

“METODOLOGIA DE MOLDEO DE PROBETAS DE MATERIAL GRANULAR NO LIGADO PARA EL ENSAYO DE MODULO RESILIENTE”

Becario: Gladys Sosa ⁽¹⁾
Directores: Sr. Martín Villanueva ⁽²⁾
Sr. Luciano Brizuela

1. Resumen

La tesis pretende por un lado lograr conformar probetas estables al manipuleo, y por el otro pretende que dichas probetas tengan una densidad uniforme entre las capas que la conforman. A su vez, se plantea una metodología confiable que logre el cumplimiento de lo anteriormente mencionado.

2. Abstract

The thesis pretends, on the one hand, to mould stable samples with handling resistance properties and, on the other hand, to achieve a uniform density throughout the different layers of the sample. Moreover, a trustful methodology is presented in order to accomplish the objectives mentioned above.

3. Fundamentos

Hace algunos años, el LEMaC adquirió un equipo de ensayo de Módulo Resiliente. Inicialmente se realizaron determinaciones sin cumplimentar con todos los requisitos que establece la norma de ensayo, a fin de familiarizarse con el equipo. Concluida esta etapa, se hizo necesario tomar recaudos más rigurosos tanto en la manipulación de la máquina como en la confección y tratamiento de las probetas, de esta manera se persigue el objetivo de cumplir con las indicaciones que establece la norma AASHTO: T 307-99 (2003) y sumar confiabilidad en el resultado de las determinaciones.

4. Desarrollo experimental

Moldeo de probetas:

Primariamente se comenzó a moldear probetas de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro en 6 capas, utilizando para su compactación un percutor y empleando un molde de probetas de hormigón.

En el acto de desmolde, la probeta se partía diametralmente cuando se intentaba separar las dos mitades.

Debido a esto se decidió cambiar el tipo de molde, con lo cual se reemplazó el compuesto por dos mitades, por uno de dimensiones idénticas al anterior pero con un único corte longitudinal.



Figura N° 1: Molde metálico de dos piezas



Figura N° 2: Molde metálico de una sola pieza

(1)Becaria: Gladys Sosa – Area Estudios del Transporte

(2)Directores: Luciano Brizuela y Martín Villanueva – PID N° 25/i053

Los resultados ante esta opción fueron satisfactorios. Aun así, era necesario adicionar algún accesorio separador con el fin de eliminar cualquier tipo de adherencia entre el suelo y la pared interna del molde. Ante esta situación se optó por emplear una lámina de papel aluminio, material que fue descartado por su difícil colocación dentro del molde y su gran tendencia a rajarse ante el menor contacto con el material granular; luego se intentó con un material tubular de lycra.



Figura N° 3 Molde con material tubular de lycra



Foto N° 4 Molde con material de lycra y aporte de material



Foto N° 5: Probeta confeccionada y recubierta con material de lycra

Este mejoró la conformación de la probeta pero se decidió abandonar su uso por el costo del material

Otro de los problemas de que se manifestó fue el referido a la energía de compactación. En algunos de los suelos con los cuales se trabajó, la energía necesaria para llegar a la densidad prefijada por el ensayo Proctor era muy superior a la que le podía entregar el operador conjuntamente con el percutor.

Esta circunstancia promovió el uso de un molde de tamaño menor, (con el objetivo de aumentar la energía específica de compactación), específicamente el de 10 cm. de diámetro y 20 cm de alto, que según la granulometría del material analizado, cumplía con la norma.



Figura N° 6: Molde de 10cm x 20cm

En esta etapa se modificó el número de capas, pasando así de 6 a 5, para dar de esta forma, la posibilidad al agregado de mayor tamaño de acomodarse de la mejor manera dentro de cada capa

Se utilizó además, una lámina de acetato como separador entre el molde y el suelo, suprimiendo cualquier tipo de adherencia que pudiera producirse luego de la compactación entre el metal y el material a analizar. Esta lámina fue lubricada además con vaselina líquida. Utilizando este tamaño y tipo de molde se han conseguido los mejores resultados.

Cabe mencionar que se han debido solucionar inconvenientes como: enrase, membrana y humedad de moldeo.

Control de Densidad:

Uno de los objetivos primordiales fue el de conseguir que la densidad de la probeta sea uniforme en todas sus capas. Para evaluar este ítem se acordó moldear distintos suelos granulares y una vez terminado el proceso de compactación y desmolde, proceder a separar cada una de las capas constitutivas de la probeta y realizar la determinación de la densidad de cada una de ellas.

El material disponible para conformar el estabilizado granulométrico fue el siguiente:

Piedra partida 6:20
Tandil – Olavaria

Tamiz	% que pasa
2"	100
1 1/2"	100
1"	100
3/4"	96,6
3/8"	23
4	5,9
10	2,9
40	1,9
200	1,2

Piedra partida 6:20
Olavaria

Tamiz	% que pasa
2"	100
1 1/2"	100
1"	100
3/4"	99,3
3/8"	36
4	6,7
10	2,9
40	2
200	1,3

Piedra partida 6:12
Olavaria

Tamiz	% que pasa
2"	100
1 1/2"	100
1"	100
3/4"	100
3/8"	99,9
4	25,8
10	8
40	3,5
200	1,9

Arena de trituración 0:6
Olavaria

Tamiz	% que pasa
2"	100
1 1/2"	100
1"	100
3/4"	100
3/8"	100
4	93,9
10	46,2
40	18,1
200	8,4

Arena de trituración 0:6
Tandil

Tamiz	% que pasa
2"	100
1 1/2"	100
1"	100
3/4"	100
3/8"	100
4	93,4
10	58,2
40	27,8
200	9,4

Suelo seleccionado A-4 (7)

Límite líquido	36
Límite plástico	34
Índice de plasticidad	2
Pasa tamiz N° 10	98,3
Pasa tamiz N° 40	87
Pasa tamiz N° 200	68,4

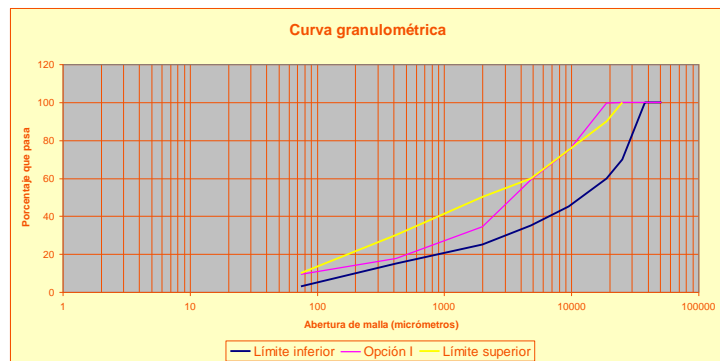
Teniendo en cuenta las curvas granulométricas límites que establece el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad para material destinado a bases, se generaron dos curvas con los siguientes porcentajes de cada material:

MATERIAL	Opción I	Opción II
6:20 Tandil-Olavarría	0,00 %	20,00 %
6: 20 Olavarría	40,00 %	20,00 %
6:12 Olavarría	0,00 %	20,00 %
0:6 Olavarría	35,00 %	15,00 %
0:6 Tandil	19,00 %	15,00 %
Suelo	6,00 %	10,00 %

A continuación se detalla el análisis granulométrico de ambas mezclas:

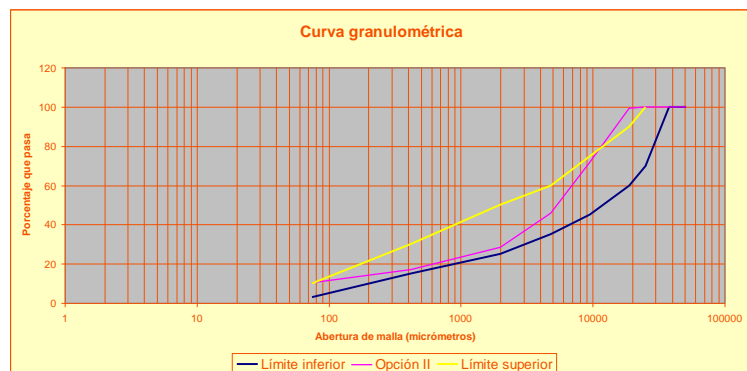
Opción I

Tamiz	C. Min	Estabilizado	C. Max
2"	100	100,0	
1 1/2"	100	100,0	
1"	70	100,0	100
3/4"	60	99,7	90
3/8"	45	74,4	75
4	35	59,3	60
10	25	34,3	50
40	15	17,6	30
200	3	9,4	10



Opción II

Tamiz	C. Min	Estabilizado	C. Max
2"	100	100,0	
1 1/2"	100	100,0	
1"	70	100,0	100
3/4"	60	99,2	90
3/8"	45	71,8	75
4	35	45,8	60
10	25	28,3	50
40	15	17,1	30
200	3	10,4	10



A estas dos combinaciones se les practicó el ensayo Proctor modificado y los resultados son lo que se muestran seguidamente:

	Densidad seca máxima	Humedad Óptima
Opción I	2.165	5.8
Opción II	2.176	6.4

Luego se procedió al conformado de las probetas. En su ejecución, se decidió intercalar entre capa y capa una lámina de acetato para facilitar la descomposición de la probeta en sus respectivas capas luego de su moldeo y de esta forma poder hacer las mediciones correspondientes en cada una de ellas.

Los resultados fueron los que se ven a posteriori:

Opción II (5/9/2012)

Compactación al 100%

Molde: mediano

Capas: 5 Altura de la capa: 4cm

Dsmax: 2.176

Hopt: 6.4%

Densidad húmeda
 $2.246 < 2.315 < 2.385$

Humedad óptima
 $5.4 < 6.4 < 7.4$

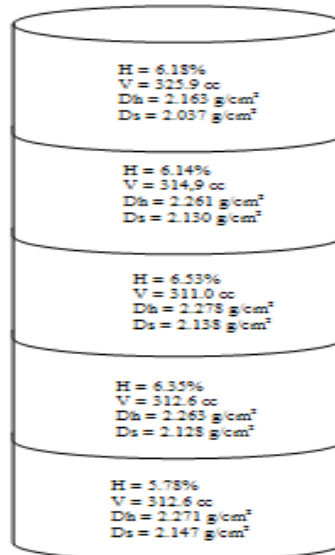


Figura N° 9: esquema de probeta (Opción II, compactación: 100%)

La determinación de los volúmenes individuales de cada capa fue llevada a cabo de la siguiente manera:

En primera instancia se hicieron tres medidas de la altura de cada capa con un calibre, pero sin desarmar la probeta.

Una vez hecho esto, se procedió a separar cada capa y realizar una nueva medición con el calibre, pero esta vez con mayor precisión. Estas mediciones fueron las que se utilizaron para calcular los volúmenes expuestos en las figuras.

No obstante lo antedicho, a la capa inferior se la sometió al cálculo de volumen a través del método de Arquímedes, pero esta acción fue desechada ya que en el proceso de inmersión el material comenzaba a disgregarse con extrema facilidad.

Para establecer la humedad, se secó en estufa de 100°C toda la capa.



Figura N° 10: Probeta desmoldada con lámina de acetato aun adherida



Figura N° 11: Probeta desmoldada evidenciando sus distintas capas

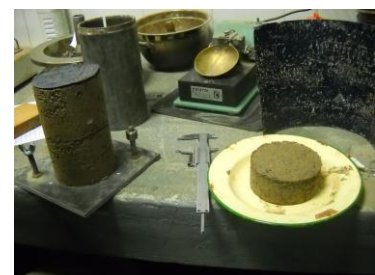


Figura N° 12: Separación de cada capa de la probeta

Opción II (10/9/2012)

Compactación al 90%

Molde: mediano

Capas: 5 Altura de la capa: 4cm

90% D_{smax}: 1.958

H_{opt}: 6.4%

Densidad húmeda
1.899 < 1.958 < 2.017

Humedad óptima
5.4 < 6.4 < 7.4

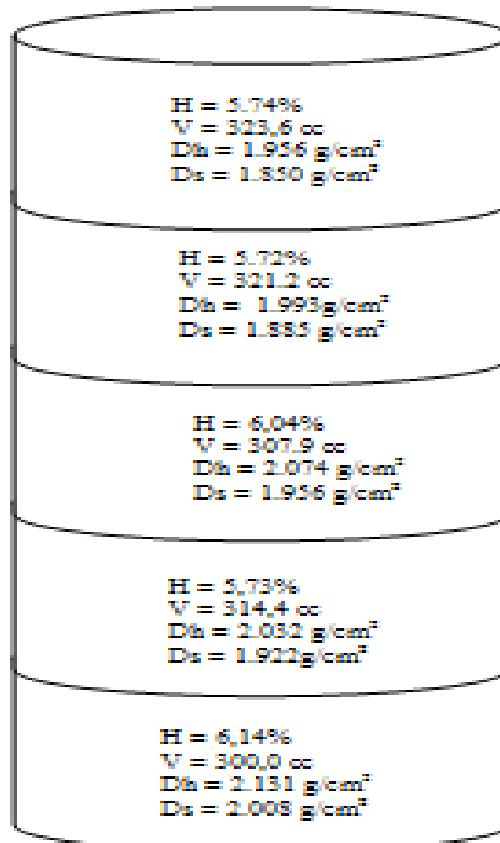


Figura N° 13: esquema de la probeta (Opción II; compactación: 90%)



Figura N° 14: aspecto de la probeta compactada al 90%



Figura N° 15: separación en las distintas capas donde se observa disgregamiento del material



Figura N° 16: detalle del desprendimiento del material

Opción I (12/9/2012)

Compactación al 100%

Molde: mediano

Capas: 5 Altura de la capa: 4cm

$D_{s\text{máx}}$: 2.165

$H_{\text{ópt}}$: 5.8%

Densidad húmeda
 $2.222 < 2.291 < 2.360$

Humedad óptima
 $4.8 < 5.8 < 6.8$

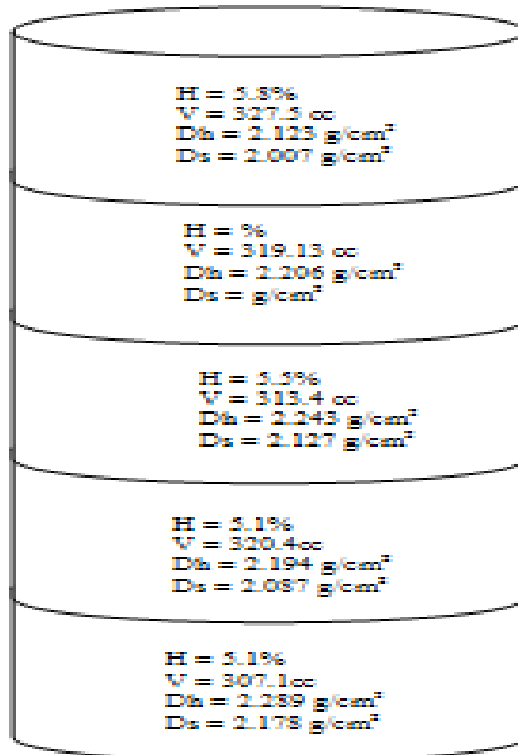


Figura N° 17: esquema de la probeta (Opción I; compactación: 100%)

Luego de terminar el proceso de medición del volumen de las capas, surgió la idea de realizar nuevamente dicha determinación a través del método de Arquímedes, pero esta vez, impermeabilizándola con un recubrimiento de parafina, este procedimiento será el adoptado en lo porvenir.



Figura N° 18: impermeabilización de la probeta a través de parafina fundida

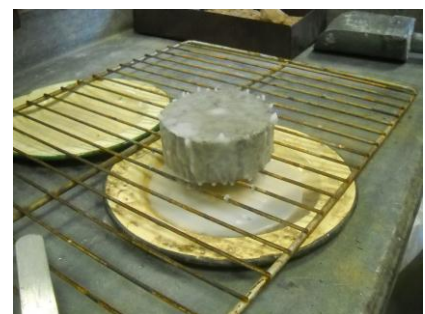


Figura N° 19: capa impermeabilizada con parafina

5. Conclusiones

Se logró lo pretendido en cuanto al moldeo de la probeta y a su desmolde y se consiguió la estabilidad deseada.

Se estableció el método para evaluar la densidad de cada capa, usando parafina en la determinación del volumen.

Queda pendiente evaluar la distribución uniforme de la densidad, para lograr que cada capa entre en el rango de tolerancia especificado por norma.

6. Agradecimientos.

Se agradece especialmente en el desarrollo de la metodología planteada al Ing. Enrique Giaccio, por el interés y el apoyo prestado, y al Ing. Natalia Alderete, por la asistencia en cuanto a la traducción de las normativas y sus trabajos previos que sirvieron de base para el presente desarrollo.