



INTRODUCCION

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de las ciudades y carreteras, hace necesario de un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos, acorde con las necesidades creadas por el aumento de las repeticiones de carga, todo esto indica que 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.

La evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero frecuentemente éstos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ y de placa. Debido a esto, se recurre a métodos indirectos, tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, que en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo.

Uno de los ensayos más usados es el CBR (California Bearing Ratio), el cual es un índice empleado para expresar las características de resistencia y deformación de un suelo, estableciéndose en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y la que corresponde a un material de referencia.

La mayor falla de los pavimentos flexibles, se deben principalmente al desplazamiento, es decir la falla "al corte", de los materiales que componen las diferentes capas, es por esto que se diseña basándose en los ensayos al corte.

Se establece en este método una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su valor relativo como base de sustentación de pavimentos flexibles.



OBJETIVO

1. El objetivo esencial para realizar éste ensayo es el de determinar la máxima resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, además evaluar la calidad relativa del suelo para ser usado como sub-rasante, sub-base y base de pavimentos.
2. Determinar el valor del C. B. R. de los suelos, cuando son compactados y ensayados en el laboratorio, mediante la comparación entre la carga de penetración en el suelo y aquella de un material normalizado o "standard".



MARCO TEORICO

1. DEFINICION

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El CBR (California Bearing Ratio) se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

2. DETERMINACION

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

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

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1"), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2") es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

Método		Golpes	Capas	Peso del martillo N
D69	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

Tabla 1 Energías de Compactación



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

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	Regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	base, subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Tabla 2 Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

3. CALCULO DEL CBR

Para determinar el CBR del material se toma como comparación el valor de la carga unitaria que soporta la piedra triturada. La resistencia a la penetración que presenta la piedra triturada es la siguiente:

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm ²	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

La resistencia a la penetración de la piedra triturada se toma como base o carga patrón de comparación. El CBR de un suelo es la resistencia a la penetración correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración expresada en un porcentaje del valor patrón.

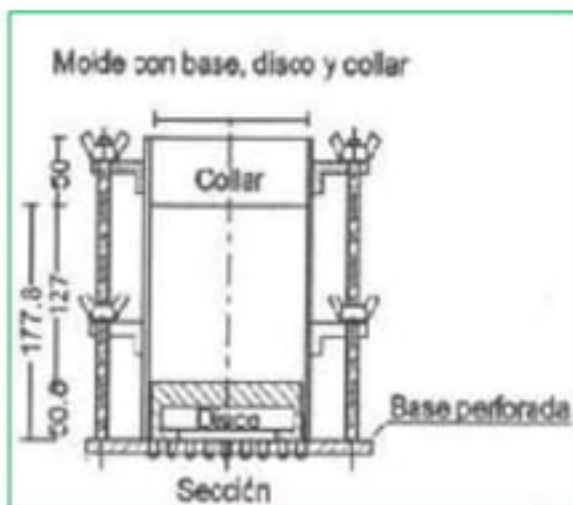
- Por lo tanto tendríamos que la resistencia a la penetración de la roca triturada es del 100%.
- El C.B.R. de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en porcentaje de su respectivo valor estándar.
- Si los C.B.R. para 0.1" y 0.2" son semejantes se recomienda usar en los cálculos el C.B.R. correspondiente a 0.2".

EQUIPOS

PARA LA COMPACTACIÓN

El equipo utilizado fue:

- Moldes cilíndricos de acero de 7" a 8" de altura y 6" de diámetro. Se le acopla un collarín de extensión de 2" de altura y una base perforada.



PARA EL CBR

- ✓ Moldes cilíndricos de acero de 6" de diámetro interior, a cada molde se le acopla un collarín de 2" de alto y base perforada.
- ✓ Un martillo de 10 LIBRAS (4.54Kg) y una altura de caída de 18".
- ✓ Un disco separador.
- ✓ Un cuchillo para enrasar el material al molde.

PARA LA EXPANSIÓN

- ✓ Para medir el hinchamiento del material al absorber agua se utiliza el siguiente equipo:
- ✓ Plato y vástago: el plato tiene perforaciones a distancias iguales.
- ✓ Trípode y extensómetro: para medir la expansión del material, se emplea un extensómetro con aproximación a 0.001", montado sobre un trípode
- ✓ Pesas de sobrecarga, se emplean una pesa anular y varias pesas cortas.
- ✓ En la expansión solo se emplean 3 moldes cilíndricos
- ✓ La muestra es nueva, no se debe utilizar la misma con la cual se realizó el ensayo de compactación.
- ✓ Dos papeles filtro, en cada molde



PARA LA PENETRACIÓN.

Para la prueba de penetración se requiere el siguiente equipo:

Un pistón cilíndrico de 3" cuadradas de sección circular y de longitud suficiente para poder pasar a través de las pesas y penetrar el suelo hasta $\frac{1}{2}$ "

Aparato para aplicar carga: se utiliza una prensa manual que está especialmente diseñada de tal forma que permite aplicar la carga a una velocidad de 0.05 pulg/min. Generalmente estos aparatos llevan anillos calibrados.





PROCEDIMIENTO

1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

1.1. ENSAYO DE COMPACTACIÓN

El ensayo de compactación sirve para determinar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo de un suelo.

Este ensayo reproduce en forma aproximada la densidad que se obtiene en obra.

Pasos:

- 1) Se seca la muestra al aire libre. Luego se tamiza por la malla 1/4" y separamos unos 15 a 20 kg. En nuestro caso fue 18kg.
- 2) Luego dividimos el material en partes a cada cual se le aplicará el ensayo.
- 3) Tomamos una porción del material y se le agrega agua a la mezcla y lo revolvemos con el cucharón y con la mano para lograr uniformidad. Esto se asemeja al trabajo de la motoniveladora en el campo
- 4) Para Proctor modificado se toma 4 muestras de 3 Kg. de muestra pasados por la malla Nº 4 (para suelos finos).
- 5) Agregarle 4%, 8%, 12% y 16% de agua del total del peso de la muestra, removerlo hasta quedar la muestra totalmente uniforme en humedad dando un indicador que está lista para realizar el primer punto de compactación.
- 6) Agregar en el molde cilíndrico una pequeña capa de suelo, dar 25 golpes con martillo en forma circular, repitiendo el proceso con 5 capas.
- 7) Sobre la mesa de trabajo se coloca una bolsa de yute (no de papel porque absorbe el agua) y se le saca la corona del molde. Con ayuda de una espátula y un cuchillo se procedió a enrasar y al respectivo pesaje de esta muestra.
- 8) Si aparece una piedra grande que deje vacío al enrasar se saca y se rellena. Esto se asemeja al trabajo que hacen los ayudantes del maquinista en el campo limpiándole el paso de piedras grandes.
- 9) Al retirar el anillo en cada uno de los 3 moldes y con un cuchillo se recorta la muestra al ras con el borde.
- 10) Una vez pesado se sacó muestra para hallar el contenido de humedad y se colocó en cápsula de aluminio.
- 11) Se toma una muestra pequeña (gramos) de la capa más alta y se deposita en una cápsula para hallar el contenido de humedad
- 12) Con este contenido de humedad determinamos la densidad seca a partir de la densidad húmeda.

El número de moldes a compactar dependerá en medida de los vacíos del suelo, ya que si los vacíos se llenan de agua, pues disminuyen el peso de la última probeta con relación a la anterior.



Al llenarse los vacíos con agua, esto es de menor densidad, entonces esta disminuirá y por más que se le trate de compactar ésta ya no se compactará.

EXPANSIÓN DEL MATERIAL

Pasos:

1. Tomamos material seco que pase por la malla N° 4 (para suelos finos) y se le agrega el contenido de agua necesaria para que obtenga la máxima densidad seca y lo revolvemos con el cucharón y con la mano para lograr uniformidad.
2. Se coloca una pesa en la base y luego un papel filtro, el cual para luego poner el suelo en 5 capas y compactar con los golpes que le tocan por anillo (56, 25, 12) con el proctor modificado.
3. Luego se escaba y se retira el anillo superior, y se enrasa hasta dejar una superficie lisa.
4. Se coloca un papel filtro sobre la superficie enrasada y se coloca la base metálica perforada y se voltea la muestra.
5. Sobre la superficie libre se coloca otro papel filtro y se montará el platillo con el vástago fijo.
6. Sobre el platillo se colocará las pesas de plomo. Estas representan el peso de las capas superiores del pavimento. La sobrecarga mínima es de 10 libras equivalente a un pavimento de 5" de espesor.
7. El trípode con el cuadrante medidor de deformaciones se coloca sobre el canto del molde y se ajusta el vástago de la placa perforada. Se registra la lectura de la esfera y se quita el trípode.
8. Con las pesas de sobrecarga se sumergen los moldes en un tanque de agua, se coloca el trípode con el extensómetro montado y se deja en saturación por 4 días. Se anotan las lecturas para controlar el hinchamiento cada 24 horas.
9. Después de sumergida la muestra durante cuatro días se debe drenar está secándola y posteriormente volteándola y sujetando el platillo y las pesas durante 15 minutos.
10. Se remueve el disco, las pesas y el papel filtro, y se pesan las muestras.



RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Pasos:

1. Se colocan las pesas metálicas anulares de plomo. El molde con la muestra y la sobrecarga se coloca debajo del pistón de la prensa de carga aplicando una carga de asiento de 10 libras.
2. Se coloca el molde sobre el soporte de carga del gato (en la prensa) y se ajusta de manera que el pistón esté centrado con la muestra.
3. Se tienen dos extensómetros: uno nos da valores de carga (superior) y el otro nos da los valores de deformación (inferior). Este último se calibra en cero.
4. La penetración del pistón es a velocidad constante (aprox. 5 centésimos de pulgada por minuto).
5. La penetración máxima en la muestra es de $\frac{1}{2}$ pulgada. La lectura de deformación es de un cuarto de pulgada por minuto y el otro paralelamente va marcando la carga.
6. Las lecturas se dan cada: 0.64 mm; 1.27 mm; 1.91 mm; 2.54 mm; 3.18 mm; 3.81 mm; 4.45 mm; 5.08 mm; 7.62 mm; 10.16 mm, 12.70 mm.
7. Si la lectura correspondiente a cada penetración va progresando y la lectura de carga se repite significa que la muestra ya fallo, el pistón simplemente penetra sin que encuentre resistencia. Un suelo que es malo no ofrece resistencia, en cambio un suelo que es bueno ofrece resistencia hasta la última lectura.
8. El proceso de lectura se repite con cada una de las dos muestras restantes.
9. La constante de la maquina es: $9.879527126 \times \text{lectura} + 88.85960411$.
10. Se determina los valores de la carga ya corregidos para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración con lo que obtendremos los valores de C.B.R. Para lo cual se divide las cargas entre la carga patrón (1000 y 1500 lbs/plg²), luego se multiplica cada relación por 100 para obtener un porcentaje.
11. El índice de C.B.R se obtuvo como un porcentaje del esfuerzo que se requiere para hacer penetrare el pistón hasta la misma profundidad de una muestra patrón de piedra triturada.
12. Una vez obtenidos los valores se grafica la curva densidad seca vs. CBR. El valore correspondiente al 95% del Proctor nos dará el valor del CBR.
13. Se grafican los datos obtenidos de carga-penetración.

**ENSAYO DE COMPACTACION**

(PROCTOR MODIFICADO - ASTM D-1557)

INFORME N° : 001-LP-FICSA

OPERADOR :

SOLICITADO : CURSO DE PAVIMENTOS

POZO N° :

OBRA :

MUESTRA : M - 1

FECHA :

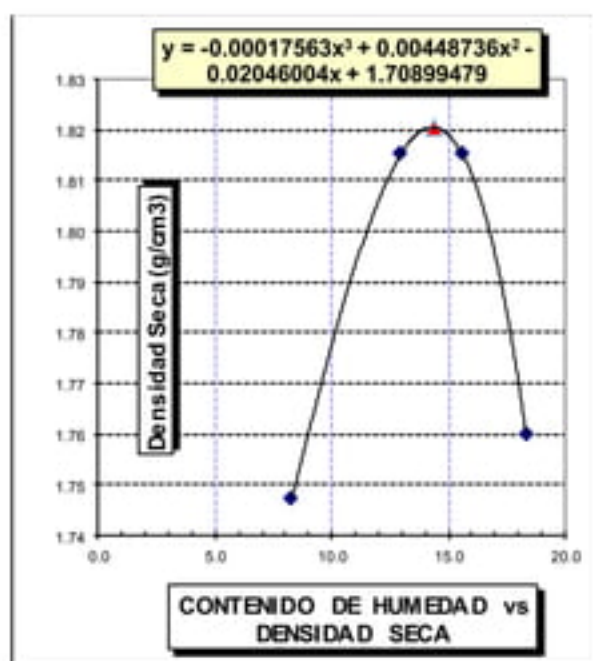
PROFUND :

PERSONA QUE ENTREGO LA MUESTRA :

VOLUMEN DEL MOLDE: 944 cm ³				
PRUEBA N°	1	2	3	4
1. Peso de molde + suelo compactado	3460	3610	3656	3641
2. Peso del molde	1675	1675	1675	1675
3. Peso del suelo compactado (1-2)	1785	1935	1981	1966
4. Densidad húmeda	1.891	2.050	2.099	2.083
5. Densidad seca	1.747	1.815	1.815	1.760

CONTENIDO DE HUMEDAD

FRASCO N°	24	20	07	19
1. Peso de frasco + suelo húmedo	97.81	90.32	99.19	101.82
2. Peso de frasco + suelo seco	92.51	83.23	89.63	90.18
3. Peso de agua contenida (1-2)	5.30	7.09	9.56	11.64
4. Peso del frasco	28.23	28.40	28.38	26.67
5. Peso del suelo seco (2-4)	64.28	54.83	61.25	63.51
6. Contenido de humedad (3/5 * 100)	8.25	12.93	15.61	18.33



Máxima Densidad Seca	1.82	gr/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad	14.36	%

**ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO****INFORME N° 1-FICSA-LP**

SOLICITADO POR : GRUPO: ALUMNOS, DEL CURSO DE PAVIMENTOS
LUGAR : UNPRG
DENOMINACIÓN : SUB BASE
FECHA : 28/01/2015

contenido de humedad	14.36%
máxima densidad seca	1.82 gr/cm ³
0.95 máxima densidad seca	1.73 gr/cm ³
N° DE CAPAS	5

CBR

MOLDE N°		1		13		13	
N° DE CAPAS		5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPA		56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA		SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	(g)	8400	8507	8405	9095	8150	8440
PESO DEL MOLDE	(g)	4160	4160	4292	4292	4296	4296
PESO DEL SUELO HUMEDO	(g)	4240	4347	4113	4803	3854	4144
VOLUMEN DEL SUELO	(g)	2143	2143	2143	2143	2143	2143
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm ³)	1.979	2.028	1.919	2.241	1.798	1.934
CAPSULA N°		8	148	38	369	32	37
PESO CAPSULA + SUELO HUMED	(g)	88.84	83.72	87.97	74.01	45.86	85.69
PESO CAPSULA + SUELO SECO	(g)	82.12	75.28	81.54	56.15	43.91	57.35
PESO DE AGUA CONTENIDA	(g)	6.72	8.44	6.43	17.86	1.95	28.34
PESO DE CAPSULA	(g)	27.36	22.45	28.34	21.79	27.89	21.30
PESO DE SUELO SECO	(g)	54.76	52.83	53.20	34.36	16.02	36.05
HUMEDAD	(%)	12.27%	15.98%	12.09%	51.98%	12.17%	78.61%
DENSIDAD SECA		1.763	1.749	1.712	1.475	1.603	1.083

EXPANSION

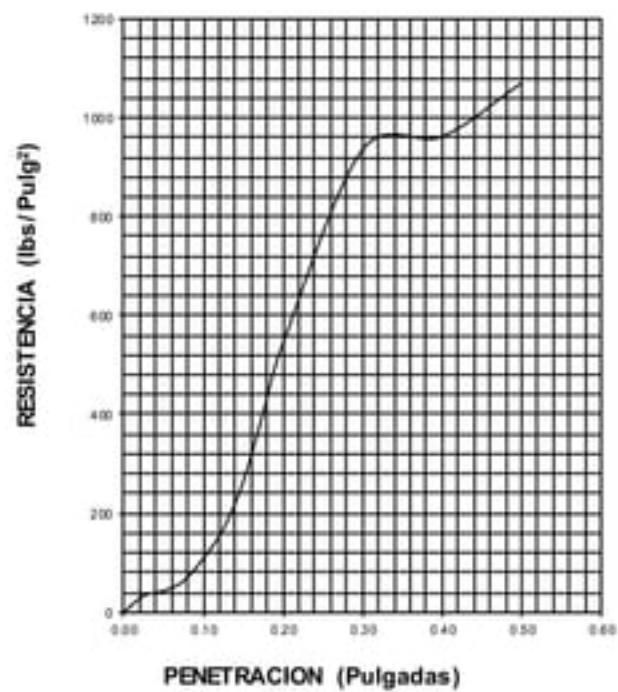
MOLDE N°				1			10			13		
FECHA		HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
					mm.	%		mm.	%		mm.	%
28-ene-15	01:14 p.m.	0 hrs	hrs	0.130	—	—	0.140	—	—	0.120	—	—
29-ene-15	01:14 p.m.	24 hrs	hrs	0.165	0.035	0.030	0.325	0.185	0.159	0.150	0.030	0.026
30-ene-15	01:14 p.m.	48 hrs	hrs	0.145	0.015	0.013	0.335	0.195	0.168	0.160	0.040	0.034

PENETRACION

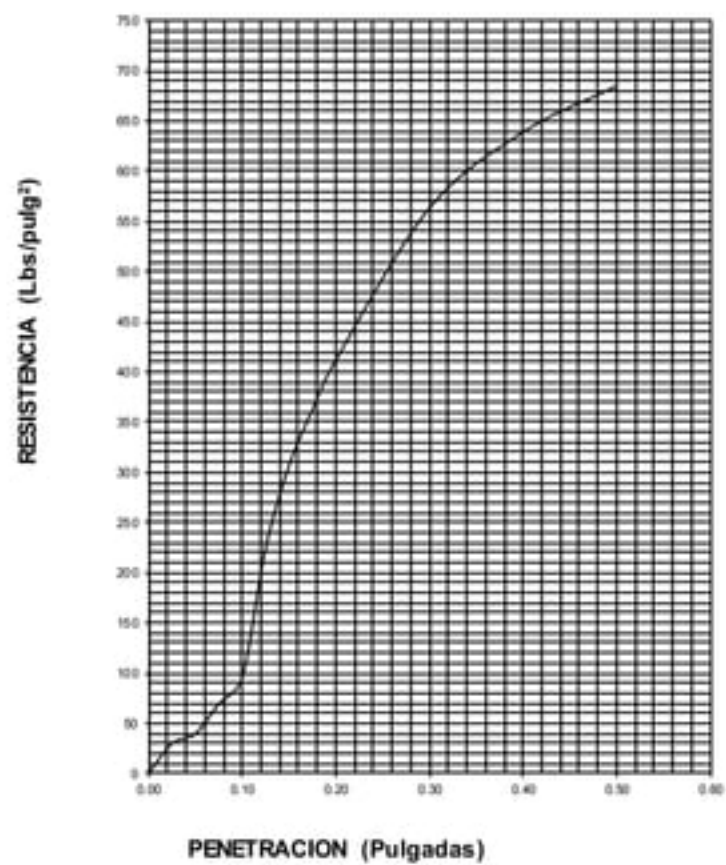
PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1				MOLDE N° 10				MOLDE N° 13			
mm		ESTÁNDAR	CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION			CARGA	CORECCION		
		(lbs/pulg²)	Lectura	lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg²	%
0.64			1.00	98.74	32.91		0.00	88.86	29.62		3.00	118.50	39.50	
1.27			4.00	128.38	42.79		3.00	118.50	39.50		6.00	148.14	49.38	
1.91			10.00	187.66	62.55		12.00	207.42	69.14		10.00	187.66	62.55	
2.54		1000	24.00	325.98	108.66	10.87	20.00	286.46	95.49	9.55	15.00	237.06	79.02	7.90
3.18			42.00	503.82	167.94		59.00	671.78	223.93		22.00	306.22	102.07	
3.81			71.00	790.34	263.45		84.00	918.78	306.26		29.00	375.38	125.13	
4.45			113.00	1205.30	401.77		101.00	1086.74	362.25		35.00	434.66	144.89	
5.08		1500	156.00	1630.14	543.38	36.23	116.00	1234.94	411.65	27.44	41.00	493.94	164.65	10.98
7.62			275.00	2805.86	935.29		162.00	1689.42	563.14		60.00	681.66	227.22	
10.16			283.00	2884.90	961.63		185.00	1916.66	638.89		75.00	829.86	276.62	
12.7			316.00	3210.94	1070.31		199.00	2054.98	684.99		85.00	928.66	309.55	



56 GOLPES



25 GOLPES





12 GOLPES

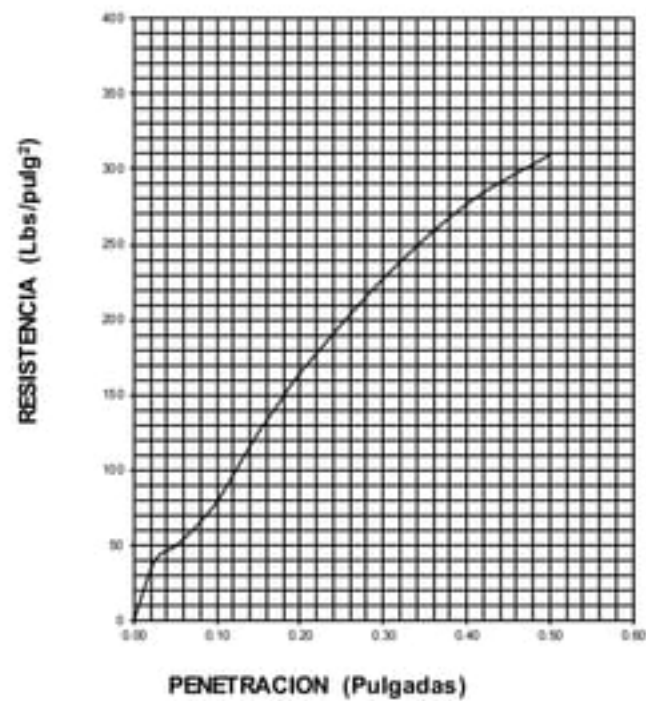
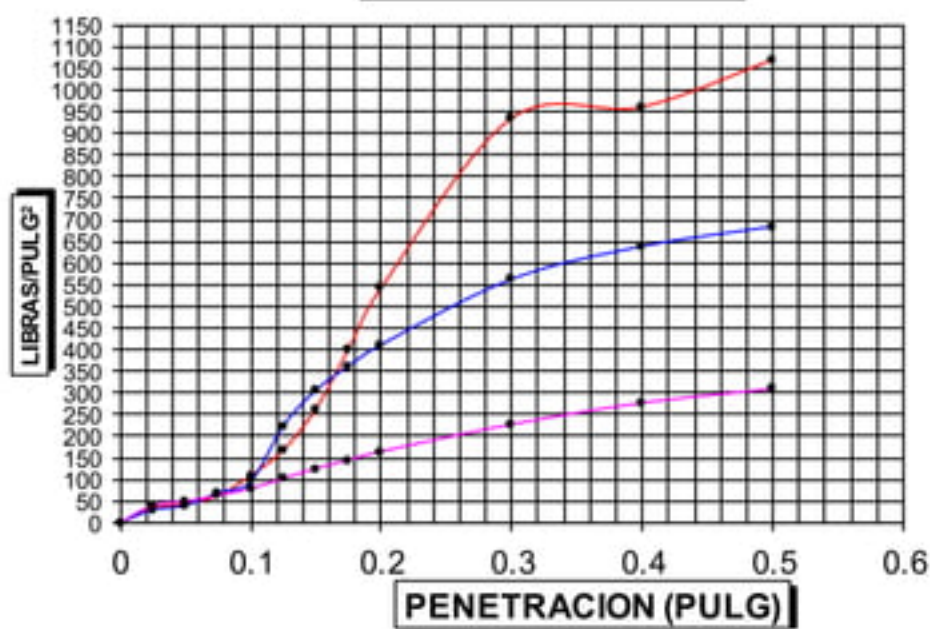
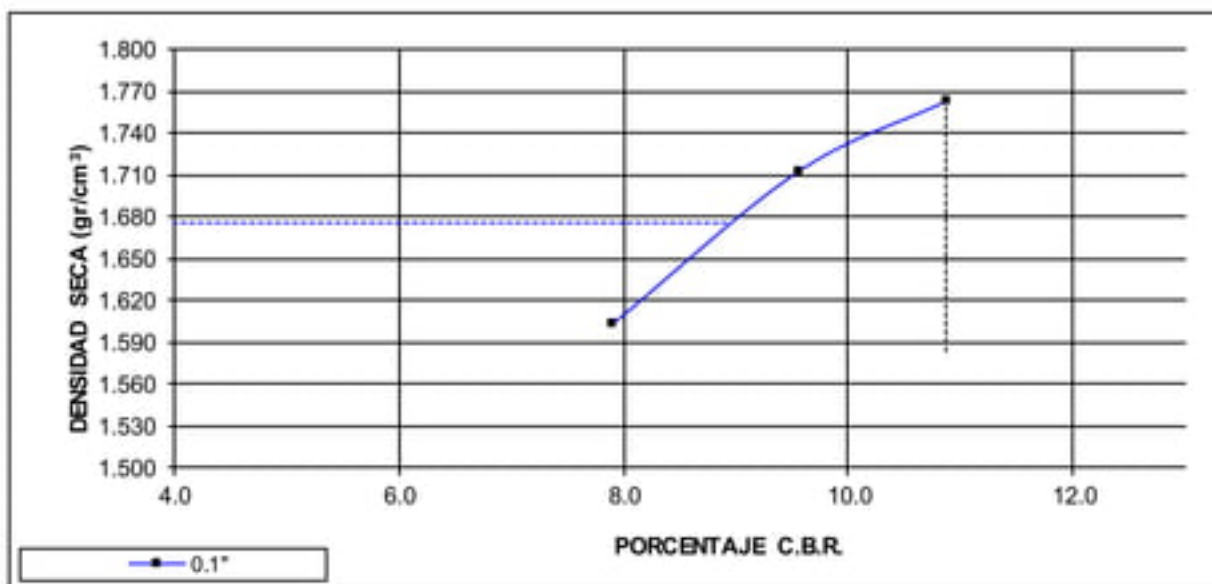


GRAFICO C.B.R.





DATOS DEL C.B.R.	
C.B.R. al 100%: 0,1"	10.87
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	8.95

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Del ensayo del Próctor Modificado se concluye :



- El óptimo contenido de humedad de la muestra de suelo en estudio es de 14.36%.
 - La máxima densidad seca con un próctor modificado de 95%, es de 1.82 gr/cm³.
- ✓ El espesor de las capas del pavimento está en función del CBR.
- ✓ De la gráfica de máxima densidad seca y CBR se ha obtenido el CBR de diseño que para nuestro caso es el siguiente:
- | | |
|--------------|--------|
| Para 1"..... | 10.87% |
| Para 2"..... | 36.23% |
- ✓ Como la diferencia entre estos valores es grande es necesario realizar el ensayo nuevamente.