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO



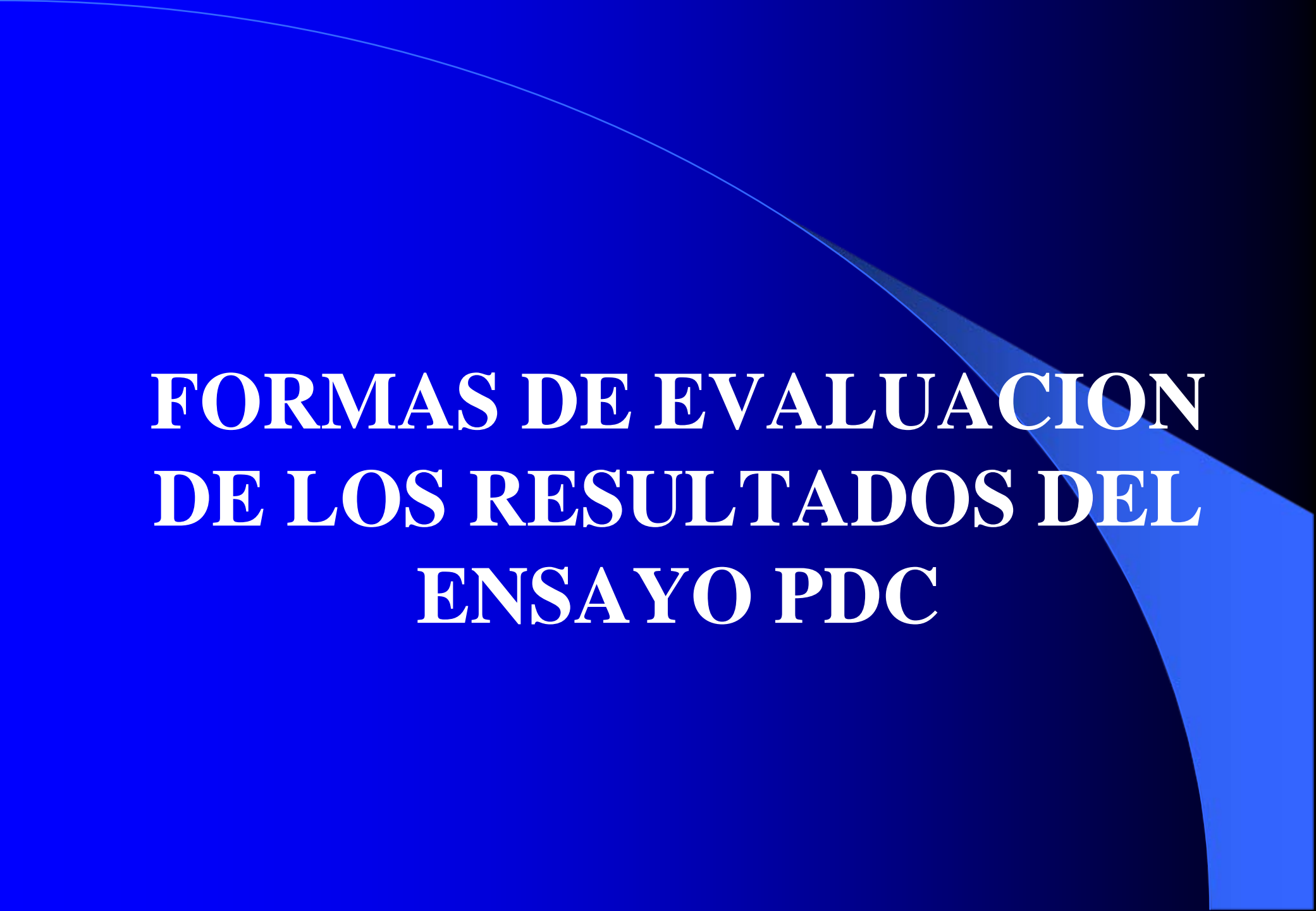
Una vez ubicado el lugar de ensayo, se ubica el equipo PDC verticalmente sobre un nivel de terreno donde no se encuentre directamente con piedras que obstaculicen el ensayo.



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



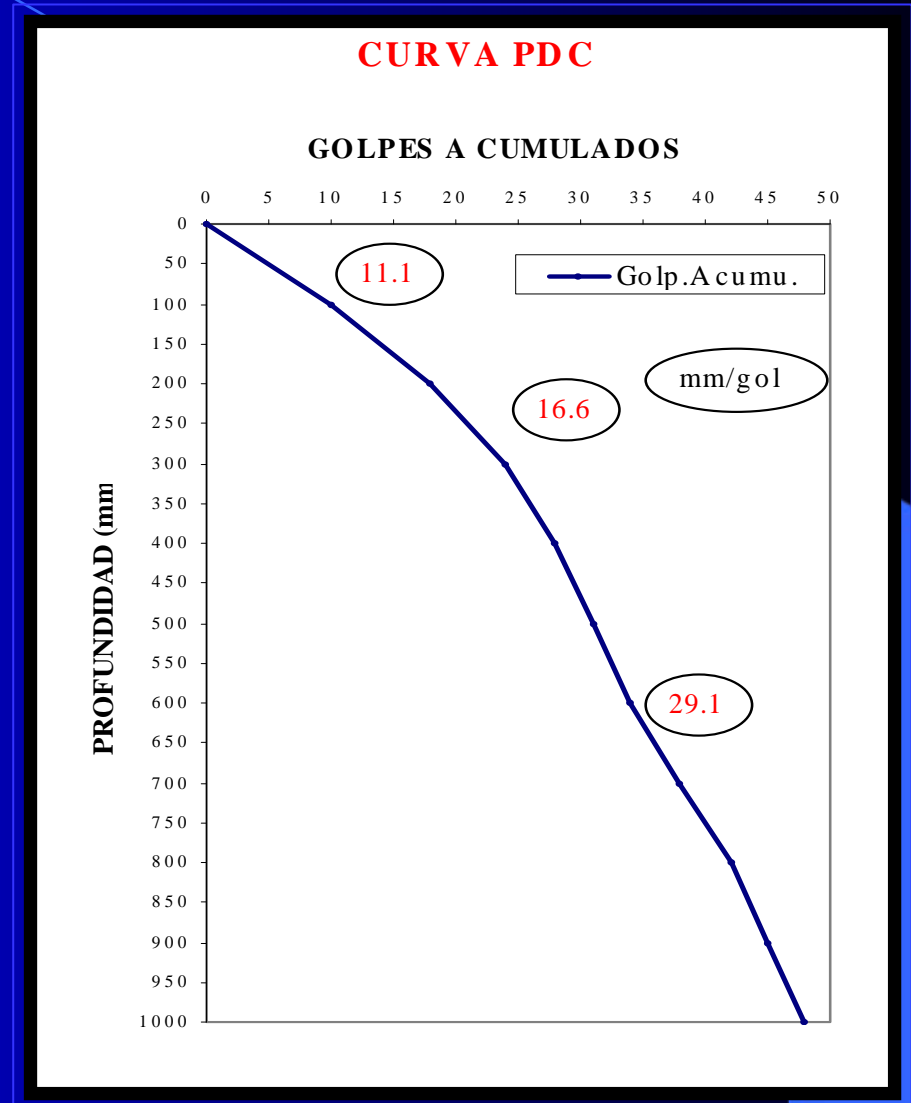
- / Al iniciar el ensayo con el penetrómetro se introduce el cono asentándolo 2" en el fondo para garantizar que se encuentre completamente confinado
- / El proceso de golpe con el martillo es levantarlo hasta la parte superior del eje de recorrido y dejarlo caer, no debe golpearse la parte superior, tampoco impulsar el martillo hacia abajo.
- / En los formatos de apuntes de las medidas de penetración se indica la profundidad de rechazo del equipo.



**FORMAS DE EVALUACION
DE LOS RESULTADOS DEL
ENSAYO PDC**

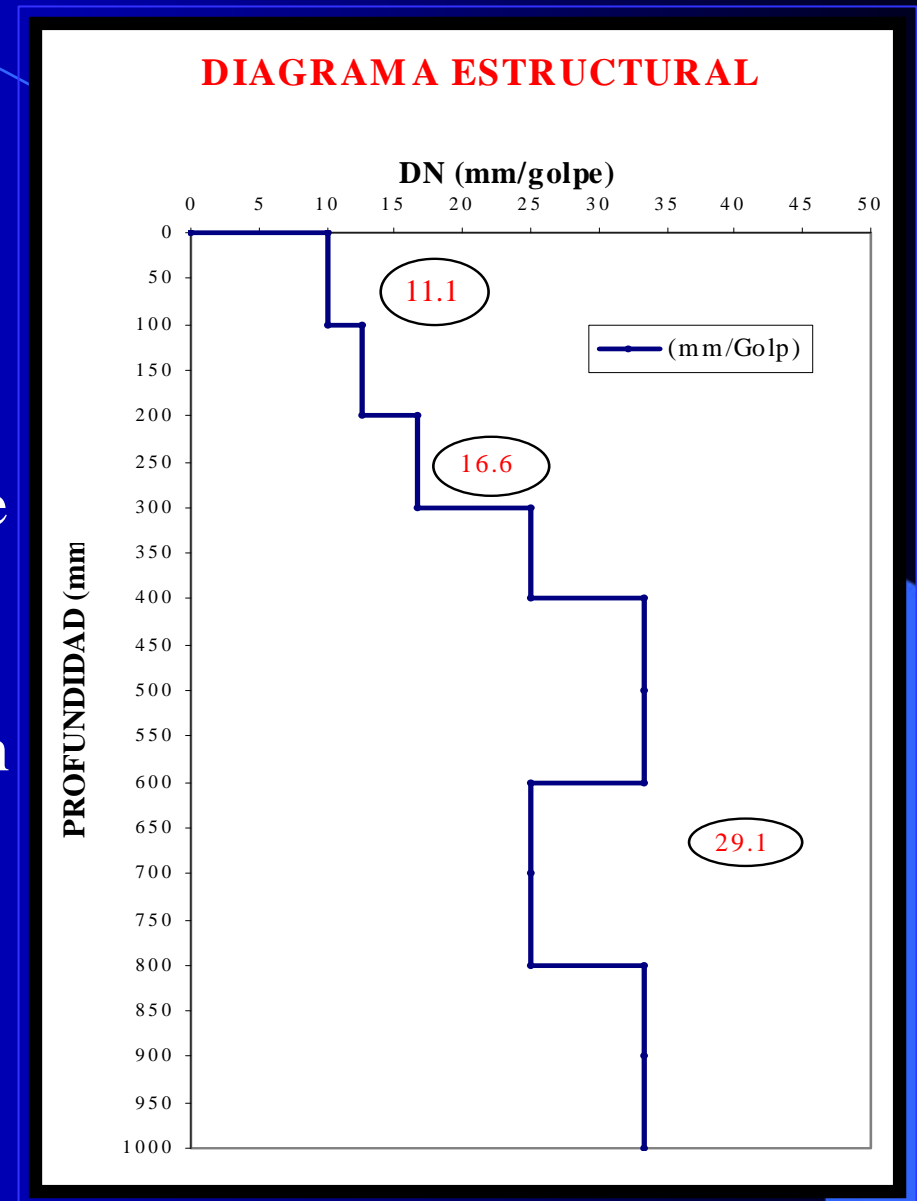
I. NUMERO DE GOLPES VS PROFUNDIDAD O CURVA PDC

/Cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC, indicando una medida de su resistencia



II. 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
- /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.



III. CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL

/Relaciona el porcentaje de golpes requeridos para penetrar cierta profundidad, respecto del numero 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

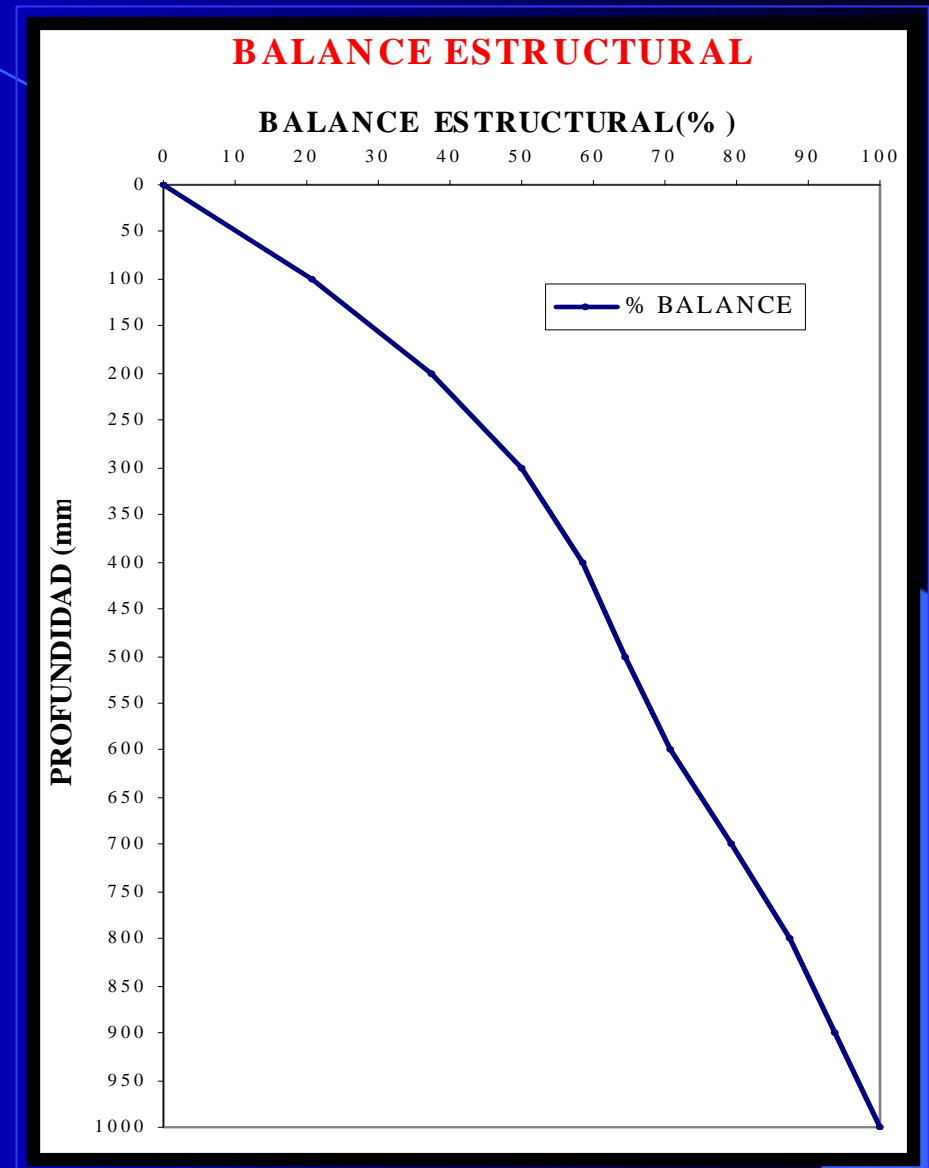


DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE CAPAS

CURVA PDC

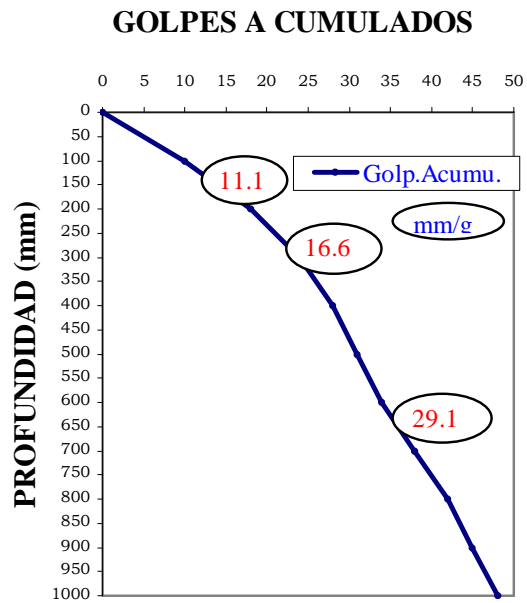
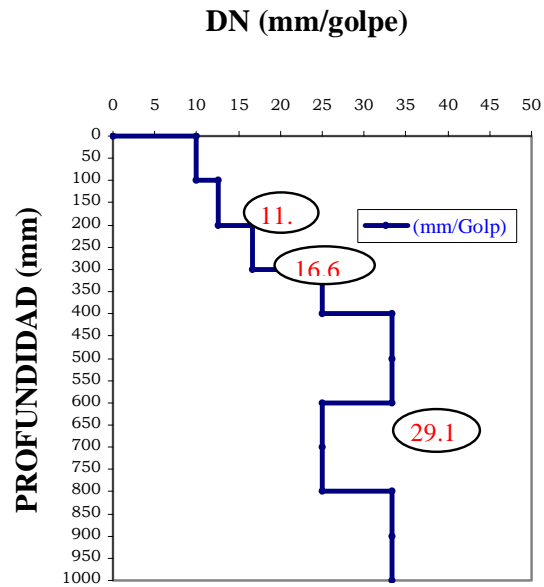
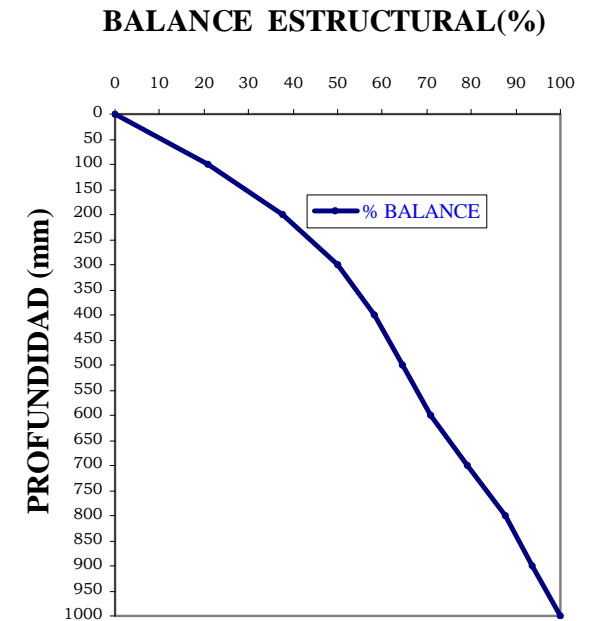


DIAGRAMA ESTRUCTURAL



BALANCE ESTRUCTURAL



**RESUMEN DE LOS
ENSAYOS DE
LABORATORIO Y
PENETRACION
DINAMICA DE CONO**

PDC Nro.	Prof. (m)	PDC (mm/golp)	CLASF. SUCS	CLASF. AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	0.40 - 1.00	29.17	MH	A7-5 (17)	1.56	22.4	56.46	32.99	23.47
2	0.40 - 1.00	16.67	MH	A7-5 (17)	-	-	56.55	30.83	25.72
3	0.40 - 0.70	23.33	MH	A7-5 (18)	-	-	60.14	30.04	30.1
	0.70 - 1.00	23.33	CL	A6 (10)	1.74	20	60.14	30.04	30.1
4	0.40 - 1.00	13.79	CL	A7-6 (8)	1.81	14.3	41.88	20.74	21.14
5	0.40 - 1.00	35.71	CL	A7-6 (12)	-	-	41.13	21.57	19.56
6	0.35 - 1.00	25	CL	A7-6 (12)	-	-	40.23	18.82	21.41
1	0.20 - 0.60	12.12	CL	A7-6 (13)	-	-	37.04	22.16	14.88
2	0.30 - 0.60	13.13	ML	A4 (8)	-	-	NP	NP	NP
3	0.60 - 1.00	8.51	ML	A4 (8)	1.81	12.2	40.13	NP	NP
4	0.40 - 1.00	15	ML	A4 (8)	-	-	26.74	NP	NP
5	0.35 - 0.70	14.29	ML	A4 (8)	-	-	25.54	NP	NP
6	0.65 - 1.00	10	ML	A4 (8)	-	-	34.5	NP	NP
7	0.40 - 1.00	16.67	ML	A4 (8)	-	-	29.79	NP	NP
8	0.35 - 0.70	11.11	CL	A6 (13)	1.79	17.3	36.19	17.86	18.33
9	0.40 - 0.80	21.74	CL	A6 (13)	-	-	39.54	20.35	19.19
1	0.40 - 0.70	16.67	ML	A7 (19)	-	-	41.35	NP	NP
2	0.30 - 0.60	20	ML	A7 (19)	-	-	31.12	NP	NP
3	0.50 - 0.70	7.69	ML	A4 (10)	1.79	14.6	29.91	NP	NP

PDC Nro.	Prof. (m)	CBR In situ	CBR (%) Laboratorio			W (%)	Yn (gr/cc)	Yd (gr/cc)
			95%	98%	100%			
1	0.40 - 1.00	7	9.02	9.82	10.2	18.24	1.32	1.12
2	0.40 - 1.00	11.1	-	-	-	18.32	1.26	1.06
3	0.40 - 0.70	8.3	-	-	-	17.92	1.12	0.95
	0.70 - 1.00	6.2	11.78	13.45	14.3	18.6	1.36	1.14
4	0.40 - 1.00	10.6	5.89	6.25	6.5	17	1.31	1.12
5	0.40 - 1.00	12	-	-	-	18.5	1.49	1.26
6	0.35 - 1.00	7.8	-	-	-	18.3	1.28	1.08
1	0.20 - 0.60	12.3	-	-	-	7.2	1.25	1.17
2	0.30 - 0.60	15.2	-	-	-	6.15	1.18	1.11
3	0.60 - 1.00	10.6	24.36	35	42	6.5	1.5	1.41
4	0.40 - 1.00	11.2	-	-	-	7.95	1.48	1.37
5	0.35 - 0.70	13.8	-	-	-	7.18	1.43	1.33
6	0.65 - 1.00	17.6	-	-	-	10.67	1.24	1.12
7	0.40 - 1.00	9.6	-	-	-	4.3	1.68	1.61
8	0.35 - 0.70	21.5	10.52	15.06	18	2.986	1.3	1.26
9	0.40 - 0.80	6.4	-	-	-	8.82	1.29	1.19
1	0.40 - 0.70	5.5	-	-	-	5.74	-	-
2	0.30 - 0.60	6.2	-	-	-	3.6	-	-
3	0.50 - 0.70	27.5	17.16	18.43	19.5	5.99	1.47	1.39

ANALISIS MATEMATICO DE LA CORRELACION

MODELO MATEMATICO

La relación entre la resistencia a la penetración por punta y la profundidad de hinca 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.

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

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

Siendo:

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

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.

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).

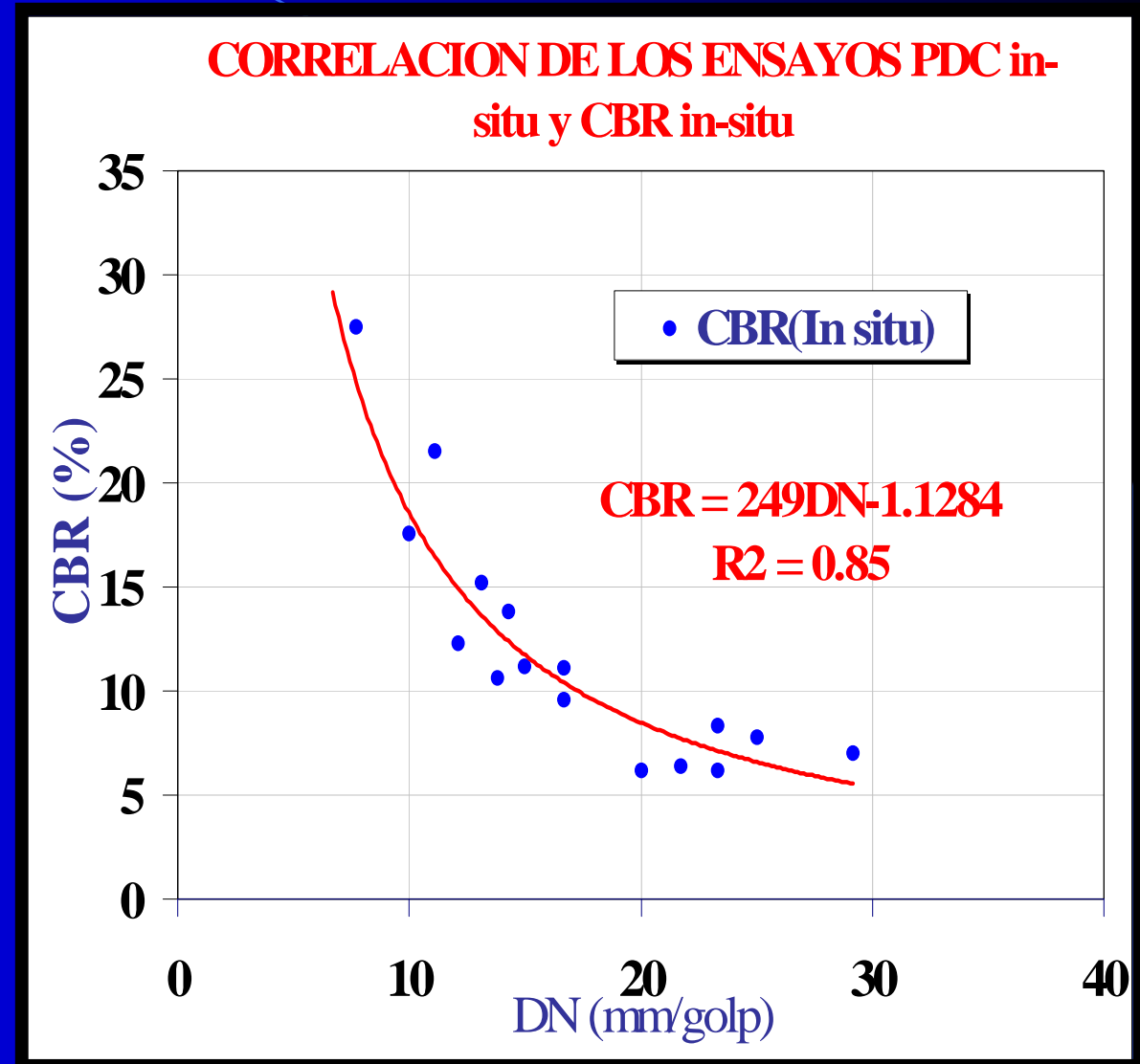


CORRELACION OBTENIDA

CORRELACION DE LOS ENSAYOS PDC IN-SITU Y CBR IN-SITU

/Esta correlación ha sido 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 permitieron identificar y comparar el suelo evaluado.

/Esta relación se ajusta mejor a medida que se incorporen mayor pares de valores sugeridos



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

**A CONTINUACIÓN, UTILIZANDO EL EQUIPO DE
PDC, SE REALIZÓ UNA EVALUACIÓN
GEOTECNICA EN LOS SIGUIENTES ESTUDIOS**

/Proyecto Especial Periférico Vial Norte en la Prov. Lima

/Proyecto Carretera Imperial - Izcuchaca en Huancayo

PROYECTO ESPECIAL PERIFÉRICO VIAL NORTE EN LA PROV. LIMA

- / 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.

COMPARACION DE LOS REGISTROS DE CALICATA Y LOS SONDAJES DEL ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

PROYECTO PERISFERICO NORTE
AV. EL SOL DISTR. CANTO GRANDE
PROG.13+226

PROG.13+241

PDC1

(15m atrás de PS 28)

0m
SM (suelta)
0.20m
5.88mm/golp
0.45m
7.04mm/golp
0.95m
11.90mm/golp
1.20m

PS 28

0m
Relleno
0.20m
SM
Yd=1.72
CH=5.45
CBR(95%)=17.2
CBR(campo)=20.3
1m
SP
1.20m

PDC2

(Al lado de PS 28)

0m
SM (suelta)
0.30m
50mm/golp
0.40m
10.53mm/golp
0.60m
4.76mm/golp
0.70m
6.82mm/golp
.85m
12.50mm/golp
.95m
6.76mm/golp
1.20m
16.67mm/golp
1.30m

PDC3

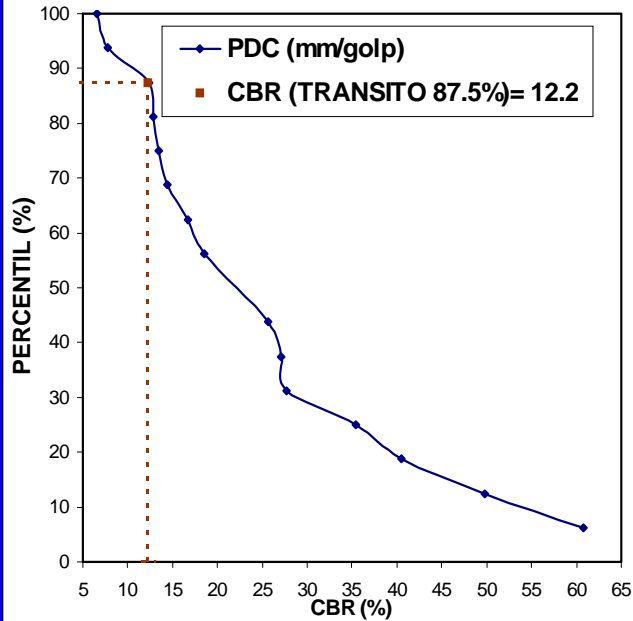
(A 20m delante de PS28)

SM (suelta)
0.20m
4.17mm/golp
0.50m

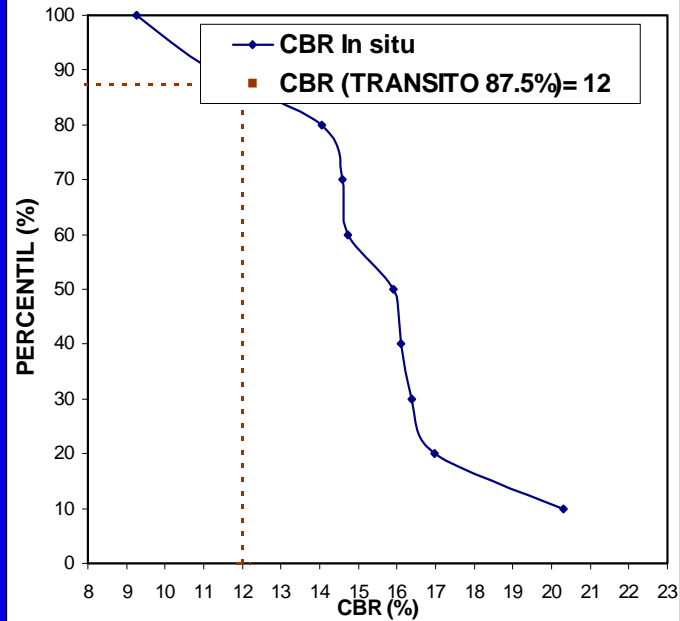
¡Rebote!

CALCULO DEL CBR IN SITU FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

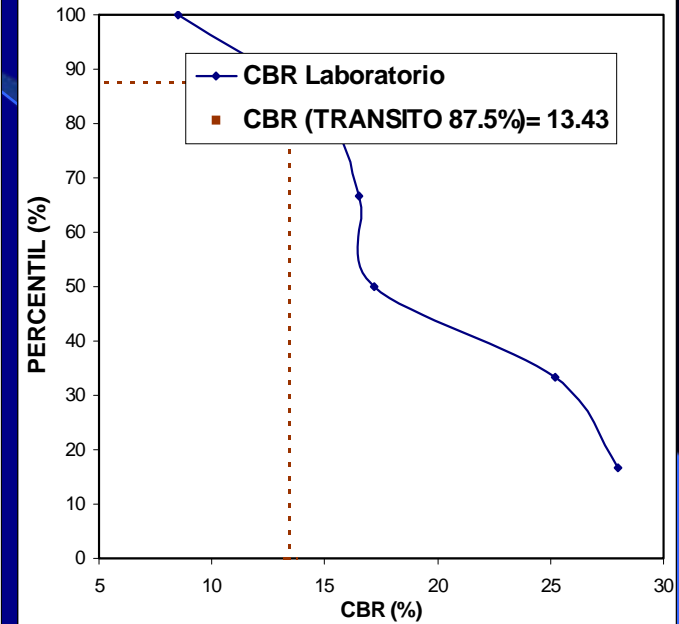
CBR (Correlación) vs PERCENTIL



CBR (Correlación) vs PERCENTIL



CBR (Laboratorio) vs PERCENTIL



RESUMEN DE LOS CBR OBTENIDOS.

CBR PDC (tesis) (%)	CBR IN-SITU (%)	CBRLABORATOR. (95%) (%)
12.2	12	13.43

/Según el nivel de vehículos, se cálculo el CBR de diseño a partir del ensayo de PDC obteniendo un valor de 12.2%, luego el CBR in situ un valor de 12 y por ultimo un CBR de laboratorio de 13.43

/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.

PROYECTO CARRETERA IMPERIAL - IZCUCHACA EN HUANCAYO

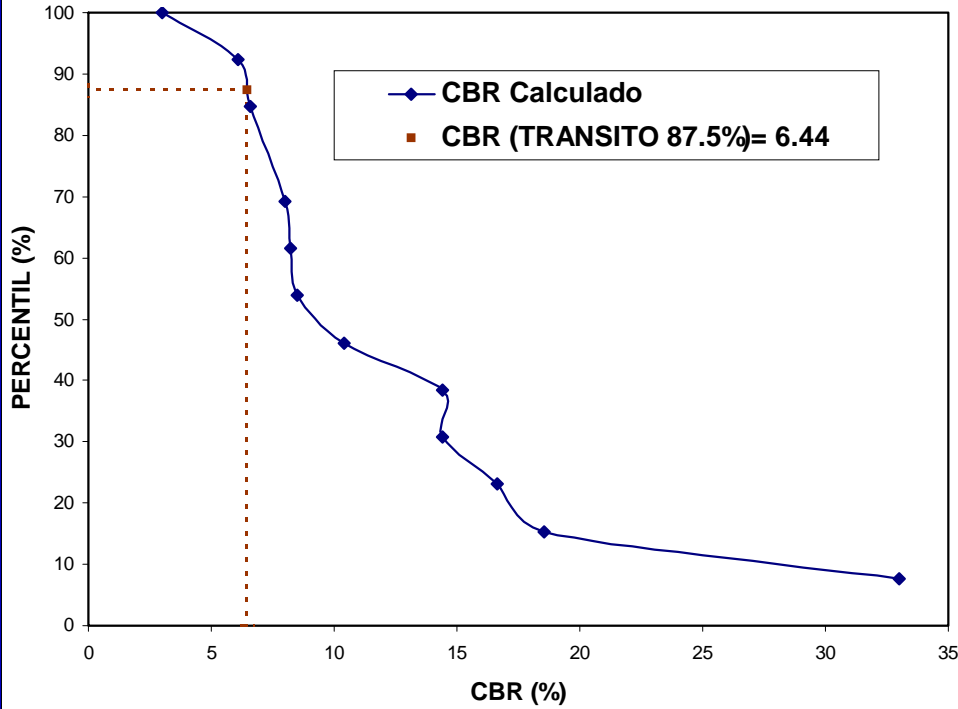
/En el estudio geotecnico con fines de pavimentación, se realizaron sondajes de exploración, ensayos de PDC y muestreo de suelos para ser enviados al laboratorio

COMPARACION DE LOS REGISTROS DE CALICATA Y LOS SONDAJES DEL ENSAYO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO

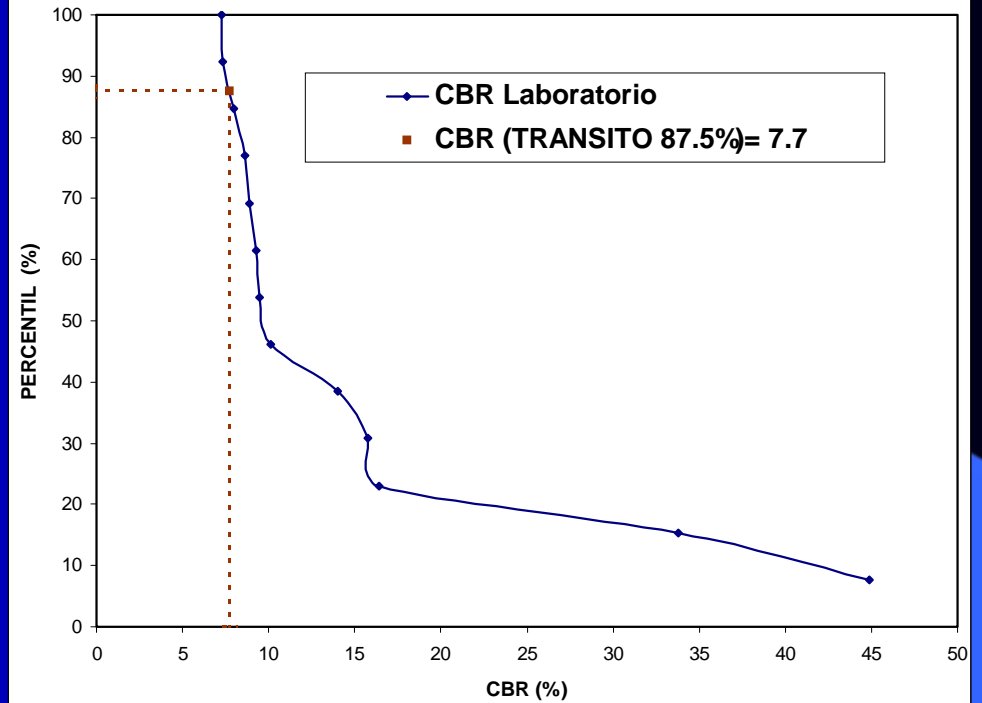
PROG. 6+000 C13	PDC27	PDC28	PROG. 7+500 PDC2
0 m	0 m	0 m	0 m
Sin ensayar	Sin ensayar	Sin ensayar	Sin ensayar
0.6 m	0.4 m	0.50 m	0.40 m
CL A-7 MDS=1.976 OCH=11.46 CBR=14.03	0.80 m	26.79 m m /go lp	CL A-6 MDS=1.929 OCH=13.79 CBR=7.26
	0.9 m 50m m /go lp		1.00 m
	25m m /go lp		
	1.05 m		
	50m m /go lp		
	1.35 m	1.30 m	
	22.22m m /go lp		
	1.55 m		
	42.86 m m /go lp	40.38 m m /go lp	
2.0 m	2.15 m		
	20.83m m /go lp	2.35 m	
	2.40 m		
	5.36m m /go lp		
	2.55 m		

CALCULO DEL CBR IN SITU FINAL SEGÚN EL PERCENTIL DEL NIVEL DE TRAFICO

CBR (Correlación) vs PERCENTIL (%)



CBR (Correlación) vs PERCENTIL (%)



RESUMEN DE LOS CBR OBTENIDOS.

C B R P D C (te s i s) (%)	C B R L A B O R A T O R . (9 5 %) (%)
6 . 4 4	7 . 7

/Del Gráfico anterior se determinó para un nivel de tránsito vehicular (87.5%), un CBR (Correlación de tesis) = 6.44 % y en el segundo grafico de correlación resultó un CBR (95%) = 7.7 %

The background is a solid blue color. A white arc starts from the top left and curves towards the right. A dark blue triangle is positioned on the right side, pointing towards the center.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

/El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), se describe como un instrumento liviano de fácil transporte para ser utilizado en lugares inaccesibles.

/Obtener la información geotécnica que brindan los métodos tradicionales para el diseño y evaluación de pavimentos, en forma rápida, confiable y económica.

/Se ha descrito proyectos donde se utilizó el equipo de PDC sobre suelos finos no gravosos. Estos resultados deben considerarse siempre y cuando el suelo presente humedad mayor de 7% e índice de penetración (DN) en un intervalo de 8 a 50 mm/golp. Los ensayos de PDC deben cubrir el tramo en estudio con una cantidad suficiente de puntos. Los valores de índice de penetración menores de 8 mm/golp indican que el suelo contiene ligera humedad o presenta partículas mayores de $\frac{3}{4}$ ".

/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.

/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.

/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.

Mas información:

Ing. Carlos Tupia

Telf : 01-4817775 (Lima)

Email: ctupia16@hotmail.com