

**XIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Puno, del 05 al 09 de Noviembre del 2001**

ENSAYOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EL ADITIVO RBI-81

Roxana M. Ugaz Palomino ⁽¹⁾
Carlos Tupia Córdova ⁽²⁾
Jorge E. Alva Hurtado ^(1.2)

RESUMEN

En este artículo se presenta los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con una amplia gama de suelos peruanos y un aditivo estabilizador de suelos, el RBI-grado 81 de Road Building International. El aditivo fue proporcionado por Corporación Económica S.A. distribuidor del producto en el Perú

Se han realizado ensayos estándar de clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación Proctor Modificado, CBR y compresión no confinada para el material natural y con distintos porcentajes del estabilizador de suelos utilizado. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de Hidroenergía Consultores en Ingeniería y de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La evaluación de resultados indica que para una amplia gama de suelos ensayados puede lograrse sustantivos incrementos en la capacidad de soporte de los suelos con la adición del aditivo. El incremento en los valores de CBR es variable, en función de la naturaleza de los suelos y el porcentaje del aditivo, por lo que se recomienda realizar ensayos de laboratorio previa a su utilización, para determinar el porcentaje óptimo del aditivo a ser usado en la estabilización.

⁽¹⁾ Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería

⁽²⁾ Hidroenergía Consultores en Ingeniería

INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos para el diseño y construcción de pavimentos se define como un mejoramiento de los materiales de subrasante, subbase y base, incrementando de manera notoria su resistencia y capacidad de carga y disminuyendo su sensibilidad al agua y a los cambios volumétricos durante el ciclo de humedecimiento y secado.

Existen diversas formas de estabilización de suelos, desde las mecánicas que utilizan la combinación de diferentes materiales hasta las químicas que utilizan diversos aditivos, tales como cemento, cal, asfalto y estabilizadores líquidos. En este estudio se presentan los resultados preliminares de ensayos de estabilización de suelos peruanos con el aditivo RBI-81 desarrollado en Sudáfrica. Este material está compuesto por una mezcla de componentes inorgánicos y se presenta en forma de polvo.

Se han ejecutado ensayos de laboratorio con diferentes tipos de suelos, que se pueden clasificar en gravas limosas y arcillosas, arenas, arenas limosas y arcillosas, arcilla arenosa y limo arenoso. Se realizaron ensayos de granulometría y límites de consistencia, para la clasificación de suelos compactación con el ensayo Proctor Modificado y ensayos de Capacidad de Soporte de California (CBR).

La adición del aditivo al suelo se realizó inmediatamente antes de preparar los especímenes para los ensayos Proctor y CBR. Después de preparados los especímenes para el ensayo CBR se le dejó reposar por siete (7) días en recipiente hermético antes de sumergirlos en agua de acuerdo a las normas. Esta recomendación de curado por siete días previo a la inmersión en agua, está dada por el fabricante.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Se ensayaron muestras de gravas limosas, gravas arcillosas y gravas mal gradadas arcillosas, con porcentaje de aditivo de 0%, 2% y 4% en peso. Todas las gravas tuvieron un porcentaje de finos superior al 5% y hasta un valor máximo de 26%. Se notó un ligero incremento del límite líquido con el incremento del porcentaje del aditivo y una ligera disminución del índice plástico con el aumento del porcentaje de aditivo. En relación a los valores de compactación Proctor Modificado, se notó una ligera disminución en los valores de máxima densidad seca y un ligero aumento en el óptimo contenido de humedad. El incremento del valor del CBR es grande, con 2% del aditivo el valor de CBR se incrementa de 2.3 a 6 veces y con 4% del aditivo los valores aumentan de 6 a 25 veces para el CBR al 100% de la máxima densidad del ensayo Proctor Modificado.

También se ensayaron muestras de arenas mal gradadas y arenas limosas y arcillosas, con porcentajes de aditivo de 0% a 4% en peso. Las arenas tenían distintos porcentajes de gravas. Se pudo apreciar ligeras variaciones en los límites líquido, límites plásticos y límites de contracción de las partículas finas de las arenas. El óptimo contenido de humedad de las arenas arcillosas aumenta ligeramente y disminuye ligeramente para las arenas limosas; sin embargo, se nota una reducción de 2% a 6% en la máxima densidad seca del ensayo Proctor Modificado. El aumento del CBR es bastante grande, con 2% de aditivo el CBR se incrementa de 2 a 5.9 veces y con 4% de aditivo el incremento es de 2.5 a 9.1 veces para el 100% de la máxima densidad del ensayo Proctor Modificado.

Se ensayó una muestra de arcilla limosa con 20% de arena. Los resultados de los límites de consistencia arrojaron 27% del límite líquido y 12% de índice plástico. Se utilizó aditivo en 2% y 4% en peso. Los valores de límite líquido e índice plástico disminuyen ligeramente. Casi no existe variación en los valores de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad. Los valores de CBR aumentan hasta 4.25 veces para el 100% de la máxima densidad del ensayo Proctor Modificado. El porcentaje de 2% produce valores ligeramente mayores que los de 4%, lo cual resultó sorprendente, pudiéndose haber sido producto de errores en los ensayos.

Finalmente se ensayó una muestra de limo con 26% de arena y 19% de grava. Se utilizó aditivo en 2% y 4% en peso. Los valores de CBR aumentan en 2 y 2.2 veces para el 100% de la máxima densidad del ensayo Proctor Modificado.

La Tabla N°1 presenta los resultados de los ensayos de clasificación de suelos de las muestras ensayadas. Se presentan los porcentajes del suelo conformados por finos, arenas y gravas de cada muestra. También se presentan los resultados de los límites de consistencia de los suelos analizados, el índice plástico y el contenido de humedad natural.

La Tabla N°2 presenta los resultados de los ensayos de compactación Proctor Modificado, indicando la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de las muestras en estado natural y con los porcentajes de aditivo añadidos. También se presentan los valores de CBR para el 95%, 98% y 100% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor Modificado.

Las Figuras N°1, 2, 3 y 4 presentan los valores de CBR al 100% de la MDS del ensayo Proctor Modificado versus el porcentaje de aditivo utilizado para las gravas, arenas, arcilla y limo que fueron ensayados en esta investigación. Se presenta un diagrama de bloques y una comparación de los incrementos para materiales similares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización del aditivo ensayado determinó un incremento considerable de la capacidad de soporte en una amplia gama de suelos (Gravas, Arenas, Arcillas y Limos) brindándonos una solución al problema de la subrasante que se presenta al momento de la construcción de una carretera, donde muchas veces se emplea una estabilización mecánica para aumentar el valor del CBR.

La determinación del óptimo contenido de aditivo deberá de garantizar, además de la capacidad de soporte (CBR) requerida, una adecuada resistencia a la durabilidad y desgaste (producidos por lluvias, congelamiento y el tráfico).

El agente estabilizador presentó un comportamiento favorable en materiales gravosos arcillosos, gravosos limosos, arenosos arcillosos, arenosos limosos, limosos arenosos así como arcillosos arenosos. Para el caso de material finos como arcillas y limos a ser utilizados con el aditivo, el porcentaje de aditivo a utilizar podría ser mayor. Se recomienda un mayor número de ensayos en materiales finos.

Para determinar un óptimo contenido del aditivo se deben realizar ensayos de laboratorio con los suelos naturales y diferentes porcentajes de aditivo.

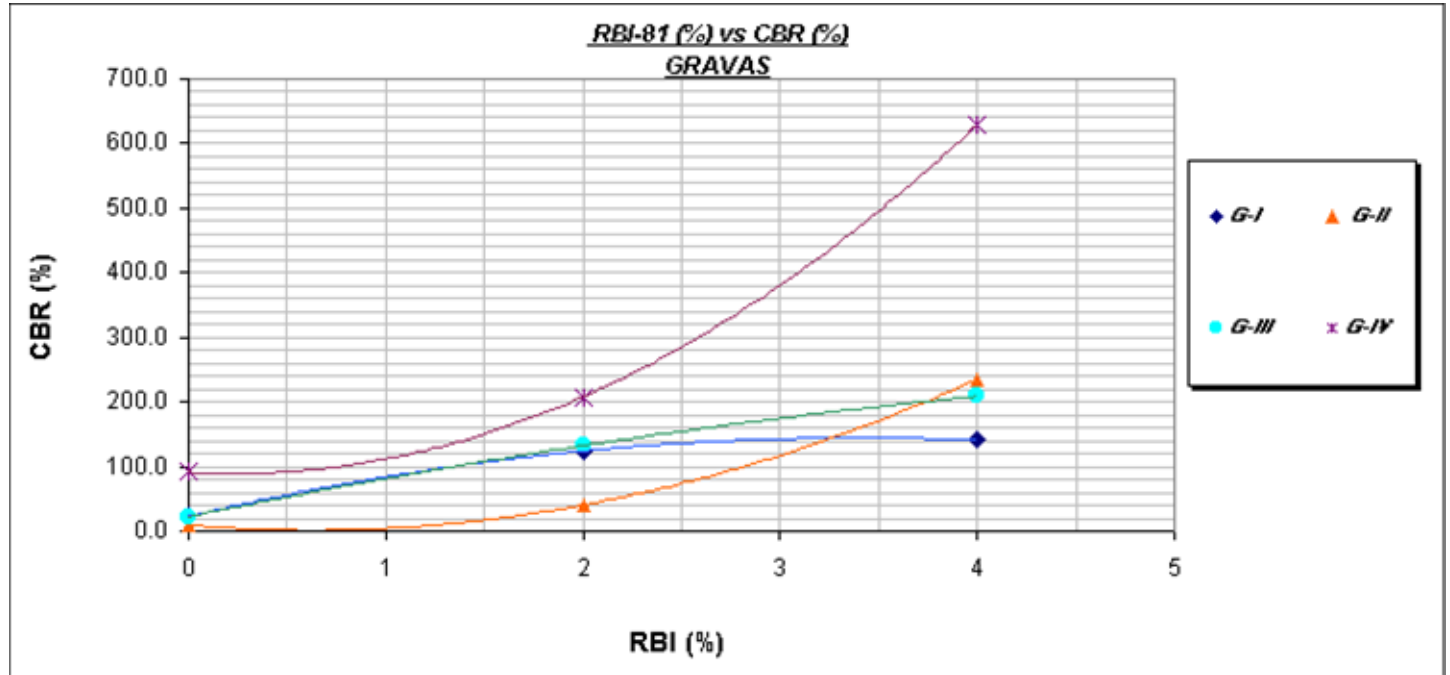
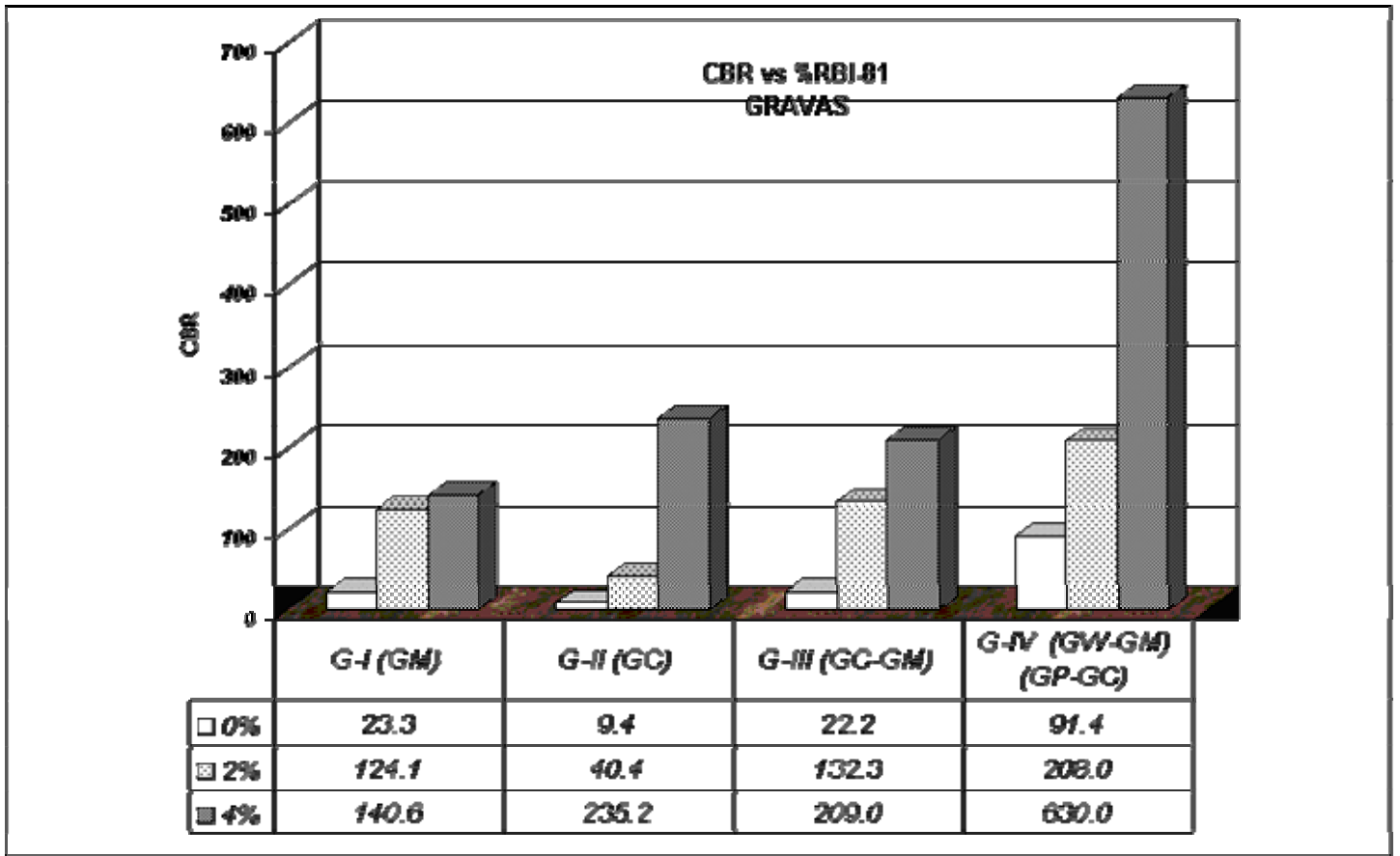
Se recomienda continuar con las investigaciones sobre el uso del aditivo RBI-Grado 81 en diferentes suelos ya que presenta un gran potencial en el aumento de capacidad de soporte de subrasante, subbases y bases.

REFERENCIAS

1. Crespo C. (2000), Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos”, Limusa, México.
2. Garagorri E. (1994) “Estabilización de Suelos para Carreteras en la Selva”. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
3. Kezdi A. (1979). “Estabilized Earth Roads”.
4. Lambe T.W. y Whitman R. (1989). “Mecánica de Suelos”, Limusa, México.

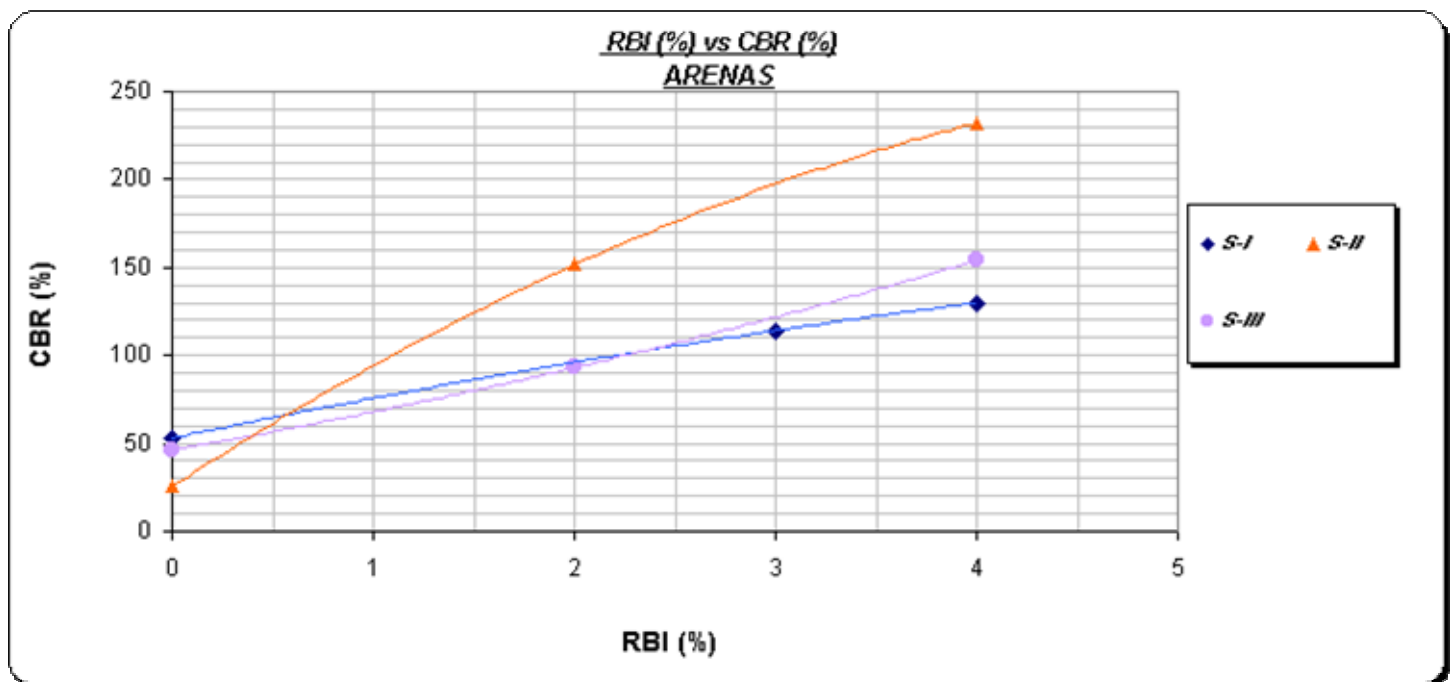
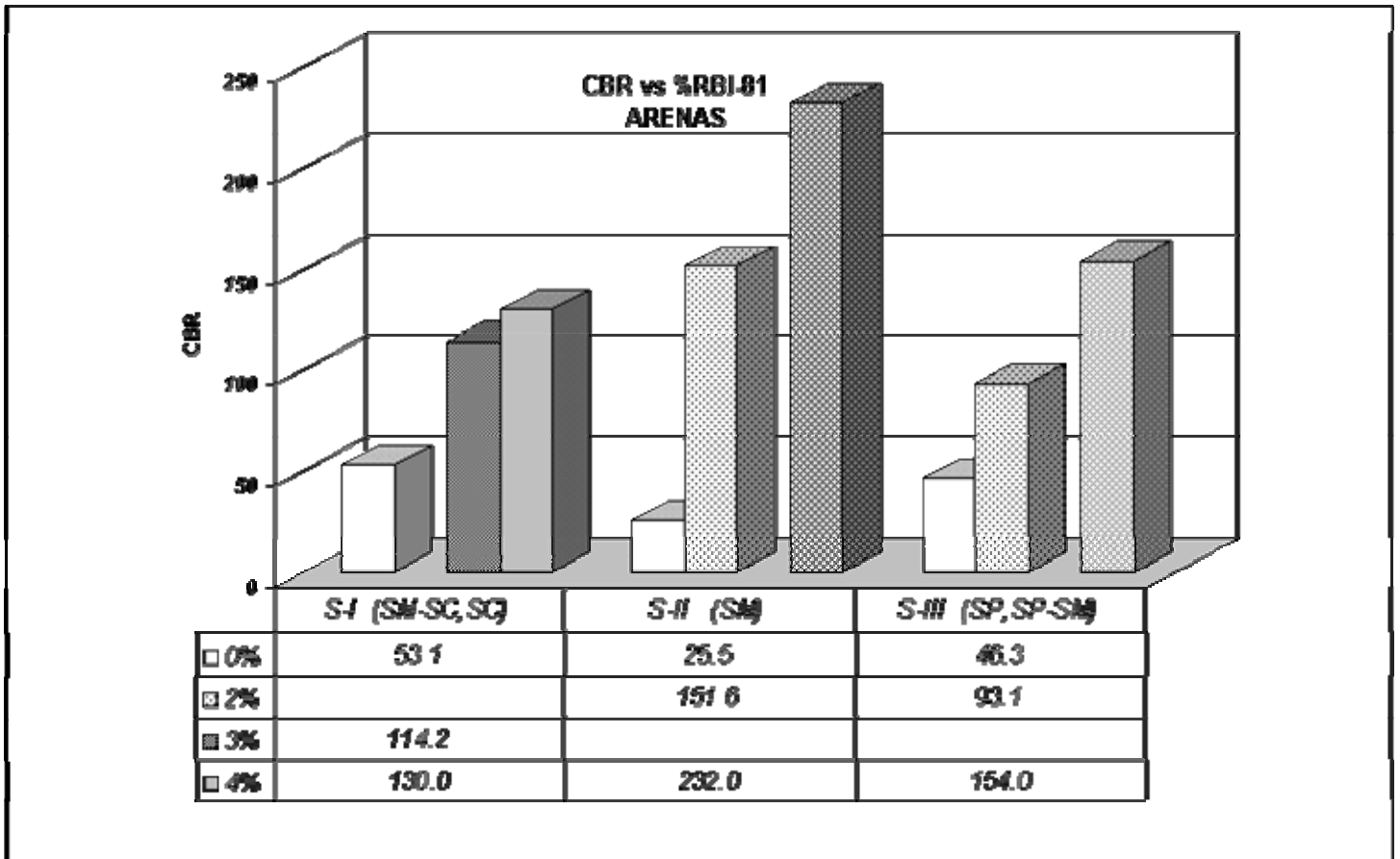
5. Road Building International (2001). "Guide to the Construction of a Stabilized Material or Pavement Layer Using RBI-Grade 81".
6. Puentes R. (1997), "Estabilización de Suelos para Carreteras". Tesis de Titulación Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
7. Yturry A. (1999). "Investigación de Aditivos Estabilizadores de Suelos para La Construcción de Carreteras". Tesis de Titulación Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.

FIGURA N° 1 CBR vs RBI-81
GRAVAS



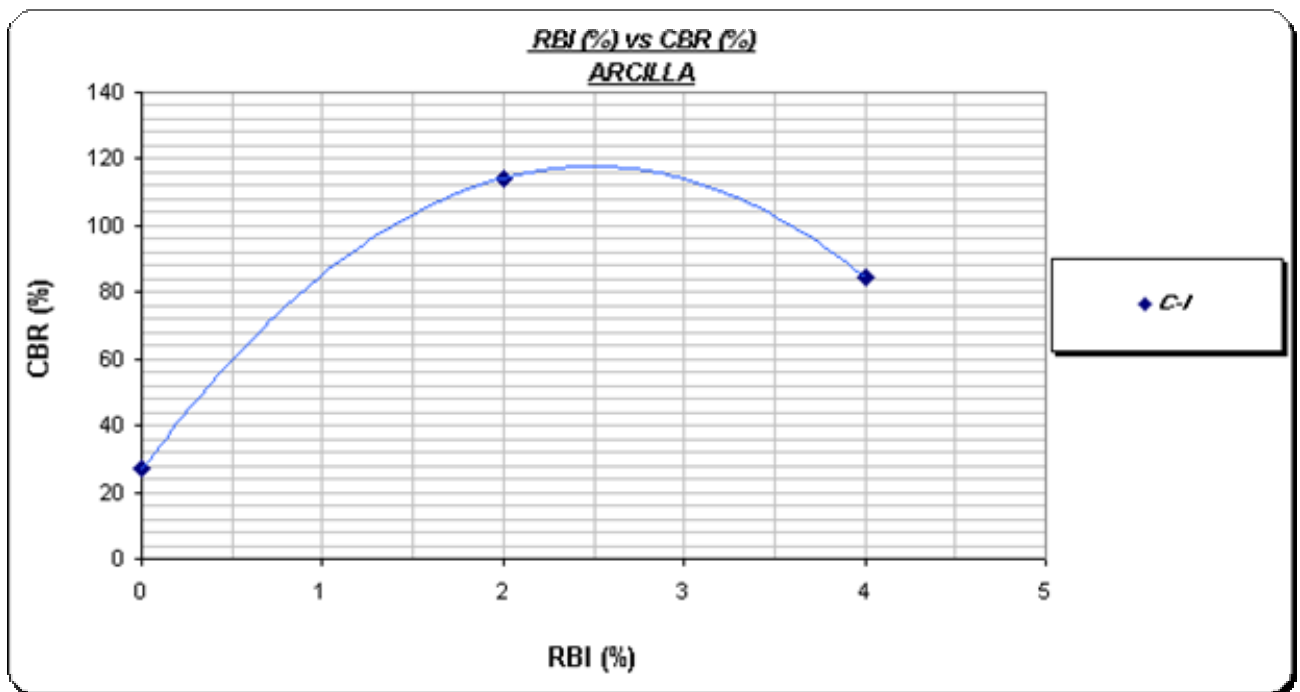
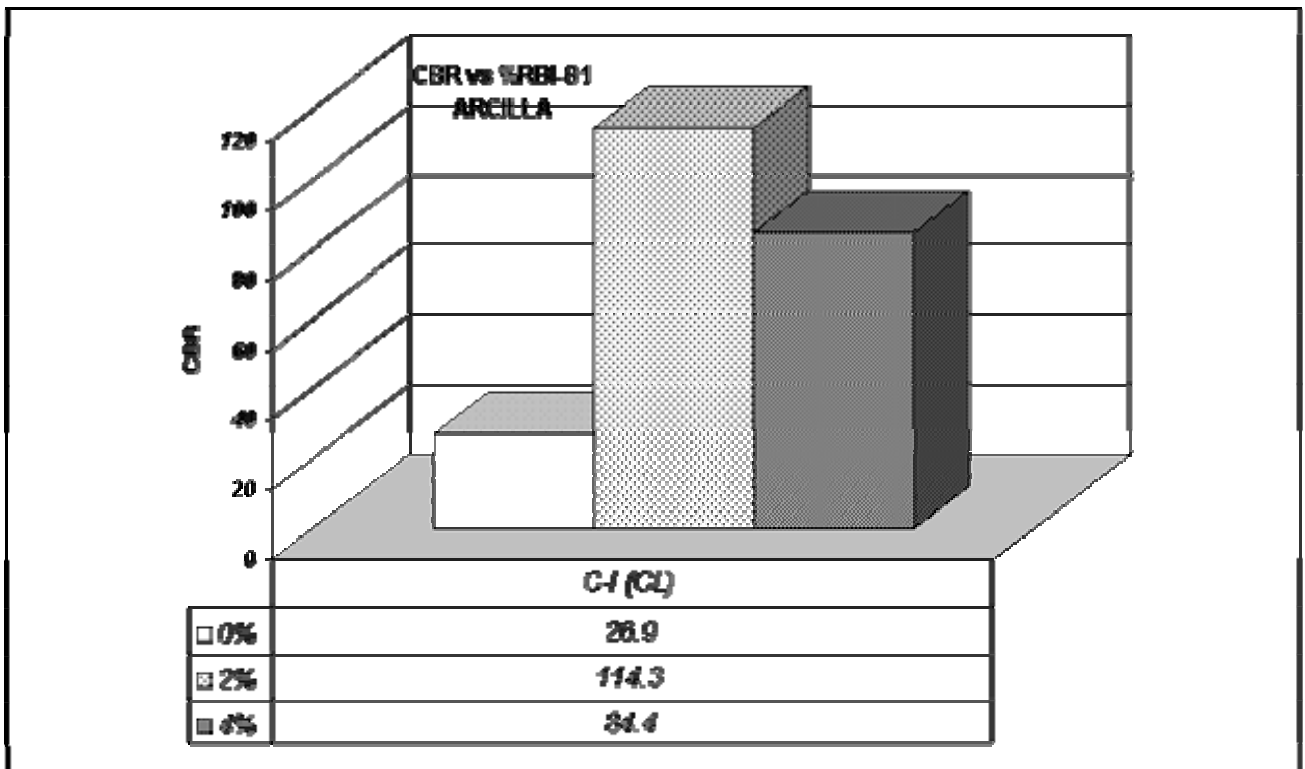
NOTA: LOS VALORES DE CBR SON AL 100% MDS

FIGURA Nº 2 CBR vs RBI-81
ARENAS



NOTA: LOS VALORES DE CBR SON AL 100% MDS

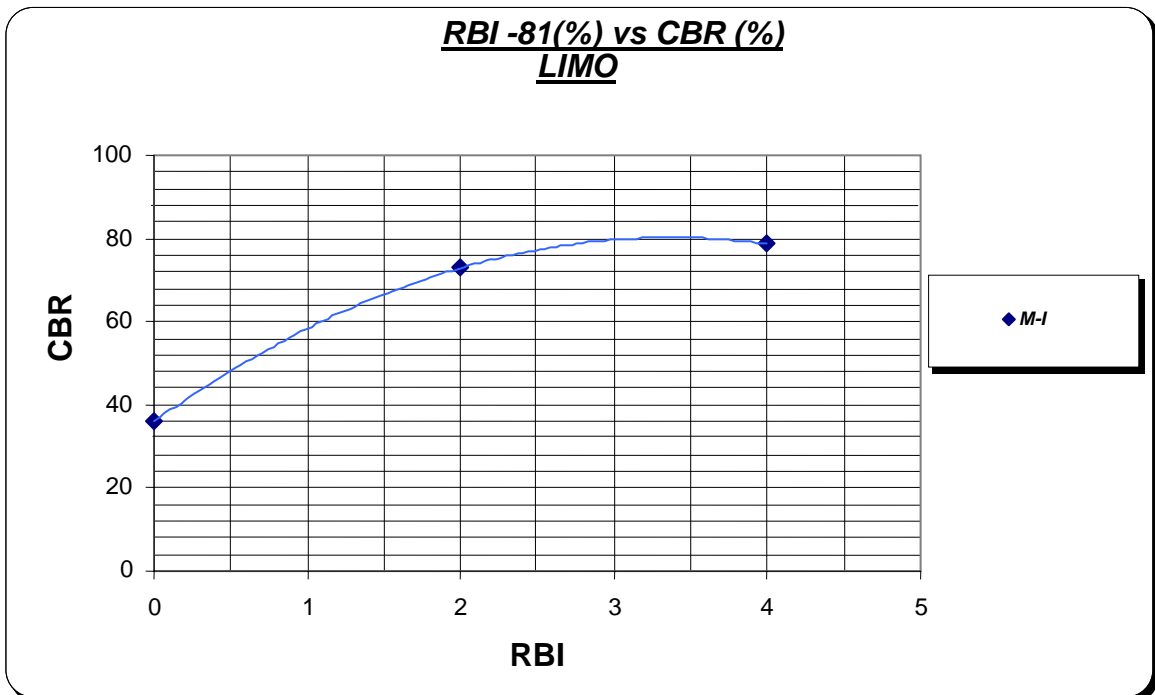
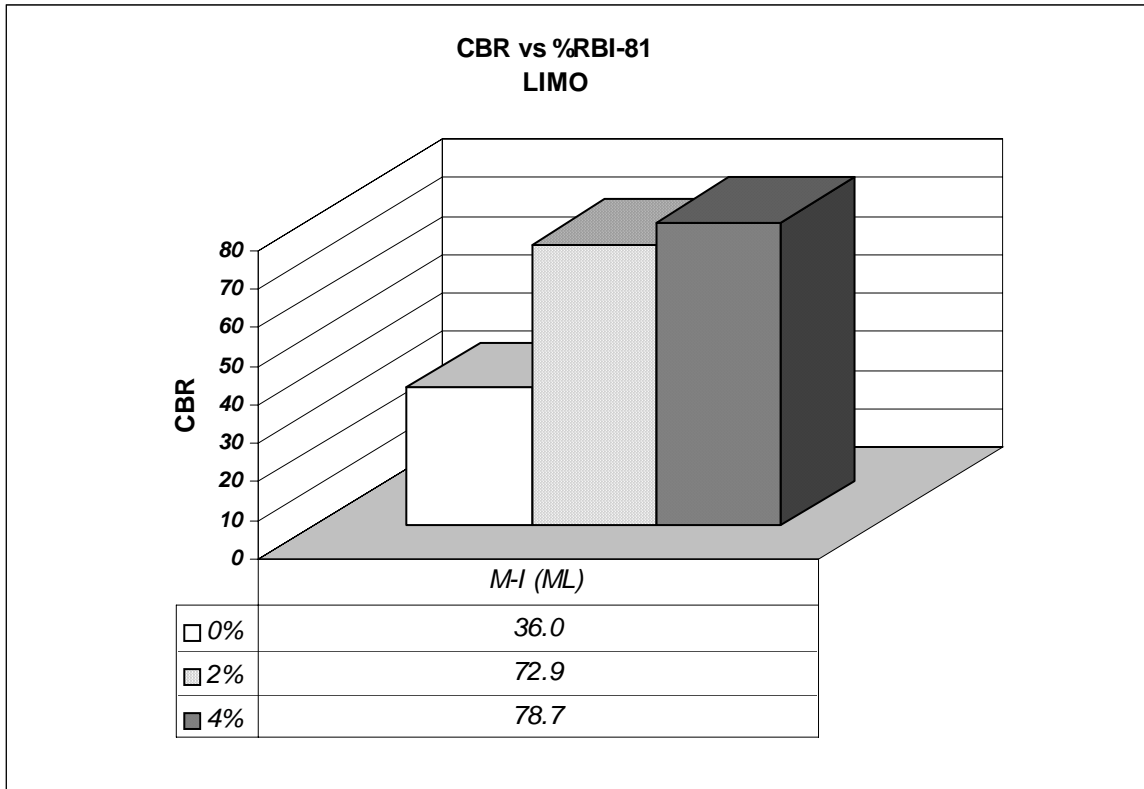
FIGURA Nº 3 CBR vs RBI-81
ARCILLA



NOTA: LOS VALORES DE CBR SON AL 100% MDS

FIGURA N° 4 CBR vs RBI-81

LIMO



NOTA: LOS VALORES DE CBR SON AL 100% MDS

TABLA N° 1
PROPIEDADES FISICAS DE GRAVAS ESTABILIZADAS CON RBI-GRADO 81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		FRACCION DE MATERIAL (%)			LIMITES DE CONSISTENCIA (%)				ω_{nat} (%)
		SUCS	AASHTO	FINOS	ARENA	GRAVAS	LL	LP	LC	IP	
G-I	0%	GM	A-1 B	17.04	29.11	53.85	-	-	-	-	1.93
	2%	GM	A-1 B	18.91	28.17	52.92	-	-	-	-	
	4%	GM	A-1 B	20.77	27.24	51.99	-	-	-	-	
G-II	0%	GC	A-2-4 (0)	20.67	24.12	55.21	18.85	11.69	-	7.16	1.93
	2%	GC	A-2-4 (0)	22.48	23.29	54.23	-	-	-	-	
	4%	GC	A-2-4 (0)	23.13	22.83	51.85	-	-	-	-	
G-III	0%	GC	A-2-4 (0)	23.61	30.93	45.46	32.19	22.17		10.02	5.48
	2%	GM	A-2-4 (0)	25.30	30.08	44.62	34.33	24.45		9.89	
	4%	GM	A-2-4 (0)	26.77	29.65	43.58	35.52	25.62		9.90	
G-IV	0%	GW - GM	A-1 A	5.06	29.03	65.91	16.34	NP	NP	NP	1.69
	2%	GP - GC	A-2-4	7.09	28.41	64.50	21.05	15.01	NP	6.04	
	4%	GP - GC	A-2-4	9.03	27.82	63.15	25.77	19.29	NP	6.48	

PROPIEDADES FISICAS DE ARENAS ESTABILIZADAS CON RBI-GRADO 81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		FRACCION DE MATERIAL (%)			LIMITES DE CONSISTENCIA (%)				ω_{nat} (%)
		SUCS	AASHTO	FINOS	ARENA	GRAVAS	LL	LP	LC	IP	
S-I	0%	SM-SC	A-4	40.66	43.07	16.27	23.99	18.09	6.59	5.90	0.13
	3%	SM-SC	A-4	42.81	41.51	15.68	28.20	21.74	15.35	6.46	
	4%	SC	A-4	43.50	41.01	15.49	27.39	17.80	16.79	9.59	
S-II	0%	SM	A-4	20.71	79.29	0.00	NP	NP	NP	NP	8.36
	2%	SM	A-5	22.46	77.54	0.00	NP	NP	NP	NP	
	4%	SM	A-6	24.15	75.85	0.00	NP	NP	NP	NP	
S-III	0%	SP	A-1B	1.80	53.38	44.82	NP	NP	NP	NP	1.82
	2%	SP	A-1B	3.95	52.31	43.74	NP	NP	NP	NP	
	4%	SP-SM	A-1B	6.10	51.23	42.67	NP	NP	NP	NP	

PROPIEDADES FISICAS DE ARCILLA ESTABILIZADA CON RBI-GRADO 81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		FRACCION DE MATERIAL (%)			LIMITES DE CONSISTENCIA (%)				ω_{nat} (%)
		SUCS	AASHTO	FINOS	ARENA	GRAVAS	LL	LP	LC	IP	
C-I	0%	CL	A-6	78.96	21.04	0.00	27.01	15.08	13.91	11.93	18.28
	2%	CL	A-6	79.65	20.35	0.00	24.79	13.99	14.38	10.80	
	4%	CL	A-6	80.30	19.70	0.00	25.57	15.58	-	9.99	

PROPIEDADES FISICAS DE LIMO ESTABILIZADO CON RBI-GRADO 81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		FRACCION DE MATERIAL (%)			LIMITES DE CONSISTENCIA (%)				ω_{nat} (%)
		SUCS	AASHTO	FINOS	ARENA	GRAVAS	LL	LP	LC	IP	
M-I	0%	ML	A-4 (4)	53.32	26.83	19.85	-	-	-	-	3.50
	2%	ML	A-4 (4)	54.47	26.05	19.48	-	-	-	-	
	4%	ML	A-4 (4)	55.80	25.17	19.03	-	-	-	-	

TABLA Nº 2
ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR PARA GRAVAS ESTABILIZADAS CON RBI-GRADO-81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		PROCTOR MODIFICADO		CBR		
		SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	95%	98%	100%
G-I	0%	GM	A-1 B	2.26	8.12	20.7	22.2	23.3
	2%	GM	A-1 B	2.14	8.50	104.6	110.0	124.1
	4%	GM	A-1 B	2.15	9.23	116.6	128.3	140.6
G-II	0%	GC	A-2-4 (0)	2.10	10.38	7.6	8.7	9.4
	2%	GC	A-2-4 (0)	2.10	10.26	33.5	37.8	40.4
	4%	GC	A-2-4 (0)	2.09	11.31	200.0	220.3	235.2
G-III	0%	GC	A-2-4 (0)	2.03	11.05	18.0	19.0	22.2
	2%	GM	A-2-4 (0)	2.01	9.68	96.1	118.6	132.3
	4%	GM	A-2-4 (0)	1.95	10.74	164.1	190.0	209.0
G-IV	0%	GW - GM	A-1 A	2.25	3.80	63.6	80.6	91.4
	2%	GP - GC	A-2-4	2.08	6.58	148.0	205.0	208.0
	4%	GP - GC	A-2-4	2.04	4.75	387.0	541.0	630.0

ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR PARA ARENAS ESTABILIZADAS CON RBI-GRADO-81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		PROCTOR MODIFICADO		CBR		
		SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	95%	98%	100%
S-I	0%	SM-SC	A-4	1.98	11.07	49.4	51.5	53.1
	3%	SM-SC	A-4	1.97	11.50	87.9	104.0	114.2
	4%	SC	A-4	1.94	12.46	96.0	110.0	130.0
S-II	0%	SM	A-4	2.07	9.10	23.7	24.7	25.5
	2%	SM	A-5	2.08	8.23	150.8	151.8	151.6
	4%	SM	A-6	2.04	8.35	229.0	232.0	232.0
S-III	0%	SP	A-1B	2.06	9.00	42.9	45.3	46.3
	2%	SP	A-1B	2.09	9.97	90.9	92.2	93.1
	4%	SP-SM	A-1B	2.07	9.13	144.4	150.3	154.0

ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR PARA ARCILLAS ESTABILIZADAS CON RBI-GRADO-81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		PROCTOR MODIFICADO		CBR		
		SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	95%	98%	100%
C-I	0%	CL	A-6	2.01	11.00	18.2	23.5	26.9
	2%	CL	A-6	2.05	10.12	90.0	104.9	114.3
	4%	CL	A-6	1.94	11.70	83.8	84.2	84.4

ENSAYOS DE PROCTOR Y CBR PARA LIMOS ESTABILIZADOS CON RBI-GRADO-81

Muestra	ADITIVO	CLASIFICACION		PROCTOR MODIFICADO		CBR		
		SUCS	AASHTO	MDS (gr/cc)	OCH (%)	95%	98%	100%
M-I	0%	ML	A-4 (4)	1.99	12.65	24.7	31.0	36.0
	2%	ML	A-4 (4)	1.96	12.97	58.7	66.9	72.9
	4%	ML	A-4 (4)	1.92	14.38	69.0	74.9	78.7

