

C.B.R. DE SUBRASANTES ARENOSAS Y LIMO-ARCILLOSAS

Abel Ordoñez Huaman - Silene Minaya González
Laboratorio No. 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos
Facultad de Ingeniería Civil

RESUMEN

Actualmente en el Perú, el diseño de estructuras de pavimentos considera generalmente valores de capacidad de soporte de subrasantes arenosas y limo-arcillosas determinados a partir de ensayos de laboratorio CBR - ASTM D1883.

La metodología utilizada puede no ser adecuadamente aplicada cuando se asume el valor C.B.R. de la sub-rasante relacionado a la densidad seca equivalente al 95% ó 100% de la Máxima Densidad Seca - MDS del ensayo Proctor Modificado.

La humedad y la densidad seca natural de los suelos limo-arcillosos tienen una influencia importante en la determinación del C.B.R. como se ha podido comprobar en las pruebas sobre muestras inalteradas y compactadas.

Se realizaron comparaciones de valores C.B.R. obtenidos de muestras inalteradas y compactadas considerando el 95% y 100% de la MDS del ensayo Proctor Modificado. Asimismo se compararon valores de módulos elásticos, utilizando una extensión de la teoría elástica.

Los resultados indican que los valores de C.B.R. y módulos elásticos obtenidos en muestras inalteradas son significativamente inferiores a los determinados en muestras compactadas.

La práctica ingenieril para la determinación del C.B.R. de la sub-rasante basados en muestras inalteradas es casi no utilizada en el Perú, debido a ello, se presentan fallas prematuras de pavimentos por sub-dimensionamiento en el diseño.

ABSTRACT

At the present time in Peru the design of pavement structures generally considers values of bearing capacity ratios of natural subgrade of sandy and silty clay soils, using the CBR laboratory test - ASTM D 1883.

The methodology used may not be properly used when the CBR value of natural subgrade is assumed to be related to the dry density equivalent to 95% or 100% of the Maximum Dry Density - MDS of the Modify Proctor Compaction Test.

The moisture content and the natural dry density of silty clay soils have an important influence in the CBR value determination as was verified in testing of undisturbed and compacted samples.

Comparisons were made from CBR values obtained from undisturbed and compacted samples considering 95% and 100% of the MDS of the Proctor Modified Compaction Test. Also were made comparisons of values of elastic modulus, using an extension of the elastic theory.

The results indicate that the CBR values and elastic modulus obtained on undisturbed samples are significantly lower than compacted samples.

The engineering practice for CBR value determination of subgrade based on undisturbed samples is not used in Peru, because of that premature failures and collapse in pavement structures are produced.

INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras de pavimentos tanto flexibles como rígidos considera generalmente valores de capacidad de soporte de subrasantes de suelos limo-arcillosos determinados a partir de ensayos C.B.R. en

laboratorio siguiendo la norma ASTM D-1883. Para ello, se asume el valor C.B.R. de la sub-rasante como el valor C.B.R. relacionado a la densidad seca equivalente al 95% ó 100% de la Máxima Densidad

Seca del ensayo Proctor Modificado.

La metodología utilizada se basa en la hipótesis de la compactación de la sub-rasante durante la etapa constructiva relacionado a la conformación de la superficie del terreno y control de compactación de la misma. Sin embargo, la práctica ingenieril utilizada puede no ser adecuadamente aplicada en sub-rasantes de suelos limo-arcillosos debido a que no es posible compactar profundidades del orden de 1,5 m. de profundidad o más, mediante procedimientos convencionales utilizados en obra. La humedad natural de los suelos limo-arcillosos generalmente se ubica muy por encima del O.C.H. Además en el Perú, muchas veces no se reconoce como sub-rasante, la capa de suelo con un espesor hasta donde lleguen los esfuerzos verticales significativos, esto es, hasta las profundidades donde las cargas aplicadas puedan generar asentamientos.

Entonces, la sub-rasante no alcanzará y muchas veces estará lejos de tener una densidad equivalente al 95 ó 100% de la MDS del ensayo Proctor Modificado. Por ello, no deberá asumirse el correspondiente valor CBR asociado a un valor de densidad no alcanzada en el campo.

DETERMINACIÓN DEL VALOR CBR DE SUBRASANTES ARENOSAS Y LIMO-ARCILLOSAS

Un método directo de obtener el valor CBR es mediante el ensayo CBR in situ de acuerdo a la Norma ASTM D 4429-93. Sin embargo, el ensayo puede ser costoso para el proyecto y su aplicabilidad se reduciría sustancialmente cuando sea necesario obtener una muestra representativa de valores en el proyecto.

Otro método, se basa en utilizar el ensayo de laboratorio CBR según la norma ASTM D-1883 y de manera paralela medir la densidad de campo. El valor CBR de la sub-rasante será el correspondiente a la densidad de campo medida. Esta metodología puede ser limitante cuando la densidad de campo medida se encuentre muy por debajo del rango de densidades que arroja el ensayo de CBR de laboratorio. Por otro lado, muy pocos especialistas se atreven a indicar modificaciones en el ensayo CBR para que el mismo pueda abarcar rangos de valores de densidades menores, como por ejemplo, optar por menores

valores de energía de compactación. Sin embargo, esta opción correcta, puede considerar el ensayo CBR asociado al ensayo de compactación Proctor Standard y no al ensayo Proctor Modificado, como generalmente ocurre.

Un tercer método, directo, más simple y sobre todo rápido y económico. Se basa en extraer la muestra inalterada utilizando el molde CBR directamente de los pozos de exploración (Valle Rodas, 1976). Luego se transporta al laboratorio y se realiza la prueba de carga tanto en condiciones naturales como en condiciones más desfavorables que es la saturación, obteniendo la curva carga-penetración y el valor CBR de manera directa. Inclusive es posible medir la expansión que se produce durante la saturación. El procedimiento permite medir la humedad natural y la densidad. El valor CBR obtenido será un valor puntual de la muestra extraída en estado inalterado y representará de manera real el comportamiento de la sub-rasante.

APLICACIÓN DE LA TEORÍA ELÁSTICA

Es posible extender la teoría elástica a los ensayos de C.B.R. utilizando los resultados de la prueba de carga asociados a asentamientos característico de 0.1 pulgada. Para ello, se deberá utilizar la solución que ofrece la teoría elástica para el cálculo de asentamiento que ocurre cuando se tiene una superficie circular rígida cargada sobre un medio semi-infinito (Poulos y Davis, 1974).

$$\rho = \pi/2 (1-\nu^2) pr/E$$

donde:

ρ	: Asentamiento
ν	: Relación de Poisson
p	: Presión aplicada
r	: Radio del área cargada
E	: Módulo elástico

Considerando un asentamiento característico de 0.1 pulgada; un valor de $\nu=0.40$; radio equivalente a un área circular cargada de 3 pulg² y la presión aplicada en función del valor CBR, se obtienen las siguientes relaciones:

$$E = 139.7\text{CBR} \quad ; \quad E \text{ en libra/pulg}^2$$

$$E = 9.83\text{CBR} \quad ; \quad E \text{ en kg/cm}^2$$

Entonces, es posible obtener valores de módulos elástico, E a partir del valor CBR asumiendo un comportamiento del medio como elástico, uniforme e isotrópico.

PRUEBAS EXPERIMENTALES REALIZADAS

Durante las actividades de desarrollo de temas de tesis e investigaciones, en la ejecución de proyecto de pavimentación en zonas pobres de Lima, así como en proyectos importantes de losas de almacenes de embarques portuarios donde se presentaron fallas estructurales y deficiencias durante su funcionamiento, el Laboratorio No. 2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Nacional de Ingeniería ha obtenido la información experimental necesaria para ilustrar la metodología expuesta.

En la tabla No. 1 se presentan las características y

parámetros físicos de los suelos de las sub-rasantes, esto es, granulometría, límites de consistencia, plasticidad, humedad natural y densidades naturales.

En la tabla No. 2 se presentan los resultados de la MDS y el OCH utilizando el ensayo proctor modificado. Es importante apreciar las diferencias significativas de los valores de densidad y humedad naturales con los valores de la MDS y el OCH del ensayo proctor modificado. En la misma tabla se presentan los valores CBR obtenidos de muestras compactadas de laboratorio según la Norma ASTM D-1883 asociados al 95 y 100% de la MDS. Asimismo, los valores de CBR medidos directamente en muestras inalteradas. También se presentan los niveles de expansión medidos en ambos tipos de ensayos.

En la tabla No. 3 se presentan los valores de los módulos elásticos obtenidos tanto para los ensayos CBR en laboratorio sobre muestras compactadas asociadas al 95 y 100% de la MDS del ensayo proctor

Tabla No. 1 Características Físicas - Ensayos de Clasificación

Proyecto	Observaciones	Clasificación	Porcentaje acumulado que pasa				LL	LP	ε _m IP	ε _d	w _{nat}	
			Nº4	Nº60	Nº100	Nº200						
Investigación S01-INV 03 Urb. Matellini - Chorrillos - Lima	C1: 0.70-1.50	SM-SC	100,0	88,9	58,2	43,3	22,6	16,7	5,9	1,850	1,810	2,2
										1,830	1,690	8,3
	C1: 1.70-2.60	ML	96,9	80,5	64,3	52,7	45,6	37,0	8,6	1,618	1,082	49,6
											1,619	1,151
Investigación S01-INV 04 Av. La Paz Cdra. 10 San Miguel, Lima	C1: 0.30-0.90	CL	99,2	93,7	80,4	74,1	24,7	14,5	10,2	1,816	1,633	11,2
										1,897	1,572	20,7
										1,945	1,620	20,1
	C1: 0.90-1.40	CL-ML	99,2	89,1	79,4	65,5	23,3	17,3	6,0	1,612	0,963	67,4
Proyecto de Pavimentación Asociación de Vivienda Los Pinos Santa Anita, Lima	C6:0.00-0.60	CL	88,8	73,7	65,3	56,1	25,6	16,2	9,4	1,846	1,768	4,4
										1,954	1,849	5,7
										1,907	1,803	5,8
	C2:0.00-0.80	CL	93,1	74,7	58,5	53,3	24,0	16,6	7,4	1,908	1,765	8,1
										1,910	1,747	9,3
										1,948	1,807	7,8
Pavimento del Almacén N°3 CENTROMIN PERU Cdra. 9 Av. Nestor Gambeta Callao	C15:0.00-1.00	CL	100,0	96,9	93,6	89,8	38,2	24,9	13,3	1,863	1,720	8,3
										1,919	1,767	8,6
										1,799	1,635	10,0
	C1	CL	100,0	92,7	78,5	64,8	29,8	21,9	7,9	1,943	1,743	11,5
Proyecto de Pavimentación Zona A San Juan de Miraflores Lima										1,981	1,762	12,4
										1,982	1,771	11,9
	C1: 0.40-1.10	SP-SM	86,3	39,4	8,8	5,1	18,2	NP		1,730	1,700	1,78
	C2: 0.35-0.60	SP-SM	89,4	60,8	8,9	7,7	NP	NP		2,019	1,969	2,5
	C3: 0.25-0.55	SP	99,9	89,8	16,7	4,7	NP	NP		1,874	1,838	2,0
Proyecto de Pavimentación Cooperativa Pachacútec Santa Anita - Lima	C4: 0.40-1,10	SP	99,9	89,8	16,7	4,7	NP	NP		1,904	1,872	1,7
	C5:0,30-0,80	CL	82,4	71,6	63,9	56,9	30,2	19	11,2	1,738	1,647	5,5
Almacenera Peruana de Comercio S.A.	C1: 0.20-0.60	ML	97,2	84,4	74,1	59,2	38,3	30,2	8,1	1,739	1,362	27,7
	C2: 0.70-1.20	MH	97,4	89,6	85,4	81,0	56,8	38,5	18,3	1,586	1,278	24,1
	C3: 1.50-1.80	SM	99,5	76,5	55,0	32,8	41,6	41,0	0,6	1,661	1,298	28
	C4: 0.20-0.60	CL	87,5	70,3	62,3	53,4	38,7	24,5	14,2	1,505	1,221	23,3
	C5: 0.20-0.80	CH	100,0	94,3	91,0	87,1	54,1	24,0	30,1	1,634	1,327	23,1
	C6: 0.30-0.70	SC	61,9	35,4	28,5	23,3	25,4	16,8	8,6	1,641	1,251	31,1
	C7: 0.20-0.60	ML	93,8	82,1	78,9	75,5	42,5	30,4	12,1	1,789	1,404	27,4
	C8: 0.30-0.80	MH	97,4	89,6	85,4	81,0	56,8	38,5	18,3	1,586	1,278	24,1
Almacenes RANSA Callao	C5:0,20-0,80	CL-1	87,7	83,0	72,8	65,3	37,0	22,0	15,0	1,640	1,050	56,9

Tabla No. 2 Ensayos de Capacidad de Soporte

Proyecto	Clasificación	ρ_d	w_{nat}	CBR ASTM D-1883 (con saturación)				Muestra inalterada		Expansión	
				MDS	OCH	CBR 100%	CBR 95%	CBR Saturado	CBR Sin saturar	ASTM D-1883	Muestra inalterada
Investigación S01-INV 03 Urb. Matellini - Chorrillos - Lima	SM-SC	1,810	2,2	1,899	12,6	34,2	21,0	5,2	25,0	15,160	0,35
		1,690	8,3	1,899	12,6	34,2	21,0	5,2	27,0	15,160	
	ML	1,082	49,6	1,615	23,2	22,9	18,0	2,8	2,2	20,600	7,02
		1,151	40,7	1,615	23,2	22,9	18,0	1,1	2,7	20,600	
Investigación S01-INV 04 Av. La Paz Cdra. 10 San Miguel, Lima	CL	1,633	11,2	1,971	11,7	11,2	5,2	2,1	10,0	1,650	0,62
		1,572	20,7	1,971	11,7	11,2	5,2	1,9	15,0	1,650	
	CL-ML	1,620	20,1	1,971	11,7	11,2	5,2	2,7	12,0	1,650	
		0,963	67,4	2,020	10,9	46,0	24,4	0,9	4,7	0,630	0,01
Proyecto de Pavimentación Asociación de Vivienda Los Pinos Santa Anita, Lima	CL	1,768	4,4	2,078	11,1	17,3	10,5	1,3	27,4	0,740	0,83
		1,849	5,7	2,078	11,1	17,3	10,5	3,7	43,4	0,740	
		1,803	5,8	2,078	11,1	17,3	10,5	5,3	34,5	0,740	
	CL	1,765	8,1	2,078	11,1	17,3	10,5	2,7	35,4	0,740	0,48
		1,747	9,3	2,078	11,1	17,3	10,5	4,5	10,6	0,740	
		1,807	7,8	2,078	11,1	17,3	10,5	5,1	22,1	0,740	
		1,720	8,3	1,933	10,8	15,0	11,3	5,3	25,7	0,870	0,22
CL	1,767	8,6	1,933	10,8	15,0	11,3	2,8	19,5	0,870		
	1,635	10,0	1,933	10,8	15,0	11,3	2,0	14,2	0,870		
Pavimento del Almacén N°3 CENTROMIN PERU Cdra. 9 Av. Nestor Gambeta Callao	CL	1,743	11,5	1,799	17,0	15,4	11,3	2,2	17,7	0,630	N.P.
		1,762	12,4	1,799	17,0	15,4	11,3	1,8	18,1	0,630	
		1,771	11,9	1,799	17,0	15,4	11,3	2,6	17,7	0,630	
Proyecto de Pavimentación Zona A San Juan de Miraflores Lima	SP-SM	1,700	1,8	1,910	10,9	39,2	32,4	3,7	15,2	NP	0,67
		1,969	2,5	1,910	10,9	39,2	32,4	3,7	15,2	NP	
	SP	1,838	2,0	1,687	11,7	22,8	8,7	14,1	23,4	NP	
		1,872	1,7	1,687	11,7	22,8	8,7	7,8	19,0	NP	
Proyecto de Pavimentación Cooperativa Pachacútec Santa Anita - Lima	CL	1,647	5,5	1,917	12,8	2,8	2,3	2,6	11,5	2,910	0,18
Almacenera Peruana de Comercio S.A.	ML	1,362	27,7	1,545	22,3	2,0	1,7	2,1	4,7	0,004	NP
	MH	1,278	24,1	1,538	26,6	1,6	1,2	2,8	3,8	1,248	NP
	SM	1,298	28,0	1,547	14,2	22,0	18,0	2,4	4,5	NP	NP
	CL	1,221	23,3	1,589	23,8	4,9	3,1	1,8	8,5	1,182	NP
	CH	1,327	23,1	1,538	26,6	1,6	1,2	1,8	4,4	1,248	NP
	SC	1,251	31,1	1,547	14,2	22,0	18,0	4,7	5,2	NP	NP
	ML	1,404	27,4	1,545	22,3	2,0	1,7	2,6	6,8	0,004	NP
	MH	1,278	24,1	1,538	26,6	1,6	1,2	2,2	13,2	1,248	NP
Almacenes RANSA Callao	CL-1	1,050	56,9	1,810	15,8	13,3	5,0	<1,0			

modificado como los valores para muestras inalteradas sin y con saturación previa. A continuación se discutirán algunos resultados específicos.

En la fig. 1 se presentan las curvas de las pruebas de carga en muestras limo-arcillosas de baja plasticidad de la Cdra. 10 de la Av La Paz en San Miguel, Lima. Las pruebas se realizaron en muestras compactadas y muestras inalteradas tanto en estado natural sin saturación y con saturación previa.

Observando las curvas carga-penetración se comprueba que las muestras inalterada sin saturación previa presentan mayor rigidez inicial en comparación a las muestras compactadas y las muestras inalteradas con saturación debido a la cementación natural, comportamiento que eleva el valor CBR. Los valores CBR varían entre 10 y 15% y con saturación previa disminuyeron sustancialmente a valores entre 1.9 y 2.7%. La capacidad de soporte de las muestras inalteradas con saturación previa alcanzaron valores

por debajo de la muestra compactada con 10 golpes. La muestra compactada en el laboratorio arrojó un valor CBR de 5,2% para una densidad del 95% de la MDS.

En la fig. 2 se presenta las curvas de las pruebas de carga en muestras areno-limo-arcillosas de la Urb. Matellini, Lima. Las pruebas se realizaron en muestras compactadas y muestras inalteradas tanto en estado natural sin saturación y con previa saturación.

Aquí, también es evidente que la muestra inalterada presenta mayor rigidez inicial en estado no saturado debido a la cementación natural, el CBR alcanzado llegó a valores por encima de 25%. Sin embargo con la saturación pierde sustancialmente la rigidez presentando una resistencia a la penetración similar a la muestra compactada con 10 golpes (CBR=5.2). Esta muestra compactada en el laboratorio arrojó un valor CBR de 21% para una densidad del 95% de la MDS.

Las fig. 3a y 3b presentan los resultados de comparar los valores CBR asociados a 95% del ensayo proctor modificado y los resultados de valores CBR en muestras inalteradas sin y con saturación previa respectivamente. Es importante observar que, las muestras inalteradas sin saturar en su mayor parte arrojaron valores de CBR por encima del CBR asociado al 95% de la MDS del ensayo proctor modificado; sin embargo, cuando se sometía las muestras inalteradas a saturación previa representando la condición más desfavorable en la vida del proyecto el valor CBR disminuye sustancialmente en prácticamente todos los casos, resaltando la importancia de evaluar la capacidad de soporte de la sub-rasante de suelos limo-arcillosos en la condición saturada.

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

En la tabla No. 4 se presentan los parámetros de diseño de las estructuras de pavimentos considerando los 02 tipos de suelos: CL y SC-SM analizados detalladamente. En la fig. No. 4 se presentan los espesores de las capas obtenidos. Se utilizó la metodología AASHTO, 1993.

Los resultados indican la importancia de evaluar la capacidad de soporte en las condiciones más desfavorable debido a la diferencia sustancial en los resultados de espesores entre la condición sin saturar y la condición saturada.

TABLA No. 3 Módulos de Elásticos (kg/cm²)

Proyecto	Clasificación	ASTM D-1883		Muestra inalterado	
		100% M.D.S.	95% M.D.S.	Saturado	Sin saturar
Investigación S01-INV 03 Urb. Matellini - Chorrillos - Lima	SM-SC	336	206	51	246
		336	206	51	265
	ML	225	177	28	22
		225	177	11	27
		225	177	19	30
Investigación S01-INV 04 Av. La Paz Cdra. 10 San Miguel, Lima	CL	110	51	21	98
		110	51	19	147
		110	51	27	118
	CL-ML	452	240	9	46
Proyecto de Pavimentación Asociación de Vivienda Los Pinos Santa Anita, Lima	CL	170	103	13	269
		170	103	36	427
		170	103	52	339
	CL	170	103	27	348
		170	103	44	104
		170	103	50	217
	CL	147	111	52	253
		147	111	28	192
147		111	20	140	
Pavimento del Almacén N°3 CENTROMIN PERU Cdra. 9 Av. Nestor Gambeta Callao	CL	151	111	22	174
		151	111	18	178
		151	111	26	174
Proyecto de Pavimentación Zona A San Juan de Miraflores Lima	SP-SM	385	318	36	149
	SP-SM	385	318	36	149
	SP	224	86	139	230
	SP	224	86	77	187
Proyecto de Pavimentación Cooperativa Pachacútec Santa Anita - Lima	CL	28	23	26	113
Almacenera Peruana de Comercio S.A.	ML	20	17	21	46
	MH	16	12	28	37
	SM	216	177	24	44
	CL	48	30	18	84
	CH	16	12	18	43
	SC	216	177	46	51
	ML	20	17	26	67
MH	16	12	22	130	
Almacenes RANSA Callao	CL-1	131	49	<10	

UBICACIÓN : AV. LA PAZ Cdra. 10 SAN MIGUEL, LIMA
 MUESTRA : C1 0,30-0,90
 CLASIFICACION : CL

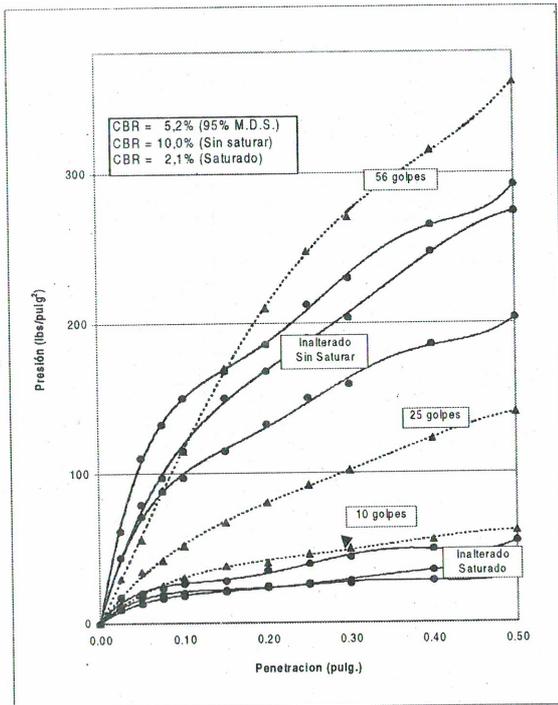


Fig. 1 Prueba de carga en muestra inalterada y compactada

UBICACIÓN : URB. MATELLINI-CHORRILLOS-LIMA
 MUESTRA : C1 0,70-1,50
 CLASIFICACION : SM-SC

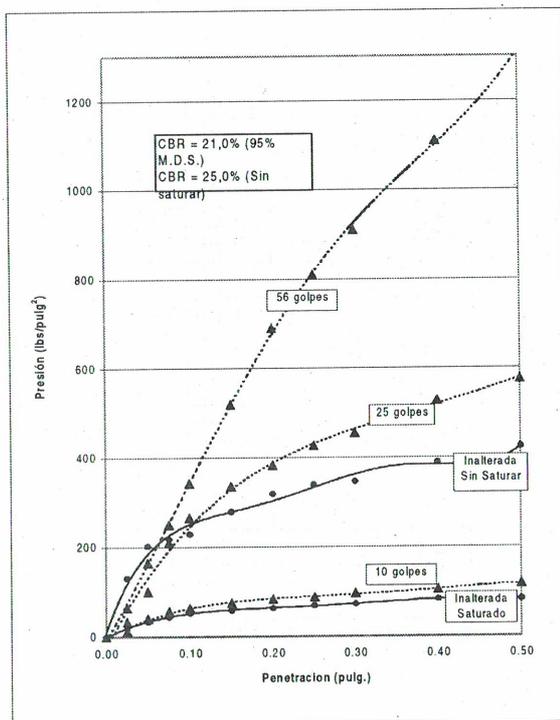


Fig. 2 Prueba de carga en muestra inalterada y compactada

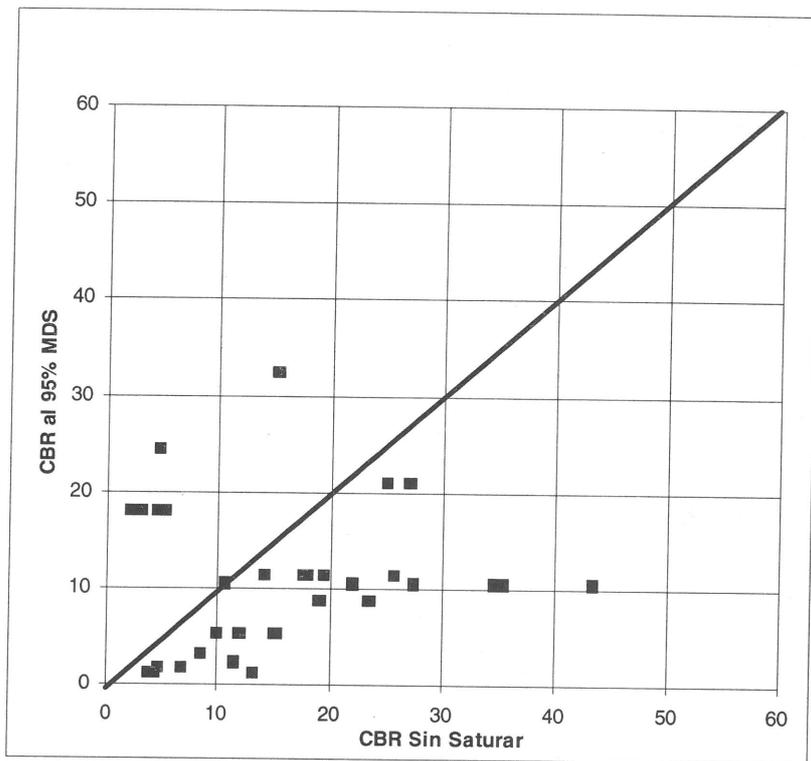


Fig. 3a CBR al 95% MDS y CBR Sin Saturar
Suelos Arenosos y Limo-arcillosos

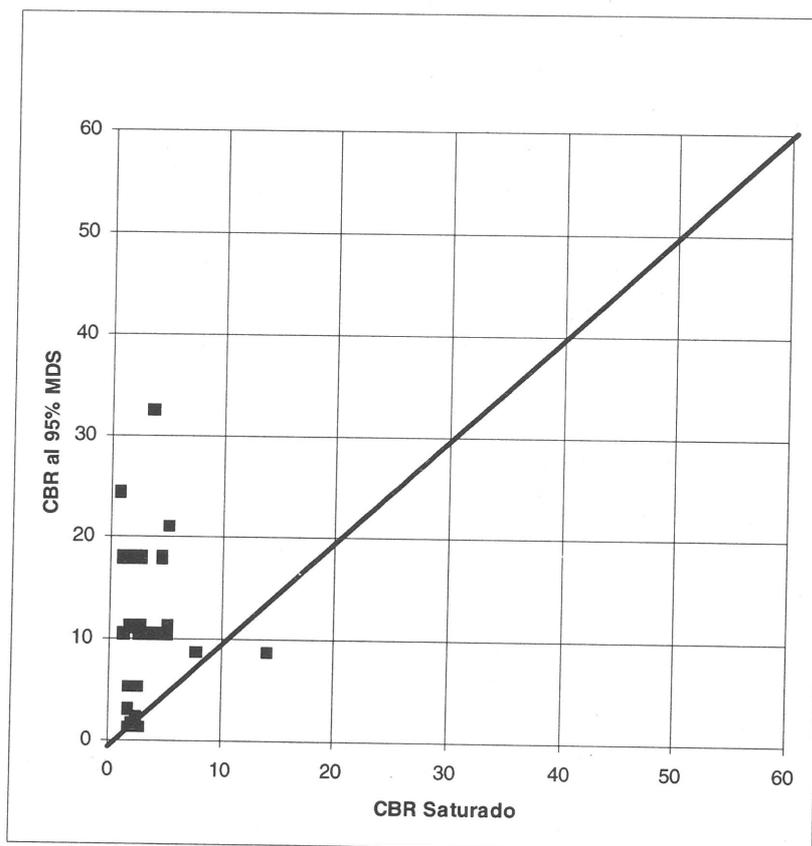


Fig. 3b CBR al 95% MDS y CBR Saturado
Suelos Arenosos y Limo-arcillosos

Tabla N° 4 : Diseño de Pavimento Flexible

CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL

FORMULA

$$\log(W18) = Z_r \cdot S_o + 9,36 \cdot \log(SN+1) - 0,2 + \frac{\log(\Delta PSI / (4,2-1,5))}{0,4} + \frac{2,32 \cdot \log(Mr) - 8,07}{(SN+1)^{5,19}}$$

PARAMETROS DE DISEÑO

- R = 85 %
- S_o = 0.49
- Δ PSI = 2
- Período de Diseño, años = 20
- ESAL de Diseño (W18) = 500,000

Tipo de suelo		Muestra	Muestra Inalterada	
		100%	Sin saturar	Saturado
SM-SC	CBR	34.2	25.0	5.2
	Mr (psi)	51,300	37,500	7,800
	SN	1.50	1.57	3.10
CL	CBR	11.2	12.0	2.2
	Mr (psi)	16,800	18,000	3,300
	SN	2.85	2.31	4.14

CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO

Carpeta asfáltica	Coefficiente de capa	0.160
	Módulo Resilente	360.000 psi
Capa de Base	Coefficiente de capa	0.055
	CBR	100%
	Módulo Resilente	30.000 psi
Capa de Sub-Base	Coefficiente de capa	0.025
	CBR	10%
	Módulo Resilente	10.000 psi

Tabla N° 4 : Diseño de Pavimento Flexible
Método Asshto 1993 (*)

Figura No. 4: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
METODO AASHTO 1993(*)

TIPO DE SUELO : CL



TIPO DE SUELO : SM-SC



(*) Guide for Design of Pavement Structures, Publicado por la Amer

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La capacidad de soporte de sub-rasantes conformados por suelos limo-arcillosos pueden ser determinados directamente a partir de pruebas de carga realizadas en el laboratorio sobre muestras inalteradas extraídas de los pozos de exploración utilizando el molde CBR. El método descrito referente a la obtención del valor CBR de muestras inalteradas utilizado en el diseño de pavimentos se basa en un procedimiento directo, simple, rápido y económico.

Se ha demostrado que siguiendo la metodología descrita existe una diferencia significativa entre el valor CBR de sub-rasantes de suelos limo-arcillosos en la condición sin saturar y la condición saturada, mostrando el comportamiento real de los suelos limo-arcillosos.

Los suelos limo-arcillosos presentan una rigidez alta en estado natural y una sustancial pérdida de la misma con la saturación lo que implica en menores valores de módulos elásticos y por consiguiente en valores mayores de asentamientos durante la vida útil de la estructura del pavimento, esto implica una reducción sustancial de la vida útil del pavimento, la falla y el colapso en el caso extremo.

Por extensión, métodos indirectos no destructivos de evaluación de sub-rasantes deben tener presente la condición de la sub-rasante respecto a la saturación y las limitaciones que dichos resultados pueden tener en un proyecto de rehabilitación de pavimentos. El último fenómeno del Niño ha demostrado tales limitaciones.

El asignar a la sub-rasante, sin sustento alguno, un valor CBR asociado al 95 ó 100% de la MDS del ensayo proctor modificado es una práctica ingenieril que no debe ser utilizada. En todo caso, se recomienda medir la densidad natural y asignar el correspondiente valor CBR y en el caso extremo, realizar el ensayo CBR en el laboratorio considerando el ensayo proctor standard.

REFERENCIAS

1. Valle Rodas, R., 1976. Carreteras, Calles y Aeropistas.
2. Poulos, H.G. Davis, E.H., 1974. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics.
3. AASHTO, 1993. Guide for Design of Pavement Structures.

