

31-A  
2eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

" APLICACION DE LA PRUEBA PORTER  
MODIFICADA PARA CORRELACIONAR  
PRUEBAS DE V. R. S. - COMPRESION  
SIMPLE "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A N :

ADRIAN MARTINEZ DOLORES  
JUAN JAVIER HUERTA ALVARADO

ENEP



ARAGON

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Edo. de México

1994



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON  
DIRECCION

ADRIAN MARTINEZ DOLORES  
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 29 de junio del año en curso, presentada por Juan Javier Huerta Alvarado y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RUBEN FRIAS ALDARACA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " APLICACION DE LA PRUEBA PORTER MODIFICADA PARA CORRELACIONAR PRUEBAS DE V.R.S.-COMPRESION SIMPLE ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Mex., 2 de agosto de 1990  
EL DIRECTOR

M. y CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Ing. Jorge F. Paniagua Ballinas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. Raúl Barrón Vera, Coordinador de Ingeniería (21).
- c c p Ing. Manuel Martínez Ortiz, Jefe del Departamento de Servicios Escolares.
- c c p Ing. Ruben Frías Aldaraca, Asesor de Tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON  
DIRECCION

JUAN JAVIER HUERTA ALVARADO  
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 29 de junio del año en curso, presentada por Adrían Martínez Dolores y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RUBEN FRIAS ALDARACA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " APLICACION DE LA PRUEBA PORTER MODIFICADA PARA CORRELACIONAR PRUEBAS DE V.R.S.-COMPRESION SIMPLE ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Mex., 2 de agosto de 1960  
EL DIRECTOR

M EN I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Ing. Jorge F. Paniagua Ballinas, Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Ing. Raúl Barrón Vera, Coordinador de Ingeniería (21).  
c c p Ing. Manuel Martínez Ortiz, Jefe del Departamento de Servicios Escolares.  
c c p Ing. Ruben Frías Aldaraca, Asesor de Tesis.

¡ Oh Jehová, mi Dios!  
Gracias por permitir  
a mis sentidos  
contemplar tus obras,  
que son infinitamente  
maravillosas y perfectas.  
Gracias Señor, por permitirnos existir.

La sabiduría es la cosa principal,  
adquiere sabiduría y con todo lo que adquieres,  
adquiere entendimiento.  
Estímalas altamente y ella te ensalzará,  
dará a tu cabeza una guirnalda de encanto  
y te otorgará una corona de hermosura.

Prov. 4:7-9

**A MIS PADRES:**

Sra. Delfina Dolores Gonzáles

Sr. Juan Martínez Cristino.

Gracias por darme la vida,  
por darme ese apoyo inquebrantable.  
pese a las circunstancias que  
se presentaron.

Gracias por esa expresión de amor,  
de fé y de esperanza, para seguir  
esforzándome en mi camino.

A MIS HERMANOS:

Lorenza, Eva, Carmen, Senobio,  
Rafaela y Concepción.

Por el apoyo que me han brindado,  
por la ilusión que hemos compartido,  
por el esfuerzo realizado para superarnos,  
por los obstáculos que hemos afrontado,  
por contar con ustedes en todo momento difícil,  
por mantener unida esta familia.

A todos ustedes, gracias.

A MI ESPOSA:

Josefina Sahagún Linares.

Por ser un motivo más en mi vida.

A MIS HIJAS:

Jarumi y Sayuri.

Para que en la realización  
de sus objetivos; esto sea  
un estímulo para ustedes.



Gracias al Ing. RUBEN FRIAS ALDARACA  
Por el tiempo, atención y apoyo  
que tuvo para con nosotros,  
en el desarrollo de este trabajo.

Se agradece al M.I. en Ingeniería  
FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE  
Por sus valiosos comentarios  
en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco al Ingeniero  
FRANCISCO HERMOSILLO SILVA  
El valioso apoyo que me ha brindado  
en mi desarrollo profesional.

A MIS PADRES:

Que materializaron mi existencia  
y con su amor, apoyo y dedicación  
brindaron a mi vivir  
el deseo de superación.

A MIS HERMANOS:

Graciela, Pedro, Raúl,  
María Teresa y José Luis.  
A quienes quiero  
con todo mi corazón.  
Por el estímulo  
que me ofrecieron  
y la ayuda que me brindaron.  
Gracias.

A MI ESPOSA:

Que me ofreció  
su ayuda incondicional  
en todo momento.  
Y compartió conmigo  
el deseo de progreso.

A MIS HIJOS:

Como estímulo para que logren  
su beneficio intelectual.

Gracias al Ing. RUBEN FRIAS ALDARACA  
Por el tiempo, atención y apoyo  
que tuvo para con nosotros,  
en el desarrollo de este trabajo.

Se agradece al M.I. en Ingeniería  
FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE  
Por sus valiosos comentarios  
en el desarrollo de este trabajo.

## C O N T E N I D O

CAPITULO	I.	INTRODUCCION.....	4
CAPITULO	II.	METODOLOGIAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	8
	II.2.-	METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA " U. N. A. M. ".....	9
	II.3.-	METODOLOGIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PORTER MODIFICADA.....	18
	II.4.-	CRITERIO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO .....	26
CAPITULO	III.	DESCRIPCION DE PRUEBAS UTILIZADAS.....	36
	III.1.-	PRUEBAS DE COMPACTACION.....	40
	III.2.-	TIPOS DE EQUIPOS PARA COMPACTACION EN SUELOS QUE MAS SE UTILIZAN.....	40
	III.3.-	PRUEBA AASHTO ESTANDAR.....	41
	III.4.-	PRUEBA PORTER ESTANDAR.....	52
	III.5.-	PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE.....	56
	III.6.-	PRUEBA PORTER MODIFICADA.....	62
	III.7.-	PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE.....	68
CAPITULO	IV.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EFECTUADAS.....	80
	IV.1.-	ANTECEDENTES.....	80
	IV.2.-	MATERIAL ARCILLA ARENOSA.....	92
		COMPOSICION GRANULOMETRICA.....	93
		PRUEBA PROCTOR AASHTO ESTANDAR.....	94
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE	95
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE V.R.S.....	113
	IV.3.-	MATERIAL ARENA-LIMOSA.....	127
		COMPOSICION GRANULOMETRICA.....	128
		PRUEBA PROCTOR AASHTO ESTANDAR.....	129
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE.....	130

		RESULTADOS DE PRUEBAS DE V.R.S.....	140
IV.4.-		MATERIAL TOBA VOLCANICA (ARENA-ARCILLOSA)...	147
		COMPOSICION GRANULOMETRICA.....	148
		PRUEBA PROCTOR AASHTO ESTANDAR.....	149
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE.....	150
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE V.R.S.....	165
IV.5.-		MATERIAL GRAVA CONTROLADA.....	174
		COMPOSICION GRANULOMETRICA.....	176
		ANTECEDENTES.....	176
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION SIMPLE.....	183
		RESULTADOS DE PRUEBAS DE V.R.S.....	196
CAPITULO V.		ANALISIS ESTADISTICO.....	209
V.1.-		METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS.....	209
V.2.-		ANALISIS DE CORRELACION.....	215
V.3.-		METODO ABEVIADO PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION.....	221
V.4.-		ANALISIS ESTADISTICO EN ARCILLA-ARENOSA.....	225
V.5.-		ANALISIS ESTADISTICO DE ARENA-LIMOSA.....	244
V.6.-		ANALISIS ESTADISTICO DE ARENA-ARCILLOSA.....	261
V.7.-		ANALISIS ESTADISTICO EN GRAVA-CONTROLADA.....	283
CAPITULO VI.		CONCLUSIONES.....	309
VI.1.-		PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTARON EN EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS.....	309
VI.2.-		SOLUCION A LOS PROBLEMAS PRESENTADOS DURAN- TE EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS.....	309
VI.3.-		OBJETIVOS PRINCIPALES PLANTEADOS.....	310
VI.4.-		ASPECTOS MAS SOBRESALIENTES.....	311
VI.5.-		VENTAJAS DE LA PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE SOBRE LA PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE .....	312

VI.6.-	DESVENTAJAS DE LA PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE CON RESPECTO A LA PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE.....	312
VI.7.-	GRAFICAS DE CORRELACION DE MATERIALES ESTUDIADOS EN ESTE TRABAJO.....	314
	BIBLIOGRAFIA.....	319

CAPITULO I  
INTRODUCCION  
ANTECEDENTES

Retrocediendo en nuestra historia, la historia del hombre, encontramos que - - éste siempre ha buscado satisfactores a sus necesidades; en su búsqueda ha uti- - lizado diferentes materiales en la construcción de viviendas y en el mejoramiento de sus caminos, tomando a través de cientos de años una vasta experiencia que le ha permitido trascender en lucha por su supervivencia.

En esta ininterrumpida labor ha logrado magníficos progresos en todas las --- áreas del conocimiento.

La construcción de cuevas artificiales hechas con tierras arcillosas, la cons- trucción de casas con adobes de arcillas, así como las realizadas con piedras -- apiladas y la utilización del principio del arco, son un antecedente del mejora- miento en las técnicas de construcción, proporcionales al conocimiento de las -- propiedades mecánicas de los materiales. Así hoy en día, vemos la utilización -- de materiales muy elaborados, como por ejemplo el acero y el concreto entre - -- otros, que han hecho posible que el hombre realice grandes obras, que en otra -- época el hombre no había soñado.

Enfocando las investigaciones en cuanto a cambios, observamos que el hombre - se interesó por crear caminos peatonales que pudieran ser transitados todo el -- año, ya que en épocas de lluvias sus caminos se veían afectados; por lo que pen- só en mejorarlos utilizando materiales con mejores propiedades mecánicas, que su experiencia le había enseñado a utilizar.

Con la invención de la rueda surgió la necesidad de mejorar y ampliar conside- rablemente los caminos a su vez que se desarrollaron las comunicaciones y los - medios de transporte en los que la fuerza de tracción se realizó por medio de -- hombres o bestias de tiro.

Con la invención de la locomotora surgió la necesidad de darle buena sustenta- ción a la infraestructura ferroviaria capaz de soportar cargas considerables sin que sufrieran destrucción las mismas en unas cuantas pasadas.

Con la aparición del automóvil hubo necesidad de revolucionar las técnicas de construcción de los caminos, interesándose por conocer las propiedades mecánicas del suelo. Para lo cual fué necesario hacer una clasificación del suelo mediante criterios estandarizados a fin de que estos tuvieran los mismos principios, fun-



damentos y validez independientemente del operador. Son estas las circunstancias que dan origen a la investigación de los suelos en los laboratorios, tratando de reproducir en ellos condiciones semejantes a las que se presentan en obra. En este esfuerzo se desarrollan algunas pruebas de laboratorio, así como algunas teorías y métodos de diseño de estructuración de obras de tierra.

Hoy en día contamos con un número considerable de pruebas estandarizadas de laboratorio, las cuales nos sirven para clasificar, así como para conocer algunas propiedades del suelo en particular, según sea el objeto de su estudio. Sabemos que el suelo se analiza con fines agrícolas, con fines hidrológicos, con fines geofísicos o para conocer sus características y resistencia mecánica.

En nuestro caso son de interés las pruebas de clasificación, así como aquellas que sirven para determinar las propiedades mecánicas del suelo con el fin de poder construir estructuras importantes para el desarrollo de la sociedad. A continuación se mencionan algunas de éstas:

Límites de consistencia, pruebas de Granulometría, prueba Proctor, prueba de VRS, prueba de consolidación, prueba Forter modificada, prueba de placa, -- prueba de Hvcem, prueba del cuerpo de ingenieros, compresión simple, pruebas triaxiales con sus diferentes variantes, etc.

Con el desarrollo de las pruebas de laboratorio y sus resultados obtenidos se desarrollaron métodos para diseño de pavimentos, los cuales han tenido gran evolución debido a las exigencias del tránsito, pues cada día se construyen camiones más pesados, a tal grado, que si no se mejoraran las vías terrestres -- ya no existieran; por otro lado la industria de aviación se desarrolló exigiendo pistas de aterrizaje cada vez más grandes con sus necesidades, por lo que -- todo esto ha revolucionado las técnicas de construcción de carreteras y aeropistas, exigiendo metodologías de diseño y pruebas que permitan crear la infraestructura adecuada con un costo óptimo para que puedan desarrollarse las sociedades.

En México cabe mencionar dos de sus metodologías más usadas.

La Metodología de la Porter Modificada basada en investigaciones de pruebas de resistencia y humedades observadas en la red Carretera Nacional. Esta -- dió como resultado un parámetro de diseño, la resistencia obtenida mediante la prueba Porter modificada, en la cual se reproduce el peso volumétrico seco al -- 100, 95 y 90 % del grado de compactación con humedades de  $W_o$ ,  $W_o + 1.5$  y  $W_o + 3\%$  respectivamente.

El grado de compactación elegido y su humedad correspondiente, para determinar el VRS de diseño será de acuerdo a una de las tres zonas en que queda determinada la obra.

#### Método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Este método es sin duda uno de los más avanzados debido a la experimentación realizada en la pista circular de prueba del propio Instituto, así como a los resultados obtenidos en los tramos experimentales de carretera. Estos -- sirvieron para determinar los coeficientes de daño producidos por los diferentes tipos de ejes que legalmente pueden circular en el país.

Se parte de la hipótesis de que existe una relación lineal entre el logaritmo del número de ejes acumulados para una capa determinada.

En este método los principios de la estadística se utilizarán de una forma muy ingenieril para determinar niveles de confianza utilizando la desviación estándar.

A pesar de ser un método prácticamente científico, no deja de apoyarse -- en una prueba muy popular y mundialmente conocida, que no deja de ser una prueba semiempírica, la prueba de VRS.

Los mismos investigadores concientes de este hecho mencionan el interés -- que tienen en buscar una prueba que mejore dicha situación; he aquí nuestro interés en estudiar la prueba de Compresión Simple, pensando en que puede ser -- una alternativa para este propósito.

Sabemos que estudiando esta prueba se pueden obtener otros parámetros de resistencia como son el módulo de elasticidad y el esfuerzo normal, que combinados con la teoría de la elasticidad pueden servir para desarrollar otros métodos de diseño, no solo de pavimentos, sino de cimentación, que a la fecha no dejan de ser métodos semiempíricos.

Concientes de que no somos investigadores, y que además no contamos con -- el tiempo ni los recursos necesarios para abarcar todos los puntos mencionados, delimitamos claramente nuestro interés primario en los siguientes objetivos:

#### O B J E T I V O S

- 1.- Buscar una forma de obtener probetas para su ensaye a Compresión Simple, en materiales cohesivos y en materiales friccionantes compactados de acuerdo al criterio de la Prueba Porter Modificada, tratando que el molde sea conocido y práctico para cualquier laboratorio y sea además

una prueba económica.

- 2.- Correlacionar resultados obtenidos en pruebas de Compresión Simple y - Valor Relativo de Soporte, obtenidos de probetas mediante la reproducción de pesos volúmetricos secos del 85 al 100% de grado de compactación, utilizando el procedimiento de la prueba Porter modificada; aplicada a cuatro materiales diferentes, que son:

Arcilla Arenosa, Arena Limosa, Arena Arcillosa y Grava controlada.

Si las pruebas son correlacionables, establecer una ecuación de regresión para cada material. con el fin de utilizarlos en forma práctica, si su coeficiente de correlación es satisfactorio.

## CAPITULO II

## II.1.- METODOLOGIAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Todas las tecnologías que actualmente se aplican en el mundo, son de tipo empírico, debido a la complejidad de las diversas variables que intervienen, así como a la cuantificación de sus efectos. Generalmente se basan en los siguientes aspectos:

- a) Elección de una prueba de resistencia.
- b) Correlación de los resultados de la prueba de resistencia con el comportamiento real de los pavimentos.
- c) Obtención de nomogramas o modelos matemáticos de proyectos.
- d) Cumplimiento de las normas de calidad de los materiales, observación del cumplimiento de los procesos constructivos.

Aclarando que los nomogramas o modelos matemáticos, sólo deben utilizarse para la prueba de resistencia de la cual se obtuvo e hizo la correlación. De no ser así se pueden cometer graves errores, ya que un pavimento puede quedar sub ó sobre diseñado respecto a lo necesario de una a dos veces el espesor.

Cabe mencionar y hacer notar que las obras de ingeniería deben de ser de un costo óptimo, conjugando la construcción, la operación y el mantenimiento.

Debido a la enorme gama de materiales que se utilizan en la construcción de caminos y a la variabilidad que éstos presentan a través de longitudes de hasta --centenas de kilómetros, es conveniente adoptar una prueba de resistencia de fácil ejecución y baja variabilidad.

Las tecnologías de diseño de pavimentos no pueden ser extensivas para cualquier zona o país, salvo que contemplen todas las variantes que intervienen como son: drenaje, régimen de lluvias, nivel de aguas freáticas, geología, el tipo de tránsito que va a usar dicha vfa terrestre, etc.

A continuación se describen tres métodos de los más usuales incluyendo un ejemplo de cada uno de ellos.

## II.2.- METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA "UNAM"

Este método de diseño, nos aclara que su criterio es general y puede adaptarse a diferentes indicadores de resistencia, tales como pruebas triaxiales o de placa.

Este método está calibrado para la prueba de VRS en el lugar como parámetro in dicador de resistencia y apoyado en los resultados de los tramos experimentales de la S.O.P., así como también en los obtenidos en la pista circular del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

Como todo método de diseño de pavimentos, trata de tomar en cuenta las dife-- rentes variantes que tienen interacción, tales como:

- a) Resistencia
- b) Tránsito
- c) Clima
- d) Conservación
- e) Comportamiento
- f) Criterio de decisión
- g) Estructurales
- h) De carga
- i) Nivel de confianza
- j) Normas de Calidad y requisitos mínimos

- a) Resistencia.- El parámetro más significativo del método de diseño es la resis-- tencia.
- b) Tránsito.- El método considera al tránsito mezclado convertido a ejes equiva-- lentes de 8.2 ton. por eje. Para hacer esta conversión se aplican los coefi-- cientes de daño obtenidos por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Y se calcula el tránsito equivalente.
- c) De clima y condiciones regionales.- Este punto se refiere a la precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región. El método - propone regionalizar al país de acuerdo al sistema Koppen-Geiger.
- d) De conservación.- En este punto se refiere a la estimación del costo de la - conservación en la realización del proyecto; así como al deterioro acelerado que sufriría la estructura si no se conservara razón para balancear costo de construcción y mantenimiento.
- e) Comportamiento.- En base al punto anterior un pavimento adecuado es el que lle-- ga a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto -- con la calificación más alta posible y al menor costo.

La falla funcional ocurre cuando el índice de servicio en base a la calificación media de los usuarios es de 2.5 en la escala de cero a cinco.

- f) Criterios de decisión.- Incluyen numerosos factores que van desde la disponibilidad de fondos, costos, confiabilidad y economía de la obra, seguridad y calidad de operación, hasta tipos de conservación deseables. Todos estos factores serán objetivo de análisis al realizar el proyecto.
- g) Estructurales.- Incluyen características en relación con cada una de las capas que las constituyen, como espesores, resistencia y deformabilidad, ante las condiciones esperadas de servicio.
- h) De carga.- Se refiere a los efectos producidos por el tránsito. En este punto son importantes los datos relacionados con el tránsito medio diario anual, tasa de crecimiento, cargas por ejes, histogramas de distribución del tránsito en la sección transversal del camino y vida de proyecto antes que requiera una reconstrucción.
- i) Nivel de confianza.- El nivel de confianza respecto a la falla incluido en el modelo matemático, permite modificar las expresiones para diseño. Si el nivel de confianza es mayor, como consecuencia se tendrán mayores espesores de la estructura.
- j) Normas de calidad y requisitos mínimos.- Los materiales de construcción y los procedimientos constructivos deben cumplir las especificaciones respectivas de la S.C.T. Las diferentes capas del pavimento deben cumplir con el espesor mínimo fijado por las especificaciones de tipo constructivo o estructural.

Para complementar lo anteriormente expuesto se da el siguiente ejemplo.

#### EjemPlo No. 1

Se pretende proyectar el pavimento de un tramo de carretera de 2 carriles, -- de acuerdo con un estudio de tránsito realizado tuvo los siguientes datos viales.

#### D a t o s :

- T.D.P.A. 2000 vehículos en ambos sentidos
- Vida de proyecto 12 años
- Tasa de crecimiento anual 8%
- Número de carriles 2

## Composición del tránsito

Tipo	%	Cant.
A <sub>2</sub>	40	800
A' <sub>2</sub>	30	600
B <sub>2</sub>	10	200
C <sub>2</sub>	10	200
C <sub>3</sub>	5	100
T <sub>3</sub> -S <sub>2</sub>	3	60
T <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	2	40

- a) Clima y condiciones regionales.- De acuerdo a la zona donde se construirá esta obra y de acuerdo al sistema de clasificación de climas Koppen-Geiger, el clima es subtropical de altura, tipo mexicano, templado regular (C<sub>wb</sub>).

El terreno es plano con nivel freático variable con media de 1.0 M. y precipitación pluvial mayor en el verano.

- b) Resistencia.- De acuerdo a las pruebas realizadas y a la experiencia que se tiene del lugar, se determinaron los VRS críticos esperados, para el cuerpo -- del terraplén y capa subrasante. Así también, se estudiaron los bancos de préstamo para sub-base y base, encontrándose que todos los materiales cumplen con las normas de calidad de la S.C.T. por lo que no hay inconveniente en su utilización.

CAPA	VRS	V	VRS <sub>g</sub> -VRS (1-0.84V)
Cuerpo terraplén	14	0.30	10
Capa subrasante	23	0.25	18
Sub-base	30	0.25	23
Base	120	0.25	95

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO ①	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS ②		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS ③ = ① x ②	COEFICIENTES DE DAÑO		NUMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 ton	
					CARPETA Y BASE Z' = _____ ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z" = _____ ⑤	CARPETA Y BASE ⑥ = ③ x ④	SUB-BASE Y TERRACERIAS ⑦ = ③ x ⑤
A <sub>2</sub>	0.40	CARGADOS	1	0.40	0.004	0.000	0.0016	
		VACIOS	0	0	0.004	0.000		
A' <sub>2</sub>	0.30	CARGADOS	0.6	0.18	0.536	0.023	0.0965	0.0041
		VACIOS	0.4	0.12	0.536	0.000	0.0643	
B <sub>2</sub>	0.10	CARGADOS	1	0.10	2.000	1.589	0.2000	0.1589
		VACIOS	0	0	2.000	0.360		
C <sub>2</sub>	0.10	CARGADOS	0.7	0.07	2.000	1.589	0.1400	0.1112
		VACIOS	0.3	0.03	2.000	0.018	0.0600	0.0005
C <sub>3</sub>	0.05	CARGADOS	0.9	0.045	3.000	1.178	0.1350	0.0530
		VACIOS	0.1	0.005	3.000	0.030	0.0150	0.0002
T <sub>3</sub> - S <sub>2</sub>	0.03	CARGADOS	0.8	0.024	5.000	2.250	0.1200	0.0540
		VACIOS	0.2	0.006	5.000	0.023	0.0300	0.0002
T <sub>3</sub> - S <sub>3</sub>	0.02	CARGADOS	0.9	0.018	6.000	4.746	0.1080	0.0854
		VACIOS	0.1	0.002	6.000	0.040	0.0120	0.0001
<b>SUMAS</b>	1.000	_____		1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO ⑧		0.9924	0.4676
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$					TDPA INICIAL EN EL 1000 CARRIL DE PROYECTO ⑨		1000	1000
n = AÑOS DE SERVICIO = 12					C <sub>T</sub> ⑩		6927	6927
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 8 %					Σ ⑪ = ⑧ x ⑨ x ⑩		6'805,085	3'234,065
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 2000					CD CARRIL PROYECTO = 0.5			

TABLA Nº II-1 Cálculo del tránsito equivalente acumulado (Σ)



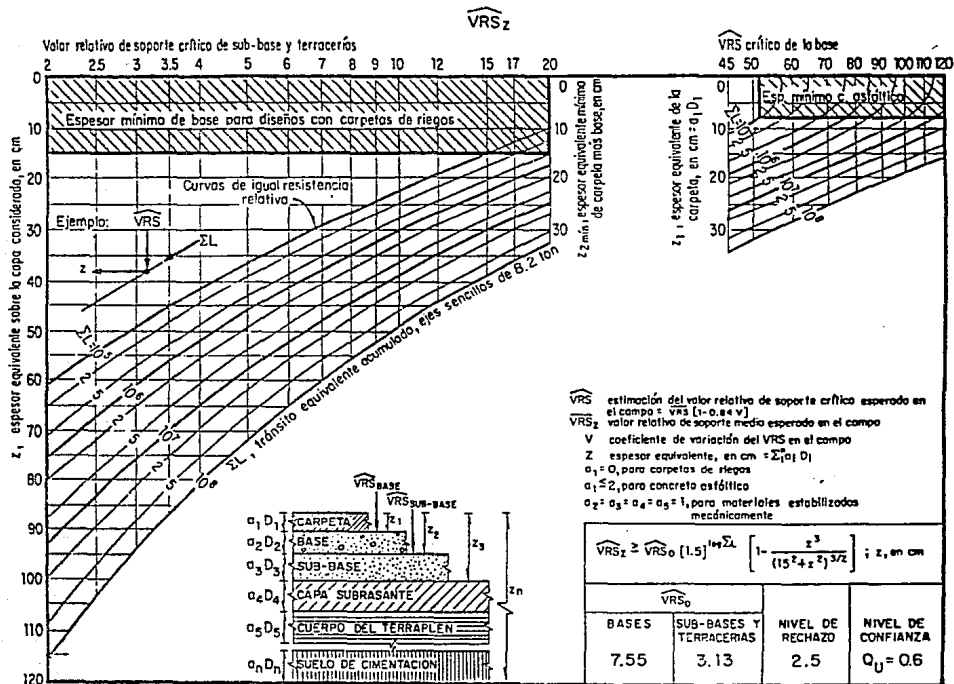


Fig. II-1 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

$\widehat{VRS}_z$ 

Valor relativo de soporte crítico de sub-base y terracerías

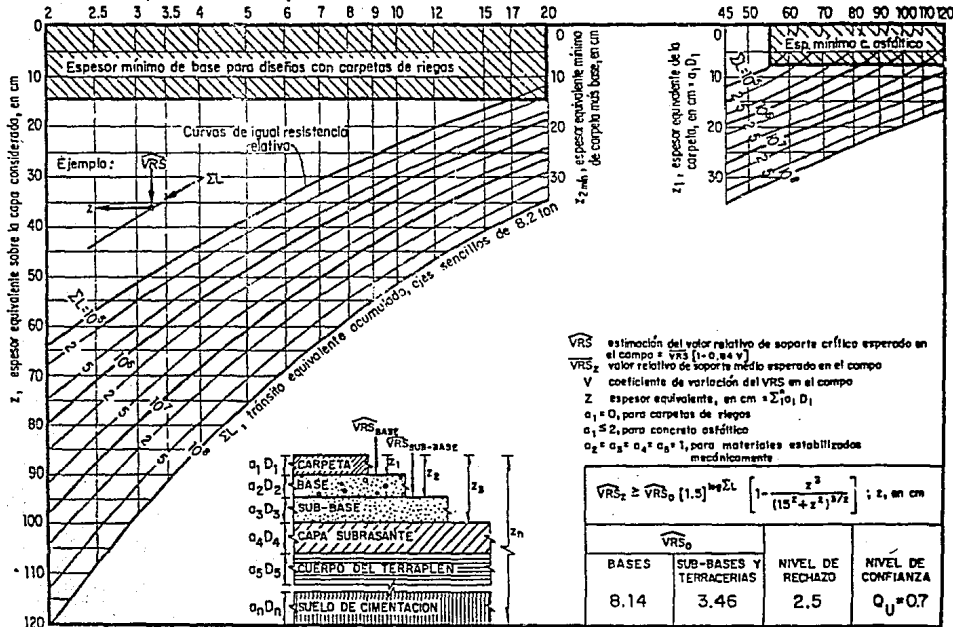
 $\widehat{VRS}$  crítico de la base

Fig.II-2 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

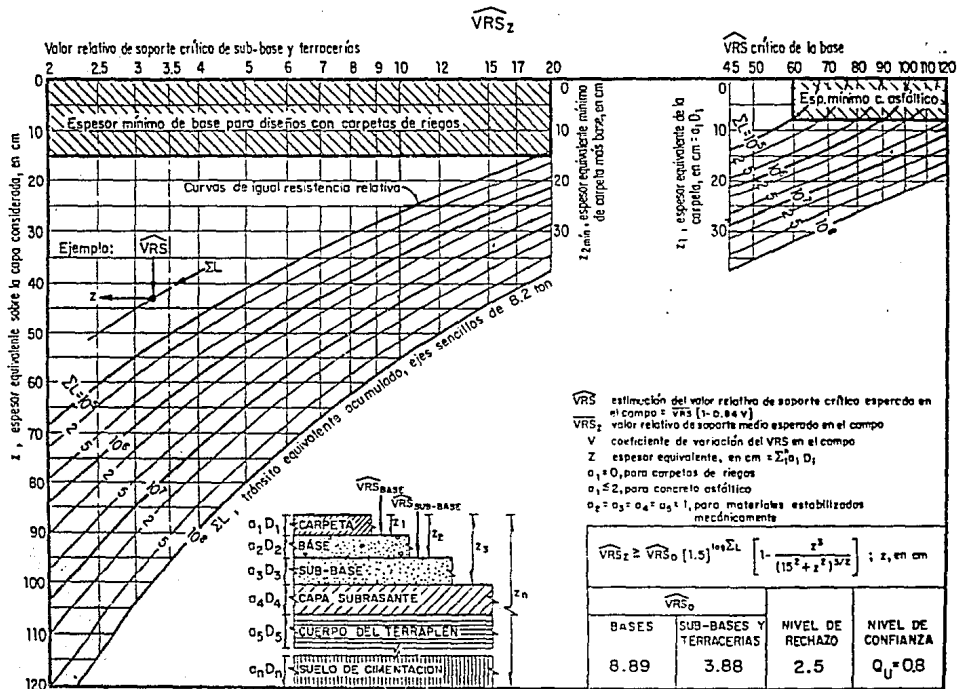


Fig. II-3 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

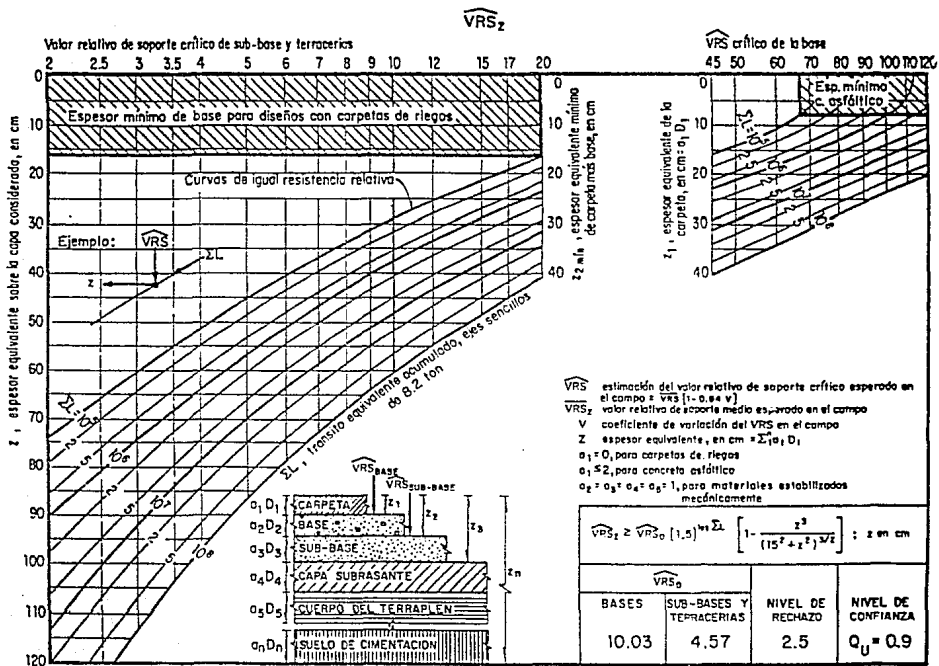


Fig. II-4 Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

- c) Tránsito.- De acuerdo al estudio de tránsito, se obtuvieron los siguientes - datos. T.D.F.A. = 2000 vehículos/día en ambas direcciones. Se calcularon la suma de ejes estándar y utilizando los factores de daño que proporciona el - método para la profundidad de  $Z_0$  y  $Z_{30}$ , se obtuvo el siguiente resultado. (Ver tabla No. 1)

$Z_0$	$Z_{30}$
6'805,085	3'239,065

- d) Nivel de confianza.- En base a los costos de conservación que en este tipo - de obras es regular, se asigna un nivel de confianza de 0.8, sin embargo pue - de elegirse otro valor de  $Q_u$  por lo que se anexan los Nomogramas de las figu - ras para  $Q_u=0.6, 0.7, 0.8$  y  $0.9$  en las figuras II.1, 2, 3 y 4, respectivamen - te.
- e) Cálculos.- Para un nivel de confianza de  $Q_u = 0.8$ , se usó el Nomograma corres - pondiente a este valor, obteniéndose el siguiente diseño. Fig. No. 3

Capa	Espesor cm.
Carpeta	7
Base	13
Subrasante	6

Como se observa, es necesario hacer ajuste por especificaciones; la capa - subrasante se construirá de 30 cm. como mínimo, también se propone una base de 15 cm. Por lo que dicho diseño nos queda finalmente:

Capa	Espesor equivalente	Espesor real
Carpeta	14	7
Base	15	15
Subrasante	$\frac{30}{59}$	$\frac{30}{52}$

Análisis de duración a la falla.

Aplicando la ecuación  $\text{Log } L = \frac{1}{0.176} (\text{Log } \text{VRS}_2 - \text{Log } \text{VRS}_0 - \text{Log } F_2)$

Siendo  $\text{VRS}_0$  constante experimental, igual:

Para base  $B = B_1 = 0.8477 + 0.12 u$

Para sub-base y terracerías  $B = B_2 = 0.4547 + 0.1593 u$

Donde  $u$  es la abscisa de la distribución normal estándar, para un nivel de con - fianza elegido  $Q_u$ .

Para este caso de  $Q_u = 0.8, u = 0.84$

C A P A	ESPESOR EQUIVALENTE SOBRE LA CAPA	VRS <sub>z</sub>	L
Base	14	95	$6.1 \times 10^6$
Sub-rasante	29	18	$3.2 \times 10^6$
Terracería	59	10	$133 \times 10^6$

De acuerdo a este análisis, de resistencia relativa a la falla, se observa que cada una de las capas que forman parte del pavimento, cumplen satisfactoriamente con los requerimientos proyectados durante la vida útil.

#### II.-3 METODOLOGIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PORTER MODIFICADA

La base fundamental de este método, consiste en la aplicación de la prueba Porter modificada (Padrón).

Esta prueba consiste en obtener el valor relativo de soporte de especímenes compactados estáticamente, para obtener la combinación de peso volumétrico y humedad, que el proyectista crea convenientes de acuerdo a las condiciones críticas - que se esperan en la obra.

##### DESARROLLO DEL METODO

- a) En la construcción de un tramo de camino, se realizan sondeos en los posibles bancos para el cuerpo de terraplén y capa subrasante; para cada capa se obtiene el VRS de proyecto, correspondiente al 80 percentil, calculado mediante el siguiente procedimiento.
  - 1.- Primero se hacen las pruebas de clasificación para verificar que el material cumpla especificaciones de calidad.
  - 2.- Si el material es adecuado para la capa que se trata de construir, se realiza un mayor número de sondeos en forma de cuadrícula, con los resultados se delimita el banco y se calcula él ó los VRS de proyecto.
  - 3.- Se hace una zonificación del banco, tratando que en cada sección, el VRS dé el mismo orden de valores.
  - 4.- Se forma una gráfica colocando en las abscisas los VRS y en las ordenadas los porcentajes calculados; se encuentra el VRS correspondiente al 80%, - que corresponde al 80 percentil y que será el VRS de proyecto para esa - sección.

Obra. Ejem. de Tesis Profesional fecha 21 de febrero de 1991  
 Tramo \_\_\_\_\_ Subtramo \_\_\_\_\_

Datos para proyecto:

Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (TDPA) 2,000 Veh.  
 Tránsito en el carril de diseño (60 %) 1200 Período de diseño (n) 12 años  
 Tasa anual de crecimiento (r) 8 %, Factor de proyección a futuro (C) 6927

Tipos de vehículos	Dist. del Tránsito %	Nº de Vehículos	Coefficiente de equivalencia	Ejes Sencillos equivalentes	
A2 (2 ton)	40	480	0.003	1.40	
A'2 (5.5 ton)	30	360	0.06	21.60	
B2 (15.2 Ton)	10	120	2.00	240.00	
C2 (15.5 ton)	10	120	1.80	216.00	
C3 (23.5 ton)	5	60	2.20	132.00	
13-S2 (41.5 ton)	3	36	4.30	154.8	
13-S3 (50.5 ton)	2	24	6.00	144.00	
Tránsito equivalente acumulado				SUMA	909.84
Al final de la vida útil = factor de proy.(C) x suma =					5'302,462.00

Cálculo de espesores

VRS, de diseño del cuerpo del terraplén 4.6 %

D1 = Espesor de capa subrasante + pavimento 70 cm de grava.

VRS, de diseño de la capa subrasante 12.6 %

D2 = Espesor de pavimento 40.0 cm de grava.

Capa	Tipo	Esp. Real	F. de conv.	Esp. de gravas (cm)	
				Por capa de conv.	Total
Carpeta de	mezcla en el lugar	7	1.4	10	10
Base de	Natur.l	15	1.0	15	25
Subbase		15	1.0	15	40
Subrasante		30	1.0	30	70

TABLA II-2 Estructuración del pavimento método Porter Modificado

b) Tránsito.- De acuerdo a un estudio de tránsito, se obtuvieron los siguientes datos: TDPA = 2000 vehículos/día en ambos sentidos.

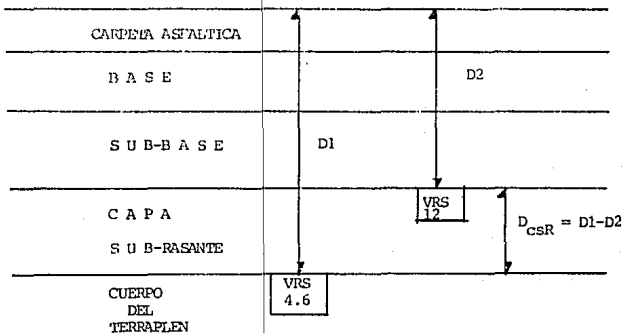
Tránsito en el carril de diseño 60% TDPA = 1,200

Período de diseño n = 12 años

Tasa de incremento anual 3%

Utilizando la tabla de cálculo No. II-2 se determinó el volumen de tránsito. (Este método utiliza los coeficientes de daño AASITO, ver figura No. II-6), determinándose el volumen  $T_e = 6'302,462$ .

c) Estructuración.- Aplicando los datos de VRS (Cuerpo de terraplén y capa subrasante) y el volumen de tránsito equivalente al final de la vida útil. En el programa de la fig. II-5 se obtiene lo siguiente:



$$D_1 = 60 \quad D_2 = 40$$

$D_{CSR} = 60 - 40 = 20$  Por especificaciones la sub-rasante será de 30 cm. como mínimo.

Como 40% del TDPA son vehículos ligeros y el 60% son vehículos con peso mayor de 5 Ton., esto es  $0.6 \times 2000 = 1200$  vol/día de acuerdo a las recomendaciones de la curva de proyecto, se requiere carpeta de dos riegos de 5 a 7 cm. de espesor.

$$d_3 = D_2 - A_1 d_1 - A_2 d_2$$

$$d_3 = 40 - 7 (1.5) - 15 (1) = 14.5 \text{ se tomará como } 15 \text{ cm.}$$



## GRAFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA

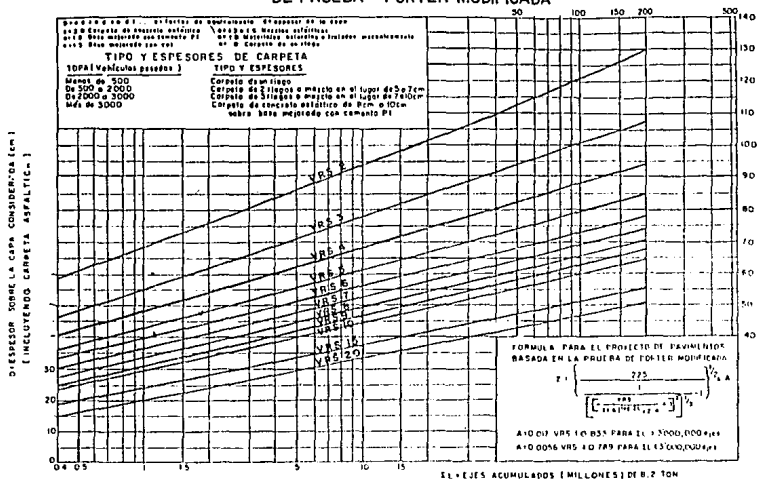


Fig. II-5 Gráficas de proyecto por el método de porter Modificado (Padrón) propuestas por el M. en I., I. Civil Fernando Olivera Bustamante, con base en tránsito equivalente (8.2 ton.) acumulado durante la vida útil de la obra.

Tipo de vehículo	Peso (ton)	Coeficiente de equiva- lencia	Peso de ejes cargados (ton)				
			Tractor		(semitra- molque)	Remolque	
			Delantera	Trasero		Delantera	Trasero
Automóvil A2	2	.003	1(s)	1 (s)			
Autobús B2	15.2	2.0	5.5(s)	10.0(s)			
B3	20.0	1.8	5.5(s)	14.5(t)			
B4	27.0	2.3	9.0(t)	18.0(t)			
Camiones A *2	5.5	0.06	1.7(s)	3.8(s)			
C2	15.5	1.8	5.5(s)	10.0(s)			
C3	23.5	2.2	5.5(s)	18.0(t)			
C4	28.0	2.5	5.5(s)	22.5(tr)			
T2-S1	25.5	4.0	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)		
T2-S2	32.5	4.2	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)		
T3-S2	41.5	4.3	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)		
C2-R2	35.5	5.5	5.5(s)	10.0(s)		10.0(s)	10.0(s)
C3-R2	43.5	6.0	5.5(s)	18.0(t)		10.0(t)	10.0(s)
C3-R3	51.5	6.3	5.5(s)	18.0(t)		10.0(s)	18.0(t)
T2-S1-R2	45.5	6.1	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S3	50.5	6.0	5.5(s)	18.0(t)	22.5(tr)		
T2-S2-R2	53.5	6.4	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S1-R2	53.5	6.6	5.5(s)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S2-R2	61.5	8.4	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10.0(s)	10.0(s)
T3-S2-R3	69.5	8.2	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10.0(s)	18.0(t)
T3-S2-R4	77.5	8.0	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	18.0(t)	18.0(t)

(S) = eje sencillo; (t) = eje tándem; (tr) = eje tripla

FIG. II-6 TABLA QUE MUESTRA LOS PESOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS AUTOMOTORES Y LOS COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA A VEHICULOS ESTANDAR DE 8.2 TON.

## b) CALCULO DEL TRANSITO DURANTE LA VIDA UTIL

Contando con el T.D.P.A. y su respectiva clasificación, estos datos se colocan en la tabla No. II.2, con el fin de transformar el tránsito mezclado a ejes equivalentes de 8.2 ton., que serán el total de ejes estándar que harán uso de la vía durante los (n) años de vida útil.

Este volumen de ejes se calcula con la siguiente ecuación:

$T_e = T D P A \times C$ , en donde:

$T_e$  = Volumen de ejes estándar en la vida útil

C = Factor de proyección de tránsito a futuro

$$C = 365 \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

r = Es el factor de incremento anual del tránsito.

n = Son los años de proyección de vida útil, que se espera tenga la obra, considerando un nivel de servicio c para el año n.

- c) Con el dato de tránsito equivalente durante la vida útil y el VRS de proyecto del cuerpo de terraplén, se obtiene el nomograma fig. II.5, propuesto por el M. en I. Ing. Fernando Olivera B., el espesor necesario desde la parte inferior de la capa subrasante hasta la superficie del rodamiento.

Con el mismo dato de tránsito, pero ahora con el VRS de proyecto de la capa subrasante y el mismo nomograma de referencia, se obtiene el espesor del pavimento (sub-base, base y carpeta).

De la diferencia de los valores observados correspondientes al VRS del cuerpo del terraplén y capa subrasante, se determina el espesor de la capa subrasante. Sin olvidar las funciones que tiene esta capa, además de las estructurales, debe tener como mínimo un espesor de 30 cm.

Atendiendo las recomendaciones que se encuentran en el nomograma de proyecto:

Para más de 3000 vehículos actuales con peso mayor a 5 ton. se requiere - carpeta de concreto asfáltico de 7 a 10 cm.

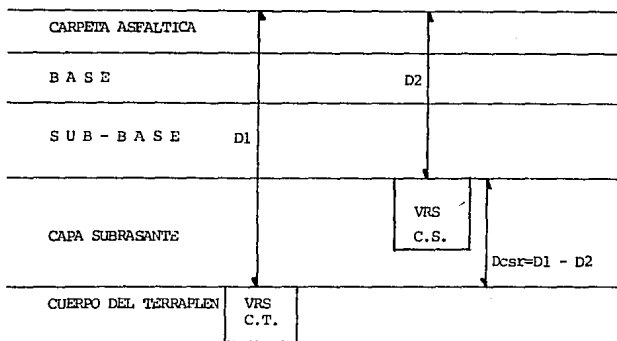
## LOS FACTORES DE CONVERSION DE LOS MATERIALES SON

- |                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| - Carpeta de concreto asfáltico | a = 2         |
| - Base mejorada con cemento Pt  | a = 1.8       |
| - Base mejorada con cal         | a = 1.5       |
| - Mezclas asfálticas            | a = 1.3 a 1.6 |

- Materiales naturales ó tratados mecánicamente       $a = 1.0$
- Carpeta de un riego       $a = 0$

Con estos datos se puede definir la estructuración de un pavimento.

### E S T R U C T U R A C I O N



Esta figura muestra en forma objetiva los espesores  $D_1$  y  $D_2$

para la estructuración de un pavimento flexible: Método Porter modificada.

$D_2$  = Espesor de grava necesario en el pavimento, obtenido de la gráfica, utilizando el VRS de proyecto de la capa subrasante.

$A_1, A_2, A_3$  = Factores de equivalencia correspondientes a carpeta, base y sub-base, que serán de acuerdo con la calidad de los materiales que se usen.

$d_1, d_2, d_3$  = Espesores reales de carpeta, base y sub-base

$$D_2 = a_1 d_1 = A_2 d_2 = A_3 d_3 \quad \text{como } A_3 = 1$$

$$d_3 = D_2 - A_1 d_1 - A_2 d_2$$

Como nos podemos dar cuenta, una vez contando con los datos particulares de cada proyecto, es muy sencillo obtener los espesores reales y equivalentes de cada una de las capas que van a formar parte de la estructura denominada - pavimento.

Para complementar lo anteriormente expuesto, se desarrolla el siguiente ejercicio.

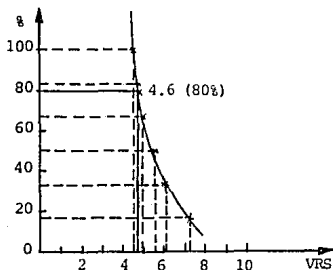
### EjemPlo No. II.2

Para la estructuración de un tramo de carretera de dos carriles, se cuenta con la siguiente información.

#### a) Resistencia

La obra se construirá en un terreno plano con un nivel freático localizado a 1.5 mts. de profundidad como promedio. Por tal motivo se elaborarán los especímenes con un 95% de grado de compactación con una humedad de  $w_o + 1.5\%$ .

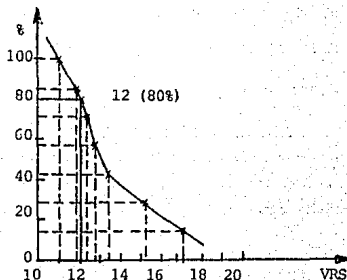
Obteniéndose los siguientes resultados para el 80% percentil.



VPS	%
6	4.49
5	4.71
4	4.93
3	5.44
2	6.0
1	7.2

#### CAPA SUBRASANTE

	VRS	%
7	11	100
6	11.8	85
5	12.3	71.4
4	12.7	57.1
3	13.4	42.8
2	15.2	28.6
1	17	14.3



La estructuración final es:

CAPA	ESPESOR REAL	FACT. CONV.	ESPESOR EQUIVALENTE
Carpeta	7	1.4	10
Base hidráulica	15	1.0	15
Sub-base hidráulica	15	1.0	15
Subrasante	$\frac{30}{67}$	1.0	$\frac{30}{70}$

#### II.4 CRITERIO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

Este método presenta una particular manera de determinar el volumen de -- tránsito a futuro, que lo relaciona con un parámetro de resistencia y defomabilidad del material de apoyo o de la terracería. Estas pruebas son (VRS, valor de R, ó pruebas de placa). El VRS que este método recomienda es el obtenido mediante la prueba del Cuerpo de Ingenieros Militares de los E.U.A.

El valor de R, se refiere al obtenido por el método de Hveem, y en caso de usar pruebas de placa recomienda usar la tecnología de McLeod.

El método utiliza equivalencias de espesores entre diversos materiales, según su calidad relativa. Tomando como material patrón al espesor de concreto asfáltico, cuyas equivalencias se dan en la tabla No. II.3

TABLA No. II.3

Factores de equivalencia entre capas convencionales y capas de concreto asfáltico, en cuanto a espesor.

Capas convencionales	Factor de equivalencia
Bases alfélticas de arena, mezclas en planta	1.3
Bases alfélticas elaboradas con asfaltos líquidos ó emulsificados	1.4
Bases granulares de alta calidad (VRS 100%)	2.0
Bases granulares de baja calidad (VRS 20%)	2.7

Para aplicar los nomogramas primero es preciso determinar el número de -- tránsito de Diseño (N.T.D.). Para tal propósito deberá obtenerse en base a estudios de tránsito, económicos, sociales, etc. el número diario medio de vehículos que han de transitar el camino durante el primer año de operación, denominado Tránsito Diario Inicial (T. D. I.)

En base a la clasificación del tránsito, se determina el porcentaje de vehículos pesados que circularán en el primer año, definiendo con este dato el porcentaje correspondiente al carril de diseño, para el cual este Instituto recomienda la tabla No. II.4. Estos datos sólo podrán utilizarse para condiciones de E. U. A.

TABLA No. II.4

Porcentaje del tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que deberá considerarse en el carril de diseño.

Número total de carriles en la carretera	Porcentaje de camiones a considerar en el carril de diseño
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 ó más	40 (oscila entre 25 y 48)

En base al análisis previo de vehículos pesados podrá estimarse el peso promedio de los vehículos pesados, también se determina el límite de carga legal por eje sencillo, establecido por las autoridades.

Con toda la información anterior ya podemos determinar el Número de Tránsito Inicial (N.T.I.) empleando el nomograma de la figura II.7

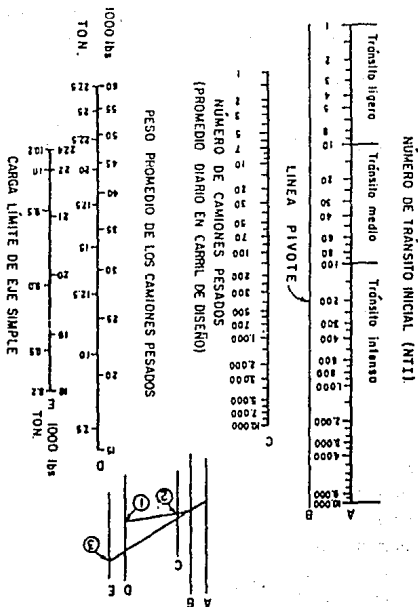
Este método normalmente maneja un período de diseño de 20 años. En caso de elegir un período diferente, una vez estimada la tasa de crecimiento y el período establecido, podrá buscarse en la tabla II.5 de este Instituto el factor de corrección que deberá aplicarse al Número de Tránsito Inicial de tal forma que el producto de estas dos cantidades será el número de Tránsito de Diseño. (N.T.D.).

TABLA No. II.5

Factores de corrección del NTI, para obtener el NTD

Período de Diseño Años	Tasa de crecimiento anual del Tránsito					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07

Fig. II-7 Carta de análisis de tránsito. Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.





14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

Con el Número de Tránsito de Diseño y el parámetro indicador de resistencia obtenido mediante alguna de las pruebas referidas, utilizando el nomograma de la figura No. II.8 se determina el espesor necesario de pavimento expresado en espesor de concreto asfáltico. De esta manera se le presentan diversas alternativas al estructurista, que decidirá cual es la más adecuada de acuerdo a la disponibilidad de los recursos, incluyendo las opciones más comunes de estructura empleando capas convencionales.

El método recomienda espesores mínimos de concreto asfáltico, de acuerdo a la intensidad del tránsito los cuales se encuentran en la tabla No. II.6, también presenta el nomograma de la fig. II.9 en el que se determina el espesor de concreto asfáltico mínimo que habrá de colocarse si las bases son granulares naturales.

TABLA No. II.6

Espesores mínimos para carpetas de concreto asfáltico sobre bases asfálticas

Número de Tránsito de Diseño (NTD)	Espesor Mínimo cm
Menor que 10 (Tránsito ligero)	5
Entre 10 y 100 (Tránsito medio)	7
Mayor de 100 (Tránsito intenso)	10

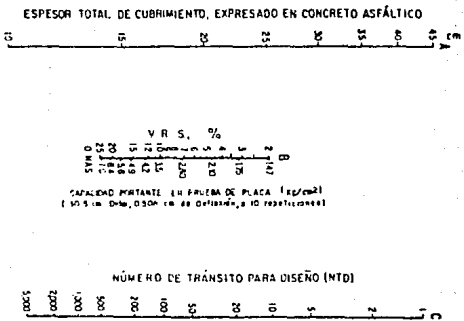
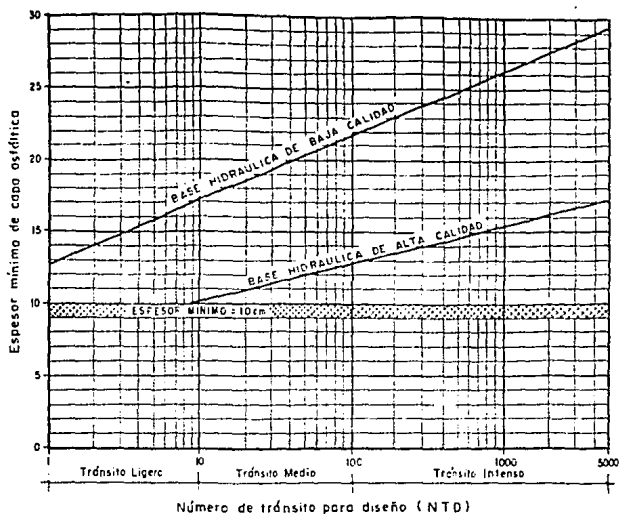


Fig. II-8

Nomograma del Instituto Norteamericano del Asfalto para determinar el espesor de pavimentos flexibles con base en V.R.S. o prueba de placa



#### REQUISITOS MÍNIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIDRAULICAS

TIPO DE PRUEBA	NORMAS	
	BAJA CALIDAD	ALTA CALIDAD
VRS Mínimo	20	100
Valor de R Mínimo	55	80
Límite Líquido Máximo	25	25
Índice Plástico Máximo	6	NP
Equivalente de Arena Mínimo	25	50
Máximo Porcentaje de Material que pasa Malla Nº 200	12	7

Fig.II-9 Espesores mínimos de carpeta de concreto asfáltico sobre bases granulares, según el Instituto Norteamericano del Asfalto

## EJEMPLO II.3 METODO DEL INSTITUTO DE ASFALTO

Se desea construir un camino de dos carriles, para lo cual se cuenta con la siguiente información:

## a) Composición del tránsito

Tipo	Porcentaje
A <sub>2</sub> ( 2 ton. )	40%
A' <sub>2</sub> (5.5 ton.)	30%
B <sub>2</sub> (15.5 ton.)	10%
C <sub>2</sub> (15.5 ton.)	10%
C <sub>3</sub> (23.5 ton)	5%
T <sub>3</sub> - S <sub>2</sub> (41.5 ton.)	3%
T <sub>3</sub> - S <sub>2</sub> (50.5 ton)	2%

- Tránsito Diario Inicial: 2,000 vehículos/día

- Tasa de crecimiento anual: 8%

- Vida de proyecto: 12 años

- Número de carriles: 2

Porcentaje de camiones pesados (de 15.5 ton. en adelante)

$$B_2 \quad 10\% \times 2000 = 200$$

$$C_2 \quad 10\% \times 2000 = 200$$

$$C_3 \quad 5\% \times 2000 = 100$$

$$T_3-S_2 \quad 3\% \times 2000 = 60$$

$$T_3-S_3 \quad 2\% \times 2000 = 40$$

$$\text{Total } 30\% \quad \text{Total } 600 \text{ veh\u00edculos}$$

Por tratarse de un camino de 2 carriles se toma el 50% de veh\u00edculos pesados para el carril de dise\u00f1o.

N\u00famero de veh\u00edculos pesados en el carril de dise\u00f1o (TDI)

$$\text{TDPA} \times 0.3 \times 0.5 = 2000 \times 0.3 \times 0.5 = 300 \text{ veh.}$$

El peso promedio según datos de tránsito.

$$200 \times 15.5 = 3100$$

$$50 \times 23.5 = 1175$$

$$30 \times 41.5 = 1245$$

$$20 \times 50.5 = 1010$$

$$W_m = \frac{6530}{300} = 22 \text{ Ton/veh.}$$

Con el TDI = 300 veh/día y el peso promedio de los vehículos pesados —  $P_m = 22 \text{ Ton/veh}$ ; empleando el nomograma fig. II.7 se obtiene el Número de -- Tránsito Inicial (NTI).

$$NTI = 275 \text{ veh.}$$

De acuerdo a la tabla II.5 se encuentra el factor de corrección que se aplica al NTI, cuando no se toma un período de diseño de 20 años; con los - datos de tasa de crecimiento y período de diseño de 8% y 12 años, respectivamente se tiene que:  $F_e = 0.95$

$$NTD = NTI \times F_e$$

$$NTD = 275 \times 0.95 = 261$$

$$NTD = 261 \text{ veh.}$$

Considerando el VRS de la capa subrasante igual a 5% y empleando el nomograma No. II.8, se obtiene el espesor requerido en concreto asfáltico de 25 cm., necesario para resistir las cargas de tránsito.

Estructura propuesta.

De acuerdo a la tabla II.6 el Instituto recomienda para un NTD mayor - que 100, un espesor mínimo de 10 cm. de concreto asfáltico en caso de que - se utilicen bases estabilizadas y, en caso de utilizar bases granulares naturales, se requiere un espesor mínimo de 13 cm. de concreto asfáltico en - la carpeta, según nomograma de la fig. No. II.9.

## D I S E Ñ O S

C A P A	FE.	E.R.	E.E.	E.R.	E.E.	E.R.	E.E.
Carpeta	1	10	10	13	13	13	13
Bases estabilizadas c/asfalto	1.3	15	11.5				
Bases granulares VRS 100%	2.0			15	7.5		
Bases granulares VRS 20%	2.7					20	7.4
Sub-bases	3.0	$\frac{15}{40}$	$\frac{5}{26.5}$	$\frac{15}{43}$	$\frac{5}{25.5}$	$\frac{15}{48}$	$\frac{5}{25.4}$
Espesor requerido en concreto asfáltico a este nivel 25 cm.							
Más capa sub-rasante	3.5	30	8.6	30	8.6	30	8.6
Espesor total		<u>70</u>	<u>35.1</u>	<u>73</u>	<u>34.1</u>	<u>78</u>	<u>34</u>

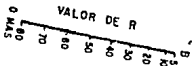
Donde:

F.E.- Factor de equivalencia

E.R.- Espesor requerido

E.E.- Espesor equivalente

ESPEOR TOTAL DE CUBRIMIENTO, EXPRESADO EN CONCRETO ASFÁLTICO



NÚMERO DE TRÁNSITO PARA DISEÑO (MTD)

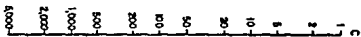


Fig. II-10 Nomograma del Instituto Norteamericano del asfalto para determinar el espesor de pavimentos flexibles con base en el valor de estabilidad de Hveem

## CAPITULO III.- DESCRIPCION DE PRUEBAS UTILIZADAS

Este capítulo lo iniciaremos definiendo el concepto de compactación en suelos, continuando posteriormente con la descripción de pruebas utilizadas en este trabajo.

## COMPACTACION

La compactación es el proceso de aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajo por unidad de volumen, por medio del cual se reducen los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objetivo de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

Seguidamente se presenta la importancia que tiene el agua en el proceso de compactación. Para poder graficar y obtener la curva proctor, el peso volumétrico seco máximo, la humedad óptima y la curva teórica de saturación.

- a) Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando incrementos a ésta y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción del agua; hasta que llegue un momento en el que el peso volumétrico del material seco, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad, alcanza un valor máximo. Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de las partículas y el mayor peso específico o volumétrico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso específico seco máximo o peso volumétrico seco máximo.
- b) Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso específico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas de suelo, obteniéndose en consecuencia pesos específicos secos que van siendo menores a medida que el agua aumenta. Si en un sistema de ejes coordenados se sitúan los puntos correspondientes a cada peso específico seco con su respectiva humedad y se unen con una curva, quedaría representada la variación del peso específico o volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación; esta curva adopta aproximadamente la forma de una parábola, siendo más abierta hacia el eje de las abscisas en donde se grafica a la humedad; en el caso de suelos arenosos que en el de suelos arcillosos.



- c) El contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos específicos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso específico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos específicos secos máximos y menores humedades óptimas que los suelos finos.
- d) Otro parámetro de importancia en la compactación es la llamada "Curva Teórica de Saturación", esta curva representa para cada peso específico la humedad necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estén llenos de agua, (figura número III.1). El peso específico del suelo seco  $\gamma_c$ , correspondiente a la curva teórica de saturación para una humedad dada, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_c = \frac{S_s \gamma_o}{1 + wS_s}$$

En donde:

$\gamma_o$ .- Es el valor del peso específico del material seco para construir la curva teórica de saturación, en kilogramos por metro cúbico.

$S_s$ .- Es el peso específico relativo de la fase sólida del suelo de que se trate, determinado según corresponda a su tamaño, mediante la siguiente fórmula:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_o}$$

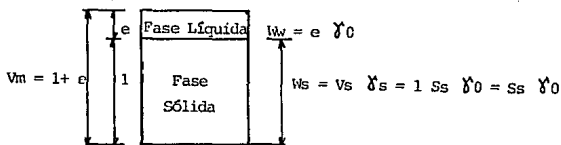
En donde:

$\gamma_s$ .- Es el peso específico de la fase sólida del suelo o del material pétreo y se expresa en gramos por centímetro cúbico.

$\gamma_o$ .- Es el peso específico del agua destilada a cuatro grados centígrados (4°C) y a una presión barométrica de setecientos sesenta (760) milímetros de mercurio; el valor de  $\gamma_o$ , es de un (1) gramo por centímetro cúbico, o sea (1,000) kilogramos por metro cúbico.

$w$ .- Es el contenido de agua elegido en cada caso para calcular el peso específico  $\gamma_c$ , expresado en forma decimal.

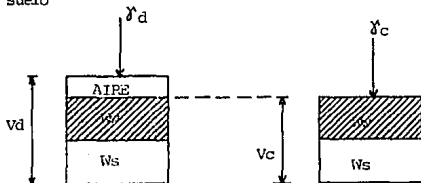
## MATERIAL SATURADO



$$\gamma_c = \gamma_d = \frac{w_s}{V_m} = \frac{s_s \gamma_0}{1 + e}, \quad w = \frac{w_w}{w_s} = \frac{e \gamma_0}{s_s \gamma_0} = \frac{e}{s_s}, \quad e = w s_s$$

$$\gamma_c = \frac{s_s \gamma_0}{1 + w s_s}$$

- 1) Deducción de la fórmula correspondiente a la curva teórica de saturación del suelo



Material saturado para el mismo contenido de agua

$$v_a = \frac{V_d - V_c}{V_d} \times 100 = \left(1 - \frac{V_c}{V_d}\right) = 100 \left(1 - \frac{\frac{w_s}{\gamma_c}}{\frac{w_s}{\gamma_d}}\right) = 100 \left(1 - \frac{w_s \gamma_d}{w_s \gamma_c}\right)$$

$$v_a = 100 \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_c}\right)$$

- 2) Deducción de la fórmula para calcular el volumen de huecos llenos de aire en el suelo, en por ciento.

Figura No. III.1.

- e) Dado que en la práctica es imposible llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas de suelo compactado, la curva peso específico seco del material-humedad, no debe cruzar a la curva teórica de saturación respectiva. El porcentaje de huecos que quedaron llenos de aire para una determinada condición de peso específico seco y humedad de un suelo, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_a = 100 \left( 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_c} \right)$$

En donde:

- V<sub>a</sub>.- Es el volumen de huecos que quedan llenos de aire entre partículas de suelo, en por ciento.
- γ<sub>d</sub>.- Es el peso específico del suelo seco compactado, correspondiente a la humedad (w), en kilogramos por metro cúbico.
- γ<sub>c</sub>.- Es el peso específico del suelo seco obtenido de la curva teórica de saturación, correspondiente a la misma humedad (w), en kilogramos -- por metro cúbico.

Para un suelo relativamente bien graduado, de fácil acomodo, no estimado en general como ligero, el por ciento de huecos que quedan llenos de aire -- cuando alcanza el cien por ciento (100 %) de compactación con la humedad -- óptima es del orden del seis punto cinco por ciento (6.5%). Si al compactar este material en la obra con su humedad óptima, el por ciento de vacíos llenos de aire es mayor que el valor antes indicado, puede ser un indicio de -- que el material no ha alcanzado el cien por ciento (100%) de compactación, o bien, que sin variar el peso específico puede adquirir mayor humedad.

- f) De acuerdo a la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio, con objetivo de referir y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en el campo, para determinar el grado de compactación del material. Tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean, son de los siguientes tipos:

### III.1.- PRUEBAS DE COMPACTACION

Estas pruebas se clasifican de acuerdo al proceso que se utiliza para efectuar la compactación en los suelos y son:

- a) Por impactos, como son las pruebas de: compactación dinámica AASHTO estándar, próctor SCT, AASHTO modificada tres (3) y cinco (5) capas y los métodos de California y de Texas.
- b) Por carga estática, como es la prueba de compactación Porter.
- c) Por amasado, como es el caso del método de compactación de HVEEM.
- d) Por vibración, como es el método de compactación en que se utiliza una mesa vibratoria.

### III.2.- TIPOS DE EQUIPOS PARA COMPACTACION EN SUELOS, QUE MAS SE UTILIZAN.

#### III.2.1.- EN EL LABORATORIO

- a) El equipo que se utiliza para compactación dinámica es: un cilindro metálico con una placa de base metálica, extensión o collarín removible metálico y pisón metálico con superficie circular, acoplado a una guía metálica tubular.
- b) El equipo que se utiliza para compactación estática es: un molde cilíndrico de compactación, provisto de collarín, base con dispositivo para sujetar el cilindro y máquina para aplicación de energía estática

#### III.2.2.- EN EL CAMPO

Los tipos de máquinas compactadoras más utilizadas son principalmente de dos tipos: de presión y vibratorios.

- a) Las máquinas compactadoras de tipo de presión a su vez se dividen en - máquinas sin y con salientes.
  - Sin salientes, como son: rodillos lisos ( son rodillos metálicos huecos), y rodillos de neumáticos ( son cajas colocadas sobre ejes, en los que se tienen ruedas lisas de hule infladas con aire). Que se utilizan para compactar los materiales granulares plásticos y el efecto de la compactación es de arriba hacia abajo.
  - Con salientes.- Son rodillos metálicos con picos, vástagos o pernos de 15 a 25 cm. de diferentes formas, como son: tronco cónica y tronco piramidal o en forma de paralelepípedos, que para compactar introducen las salientes en el material y la forma de compactar es de abajo hacia arriba, evitando el encarpamiento que producen los rodillos sin salientes; su mayor eficiencia es en materiales finos plásticos; los -

principales exponentes de este tipo son los rodillos pata de cabra, los rodillos tipo tamper y los rodillos segmentados, de los cuales el primero se utiliza en materiales más finos y el último para materiales finos con gruesos.

- b) Las máquinas compactadoras de tipo vibratorias transmiten ondas dinámicas a los materiales y les producen un acomodo masivo; son muy efectivos para compactar materiales inertes como gravas y arenas. De este tipo de compactadores se tienen diferentes ejemplos: desde placas unitarias, placas en serie, hasta compactadores de tipo manual, con estos últimos se realiza la compactación de los materiales que quedan cercanos a estructuras como puentes y edificios, hasta donde los equipos más pesados no pueden acercarse.

A continuación se hará la descripción de pruebas de compactación utilizadas en este trabajo.:

AASHTO estándar, Porter estándar, valor relativo de soporte, Porter modificada y prueba de compresión simple.

### III.3.- PRUEBA AASHTO ESTANDAR

III.3.1.- En este subpárrafo se describe la prueba de compactación dinámica AASHTO estándar, que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías: el método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos. La prueba tiene cuatro variantes.

- La variante A, que se aplica a materiales que pasan por la malla núm. 4.75 (4) y se compactan en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.
- La variante B, que se aplica a materiales que pasan la malla número 4.75 (4) y se compactan en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior.
- La variante C, que se aplica a materiales con retenido en la malla núm. 4.75 (4); se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla núm. 19.0 (3/4") y se compacta en molde de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior.
- La variante D, que se aplica a materiales con retenido en la malla núm. 4.75 (4); se efectúa en la fracción que pasa la malla núm. 19.0 (3/4") y se compacta en molde de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milí-

metros de diámetro interior.

Los materiales que pasan la malla núm. 4.75 o los que presenten retenido - en dicha malla, de acuerdo a las variantes antes indicadas, pueden compactarse en moldes de ciento uno punto seis (101.6) milímetros o en moldes de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros de diámetro interior. Para seleccionar cual de dichos moldes es el más apropiado y por tanto la variante correspondiente, se tomaría en cuenta la conveniencia de utilizar especímenes de pruebas más pequeños o la necesidad de emplear muestras de mayor tamaño, según los problemas de cada obra en particular. Por ejemplo, en los materiales que frecuentemente contengan partículas retenidas en la malla núm. 4.75, ó que se degraden fácilmente, o bien que por diferentes - razones presenten problemas de producibilidad, es conveniente compactarlos en el molde de mayor diámetro.

III.3.2.- El equipo y materiales necesarios para efectuar - esta prueba son los siguientes:

- a) Equipo de compactación compuesto de un cilindro metálico de peso Wt, co conocido, de ciento uno punto seis (101.6) milímetros de diámetro interior y ciento dieciseis punto cuatro (116.4) milímetros de altura.
- b) Placa de base metálica, de nueve punto cinco (9.5) milímetros de espesor, la cual se asegurará convenientemente al cilindro.
- c) Extensión o collarín removible de sesenta punto tres (60.3) milímetros de altura exterior, con diámetro interior igual al del cilindro.
- d) Cilindro metálico de peso Wt, conocido, con diámetro interior de ciento cincuenta y dos punto cuatro (152.4) milímetros y altura de ciento dieci seis punto cuatro (116.4) milímetros.
- e) Placa de base metálica, de doce punto siete (12.7) milímetros de espe-  
sor.
- f) Collarín del mismo diámetro interior del cilindro y altura exterior de sesenta punto tres (60.3) milímetros.
- g) Pistón metálico con peso de dos punto cinco (2.5) kilogramos, con su-  
perficie circular de apisonado de cincuenta punto ocho (50.8) milíme-  
tros de diámetro, acoplado a una gufa metálica tubular, para que tenga  
caída libre de treinta punto cinco (30.5) centímetros.
- h) Regla metálica de arista cortante de veinticinco (25) centímetros de  
largo aproximadamente.
- i) Balanza con capacidad mínima de quince (15) kilogramos y aproximación

de cinco (5) gramos.

- j) Balanza con capacidad mínima de dos (2) kilogramos y aproximación de cero punto uno (0.1) gramos.
- k) Horno para secado de muestras, provisto de control termostático para -- mantener una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ).
- l) Base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar, con di--mensiones mínimas de cuarenta (40) centímetros por lado.
- ll) Probeta con capacidad de quinientos (500) centímetros cúbicos y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.
- m) Probeta con capacidad de mil (1,000) centímetros cúbicos, y graduaciones de diez (10) centímetros cúbicos.
- n) Mallas de las siguientes denominaciones: Núms. 19.0 (3/4") y 4.75 (4).
- o) Cápsulas metálicas con tapa.
- p) Charolas rectangulares.
- q) Aceite para lubricar las paredes de los moldes.

Todo lo anterior de acuerdo con lo que se indica en la figura número III.2

III.3.3.- La preparación de la muestra deberá efectuarse como se indica a --  
continuación.

- a) De una muestra de material o suelo preparada con anterioridad, se obtiene por cuarteo una muestra de prueba de cuatro (4) kilogramos aproximadamente, para las variantes A y C, y de siete punto cinco (7.5) kilogramos aproximadamente, para las variantes B y D.
- b) Para las variantes A y B, se verifica que la muestra de prueba pase la malla núm. 4.75 (4) y de existir alguna partícula retenida en dicha malla se elimina. Para el caso de variantes C y D, se criba la muestra por la malla núm. 19.0 (3/4") y si existe retenido se elimina; a continuación se disgregan los grumos y se mezcla perfectamente el material que constituye la muestra de prueba.

III.3.4.- La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se le agrega a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en cuatro a seis por ciento (4 a 6%) a la óptima estimada, en caso de los suelos que pasan la malla núm. 4.75 (4).

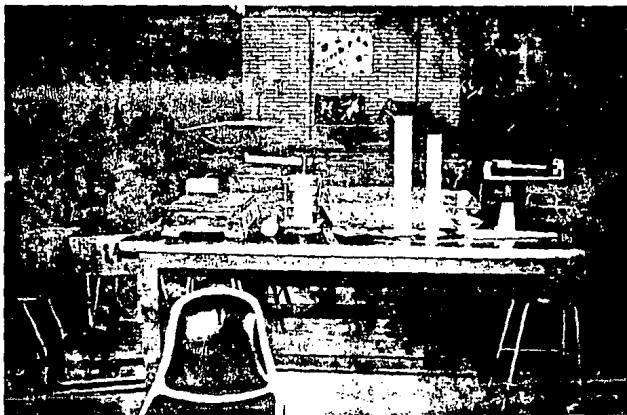


Figura N<sup>o</sup>g. III-2 Equipo para prueba AASHTO Estandar.



Se considera que cumple con lo anterior cuando presente una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas a ésta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos (2) dedos sin que se desmorone.

- b) Se criba la muestra de prueba por la malla núm. 4.75, (4) en el caso de las variantes A y B, y por la malla núm. 19.0 (3/4"), para las variantes C y D, disgregando los grumos que se hayan formado durante la incorporación del agua. Se mezcla cuidadosamente la muestra para homogeneizarla. Se disgregan los grumos y se divide en tres (3) fracciones aproximadamente iguales, se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba seleccionado de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el bloque de concreto y se compacta con veinticinco (25) golpes de pisón, para el caso de las variantes A y C, o con cincuenta y seis (56) golpes para las variantes B y D, manteniendo la altura de caída de treinta y cinco (30.5) centímetros y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, fig. núm. III.3. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las dos fracciones restantes de la muestra.
- c) Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de uno punto cinco (1.5) centímetros, pues de lo contrario la prueba deberá repetirse utilizando de preferencia una nueva muestra con peso ligeramente menor que el inicial; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación se pesa el cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor  $W_1$ , en gramos, figura núm. III.4.
- d) Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa a la que se le determina su humedad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$



Figura Núm. III-3 Realización de prueba dinámica AASHTO Estándar. En la que se observa que el pisón tiene un diámetro mucho menor que el molde metálico.



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA \_\_\_\_\_  
 PROCEDENCIA \_\_\_\_\_  
 FECHA DE INICIACION \_\_\_\_\_ FECHA DE TERMINACION \_\_\_\_\_

TIPO DE PRUEBA \_\_\_\_\_  
 NUM. DE CAPAS \_\_\_\_\_ PESO PISON \_\_\_\_\_ MOLDE NUM. \_\_\_\_\_  
 NUM. DE GOLPES POR CAPA \_\_\_\_\_ ALTURA CAIDA \_\_\_\_\_ VOLUMEN (V) \_\_\_\_\_

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g							
PESO DEL MOLDE, g							
PESO SUELO HUMEDO, g (Wm)							
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg / m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{Wm}{V}$ )							
CAPSULA NUMERO							
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g							
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g							
PESO DEL AGUA, g							
PESO CAPSULA, g							
PESO SUELO SECO, g							
CONTENIDO DE AGUA, %							
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{Wd}{V}$ )							

PESO ESPECIFICO EN kg / m<sup>3</sup>

LABORATORISTA \_\_\_\_\_ CONTENIDO DE AGUA EN % \_\_\_\_\_ REVISO \_\_\_\_\_

w opt = \_\_\_\_\_ %       $\gamma_d$  máx. = \_\_\_\_\_ kg/m<sup>3</sup>

Figura Núm. III-4



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
 TESIS PROFESIONAL

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA <u>ARCILLA-ARENOSA</u>	ENSAYE NUM. <u>1</u>
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR <u>PISA Y H.O.</u>	FECHA DE INICIACION _____
PROCEDENCIA <u>LAS VEGAS TEXCOCO, EDO. DE MEXICO</u>	FECHA DE TERMINACION _____
LABORATORISTA _____	

TIPO DE PRUEBA PROCTOR AARIPO ESTANDAR

NUM. DE CAPAS <u>3</u>	PESO PISON <u>2.5 Kg</u>	MOLDE NUM. <u>1</u>
NUM. DE GOLPES POR CAPA <u>25</u>	ALTURA CAIDA <u>30.5 cm.</u>	VOLUMEN (V) <u>998 cm<sup>3</sup></u>

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g	3760	3855	3900	3845			
PESO DEL MOLDE, g	2020	2020	2020	2020			
PESO SUELO HUMEDO, g (w m)	1740	1835	1880	1825			
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{W_m}{V}$ )	1743	1839	1884	1829			
CAPSULA NUMERO	1	2	3	4			
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g	198.0	179.62	190.84	184.42			
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g	180.70	161.22	170.66	162.66			
PESO DEL AGUA, g	17.30	18.40	20.18	21.76			
PESO CAPSULA, g	98.23	79.90	90.84	84.42			
PESO SUELO SECO, g	82.47	81.32	79.82	78.24			
CONTENIDO DE AGUA, % (w)	20.98	22.63	25.28	27.81			
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$ )	1441	1500	1504	1431			

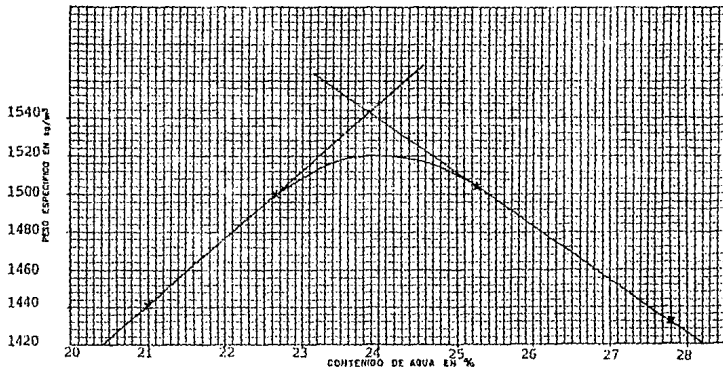


Figura Núm. III-5

$w_{opt} = 24\%$        $\gamma_d \text{ máx.} = 1520 \text{ kg/m}^3$

En donde:

- w.- Es el contenido de agua, en por ciento.
- W1.- Es el peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente, en gramos.
- W2.- Es el peso de la muestra seca más el peso del recipiente, en gramos.
- Wt.- Es el peso del recipiente, en gramos.
- Ww.- W1 - W2.- Es el peso del agua que contiene el suelo, en gramos.
- Ws = W2 - Wt.- Es el peso de la muestra seca, en gramos

Una vez obtenida la humedad de acuerdo a lo anterior, se anotan los datos correspondientes a esta determinación en la hoja de registro.

- c) Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo se disgregan los grumos, se agrega dos por ciento (2%) de agua aproximadamente, con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos en los incisos del b) al d) de este subpárrafo (III.3.4.-).
- f) Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el inciso anterior e), incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra esté muy húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto al anterior.

III.3.5.- Los cálculos y reportes que deberán efectuarse en esta prueba son los siguientes:

- a) Se calcula el contenido de agua de cada espécimen de acuerdo con la fórmula indicada en el inciso d), del subpárrafo anterior (III.3.4.-)
- b) Se calcula el peso específico del material húmedo por medio de la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_m = \frac{W1 - Wt}{V} \times 1,000$$

En donde:

- $\gamma_m$ .- Es el peso específico del material húmedo, en kilogramos por metro cúbico.
- W1.- Es el peso del material húmedo compactado más el peso del cilindro en gramos.
- Wt.- Es el peso del cilindro en gramos.
- V.- Es el volumen del cilindro, en centímetros cúbicos.

- c) Se calcula el peso específico de cada espécimen en estado seco, mediante la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + w} \times 100$$

En donde:

$\gamma_d$ .-Es el peso específico del espécimen en estado seco, en kilogramos por metro cúbico.

$\gamma_m$ .-Es el peso específico del espécimen húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

w.-Es el contenido de agua, en por ciento.

- d) Se determina el peso específico máximo del material en estado seco -- partiendo de una curva como la que se ilustra en la figura núm. (III.5) en donde las ordenadas representan los pesos específicos y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes.

El punto más alto de dicha curva es el que representa al peso específico seco máximo ( $\gamma_{max}$ ), y la humedad correspondiente  $w_o$ , es la óptima del material.

- e) Se reportan el peso específico seco máximo  $\gamma_{max}$ , en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima  $w_o$ , en por ciento.
- f) En caso necesario se calculan los pesos específicos correspondientes a la Curva Teórica de Saturación, para los contenidos de agua de cada espécimen, de acuerdo al inciso d) de inicio de este capítulo (III.-) y con estos pesos y los respectivos contenidos de agua, se traza la curva teórica de saturación para el material utilizado en la prueba, siguiendo el procedimiento descrito en el inciso d) de este subpárrafo - (III.3.5.-). A continuación se compara la Curva Teórica de Saturación con la curva de compactación y se verifica que no se corten en ningún punto. En la figura núm. (III.6.-) se muestran las Curvas Teóricas de Saturación correspondientes a suelos cuyos pesos específicos relativos varían de dos punto cuatro (2.4) a dos punto ocho (2.8).

III.3.6.- Al efectuar esta prueba deberán tomarse las siguientes precauciones.

- a) La muestra utilizada para esta prueba de compactación, se secará solamente lo necesario para poderla disgregar.
- b) Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie del espécimen, manteniendo la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón sea libre y que la superfi

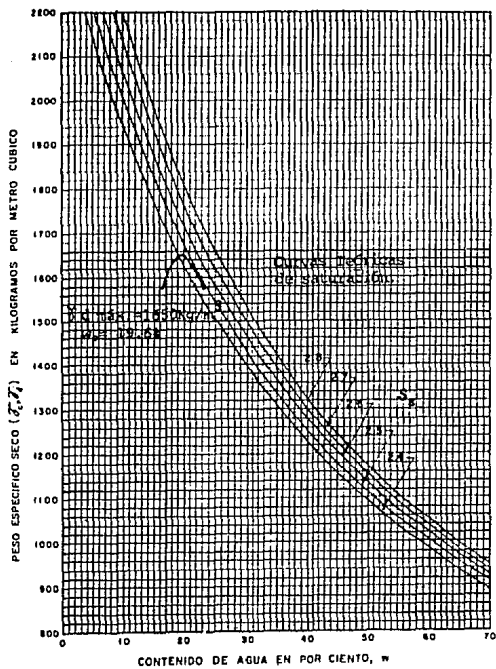


FIGURA NUM. III-6 CURVAS HUMEDAD - PESO ESPECIFICO SECO

cie del mismo se mantenga limpia.

- c) La curva peso específico seco-humedad, se obtendrá de una sola muestra y no se secará ésta para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades menores.

#### III.4.- PRUEBA PORTER ESTANDAR

III.4.1.- En este subpárrafo se describe la prueba Porter de compactación por carga estática que sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas, que se emplean en la construcción de terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de seis (6). El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla núm. 25.0 (1"), agregándoles diferentes cantidades de agua y compactándolos con carga estática. La principal aplicación de este procedimiento es la elaboración de especímenes de suelo para determinar el valor relativo de soporte, también se utiliza en la determinación del grado de compactación en los caso en que el proyecto así lo indique.

III.4.2.- El equipo necesario para realizar esta prueba es el siguiente:

- a) Molde cilíndrico de compactación de ciento cincuenta y siete punto cinco (157.5) milímetros de diámetro interior y de ciento veintisiete punto cinco (127.5) milímetros de altura, provisto de collarín y una base con dispositivo para sujetar el cilindro, figura núm. (III.7.).
- b) Máquina de compresión con capacidad mínima de treinta (30) toneladas - y aproximación de cien (100) kilogramos.
- c) Varilla metálica de diecinueve (19) milímetros de diámetro y trescientos (300) milímetros de longitud, con punta de bala.
- d) Placa circular para compactar, con diámetro de ciento cincuenta y cuatro punto cinco (154.5) milímetros, con dispositivo para sujetarla en la cabeza de aplicación de la carga.
- e) Malla número 25.0 (1") y malla número 4.75 (4).
- f) Balanza con capacidad mínima de veinte (20) kilogramos y aproximación de cinco (5) gramos.
- g) Calibrador de vernier.

III.4.3.- La preparación de la muestra se efectúa como se indica a continuación:

- a) De una muestra preparada y relativamente seca, solamente lo necesario -



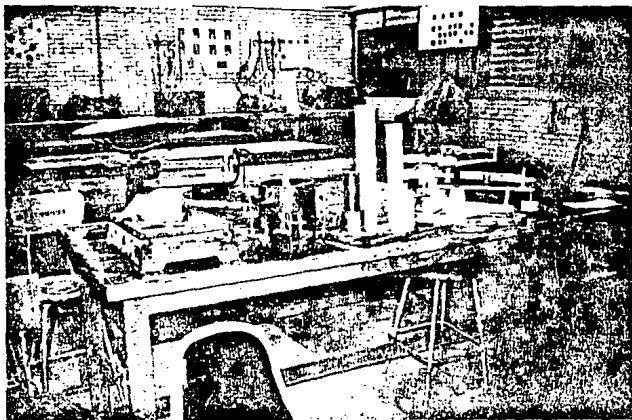


Figura Núm. III-7 Equipo utilizado para prueba Porter Estandar.

a fin de facilitar su disgregación, se toma y se criba una cantidad suficiente para obtener una porción de dieciseis (16) kilogramos de material que pasa la malla número 25.0 (1").

- b) Se divide mediante cuarteo la porción que pase por la malla número 25.0 (1"), en cuatro (4) partes con pesos aproximadamente iguales.

#### III.4.4.- La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se toma una de las cuatro (4) partes del material y se le incorpora la cantidad de agua necesaria, para que una vez repartida uniformemente, presente una consistencia tal que, al ser comprimido en la palma de la mano, la humedezca muy ligeramente. Para favorecer lo anterior, en algunos casos será necesario dejar el material húmedo un cierto tiempo en reposo, cubierto con una lona húmeda.
- b) Se coloca el material humedecido, dentro del molde con su collarín instalado en tres (3) capas del mismo espesor, aproximadamente, y se le dan a cada una de ellas veinticinco (25) golpes con la varilla metálica, distribuyéndolos uniformemente.
- c) Al terminar la colocación de la última capa, se toma el molde que contiene el material, se coloca en la máquina de compresión y se compacta aplicando lentamente carga uniforme, hasta alcanzar en un lapso de cinco (5) minutos la presión de ciento cuarenta punto seis (140.6) kilogramos por centímetro cuadrado, equivalente a una carga de veintiseis punto cinco (26.5) toneladas, aproximadamente; se mantiene esta carga durante un (1) minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la humedad óptima de compactación y por consiguiente ha alcanzado su peso específico o volumétrico máximo.
- d) Si al llegar a la carga máxima, no se humedece la base del molde, la humedad con que se preparó la muestra es inferior a la óptima y por lo tanto, se toma otra porción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior, más ochenta (80) centímetros cúbicos; se mezcla uniformemente y se repiten los pasos descritos en los incisos b) y c) de este subpárrafo. Se preparan los especímenes que sean necesarios, siguiendo los pasos indicados en este inciso, hasta lograr que en uno de ellos se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde con la carga máxima, lo cual generalmente se consigue con menos de cuatro (4) especímenes.

- e) Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde - por haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con que se preparó la muestra es superior a la óptima y en este caso se procede - como se indica en el inciso d) de este subpárrafo, con la diferencia de que en lugar de adicionar ochenta (80) centímetros cúbicos en cada porción representativa del material, hasta lograr que en una de ellas, con la carga máxima, se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde.
- f) Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen (he) restando de la altura del molde, la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde; se registra este valor en centímetros, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro.
- g) Se pesa el molde de compactación que contiene el espécimen compactado y se anota dicho peso  $W_i$ , en kilogramos, con aproximación de cinco -- (5) gramos.
- h) Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa y se determina el contenido de agua,  $w_o$ , mediante el procedimiento estándar para obtención de este contenido de humedad con la fórmula que se describe en - el inciso d) del subpárrafo (III.3.4.-) de este capítulo, el cual se anota en la hoja de registro.

III.4.5.- Los cálculos y reportes en esta prueba son los siguientes:

- a) El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{A_m \times h_e}{1000}$$

En donde:

- $V$ .- Es el volumen del espécimen, en decímetros cúbicos.
- $A_m$ .- Es el área de la sección transversal del cilindro de compactación - en centímetros cuadrados.
- $h_e$ .- Es la altura del espécimen, en centímetros.
- b) El peso específico húmedo se calcula por medio de la siguiente fórmula.

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 1000$$

En donde:

$\gamma_m$ .- Es el peso específico del espécimen húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

$W_i$ .- Es el peso del espécimen húmedo más el peso del molde de compactación, en kilogramos.

$W_t$ .- Es el peso del molde de compactación, en kilogramos.

$V$ .- Es el volumen del espécimen, en decímetros cúbicos.

c) El peso específico seco máximo,  $\gamma_d$  MAX, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_d \text{ max} = \frac{\gamma_m}{100 + w_o} \times 100$$

En donde:

$\gamma_d$  max.- Es el peso específico máximo del espécimen en estado seco, en kilogramos, por metro cúbico.

$\gamma_m$ .- Es el peso específico del espécimen húmedo, en kilogramos por metro cúbico.

$W_o$ .- Es la humedad óptima del espécimen, en por ciento.

d) Se reporta el peso específico seco máximo  $\gamma_d$  max, en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima  $w_o$ , en por ciento, como valores correspondientes al material ensayado.

III.4.6.- Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

a) Que la distribución del agua en el material no sea uniforme.

b) Que la carga de compactación no se aplique en la forma especificada.

c) Que para fines de estimación de la humedad óptima se considere como humedecimiento de la base del molde, un exceso de agua libre expulsada al aplicar la carga de compactación.

### III.5.- PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

III.5.1.- En este subpárrafo se describe esta prueba, que es una de las que se efectúan en los suelos para determinar las características de resistencia a la penetración, que intervienen principalmente en el diseño de pavimentos.

Se aplica tanto en procedimientos de compactación dinámica como estática y directamente en campo.

Independientemente que el ensaye se realice en sitio o bien a especímenes obtenidos mediante pruebas de Porter Estándar, Porter Modificada y Cuerpo de Ingenieros, el procedimiento es el mismo.

III.5.2.- El método para la determinación del valor relativo de soporte consiste en preparar especímenes de suelo compactado y somerlos a la penetración de un cilindro o pistón de dimensiones estandarizadas - de diámetro de 4.95 cm. (y sección de  $19.35 \text{ cm}^2$ ) para medir su resistencia.

La carga requerida para efectuar una penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, referida a una carga estándar de mil treientos sesenta (1360) kilogramos, se denomina valor relativo de soporte y se expresa en por ciento.

III.5.3.- Procedimiento de prueba:

- a) Se coloca el molde que contiene el espécimen compactado mediante cualquiera de las pruebas de compactación que haya sido utilizada (sea mediante carga estática o dinámica), se colocan las placas de carga en el molde con el espécimen.
- b) Se instalan en la prensa el extensómetro y el molde con el espécimen y las placas de carga, introduciendo el cilindro de penetración a través de los orificios de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial no mayor de diez (10) kilogramos e inmediatamente después, sin retirar la carga se ajusta el extensómetro para registrar el desplazamiento vertical del cilindro de penetración, figura núm. (III.8).
- c) Se aplica carga para que el pistón penetre en el espécimen con una velocidad uniforme, aproximadamente de uno punto veintisiete (1.27) milímetros por minuto, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de diez (10) kilogramos.

LECTURAS	TIEMPO EN MINUTOS	PENETRACIONES
Primera	1	1.27
Segunda	2	2.54
Tercera	3	3.81
Cuarta	4	5.08
Quinta	5	7.62
Sexta	6	10.16
Séptima	7	12.70

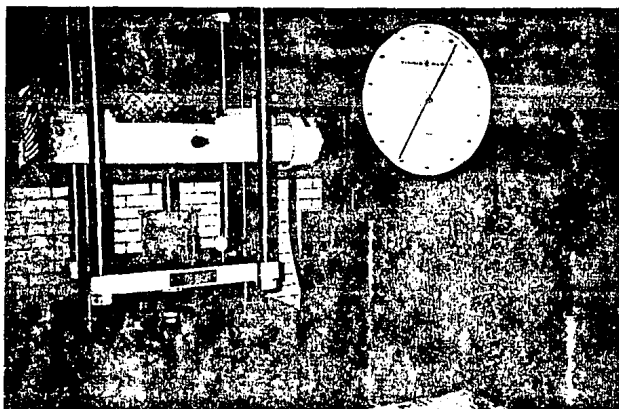


Figura Núm. III-8 Realización de prueba de Valor Relativo de Soporte.

- d) Inmediatamente después de efectuada la penetración, se obtiene una -- muestra de la parte superior del espécimen, hasta dos punto cinco (2.5) centímetros de profundidad y se determina el contenido de agua de acuerdo a la fórmula descrita en el inciso d) del subpárrafo (III.3.4.-) de este capítulo, y el método estándar utilizado para la determinación del contenido de humedad.

III.5.4.- Se representan gráficamente los valores determinados como sigue:

- a) En un sistema de ejes coordenados se marcan los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas antes mencionadas, las primeras en el eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas, y uniendo dichos puntos se dibuja la curva correspondiente, la cual no deberá presentar cambios bruscos de pendiente y en general será la forma de las -- que se muestran con líneas llenas en la figura núm. (III.9).

Si la curva es defectuosa como la dibujada con la línea interrumpida en la figura antes mencionada, la prueba no estuvo bien efectuada y deberá repetirse con una porción nueva de material.

- b) En los casos en que la curva dibujada presente en su iniciación concavidad hacia arriba, se efectúa la corrección correspondiente trazando -- una tangente en el punto de máxima pendiente, punto "A" de la figura -- núm. (III.10) hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como "B", el cual se tomará como nuevo origen y a partir de él se marca el punto "C", correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros; la ordenada Cc' representa la carga corregida para dicha penetración, en kilogramos.
- c) Se registra la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, con aproximación de diez (10) kilogramos, en el caso mencionado en el inciso anterior, este valor corresponderá a la carga corregida.

III.5.5.- En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- a) El valor relativo de soporte de la muestra, con la siguiente fórmula:

$$VRS = \frac{C2.54}{1,360} \times 100$$

En donde:

VRS.- Es el valor relativo de soporte de la muestra, referida a la carga -- estándar de penetración de mil trecientos sesenta (1,360) kilogramos en por ciento.

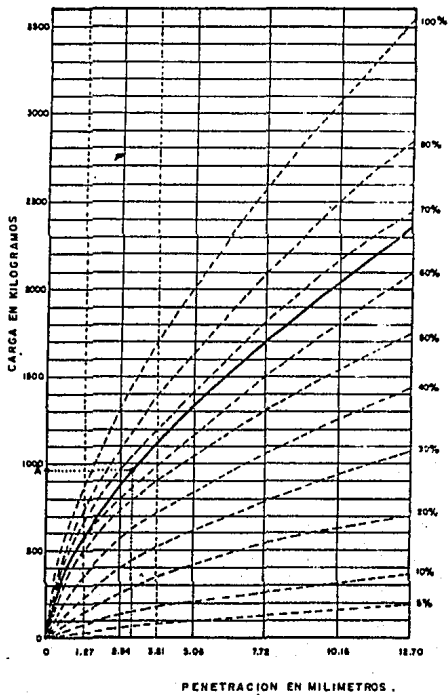


Figura Núm. III-9 Gráfica penetración - carga,  
sin cambios bruscos.



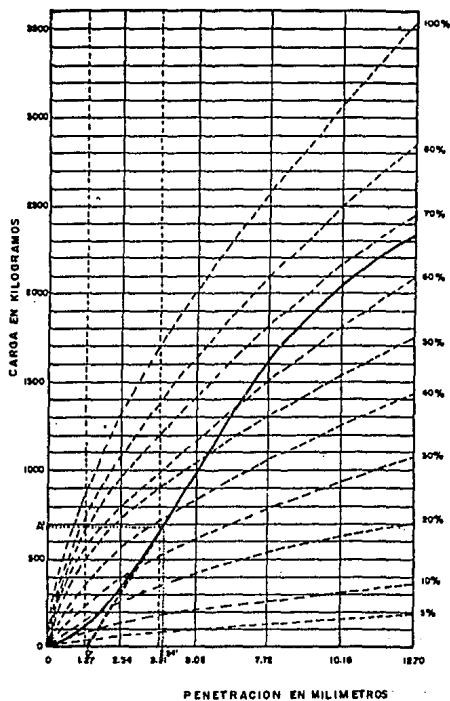


Figura Núm. III-10 Gráfica penetración - carga que requiere la corrección que se muestra para el cálculo de VRS debido a un error al inicio de la prueba.

C 2.54.- Es la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, en kilogramos.

- b) La humedad real de la prueba se determina como se indica en el inciso d) del subpárrafo (III.5.3.) de este párrafo (III.5.)

III.5.6.- El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son -- los siguientes:

- a) Máquina de compresión con capacidad mínima de tres (3) toneladas y --- aproximación de diez (10) kilogramos.
- b) Pistón de penetración, de acero, con diámetro de cuatro punto noventa y cinco (4.95) centímetros y sección de diecinueve punto treinta y -- cinco (19.35) centímetros cuadrados.
- c) Dos placas circulares de carga con diámetro de quince punto cuatro -- (15.4) centímetros, teniendo un orificio central de cinco punto cua-- tro (5.4) centímetros de diámetro y un peso de tres (3) kilogramos, - cada una, figura núm. (III.11.).
- d) Extensómetro con carrera de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros y aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro, provisto de una abrazadera para acoplarlo al cilindro de penetración.
- e) Cronómetro o reloj.

III.5.7.- Las causas de error más frecuentes en esta prueba son:

- a) Que la aplicación de la carga de penetración no se efectúe a la velocidad especificada.
- b) Que la aplicación de la carga inicial sea mayor de diez (10) kilogramos.
- c) Que el ajuste del extensómetro no se efectúe correctamente.

### III.6.- PRUEBA PORTER MODIFICADA

III.6.1.- La prueba Porter modificada tiene por objeto determinar el valor relativo de soporte de los suelos empleados o que se pretendan utilizar en las terracerfas, principalmente en la capa subrasante, y se lleva a cabo en especímenes con diferentes grados de -- compactación y en condiciones de humedad estimadas como las más desfavorables que se considere puedan alcanzar dichos suelos durante la operación de la obra; generalmente se utiliza este va-- lor relativo de soporte en el proyecto o revisión de espesores -

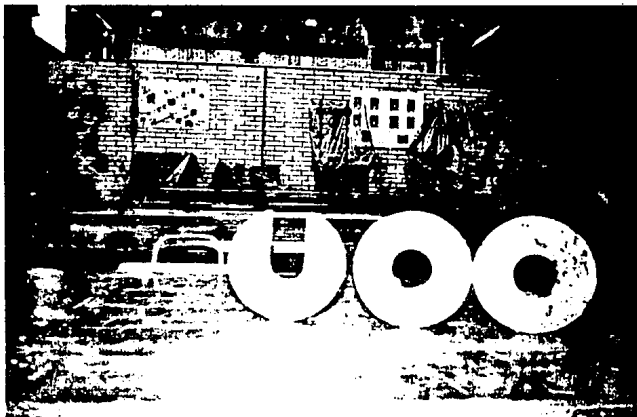


Figura Núm. III-11 Se muestran placas circulares de carga con orificios para prueba de VRS.

de pavimento, teniendo tres (3) variantes, según las cuales los - especímenes correspondientes se elaboran ya sea con material que contenga la humedad óptima, con humedad igual o superior a la óptima, o bien con la humedad natural.

III.6.2.- La variante uno (1) se llevará a cabo tomando en cuenta lo siguiente:

- a) La prueba consiste en determinar el valor relativo de soporte en especímenes elaborados a diferentes grados de compactación, utilizando aquellos que contienen su humedad óptima, obteniéndose en cada uno de los especímenes el valor relativo de soporte; esta variante se aplica al estudio de terracerías con drenaje adecuado, construidas en lugares de precipitación baja o media.

III.6.3.- El equipo necesario es el que se requiere para la prueba Porter estándar indicado en el inciso a) del subpárrafo III.4.2.-) exceptuando el tanque de saturación, la placa metálica circular perforada, el tripode metálico y las hojas de papel filtro.

III.6.4.- La preparación de la muestra se efectúa como se describe en el subpárrafo (III.4.3.), para la prueba Porter estándar, con la salvedad de que las muestras de prueba deberán tener de cinco (5) a seis (6) kilogramos de peso y serán en número de cuatro (4) a seis (6), según la cantidad de especímenes que se requiera elaborar.

III.6.5.- La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) A una muestra del material por estudiar, se le determina su peso específico máximo y su humedad óptima de acuerdo con el tipo de material y el procedimiento de prueba que se utilice de los que se describen en los párrafos (III.3.-) y (III.4.-) anteriores.
- b) A otra muestra del mismo material, obtenida y preparada de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo (III.6.4.) de este párrafo, se le determina su contenido de agua siguiendo el procedimiento estándar utilizado para esta finalidad y la fórmula descrita en el inciso d) del subpárrafo (III.3.4.-) de este capítulo.
- c) A continuación se pesa la porción restante de la muestra a la que se le determina su humedad, se anota su peso  $W_n$ , en gramos, con aproximación de cinco (5) gramos y se agrega la cantidad de agua necesaria para que alcance su humedad óptima de compactación, la cual se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$A = W_n \frac{w_2 - w_1}{100 + w_1}$$

En donde:

- A.- Es el volumen de agua por agregar, en centímetros cúbicos.  
 Wn.- Es el peso de la muestra con su humedad inicial, en gramos.  
 w2.- Es la humedad óptima, en por ciento.  
 w1.- Es la humedad inicial del material, en por ciento.

d) Inmediatamente después se mezcla convenientemente el material y se pesa la muestra de prueba que se requiere para llenar el molde sin la extensión, determinando dicha cantidad para una compactación de cien por - - ciento (100%), con la siguiente fórmula:

$$P_w = \frac{C}{100} \times \frac{\gamma_d}{1,000} \times \frac{100 + w_2}{100} \times V$$

En donde:

- Pw.- Es el peso de la muestra de prueba en estado húmedo, en kilogramos.  
 C.- Es el grado de compactación con que se va a elaborar el espécimen, en por ciento.  
 $\gamma_d$ .- Es el peso específico seco máximo del material, en kilogramos por metro cúbico.  
 w2.- Es la humedad óptima, en por ciento.  
 V.- Es el volumen del cilindro de prueba sin collarín, en decímetros cúbicos.

e) Se coloca la muestra de prueba en tres (3) capas, dentro del molde -- con el collarín instalado, acomodando cada capa con veinticinco (25) golpes de la varilla metálica, procurando que no haya pérdida del material ni de humedad.

f) Se instala el molde en la máquina de compresión y se compacta la muestra en forma lenta y uniforme, debiéndose retirar la carga momentáneamente, a cada cinco (5) toneladas, para dar tiempo a que el material se acomode; en esta forma se continúa la aplicación de la carga hasta que el espécimen tenga la altura del cilindro sin el collarín y en el momento en que esto ocurre se sostiene la última posición durante un (1) minuto. Si se presenta expulsión de agua antes de tener el espécimen la altura del molde, se mantiene la carga que se está aplicando en ese momento, hasta que disminuya notablemente la salida del agua, y cuando esto ocurre, se dá un pequeño incremento a la carga, repitiendo esta operación no más de tres (3) veces para que el espécimen

- a) Que la humedad y el peso del material que se utilicen en la prueba no sean los correctos.

III.6.8.- La variante dos (2) se efectuará tomando en cuenta lo siguiente:

- a) La prueba consiste en determinar el valor relativo de soporte en especímenes elaborados a diferentes grados de compactación, utilizando suelos que contienen su humedad óptima y también humedades mayores que ésta; - se aplica al estudio de terracerías mal drenadas que se localizan en zonas de precipitación media, o bien, a las de regiones de alta precipitación pluvial.

III.6.9.- El equipo necesario para efectuar esta prueba es el que se requiere para la variante uno (1) de la prueba Porter modificada, indicado en el subpárrafo (III.6.3.-) de este párrafo.

III.6.10.- La preparación de la muestra se lleva a cabo de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo (III.6.4.-) de este párrafo.

III.6.11.- La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) Se llevan a cabo los pasos descritos en los incisos del a) al i) del subpárrafo (III.6.5.-) de este párrafo, variando el grado de compactación y la humedad como se indica a continuación:

Por ciento de compactación	Humedad de prueba
100	Humedad óptima
95	Humedad óptima más 1.5%
90 a 75	Humedad óptima más 3.0%

III.6.12.- En esta prueba se calcula y reporta el valor relativo de soporte - VRS para cada espécimen, de acuerdo con lo indicado en el inciso a) del subpárrafo (III.6.6.-) de este párrafo.

III.6.13.- Las causas más frecuentes de error en esta prueba, son las que se indican en el subpárrafo (III.6.7.-) de este párrafo.

III.6.14.- La variante tres (3) se efectuará como se indica a continuación:

- a) La prueba se ejecuta en muestras tomadas en el terreno o en la obra, sin variar su humedad, con las cuales se elaboran especímenes compactados a diferentes pesos específicos, incluyendo el del lugar, para determinar en cada uno el valor relativo de soporte correspondiente. Se efectúa a suelos que no van a presentar cambios apreciables en su contenido de agua y siempre que éste se encuentre dentro de límites que permitan la elaboración de los especímenes.

III.6.15.- El equipo necesario será el que se requiere para la variante uno (1) de la prueba Porter modificada, indicado en el subpárrafo - - - (III.6.3.-) de este párrafo.

III.6.16.-)El muestreo correspondiente se llevará a cabo tomando veinticinco - (25) kilogramos de suelo, debiendo transportarse la muestra en recipientes de lámina con tapa de cierre hermético, o bien, en bolsas - de lona impermeabilizadas, en tal forma que no pierda humedad.

III.6.17.- La prueba se efectúa en la forma siguiente:

- a) En una muestra obtenida según lo indicado en el subpárrafo (III.6.16.-) de este párrafo, se llevan a cabo los pasos indicados en los incisos a) al i) del subpárrafo (III.6.5.-) de este párrafo, cuidando que la muestra no pierda humedad y compactando para reproducir el peso volumétrico del lugar y otros que se requieran para estudiar el material.

III.6.18.-En esta prueba se calcula y reporta el valor relativo de soporte para cada espécimen, es decir, para cada grado de compactación de - - acuerdo con lo indicado en el subpárrafo (III.6.6.-) de este párrafo.

III.6.19.- En esta variante deben tomarse precauciones para que la muestra -- preparada no pierda humedad antes de efectuar la prueba, por lo -- que es necesario verificar el contenido de agua y descartar las -- muestras que registren pérdida sensible de humedad, en cuyo caso - se hará un nuevo muestreo. Deben tomarse en cuenta también las causas de error mencionadas en el subpárrafo (III.6.7.-) de este párrafo.

### III.7.-PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE

III.7.1.- Esta prueba se realiza, aplicando un esfuerzo axial a un espécimen, sin la etapa previa de presión hidrostática; prácticamente sólo - - existe la etapa de carga, que conduce al suelo a la falla; sin embargo, en vías de simplificación, podría considerarse como primera etapa el estado inicial de la muestra, sin esfuerzos exteriores. En esta primera etapa, figura núm. (III.12.-) los esfuerzos totales -- son nulos y el agua adquiere una tensión de magnitud igual, teóricamente, a la presión de preconsolidación (  $\gamma z$ ) que el suelo tuviere en la naturaleza; esta tensión del agua comunica a la estructura sólida los esfuerzos efectivos necesarios para que la muestra mantenga su volumen.

En la segunda etapa la muestra es llevada a la falla con la aplica-

ción del esfuerzo axial ( $q_u$ ), originando a la vez una presión neutral adicional ( $u_2$ ). Los esfuerzos efectivos que aparecen al final de la prueba, en el instante de falla, se muestran en la misma figura núm. (III-12) y valen:

$$\bar{\sigma}_3 = 0 - u = - (u_1 + u_2) = - (-\gamma_z + u_2) = \gamma_z - u_2$$

$$\bar{\sigma}_1 = \bar{\sigma}_3 + q_u = \gamma_z - u_2 + q_u$$

En donde:

$\bar{\sigma}_1$  y  $\bar{\sigma}_3$  .- Son los esfuerzos efectivos originados en el espécimen al final de la prueba en el instante de falla del mismo.

$u_1 = \gamma_z$ .- Es la presión de preconsolidación.

$u_2$ .- Es la presión neutral adicional originada en el instante de aplicación del esfuerzo axial.

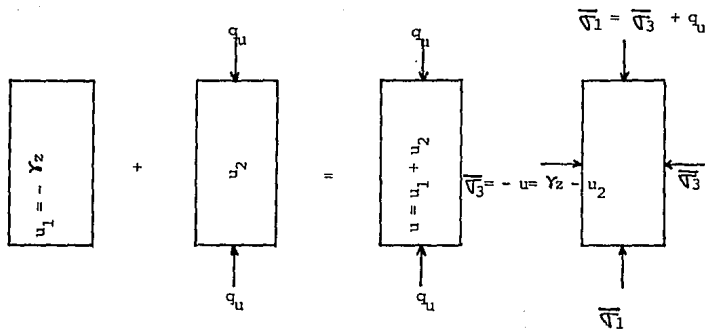
$q_u$ .- Es el esfuerzo axial aplicado a la muestra para llevarla a la falla, midiendo la resistencia de ésta.

Nótese que el esfuerzo principal menor efectivo es teóricamente el mismo - que se tiene en la prueba triaxial rápida.



ESFUERZOS TOTALES

ESFUERZOS EFECTIVOS



1a. Etapa

2a. Etapa

Figura (III-12) Distribución de esfuerzos totales y efectivos en la prueba de Compresión Simple.

Por ello debe esperarse lógicamente que el esfuerzo desviador máximo necesario para hacer fallar la muestra aquí tratada (qu), denominado resistencia del suelo a la compresión simple, sea el mismo Pc de la prueba triaxial rápida; sin embargo, la prueba de compresión simple no es una triaxial rápida; el método de prueba es fundamentalmente distinto y en ningún caso es lícito usar los datos de esa prueba para completar envolventes obtenidas con pruebas rápidas. Es muy normal que (qu) resulte un poco menor que Pc, pero en aplicaciones prácticas sencillas puede considerársele como igual.

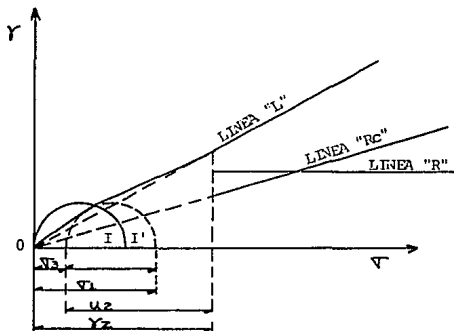


Figura número (III.13) Círculos de esfuerzos totales y efectivos en prueba de compresión simple.

En la Figura (III.13) anterior, aparecen los círculos de esfuerzos totales - (I) y efectivos (I') correspondientes al instante de falla incipiente de este tipo de prueba y su posición relativa a las líneas de resistencia en pruebas triaxiales, debe notarse que la figura se dibuja con la suposición de que la carga de preconsolidación del suelo es  $\gamma_z$ .

La resistencia del suelo a la compresión simple se ha usado como medida de la sensibilidad de la estructura de un suelo a la deformación, comparando el valor de (qu) en un mismo suelo en los estados inalterados y remoldeado, la pérdida de resistencia entre ambos estados se toma como la medida indicada. Se define así la sensibilidad de un suelo como:

$$S_t = \frac{q_u \text{ (inalterado)}}{q_u \text{ (remoldeado)}}$$

III.7.2.- Las muestras de suelos (y obviamente sólo suelos cohesivos de  $\beta = 0$  aparente, pueden ensayarse de esta forma) se prueban hasta que la carga de la muestra comience a decrecer o hasta que por lo menos se

haya desarrollado una deformación unitaria del veinte por ciento -- (20%) [ para una muestra de setenta y seis (76) milímetros de longitud, un veinte por ciento (20%) de deformación unitaria implica - un acortamiento axial total de cero punto veinte por setenta y seis (0.20 X 76) que sería igual a quince punto dos (15.2) milímetros ]. Se efectúan los cálculos de esfuerzo y deformación unitaria axial, de forma que se pueda dibujar una curva esfuerzo-deformación unitaria para obtener el máximo esfuerzo (a menos que ocurra primero el veinte por ciento (20%) de la deformación unitaria) que se toma como la resistencia a la compresión inconfiada qu del suelo. La curva esfuerzo-deformación unitaria se dibuja para obtener un valor -- "promedio" de qu mayor, para tomar simplemente el valor máximo de es fuerzo de la hoja del formato de cálculo. La deformación unitaria se calcula, de la mecánica de materiales, como:

$$\text{Donde:} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{mm/mm}$$

$\Delta L$  .- Es la deformación total de la muestra (axial), en mm.

$L_0$  .- Es la longitud inicial de la muestra, en mm.

El esfuerzo instantáneo  $\sigma$  del ensaye sobre la muestra se calcula como:

$$\sigma = \frac{P'}{A'}$$

Donde:

$P'$  .- Es la carga sobre la muestra en cualquier instante para el correspondiente valor de  $\Delta L$  , en kilo newton.

$A'$  .- Es el área de la sección transversal de la muestra para la carga correspondiente  $P$ , en metros cuadrados ( $m^2$ ).

En mecánica de suelos es práctica convencional corregir el área sobre la cual actúa la carga  $P$ , esto no se hace cuando se ensayan metales en tensión. Una de las razones para esta corrección de área es la de permitir cierta tolerancia sobre la forma como el suelo es realmente cargado en el terreno. Aplicar esta corrección al área original de la muestra es algo conservador, así también la resistencia última calculada de esta forma será menor que la que se podría calcular utilizando el área original. El área original se corrige considerando que - el volumen total del suelo permanece constante. El volumen total inicial de la muestra es:

$$V_r = A_0 L_0$$

Pero después de algún cambio ( $\Delta L$ ) en la longitud de la muestra,

$$V_r = A' (L_0 - \Delta L)$$

Igualando las ecuaciones anteriores, cancelando términos y despejando el área corregida ( $A'$ ), se tiene:

$$A' = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$$

La relación longitud - diámetro (esbeltez) de las muestras para el experimento deberá ser suficientemente grande para evitar interferencias entre planos potenciales de falla a cuarenta y cinco grados ( $45^\circ$ ) de la figura núm. (III-14), y suficientemente corta para no obtener falla de "columna". La relación  $L/d$  que satisface estos criterios es:

$$2 \leq L/d \leq 3$$

III.7.3.- La prueba de compresión simple es la más usada en los laboratorios de mecánica de suelos para los trabajos de rutina. Esta prueba tiene la ventaja de ser de fácil realización y de exigir equipo relativamente sencillo, en comparación con las pruebas triaxiales. Sin embargo, una correcta interpretación de los resultados es más difícil que en el caso de las pruebas triaxiales, si se desea ir al fondo de los mecanismos de falla que tienen lugar; por el contrario, los resultados de la prueba son de fácil aplicación a los trabajos de rutina, por lo menos en apariencia, pero es recomendable que las conclusiones que se deriven de esta prueba vayan siempre sancionadas por un especialista. La prueba queda circunscrita a arcillas y suelos cohesivos, pues en las arenas y suelos arenosos no es posible el labrado de las muestras.

III.7.4.- El equipo necesario para efectuar la prueba es:

- a) Una báscula de carga u otro aparato que cubra sus fines.
- b) Cortador para el espécimen, segueta de alambre, etc.
- c) Recipientes para determinación del contenido de agua.
- d) Extensómetro.
- e) Balanza.
- f) Cilindro metálico y demás equipo para preparar un espécimen de suelo remoldeado, si ese es el caso.

III.7.5.- Para preparación de la muestra:

- a) Especímenes de suelo inalterado:  
Córtense prismas de unos cinco (5) cm. de lado de base y unos doce (12) ó trece (13) cm. de longitud de la arcilla inalterada. Con un cortador y una segueta de alambre afinense los especímenes hasta su forma definitiva cilíndrica de tres punto seis (3.6) cm. de diámetro de base, y nueve

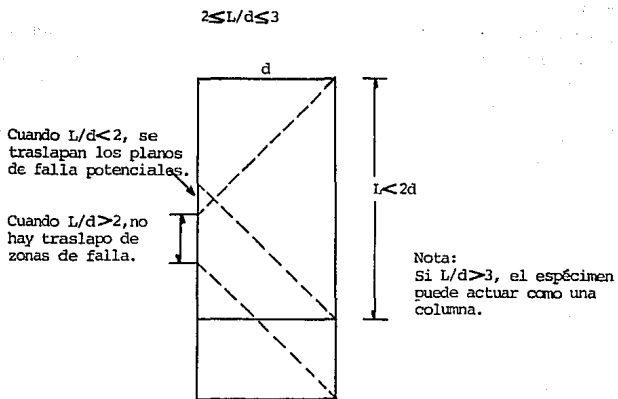


Figura Núm. III-14. Relaciones de  $L/d$  para cualquier ensayo de compresión (inconfiada, triaxial u otros).

(9) cm. de altura.

El material producto de labrado debe conservarse, protegiéndolo del seca do.

b) Especímenes de suelo remoldeado.:

Remoldéese la arcilla a mano hasta formar una masa homogénea, sin grumos, de material inalterado, prepárese un fragmento de tubo de bronce o latón y una placa de vidrio, aceitándolas ligeramente, con la arcilla fórmese una bola del tamaño de una nuez y colóquese ésta dentro del cilindro colocado sobre la placa de vidrio; apisonese el material. Estas operaciones han de repetirse hasta llenar el molde.

Finalmente, extráigase el espécimen del molde.

III.7.6.- Protección de la muestra contra la evaporación.

a) Aún en pruebas de sólo unos minutos de duración, es conveniente proteger a los especímenes contra la evaporación; para ello existen muchos métodos algunos de los cuales se mencionan a continuación, ordenados de menor a mayor efectividad:

- a.1) Envuélvase la muestra en una toalla de papel húmeda, sin que quede ceñida.
- a.2) Cúbrase el espécimen con una capa delgada de grasa.
- a.3) Enciérrase el espécimen en una cámara cerrada con agua en el fondo.
- a.4.) Cúbrase el espécimen con una membrana de hule delgado.
- a.5.) Envuélvase el espécimen con dos membranas de hule y una capa de grasa a prueba de agua entre ellas, sumergiendo el conjunto totalmente en agua.

III.7.7.- Procedimiento de prueba.

Los métodos de prueba dependen del equipo de carga disponible. A continuación, se detallan los dos casos más comunes; sin embargo es criterio general el señalar que es conveniente que la prueba dure de 5 a 10 minutos. Si la carga se aplica en incrementos, esto puede lograrse haciendo obrar cada minuto valores del orden de 1/5 a 1/10 de la carga de falla - estimada (al hacer esta estimación debe tenerse presente que la resisten cia de las arcillas remoldadas, en general es mucho menor que la de las mismas en estado inalterado).

Un aparato portátil de piñón y cremallera o de plataforma de carga con - tornillo de avance es recomendable para adquirir a priori una idea de la resistencia del material a probar y de los incrementos de carga a usar - en una prueba más ambiciosa; este aparato sencillo puede usarse, en el - campo, para determinaciones toscas de las resistencias a la compresión - simple de las arcillas.

En pruebas con deformación controlada deberá trabajarse con una velocidad tal que la prueba dure el mínimo tiempo señalado, ( 1mm/min ).

### III.7.8.-Procedimiento de prueba con aplicación directa de la carga $\sigma$ de esfuerzo controlado.

El procedimiento se ajustará a lo que sigue:

- a) Móntese el espécimen, con su base y cabezal instalados bien centrado bajo el marco de carga.
- b) Colocando una pequeña pesita en la ménsula, asegúrese un buen contacto entre el espécimen y el marco de carga, a través del balín y la placa del cabezal. Verifíquese previamente que el peso del marco de carga esté correctamente balanceado por el contrapeso.
- c) Móntese un extensómetro sensible al centésimo de milímetro en su soporte, adosado al marco de carga. Ajústese a una lectura inicial de cero.
- d) Ponga a funcionar un cronómetro y, simultáneamente, aplíquese el primer incremento de carga a la ménsula: inmediatamente antes de aplicar el siguiente incremento de carga deberá observarse y registrarse la lectura -- del extensómetro. Cada incremento de carga debe aplicarse durante un minuto y la lectura del extensómetro debe hacerse cinco (5) segundos antes de aplicar el siguiente.
- e) Conforme la muestra se acerque a la falla deberá ser cuidadosamente observada para detectar sus grietas o posibles planos de falla y otros puntos de interés.
- f) Si la muestra falla bruscamente, regístrese el tiempo transcurrido tras la aplicación del último incremento de carga; después, quítense las pesas de la ménsula.  
Si no hay falla brusca, la prueba se dará por terminada al sufrir la muestra una deformación unitaria del orden de veinte por ciento (20%) de su altura.
- g) Quítense la muestra del aparato y hágase un esquema de su falla y agrietamientos a una escala correcta.
- h) Córtese una laja delgada, de unos tres (3) milímetros de espesor, paralela al plano de falla, para determinación del contenido de agua. El resto del espécimen se pondrá a secar para el mismo fin.
- i) Calcúlense las deformaciones correspondientes a los diferentes esfuerzos, según los datos observados, calculando con áreas corregidas y dibújese un diagrama esfuerzo-deformación.

### III.7.9.-Procedimiento de prueba con báscula de carga (deformación controlada)

El método se ceñirá a los siguientes pasos:

- a) Colóquese sobre la plataforma de la báscula de carga una placa metálica - redonda, con dos brazos verticales entre los que va el puente para instalar el extensómetro; sobre esa base colóquese una placa destinada a soportar directamente al espécimen. Sobre dicho espécimen otra placa delgada - hace el papel de cabezal en el cual se apoyará, a través de un balín, el marco móvil de carga. La colocación de todos esos objetos hará que la aguja de la carátula de la báscula abandone su posición original de lectura cero (0); por medio de los pesos situados en los brazos horizontales de la báscula, deberá volverse dicha aguja a su posición original. En ese momento la báscula está lista para la prueba.
- b) Céntrese bien el espécimen dentro del marco móvil, cuidando que el balín transmisor resulte perfectamente axial. Acciónense manualmente las palancas que mueven el marco móvil hasta lograr el contacto con el cabezal de la muestra, a través del balín; éste se hace notorio por un pequeño desplazamiento de la aguja de la carátula de la báscula, la cual deberá colocarse en cero otra vez, accionando ligeramente el sentido inverso del mismo control manual.
- c) Móntese el extensómetro y ajústese su carátula en lectura cero.
- d) Conéctese el mecanismo eléctrico de la báscula y póngase a funcionar el mecanismo de aplicación de carga simultáneamente con un cronómetro. El marco de carga desciende ahora a una velocidad uniforme, comprimiendo - el espécimen contra la plataforma, con lo cual la carátula de la báscula marcará las cargas aplicadas progresivamente.
- e) Deberán hacerse lecturas de la carga aplicada a cada milímetro de deformación, según indicación del extensómetro. Esta frecuencia puede variarse de acuerdo con la mayor o menor rigidez del espécimen; en los - especímenes más rígidos es recomendable una frecuencia mayor. La velocidad de deformación es frecuentemente de un (1) milímetro por minuto, -- sin embargo, pueden precisarse velocidades menores cuando se prueben -- muestras muy rígidas, de manera que la prueba dure un tiempo comprendido entre los cinco (5) y diez (10) minutos ya señalados.
- f) Conforme la muestra se acerca a la falla deberá ser observada cuidadosamente para detectar sus grietas, planos de falla u otros puntos de interés. ( Se muestra en figura núm. III-15 ).
- g) Por lo general, la falla del espécimen está señalada por un regreso en la aguja de la carátula de la báscula, tanto mayor cuanto la falla sea



más típicamente frágil. En el instante en que esto ocurra debe ser registrado. Después deberá continuarse la prueba haciendo lecturas en la forma normal, hasta obtener algunos valores para la curva esfuerzo - deformación en la zona adelante de la carga máxima. La prueba deberá suspenderse al alcanzar la muestra una deformación unitaria del orden del veinte por ciento (20%). Si no se define una falla típica, deberá también suspenderse la prueba al llegar al mismo límite de deformación.

h) Ejecútense las etapas del g) al i) del párrafo anterior (III.7.9.-) de este inciso relativas a esfuerzo controlado.

#### III.7.10.- Errores posibles.

- a) La elección de la magnitud de los incrementos de carga aplicados o de la velocidad de aplicación de la carga, pueden influir en la forma de la curva esfuerzo-deformación y en el valor de la resistencia última.
- b) El labrado del espécimen y la prueba deben realizarse en un cuarto húmedo para evitar evaporación.
- c) Por un ajuste impropio de la base o el cabezal en el espécimen pueden tenerse errores en las lecturas del extensómetro y en la verticalidad de las muestras, en arcillas duras y frágiles es aconsejable cabecear los es pecímenes antes de la prueba.

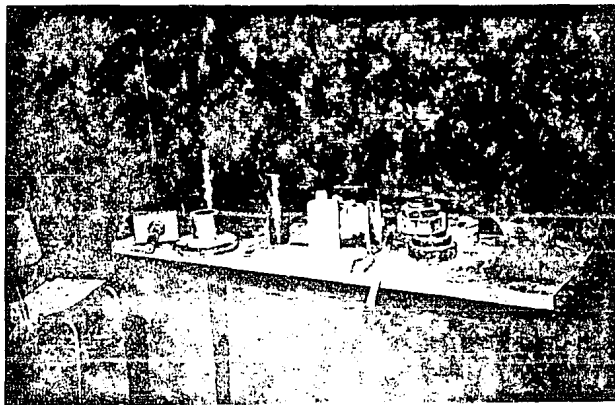
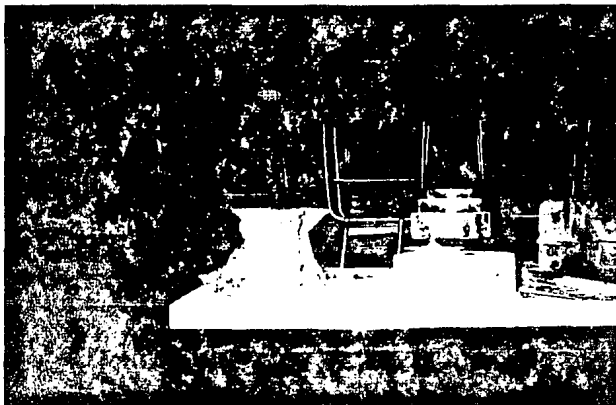


Figura Núm. III-15. Se muestran las fallas o rupturas a la -  
Compresión Simple sin confinar, de especí-  
menes con relación de esbeltez de 0.85.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

## CAPITULO IV

## RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS

## IV.1.- ANTECEDENTES

Antes de observar los resultados obtenidos, queremos analizar y explicar algunos puntos, que surgieron en el desarrollo de estas pruebas. Como primer punto se analizó la relación de esbeltez:

## IV.1.1.- Relación de esbeltez

De acuerdo a la elección de la prueba Porter Modificada para reproducir los pesos volumétricos a diferentes grados de compactación; se observa que los especímenes presentan una relación de esbeltez de 0.85, la cual no satisface el requisito de prueba convencional de Compresión Simple, que establece una relación de esbeltez de  $2 \leq Re \leq 3$ .

Para investigar la diferencia de esfuerzo último entre los especímenes que no cumplen y las probetas que sí cumplen con la relación de esbeltez establecida se realizó lo siguiente:

- a) Con el material limo-arenoso, se ejecutaron pruebas Porter estándar sin saturar, para ensayarse a Compresión Simple. Se eligió esta prueba con el fin de que el material presentara consistencia para poder ser labrado.
- b) De la ejecución de estas pruebas se obtuvieron probetas completas para su ensaye. Así también de algunas probetas completas se obtuvieron mediante labrado, especímenes que cumplieran con la relación de esbeltez de  $2 \leq Re \leq 3$ .
- c) Los resultados obtenidos de estos ensayos son los siguientes:

El esfuerzo último promedio de los especímenes con relación de esbeltez de 0.85 resultó de  $112.1 \text{ Ton/m}^2$ .

El esfuerzo último promedio de los especímenes con relación de esbeltez de 2 resultó de  $82.55 \text{ Ton/m}^2$ .

De acuerdo a lo anterior, tenemos un 26% más de esfuerzo en las probetas que no cumplen. Con base en esto podemos establecer un factor de reducción de esfuerzo para las probetas que no cumplen, con el fin de compensar el incumplimiento de la relación de esbeltez.

**N O T A:** Se anexan los resultados de estas pruebas en las hojas de cálculo numeradas.

- d) Haciendo referencia a la relación de esbeltez con que realmente trabajan las estructuras construídas con suelo, en las cuales se observa que su altura es insignificante con relación a su longitud, se decidió no aplicar

ningún factor de reducción en los resultados obtenidos de este trabajo.

#### IV.1.2.- Molde de Medias Cañas.

Al utilizar la prueba Porter Modificada para reproducir diferentes grados de compactación y ensayar las probetas en pruebas de VRS y Compresión Simple, - se pensó primeramente en sacar la probeta del molde Porter mediante un gato hidráulico para que ésta fuese ensayada en Compresión Simple. Al realizar -- las primeras pruebas para investigar la relación de esbeltez, se observó que las probetas al ser extraídas presentaban ciertas alteraciones, que en la ma yoría de los casos eran deformaciones; pensando que al proceder en la misma forma con el material de base (Grava-Controlada) éste se desintegraría, se desechó la idea de extraerlas del molde Porter por medio de un gato hidráulico. Para solucionar este problema se realizó lo siguiente:

Un molde Porter se partió en medias cañas, al cual se le soldaron orejas, ha ciéndolo atornillable, de tal forma que una vez compactado el material se -- pueda descimbrar y ejecutar sin problemas la prueba de Compresión Simple. Para evitar la adherencia del material al molde, así como pérdida de finos y humedad del material, se utilizó una hoja de papel en todo el perímetro del molde. Cabe mencionar que se acondicionaron dos moldes que fueron los que se utilizaron en todas las pruebas, resolviendo el problema satisfactoriamente.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas efectuadas para investigar la relación de esbeltez en especímenes ensayados.



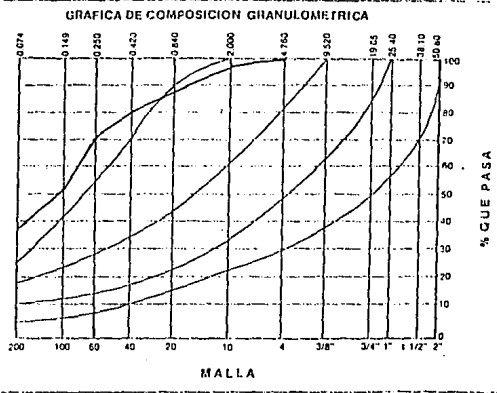
**U.N.A.M.**  
**ENEP ARAGON**  
**LAB. DE GEOTECNIA**

82

**TESIS PROFESIONAL**  
**INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA BASE Y SUB-BASE**

MATERIAL <u>ARENA LIMOSA</u>	ENVIADO POR <u>MUESTREO A UNA PROFUNDIDAD</u>
LOCALIZACION <u>POTRERO DE LA LAGUNA</u>	<u>DE 0.6 A 1.2 METROS</u>
PROCEDECENCIA <u>COACALCO EDO. DE MEXICO</u>	FECHA DE RECIBIDO _____
	FECHA DE INFORME <u>19/I/89</u>

Peso volumétrico suelo Kg/m <sup>3</sup>	
Peso volumétrico máximo <u>1337</u>	
l Kg/m <sup>3</sup>	
Humedad óptima <u>31.0</u>	
% Que pasó la malla	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
3/8"	
No. 4 <u>100</u>	
10 <u>97</u>	
20 <u>88</u>	
40 <u>80</u>	
60 <u>71</u>	
100 <u>52</u>	
200 <u>38</u>	
% Desperdicio en la muestra <u>0</u>	
VRS (estandar) % <u>8</u>	
% Expansión <u>3.0</u>	
Valor cementante <u>2.8</u>	



PRUEBAS EN MATA MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 40	
ABSORCION _____	LIMITE LIQUIDO <u>40</u>	FOUUV. HUMEDAD CAMPO <u>38</u>
DEHIDRACION _____	LIMITE PLASTICO <u>33</u>	CONTRACCION LINEAL <u>2.0</u>
	INDICE PLASTICO <u>7</u>	

OBSERVACIONES: El material es de color gris verdoso.  
Con un factor de abundamiento de 1.2  
Clasificación: Arena limosa de baja compresibilidad

EL LABORATORISTA:	REVISADO POR:	RECIBIDO POR:



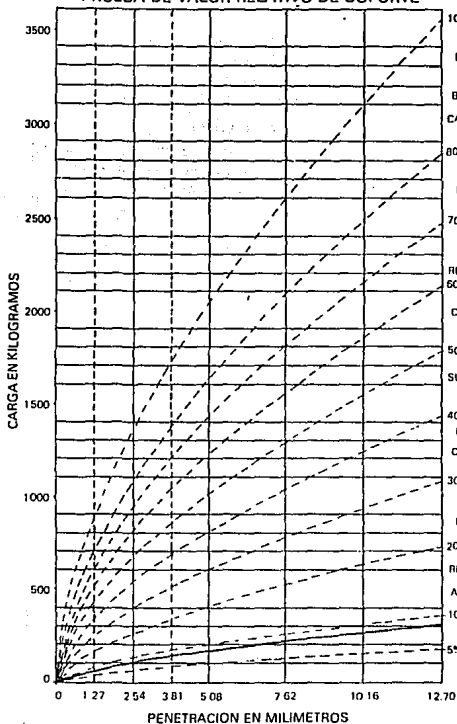
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

MATERIAL.- ARENA LIMOSA

FECHA 20/02/89

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



PORTER SATURADA

P. Seco	4100	4000	
P. Húmedo	4500	4500	
Agua Agregada	1730	1720	
Altura Molde	20.4	20.4	
Altura Faltante	6.9	7.0	
Altura del Mat.	13.5	13.4	
Area	191.1	191.1	
Volumen	2574	2564	
P. V. H.	1748	1755	
P. V. S.	1330	1344	
H. O.	31.4	30.6	
% Exp.	3.0	3.0	
% V. R. S.	7.4	8.6	
1.27-	55	60	
2.54-	100	110	
381-	125	135	
5.08-	150	165	
7.62-	200	220	
10.16-	240	255	
12.70-	295	320	
Molde No.	1	2	
Extensión No			
Lectura 1=	6.9	7.0	
Lectura F =.	7.3	7.4	

a--TARA + SUELO HUMEDO	200	200	
b--TARA + SUELO SECO	152.2	153.1	
c--TARA	-	-	
d--CONTENIDO DE AGUA a-b	47.8	46.9	
e-- SUELO SECO b-c	-	-	
f--% DE HUMEDAD $\frac{d}{e}$	31.4	30.6	

REVISO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

84

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZANDO DE  
 MEXICO

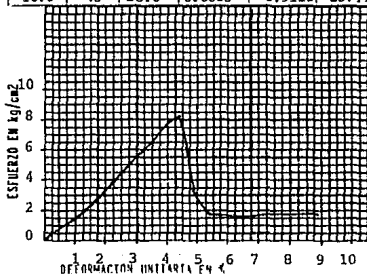
Fecha: 20/02/89 Material: Arena Limosa  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: \_\_\_\_\_  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Wo.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 261.01  
 Peso Pastilla grs.: 462.1 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1770

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 5.476 cm As = 23.54 cm<sup>2</sup> Wl = 462.1 gr.  
 Dc = 5.42 cm Ac = 23.07 cm<sup>2</sup> Vt = 261.01 cm<sup>3</sup>  
 Di = 5.44 cm Aj = 23.24 cm<sup>2</sup> Ym = 1770 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 11.26 cm Am = As + 4Ac + Ai = 139.06 = 23.18 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO	CALCULOS	
							Grado de Compactación %	Grado de Compactación %
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Peso Vol. Seco en kg/ m <sup>3</sup>	Humedad de prueba W2 %
0.5	15	0.5	0.0044	0.9956	23.28	0.64	Agua/Agregar = $Pm(W2-W1)cm^3$	
1.0	30	1.0	0.0088	0.9911	23.38	1.28	$100 \cdot W1$	
1.5	49	1.5	0.01332	0.9867	23.49	2.086	Peso Mat. Hum. = $\frac{(100+W2)V}{10000}$	
2.0	70	2.0	0.0177	0.9822	23.59	2.966	Peso Equipo + Mat. Hum. grs.	
2.5	92	2.5	0.0222	0.9778	23.71	3.881	Carga de Compactación kg.	
3.0	115	3.0	0.0266	0.9734	23.81	4.829	COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION	
3.5	139	3.5	0.0311	0.9689	23.92	5.810	Capsula No.	1
4.0	162	4.0	0.0355	0.9644	24.03	6.741	Peso Mat. Humedo + Tara grs.	142.65
4.5	185	4.5	0.0399	0.9600	24.14	7.662	Peso Mat. Humedo grs.	100.00
5.0	200	5.0	0.0444	0.9555	24.26	8.245	Peso Mat. Seco + Tara grs.	117.69
5.5	80	5.5	0.0488	0.9511	24.37	3.283	Peso Mat. Seco en grs.	75.04
6.0	42	6.0	0.0533	0.9467	24.48	1.715	Peso del Agua en grs.	24.96
6.5	40	6.5	0.0577	0.9422	24.60	1.626	Contenido de Humedad en %	33.25
7.0	39.5	7.0	0.0622	0.9378	24.72	1.598	Peso Vol. Seco Corregido kg/ m <sup>3</sup>	1329
7.5	39	7.5	0.0666	0.9333	24.83	1.570	Grado de Comp. Corregido %	99.40
8.0	43	8.0	0.0710	0.9289	24.95	1.723	Esfuerzo Máximo Ton/m <sup>2</sup>	82.45
8.5	46	8.5	0.0754	0.9245	25.07	1.835		
9.0	44	9.0	0.0799	0.9201	25.19	1.75		
9.5	46	9.5	0.0844	0.9156	25.32	1.82		
10.0	46	10.0	0.0888	0.9111	25.44	1.81		



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Aa}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 22/02/89 Material: Arena-Limosa  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarin a Placa de Carga cm: -----  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Wt.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material Wt: 58 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2259.3  
 Peso Pastilla grs.: 3990 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1766

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.7 cm As = 193.59 cm<sup>2</sup> Wt = 3990 gr.  
 Dc = 15.8 cm Ac = 196.07 cm<sup>2</sup> Vt = 2259.3 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.9 cm Ai = 198.56 cm<sup>2</sup> Ym = 1766 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 11.523 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1176.43 = 196.07 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1mm/min.



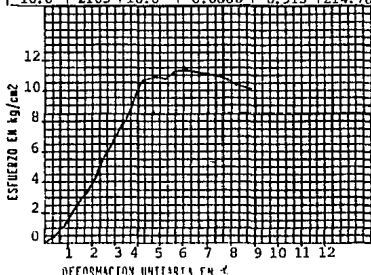
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	95	0.5	0.0043	0.995	196.92	0.48
1.0	275	1.0	0.0086	0.991	197.78	1.39
1.5	475	1.5	0.0130	0.987	198.66	2.39
2.0	675	2.0	0.0170	0.983	199.53	3.38
2.5	900	2.5	0.0220	0.978	200.42	4.49
3.0	1150	3.0	0.0260	0.974	201.31	5.71
3.5	1400	3.5	0.0300	0.969	202.21	6.92
4.0	1675	4.0	0.0350	0.965	203.12	8.25
4.5	1960	4.5	0.0390	0.961	204.04	9.61
5.0	2180	5.0	0.0430	0.956	204.96	10.64
5.5	2240	5.5	0.0480	0.952	205.89	10.88
6.0	2225	6.0	0.0520	0.948	206.84	10.76
6.5	2330	6.5	0.0560	0.944	207.79	11.21
7.0	2370	7.0	0.0610	0.939	208.75	11.35
7.5	2340	7.5	0.0650	0.935	209.72	11.16
8.0	2335	8.0	0.0690	0.931	210.69	11.08
8.5	2320	8.5	0.0740	0.926	211.69	10.96
9.0	2265	9.0	0.0780	0.922	212.68	10.65
9.5	2225	9.5	0.0820	0.917	213.69	10.41
10.0	2165	10.0	0.0880	0.913	214.70	10.08

CALCULOS

Grado de Compactación % -----  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> -----  
 Humedad de prueba Wt % -----  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> -----  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  -----  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. -----  
 Carga de Compactación kg. -----

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 192.21  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 167.51  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.30  
 Peso del Agua en grs. 24.70  
 Contenido de Humedad en % 32.60  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1330  
 Grado de Comp. Corregido % 99.48  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 113.50



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

86

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 2/03/89 Material: Arena-Limosa  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: \_\_\_\_\_  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Wo.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material Wt: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 267.84  
 Peso Pastilla grs.: 465.1 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1736

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 5.43 cm As = 23.16 cm<sup>2</sup> Wt = 465.1 gr.  
 Dc = 5.42 cm Ac = 23.07 cm<sup>2</sup> Vt = 267.84 cm<sup>3</sup>  
 Di = 5.46 cm Ai = 23.47 cm<sup>2</sup> Ya = 1736 Ton/m<sup>3</sup>  
 Dm = 11.54 cm Am = As + 4Ac + Ai = 138.65 = 23.14 cm<sup>2</sup>  
 6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1 mm/min

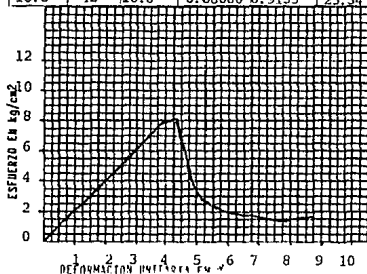
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFOR. UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	19	0.5	0.00433	0.9957	23.24	0.817
1.0	40	1.0	0.00866	0.9913	23.34	1.714
1.5	60	1.5	0.01299	0.9870	23.44	2.559
2.0	81	2.0	0.01730	0.9827	23.54	3.439
2.5	102	2.5	0.02160	0.9783	23.65	4.312
3.0	124	3.0	0.02590	0.9740	23.76	5.219
3.5	147	3.5	0.03040	0.9697	23.86	6.159
4.0	169	4.0	0.03460	0.9653	23.97	7.050
4.5	188	4.5	0.03890	0.9610	24.07	7.808
5.0	195	5.0	0.04330	0.9566	24.18	8.062
5.5	97	5.5	0.04770	0.9523	24.29	3.993
6.0	70	6.0	0.05190	0.9480	24.41	2.868
6.5	55	6.5	0.05630	0.9440	24.52	2.243
7.0	48	7.0	0.06070	0.9393	24.63	1.948
7.5	46	7.5	0.06490	0.9350	24.74	1.858
8.0	41	8.0	0.06930	0.9310	24.86	1.649
8.5	39	8.5	0.07360	0.9260	24.979	1.561
9.0	36	9.0	0.07790	0.9220	25.097	1.434
9.5	39	9.5	0.08230	0.9176	25.21	1.546
10.0	42	10.0	0.08660	0.9133	25.34	1.658

CALCULOS

Grado de Compactación % \_\_\_\_\_  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 Humedad de prueba W % \_\_\_\_\_  
 Agua/Agregar =  $Pm(W2 - W1)$  cm<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 100 \* W1 \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Hum. =  $(100 * W2) / V$  \_\_\_\_\_  
 10000 \_\_\_\_\_  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. \_\_\_\_\_  
 Carga de Compactación kg. \_\_\_\_\_  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 142.52  
 Peso Mat. Humedo grs. 99.89  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 119.14  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.51  
 Peso del Agua en grs. 23.38  
 Contenido de Humedad en % 30.60  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1330  
 Grado de Comp. Corregido % 99.48  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 80.62

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

87

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 2/03/89 Material: Arena-Limosa  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: \_\_\_\_\_  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Mo.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 284  
 Peso Pastilla grs.: 483 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1701

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 5.65 cm A<sub>s</sub> = 25.07 cm<sup>2</sup> W<sub>1</sub> = 483 gr.  
 D<sub>c</sub> = 5.68 cm A<sub>c</sub> = 25.34 cm<sup>2</sup> V<sub>t</sub> = 284 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>i</sub> = 5.60 cm A<sub>i</sub> = 24.63 cm<sup>2</sup> Y<sub>m</sub> = 1701 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 11.365 cm A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_i}{6} = \frac{25.07 + 4(25.34) + 24.63}{6} = 24.99$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1mm/mín.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	23	0.5	0.00439	0.9956	25.1	0.916
1.0	47	1.0	0.00879	0.991	25.21	1.864
1.5	87	1.5	0.01319	0.986	25.32	3.435
2.0	129	2.0	0.01760	0.982	25.43	5.071
2.5	172	2.5	0.02190	0.978	25.55	6.731
3.0	215	3.0	0.02600	0.974	25.67	8.376
3.5	95	3.5	0.03070	0.969	25.78	3.684
4.0	59	4.0	0.03520	0.965	25.90	2.278
4.5	65	4.5	0.03960	0.960	26.02	2.498
5.0	73	5.0	0.04390	0.956	26.14	2.793
5.5	66	5.5	0.04840	0.952	26.26	2.513
6.0	63	6.0	0.05280	0.947	26.38	2.388
6.5	59	6.5	0.05720	0.943	26.51	2.226
7.0	59	7.0	0.06160	0.938	26.63	2.215
7.5	64	7.5	0.06590	0.934	26.75	2.392
8.0	66	8.0	0.07030	0.929	26.88	2.455
8.5	65	8.5	0.07480	0.925	27.01	2.406
9.0	64	9.0	0.07920	0.921	27.14	2.358
9.5	64	9.5	0.08360	0.916	27.27	2.347
10.0	64	10.0	0.08790	0.912	27.40	2.336

CALCULOS

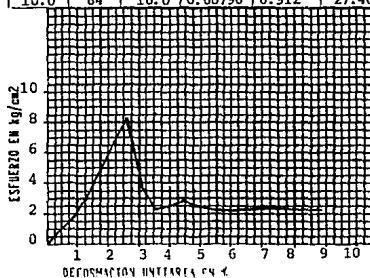
Grado de Compactación % \_\_\_\_\_  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % \_\_\_\_\_  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pa(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 + W_2)V}{10000}$  \_\_\_\_\_  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. \_\_\_\_\_  
 Carga de Compactación kg. \_\_\_\_\_

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 135.19  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 112.06  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.87  
 Peso del Agua en grs. 23.13  
 Contenido de Humedad en % 30.09  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1307  
 Grado de Comp. Corregido % 97.76  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 83.76

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

88

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 7/03/89 Material: Arena-Limosa  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: -----  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Optima W<sub>o</sub>: 31.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2209.5  
 Peso Pastilla grs.: 3910 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1769

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.9 cm As = 198.56 cm<sup>2</sup> W<sub>1</sub> = 3910 gr.  
 Dc = 15.65 cm Ac = 192.36 cm<sup>2</sup> Vt = 2209.5 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>1</sub> = 16.0 cm A<sub>1</sub> = 201.06 cm<sup>2</sup> Ym = 1769 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 11.34 cm Am = As + 4Ac + A1 = 1169.06 = 194.84 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1mm/min.

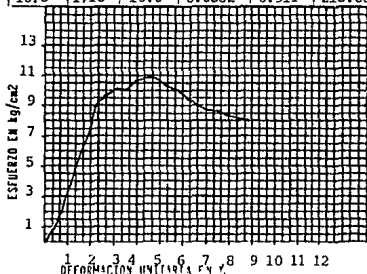
TIEMPO TRANSCU- RRIDO	CARGA	DEFORMA- CION TOTAL	DEFORMA- CION UNITARIA	1.-DEFOR- MACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	200	0.5	0.0044	0.996	195.70	1.02
1.0	525	1.0	0.0088	0.991	196.57	2.67
1.5	905	1.5	0.0132	0.986	197.45	4.58
2.0	1350	2.0	0.0176	0.982	198.34	6.81
2.5	1775	2.5	0.0220	0.978	199.23	8.91
3.0	1940	3.0	0.0265	0.973	200.13	9.69
3.5	2030	3.5	0.0309	0.969	201.05	10.09
4.0	2030	4.0	0.0353	0.965	201.96	10.05
4.5	2160	4.5	0.0397	0.960	202.89	10.65
5.0	2220	5.0	0.0441	0.956	203.83	10.89
5.5	2205	5.5	0.0485	0.951	204.77	10.77
6.0	2140	6.0	0.0529	0.947	205.72	10.40
6.5	2070	6.5	0.0573	0.943	206.69	10.02
7.0	1975	7.0	0.0617	0.938	207.66	9.51
7.5	1890	7.5	0.0661	0.934	208.64	9.06
8.0	1830	8.0	0.0705	0.929	209.63	8.73
8.5	1815	8.5	0.0749	0.925	210.63	8.62
9.0	1780	9.0	0.0794	0.921	211.64	8.41
9.5	1745	9.5	0.0838	0.916	212.66	8.21
10.0	1710	10.0	0.0882	0.911	213.68	8.00

CALCULOS

Grado de Compactación % -----  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> -----  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % -----  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> -----  
 Peso Mat. H<sub>u</sub> =  $\frac{(100 - W_2) V}{10000}$  -----  
 Peso Equipo + Mat. H<sub>u</sub> grs. -----  
 Carga de Compactación kg. -----

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
 Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 186.80  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 163.57  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.77  
 Peso del Agua en grs. 23.23  
 Contenido de Humedad en % 30.26  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1358  
 Grado de Comp. Corregido % 101.57  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 108.90



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

89

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 7/03/89 Material: Arena-limosa  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: -----  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Optima Wo.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2246.96  
 Peso Pastilla grs.: 3975 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1769

MEDIAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.9 cm As = 198.55 cm<sup>2</sup> Vi = 3975 gr.  
 Dc = 15.75 cm Ac = 194.83 cm<sup>2</sup> Vt = 2246.96 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.9 cm Ai = 198.55 cm<sup>2</sup> Va = 1769 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 11.46 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1176.42 = 196.07 cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Defomación controlada 1mm/min

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	60	0.5	0.0044	0.996	196.85	0.304
1.0	225	1.0	0.0087	0.991	197.85	1.137
1.5	425	1.5	0.0131	0.986	198.85	2.137
2.0	645	2.0	0.0174	0.983	199.46	3.233
2.5	875	2.5	0.0218	0.978	200.48	4.365
3.0	1100	3.0	0.0261	0.974	201.34	5.463
3.5	1375	3.5	0.0305	0.969	202.34	6.795
4.0	1655	4.0	0.0349	0.965	203.18	8.145
4.5	1950	4.5	0.0393	0.960	204.24	9.547
5.0	2230	5.0	0.0436	0.956	205.09	10.873
5.5	2445	5.5	0.0479	0.952	205.95	11.871
6.0	2495	6.0	0.0523	0.947	207.04	12.05
6.5	2485	6.5	0.0567	0.943	207.92	11.95
7.0	2595	7.0	0.0611	0.938	209.02	12.41
7.5	2655	7.5	0.0654	0.934	209.93	12.647
8.0	2660	8.0	0.0698	0.930	210.83	12.616
8.5	2600	8.5	0.0741	0.925	211.96	12.266
9.0	2520	9.0	0.0785	0.921	212.89	11.837
9.5	2410	9.5	0.0829	0.917	213.82	11.271
10.0	2380	10.0	0.0873	0.913	214.75	11.08

CALCULOS

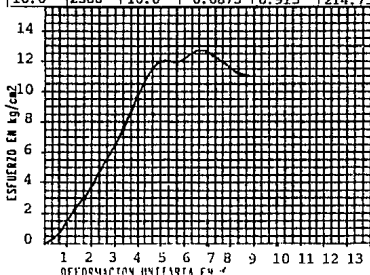
Grado de Compactación % -----  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> -----  
 Humedad de prueba W2 % -----  
 Agua/Agregar =  $Pm(W2-W1)cm^3$  -----  
 100\*W1  
 Peso Mat. Hum. =  $(100+W2)V$  -----  
 10000  
 Peso Equipo + Mat. Hua. grs. -----  
 Carga de Compactación kg. -----

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 142.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 119.83  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.20  
 Peso del Agua en grs. 22.80  
 Contenido de Humedad en % 29.53  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1366  
 Grado de Comp. Corregido % 102.16  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 120.50

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

90

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Fecha: 8/03/89 Material: Arena-Timosa  
Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: -----  
Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Wo.: 31.0  
Humedad que contiene el Material W1: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 229.62  
Peso Pastilla grs.: 399 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1738

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 5.24 cm As = 21.57 cm<sup>2</sup> Wi = 399 gr.  
Oo = 5.20 cm Ac = 21.24 cm<sup>2</sup> Vt = 229.62 cm<sup>3</sup>  
O1 = 5.26 cm A1 = 21.73 cm<sup>2</sup> Ym = 1738 Ton/m<sup>3</sup>  
Hm = 10.74 cm Am = As + 4Ac + A1 = 128.26 = 21.38 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO	Grado de Compactación %
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0.5	15	0.5	0.00466	0.9953	21.6106	0.6941	
1.0	29	1.0	0.00931	0.99068	21.712	1.3356	
1.5	43	1.5	0.01396	0.98601	21.8146	1.97115	
2.0	58	2.0	0.01862	0.98137	21.9181	2.646	
2.5	74	2.5	0.02320	0.9767	22.0226	3.3602	
3.0	93	3.0	0.02790	0.97206	22.128	4.203	
3.5	110	3.5	0.03260	0.9674	22.23	4.947	
4.0	131	4.0	0.03740	0.9627	22.342	5.863	
4.5	150	4.5	0.04180	0.9581	22.451	6.681	
5.0	169	5.0	0.04650	0.9534	22.56	7.491	
5.5	189	5.5	0.05120	0.9487	22.67	8.3366	
6.0	170	6.0	0.05580	0.944	22.783	7.4617	
6.5	70	6.5	0.06050	0.9395	22.896	3.0573	
7.0	36	7.0	0.06520	0.9348	22.87	1.574	
7.5	37	7.5	0.06980	0.930	22.99	1.609	
8.0	37	8.0	0.07450	0.925	23.10	1.602	
8.5	40	8.5	0.07910	0.921	23.22	1.723	
9.0	41	9.0	0.08380	0.916	23.34	1.757	
9.5	41	9.5	0.08850	0.911	23.45	1.748	
10.0	41	10.0	0.09300	0.907	23.58	1.739	

CALCULOS

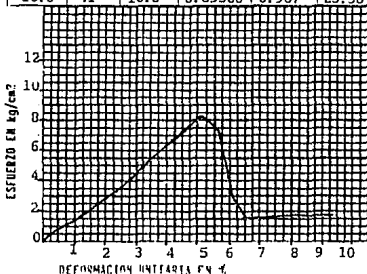
Grado de Compactación % -----  
Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> -----  
Humedad de prueba W2 % -----  
Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> -----  
Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  -----  
Peso Equipo + Mat. Hum. grs. -----  
Carga de Compactación kg. -----

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
Peso Mat. Humedo + Tara grs. 142.63  
Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
Peso Mat. Seco + Tara grs. 119.20  
Peso Mat. Seco en grs. 76.57  
Peso del Agua en grs. 23.43  
Contenido de Humedad en % 30.6  
Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1331  
Grado de Comp. Corregido % 95.55  
Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 83.37

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

91

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO.

Fecha: 8/03/89 Material: Arena Timosa  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: \_\_\_\_\_  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1337 Humedad Óptima Wo.: 31.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5% Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2266.46  
 Peso Pastilla grs.: 3990 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1760

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.9 cm      As = 198.5565 cm<sup>2</sup>      Vi = 3990 gr.  
 Dc = 15.8 cm      Ac = 196.0668 cm<sup>2</sup>      Vt = 2266.46 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.85 cm      Ai = 197.3097 cm<sup>2</sup>      Ya = 1760 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 11.523 cm      An = As + 4Ac + Ai = 1180.1 = 196.69 cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	110	0.5	0.00434	0.9956	197.54	0.5568
1.0	325	1.0	0.00868	0.9913	198.41	1.6380
1.5	535	1.5	0.01328	0.9869	199.27	2.6840
2.0	790	2.0	0.01737	0.9826	200.17	3.9460
2.5	1045	2.5	0.02171	0.9783	201.06	5.1980
3.0	1350	3.0	0.02605	0.9739	201.95	6.6850
3.5	1660	3.5	0.03040	0.9696	202.86	8.1830
4.0	1940	4.0	0.03470	0.9653	203.77	9.5205
4.5	2135	4.5	0.03908	0.9609	204.69	10.4310
5.0	2265	5.0	0.04340	0.9566	205.62	11.0200
5.5	2175	5.5	0.04777	0.9522	206.56	10.5290
6.0	2225	6.0	0.05210	0.9478	207.50	10.7230
6.5	2230	6.5	0.05650	0.9435	208.46	10.6980
7.0	2220	7.0	0.06080	0.9392	209.42	10.6010
7.5	2215	7.5	0.06510	0.9348	210.40	10.5280
8.0	2190	8.0	0.06950	0.9305	211.38	10.3605
8.5	2190	8.5	0.07380	0.9262	212.37	10.3120
9.0	2145	9.0	0.07820	0.9218	213.37	10.0530
9.5	2100	9.5	0.08250	0.9175	214.38	9.7960
10.0	2070	10.0	0.08686	0.9131	215.40	9.6100

**CALCULOS**

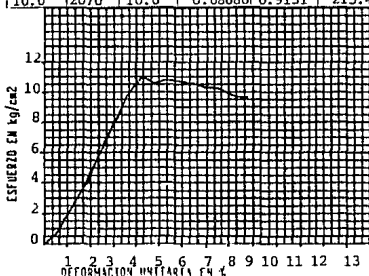
Grado de Compactación % \_\_\_\_\_  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 Humedad de prueba W2 % \_\_\_\_\_  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Hua. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  \_\_\_\_\_  
 Peso Equipo + Mat. Hua. grs. \_\_\_\_\_  
 Carga de Compactación kg. \_\_\_\_\_

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 42.65  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 119.28  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.63  
 Peso del Agua en grs. 23.37  
 Contenido de Humedad en % 30.50  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1349  
 Grado de Comp. Corregido % 100.89  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 110.20

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_n}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**IV.2.- RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS EN MATERIAL:**

**A R C I L L A - A R E N O S A**



UNAM  
ENSP ARAGON  
LAB. DE GEOLOGIA

TESIS PROFESIONAL

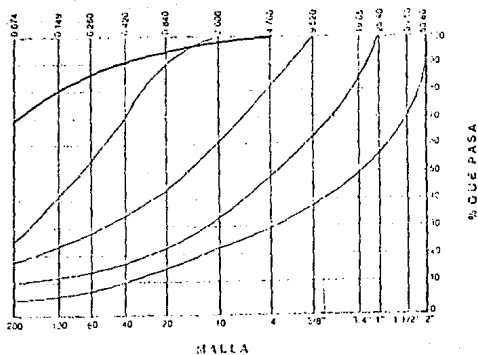
PROCESO DE ENSAYE DE MUESTRAS PARA BASE Y SUB-BASE

MATERIAL **ARCILLA ARENOSA**  
 LOCALIZACION **UNIDAD HABITACIONAL LAS VEGAS**  
 PROCEDENCIA **TEXCOCO EDO. DE MEXICO**

TIPO DE MUESTRA **MUESTREO A UNA PROFUNDIDAD DE 0.60 A 1.0 METROS.**  
 FECHA DE RECEPCION  
 FECHA DE ENTREGA

Procedimiento N° 10 kg/m<sup>3</sup>  
 Capacidad de muestra **2024**  
 PVS **1688**  
 Capacidad de muestra **19.89**  
 % Que pasa a la malla  
 200  
 100  
 60  
 40  
 20  
 10  
 4  
 2  
 1.5  
 1  
 0.75  
 0.6  
 0.425  
 0.3  
 0.25  
 0.2  
 0.15  
 0.125  
 0.1  
 0.075  
 0.06  
 0.045  
 0.03  
 0.02  
 0.015  
 0.01  
 0.0075  
 0.006  
 0.0045  
 0.003  
 0.002  
 0.0015  
 0.001

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



MRS (retención) % **3.50**  
 L. Plastico **6.60**  
 Índice de plasticidad **3.5**

PROCESO DE ENSAYE: 154032 #

PRINCIPALES MALLAS QUE PASA LA MUESTRA

ARENOSIDAD	41.84	EGGIV HUMEDAD CAMPO	16%
CONTENIDO DE ARGILA	21.57	CONTENIDO DE GRASA	7%
INDICE PLASTICO	20.27		

OBSERVACIONES: Esta arcilla presenta un color café oscuro en estado húmedo.

EL LABORANTISTA

REVISADO POR

RECIBIDO POR





LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
 TESIS PROFESIONAL

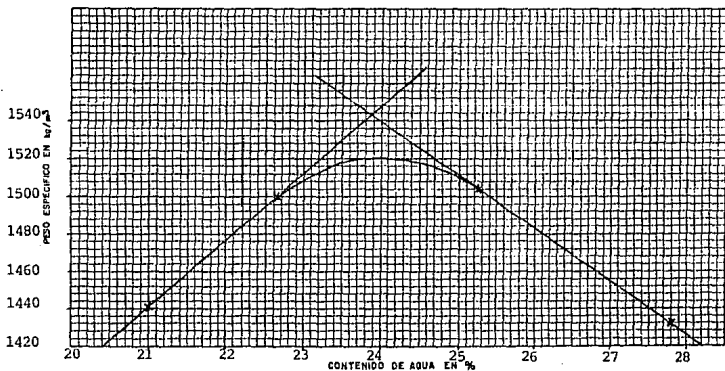
DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA <u>ARCILLA-ARENOSA</u>	ENSAYE NUM. <u>1</u>
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR <u>PVSU Y H.O.</u>	FECHA DE INICIACION _____
PROCEDENCIA <u>LAS VEGAS TEXCOCO, EDO. DE MEXICO</u>	FECHA DE TERMINACION _____
LABORATORISTA _____	

TIPO DE PRUEBA PROCTOR ASHTO ESTANDAR

NUM. DE CAPAS 3 PESO PISON 2.5 Kg. MOLDE NUM. 1  
 NUM. DE GOLPES POR CAPA 25 ALTURA CAIDA 30.5 cm. VOLUMEN (V) 998 cm<sup>3</sup>

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g	3760	3855	3900	3845			
PESO DEL MOLDE, g	2020	2020	2020	2020			
PESO SUELO HUMEDO, g (wm)	1740	1835	1880	1825			
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{WM}{V}$ )	1743	1839	1884	1829			
CAPSULA NUMERO	1	2	3	4			
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g	198.0	179.62	190.84	184.42			
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g	180.70	161.22	170.66	162.66			
PESO DEL AGUA, g	17.30	18.40	20.18	21.76			
PESO CAPSULA, g	98.23	79.90	90.84	84.42			
PESO SUELO SECO, g	82.47	81.32	79.82	78.24			
CONTENIDO DE AGUA, % (w)	20.98	22.63	25.28	27.81			
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$ )	1441	1500	1504	1431			



w o p = 24 %

γ<sub>d</sub> máx. = 1520 kg/m<sup>3</sup>

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

95

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 6 / MARZO / 90

Material: ARCILLA - ARENOSA

Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Bordo Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24

Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2471

Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1888



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.74 cm As = 194.58 cm<sup>2</sup> Vi = 4665 gr.  
 Dc = 15.714 cm Ac = 193.96 cm<sup>2</sup> Vt = 2471 cm<sup>3</sup>  
 Dj = 15.69 cm Ai = 193.35 cm<sup>2</sup> Ym = 1888 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.74 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{194.58 + 4(193.96) + 193.35}{6} = 193.96$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IMM / MIN

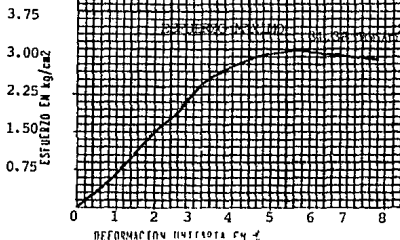
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	54	0.5	0.004	0.996	194.7	0.277
1	104	1	0.008	0.992	195.5	0.532
1.5	165	1.5	0.012	0.988	196.3	0.841
2	225	2	0.016	0.984	197.1	1.142
2.5	300	2.5	0.020	0.980	197.8	1.516
3	355	3	0.024	0.976	198.6	1.787
3.5	415	3.5	0.027	0.973	199.4	2.081
4	480	4	0.031	0.969	200.2	2.397
4.5	525	4.5	0.035	0.965	201.1	2.611
5	563	5	0.039	0.961	201.9	2.769
5.5	592	5.5	0.043	0.957	202.7	2.920
6	615	6	0.047	0.953	203.5	3.021
6.5	630	6.5	0.051	0.949	204.4	3.082
7	644	7	0.055	0.945	205.2	3.138
7.5	645	7.5	0.059	0.941	206.1	3.130
8	640	8	0.063	0.937	207.0	3.092
8.5	632	8.5	0.067	0.933	207.8	3.041
9	628	9	0.071	0.929	208.7	3.009
9.5	625	9.5	0.075	0.925	209.6	2.982
10	621	10	0.078	0.922	210.5	2.950

CALCULOS

Grado de Compactación %	100
Peso Vol. Seco en kg/ m <sup>3</sup>	1520
Humedad de prueba W %	24
Agua/Agregar = $\frac{Pc(W2 - W1)}{100 - W1}$ cm <sup>3</sup>	830
Peso Mat. Hum. = $\frac{(100 \cdot W2)V}{10000}$	4665
Peso Equipo + Mat. Hum. grs.	14870
Carga de Compactación kg.	4415
COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION	
Capsula No.	6
Peso Mat. Humedo + Tara grs.	183.06
Peso Mat. Humedo grs.	100.00
Peso Mat. Seco + Tara grs.	164.24
Peso Mat. Seco en grs.	81.18
Peso del Agua en grs.	18.82
Contenido de Humedad en %	23.18
Peso Vol. Seco Corregido kg/ m <sup>3</sup>	1533
Grado de Comp. Corregido %	100.86
Esfuerzo Mítico Ton/m <sup>2</sup>	31.38

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unil.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



DEFORMACION UNITARIA EN %

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

96

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZADA DE  
 MEXICO.

Fecha: 6 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2483  
 Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1879

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.75 cm As = 194.83 cm<sup>2</sup> Wl = 4665 gr.  
 Dc = 15.74 cm Ac = 194.58 cm<sup>2</sup> Vt = 2483 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.75 cm Ai = 194.33 cm<sup>2</sup> Vm = 1879 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.76 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1167.48 = 194.50 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM / MIN

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	65	0.5	0.004	0.996	195.3	0.333
1.0	127	1.0	0.008	0.992	196.1	0.648
1.5	195	1.5	0.012	0.988	196.9	0.990
2.0	260	2	0.016	0.984	197.7	1.315
2.5	330	2.5	0.020	0.980	198.5	1.663
3.0	400	3	0.024	0.976	199.3	2.007
3.5	472	3.5	0.027	0.973	200.1	2.359
4	525	4	0.031	0.969	200.9	2.614
4.5	566	4.5	0.035	0.965	201.7	2.806
5.0	595	5	0.039	0.961	202.5	2.938
5.5	613	5.5	0.043	0.957	203.3	3.015
6.0	625	6	0.047	0.953	204.2	3.061
6.5	638	6.5	0.051	0.949	205.0	3.112
7.0	645	7	0.055	0.945	205.9	3.133
7.5	640	7.5	0.059	0.941	206.7	3.096
8.0	635	8	0.063	0.937	207.6	3.059
8.5	632	8.5	0.067	0.933	208.5	3.032
9.0	628	9	0.071	0.929	209.3	3.000
9.5	625	9.5	0.074	0.926	210.2	2.973
10.0	620	10	0.078	0.922	211.1	2.937

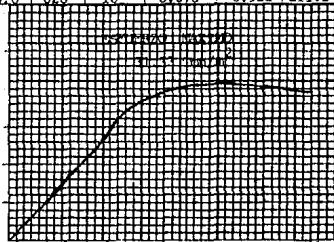
CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba W2 % 24  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)cm^3}{100 \cdot V1}$  830  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4665  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14870  
 Carga de Compactación kg. 4600

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 5  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 165.92  
 Peso Mat. Seco en grs. 81.33  
 Peso del Agua en grs. 18.67  
 Contenido de Humedad en % 22.96  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1528  
 Grado de Comp. Corregido % 100.54  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 31.33

3.75  
 3.00  
 2.25  
 1.50  
 0.75  
 ESFUERZO EN kg/cm<sup>2</sup>



DEFORMACION UNITARIA EN Y

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**

Fecha: 6 / MARZO 6 90 Material: ARCILLA- ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2474  
 Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1886

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.75 cm As = 194.33 cm<sup>2</sup> W1 = 4665 gr.  
 Dc = 15.725 cm Ac = 194.21 cm<sup>2</sup> Vt = 2474 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.70 cm Ai = 193.59 cm<sup>2</sup> Wm = 1886 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.74 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1165.26}{6} = 194.21$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1/31 / MIN



TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	52	0.5	0.004	0.996	194.9	0.267
1	90	1	0.008	0.992	195.7	0.460
1.5	140	1.5	0.012	0.988	196.6	0.712
2	200	2	0.016	0.984	197.3	1.014
2.5	253	2.5	0.020	0.980	198.1	1.270
3	305	3	0.024	0.976	198.9	1.533
3.5	364	3.5	0.027	0.973	199.7	1.823
4	417	4	0.031	0.969	200.5	2.080
4.5	460	4.5	0.035	0.965	201.3	2.285
5	510	5	0.039	0.961	202.1	2.523
5.5	530	5.5	0.043	0.957	202.9	2.611
6	565	6	0.047	0.953	203.8	2.772
6.5	585	6.5	0.051	0.949	204.7	2.859
7	606	7	0.055	0.945	205.5	2.949
7.5	615	7.5	0.059	0.941	206.4	2.980
8	610	8	0.063	0.937	207.2	2.944
8.5	609	8.5	0.067	0.933	208.1	2.927
9	607	9	0.071	0.929	209.0	2.904
9.5	600	9.5	0.075	0.925	209.9	2.859
10	585	10	0.078	0.922	210.8	2.780

**CALCULOS**

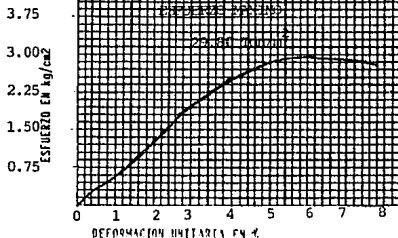
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba W % 24  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pn(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 830  
 Peso Mat. Hua. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4465  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14870  
 Carga de Compactación kg. 4350

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 185.15  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 166.12  
 Peso Mat. Seco en grs. 60.97  
 Peso del Agua en grs. 19.03  
 Contenido de Humedad en % 23.50  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1527  
 Grado de Comp. Corregido % 100.50  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 29.80

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

98

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**

Fecha: 7 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA

Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Vo.: 24

Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2470

Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1884

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.71 cm      As = 193.84 cm<sup>2</sup>      Wi = 4665 gr.  
 Dc = 15.71 cm      Ac = 193.84 cm<sup>2</sup>      Vt = 2470 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.71 cm      Ai = 193.84 cm<sup>2</sup>      Ya = 1888 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.74 cm      Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1163.04}{6} = 193.84$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM / MIN

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba W % 24

Agua/Agregar =  $\frac{Pc(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 830

Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4665

Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14870

Carga de Compactación kg. 3900

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
 Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 1

Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176.00

Peso Mat. Humedo grs. 100.00

Peso Mat. Seco + Tara grs. 156.78

Peso Mat. Seco en grs. 80.78

Peso del Agua en grs. 19.22

Contenido de Humedad en % 23.79

Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1526

Grado de Comp. Corregido % 100.4

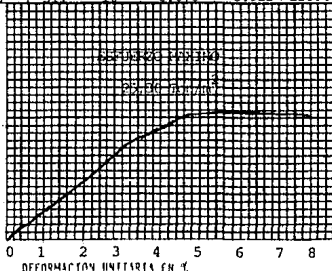
Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 25.30

TIEMPO TRANSCURRIDO MIN	CARGA kg.	DEFORMACION TOTAL mm.	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
0.5	46	0.5	0.004	0.996	194.6	0.236
1	90	1	0.008	0.992	195.4	0.461
1.5	131	1.5	0.012	0.988	196.1	0.668
2	178	2	0.016	0.984	196.9	0.904
2.5	232	2.5	0.020	0.980	197.7	1.173
3	281	3	0.024	0.976	198.5	1.412
3.5	320	3.5	0.027	0.973	199.3	1.605
4	372	4	0.031	0.969	200.1	1.859
4.5	410	4.5	0.035	0.965	200.9	2.040
5	445	5	0.039	0.961	201.7	2.206
5.5	478	5.5	0.043	0.957	202.6	2.359
6	496	6	0.047	0.953	203.4	2.438
6.5	509	6.5	0.051	0.949	204.3	2.492
7	519	7	0.055	0.945	205.1	2.530
7.5	520	7.5	0.059	0.941	206.0	2.525
8	521	8	0.063	0.937	206.8	2.519
8.5	522	8.5	0.067	0.933	207.7	2.513
9	520	9	0.071	0.929	208.6	2.493
9.5	516	9.5	0.075	0.925	209.5	2.463
10	511	10	0.078	0.922	210.4	2.429

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1 - Def. unit.}$

**ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:**

ESFUERZO EN kg/cm<sup>2</sup>



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

99

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENNA DE  
 MEXICO

Fecha: 6 / MARZO / 90 Material: ARCILLA -- ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2489  
 Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1874

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.76 cm As = 195.08 cm<sup>2</sup> Wi = 4665 gr.  
 Dc = 15.76 cm Ac = 195.08 cm<sup>2</sup> Vt = 2469 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.75 cm Ai = 194.83 cm<sup>2</sup> Ym = 1874 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.76 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{195.08 + 4(195.08) + 194.83}{6} = 1170.46 = 195.08$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IPII / MIN

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	46	0.5	0.004	0.996	195.8	0.235
1.0	84	1	0.008	0.992	196.6	0.427
1.5	122	1.5	0.012	0.988	197.4	0.618
2	165	2	0.016	0.984	198.2	0.833
2.5	207	2.5	0.020	0.980	199.0	1.040
3	262	3	0.024	0.976	199.8	1.311
3.5	306	3.5	0.027	0.973	200.6	1.526
4	346	4	0.031	0.969	201.4	1.718
4.5	370	4.5	0.035	0.965	202.2	1.830
5	515	5	0.039	0.961	203.0	2.044
5.5	441	5.5	0.043	0.957	203.9	2.163
6	465	6	0.047	0.953	204.7	2.272
6.5	485	6.5	0.051	0.949	205.6	2.360
7	496	7	0.055	0.945	206.4	2.405
7.5	506	7.5	0.059	0.941	207.3	2.441
8	056	8	0.063	0.937	208.1	2.431
8.5	506	8.5	0.067	0.933	209.0	2.421
9	506	9	0.071	0.929	209.9	2.411
9.5	493	9.5	0.074	0.926	210.8	2.339
10	490	10	0.078	0.922	211.7	2.315

CALCULOS

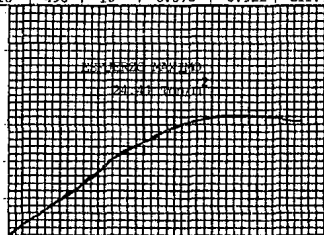
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 24  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 030  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  4665  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14870  
 Carga de Compactación kg. 3750

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.84  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 171.34  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.50  
 Peso del Agua en grs. 19.50  
 Contenido de Humedad en % 24.22  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1509  
 Grado de Coop. Corregido % 99.28  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 24.41

3.75

3.00  
 2.25  
 1.50  
 0.75  
 ESFUERZO EN kg/cm<sup>2</sup>



DEFORMACION UNITARIA EN %

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

100

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO.

Fecha: 6 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.5E  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2509  
 Peso Pastilla grs.: 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1859

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.76 cm As = 195.07 cm<sup>2</sup> Wl = 4665 gr.  
 Dc = 15.76 cm Ac = 195.07 cm<sup>2</sup> Vt = 2509 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.76 cm Ai = 195.07 cm<sup>2</sup> Ym = 1859 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.86 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1170.42 = 195.07 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 100 / MIN

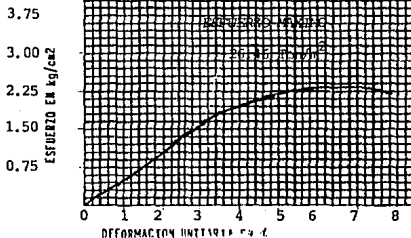
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	46	0.5	0.004	0.996	195.6	0.235
1.0	82	1.0	0.008	0.992	196.6	0.417
1.5	120	1.5	0.012	0.988	197.4	0.608
2	158	2	0.016	0.984	198.2	0.797
2.5	202	2.5	0.019	0.981	198.9	1.015
3.0	255	3	0.023	0.977	199.7	1.277
3.5	296	3.5	0.027	0.973	200.5	1.476
4	334	4	0.031	0.969	201.3	1.659
4.5	367	4.5	0.035	0.965	202.1	1.816
5	393	5	0.039	0.961	203.0	1.936
5.5	420	5.5	0.043	0.957	203.8	2.061
6.0	442	6	0.047	0.955	204.6	2.160
6.5	459	6.5	0.051	0.949	205.5	2.234
7	470	7	0.054	0.946	206.3	2.278
7.5	481	7.5	0.058	0.942	207.2	2.322
8.0	483	8.0	0.062	0.938	208.0	2.322
8.5	490	8.5	0.066	0.934	208.9	2.346
9	488	9	0.070	0.930	209.7	2.327
9.5	482	9.5	0.074	0.926	210.6	2.288
10	470	10	0.078	0.922	211.5	2.222

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba Wt % 24  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pa(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 830  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4665  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14070  
 Carga de Compactación kg. \_\_\_\_\_  
**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**  
 Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 156.22  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.22  
 Peso del Agua en grs. 19.78  
 Contenido de Humedad en % 24.65  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1491  
 Grado de Comp. Corregido % 98.09  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 23.46

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

101

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 7 / MARZO 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2439  
 Peso Pastilla grs.: 4485 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1831



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

HECHOS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.76 cm As = 195.08 cm<sup>2</sup> Wl = 4485 gr.  
 Dc = 15.73 cm Ac = 194.73 cm<sup>2</sup> Vt = 2449 cm<sup>3</sup>  
 Dj = 15.69 cm Aj = 193.35 cm<sup>2</sup> Ym = 1831 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.60 cm Am = As + 4Ac + Aj = 1165.98 = 194.33 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IMM / MIN

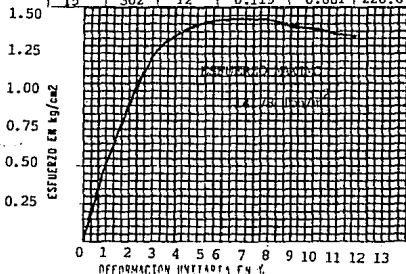
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	44	0.5	0.004	0.996	195.1	0.226
1	88	1	0.008	0.992	195.9	0.449
1.5	116	1.5	0.012	0.988	196.7	0.590
2	152	2	0.016	0.984	197.5	0.779
2.5	181	2.5	0.020	0.980	198.3	0.913
3	211	3	0.024	0.976	199.1	1.060
3.5	236	3.5	0.028	0.972	199.9	1.181
4	254	4	0.032	0.968	200.7	1.266
4.5	268	4.5	0.036	0.964	201.5	1.330
5	279	5	0.040	0.960	202.4	1.379
6	294	6	0.048	0.952	204.0	1.441
7	301	7	0.056	0.944	205.8	1.463
8	306	8	0.063	0.937	207.5	1.475
9	309	9	0.071	0.929	209.3	1.477
10	312	10	0.079	0.921	211.1	1.478
11	310	11	0.087	0.913	212.9	1.456
12	309	12	0.095	0.905	214.6	1.439
13	307	13	0.103	0.897	216.7	1.417
14	303	14	0.111	0.819	218.6	1.386
15	302	12	0.119	0.881	220.6	1.369

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pn(W2-V1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 894  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot Y}{10000}$  4485  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14691  
 Carga de Compactación kg. 1520

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula Mo. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.84  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 170.99  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.15  
 Peso del Agua en grs. 19.85  
 Contenido de Humedad en % 24.77  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1467  
 Grado de Comp. Corregido % 16.55  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 14.78



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

102

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 7 / MARZO 90 Material: ARCILLA- ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material Wt: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2480  
 Peso Pastilla grs.: 4510 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1818



MECIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.76 cm As = 195.07 cm<sup>2</sup> Wi = 4510 gr.  
 Dc = 15.75 cm Ac = 194.83 cm<sup>2</sup> Vt = 2480 cm<sup>3</sup>  
 Df = 15.74 cm Aj = 194.58 cm<sup>2</sup> Ym = 1618 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.73 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1168.97}{6} = 194.83$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFOR.MACION CONTROLADA (15) / MIN.

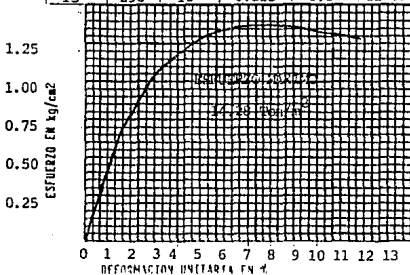
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	44	0.5	0.004	0.996	195.6	0.225
1	75	1	0.008	0.992	196.4	0.382
1.5	109	1.5	0.012	0.988	197.2	0.553
2	142	2	0.016	0.984	198.9	0.717
2.5	167	2.5	0.020	0.980	198.7	0.840
3	190	3	0.024	0.976	199.5	0.952
3.5	208	3.5	0.027	0.973	200.3	1.038
4	224	4	0.031	0.969	201.2	1.114
4.5	236	4.5	0.035	0.965	202.0	1.168
5	247	5	0.039	0.961	202.8	1.218
6	266	6	0.047	0.953	204.5	1.301
7	280	7	0.055	0.945	206.2	1.358
8	291	8	0.063	0.937	207.9	1.400
9	298	9	0.071	0.929	209.7	1.421
10	302	10	0.079	0.921	211.4	1.428
11	303	11	0.086	0.914	213.3	1.421
12	301	12	0.094	0.906	215.1	1.400
13	298	13	0.102	0.898	217.0	1.373
14	297	14	0.110	0.890	218.9	1.356
15	296	15	0.118	0.882	220.9	1.340

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)cm^3}{100 \cdot W_1}$  894  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2)V}{10000}$  4485  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14715  
 Carga de Compactación kg. 1400

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 159.56  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.66  
 Peso del Agua en grs. 20.34  
 Contenido de Humedad en % 25.55  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1446  
 Grado de Comp. Corregido % 95.28  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 14.26



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

103

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: & / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10.205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2484  
 Peso Pastilla grs.: 4505 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1814



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTÓNOMA DE  
 MÉXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.73 cm As = 194.33 cm<sup>2</sup> Vi = 4505 gr.  
 Dc = 15.70 cm Ac = 193.59 cm<sup>2</sup> Vt = 2484 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.67 cm Aj = 192.85 cm<sup>2</sup> Vm = 1814 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.88 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{194.33 + 4(193.59) + 192.85}{6} = 193.59$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IMM / MIN

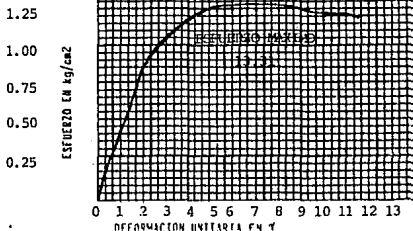
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	41	0.5	0.004	0.996	194.3	0.212
1	75	1	0.008	0.992	195.1	0.384
1.5	107	1.5	0.012	0.988	195.9	0.546
2	140	2	0.016	0.984	196.6	0.712
2.5	169	2.5	0.019	0.981	197.4	0.860
3	192	3	0.023	0.977	198.2	0.969
3.5	210	3.5	0.027	0.973	199.0	1.055
4	225	4	0.031	0.969	199.8	1.126
4.5	237	4.5	0.035	0.965	200.6	1.181
5	246	5	0.039	0.961	201.4	1.221
6	260	6	0.047	0.953	203.9	1.280
7	269	7	0.054	0.946	204.7	1.314
8	274	8	0.062	0.938	206.4	1.327
9	277	9	0.070	0.930	208.1	1.331
10	278	10	0.078	0.922	209.9	1.325
11	277	11	0.085	0.915	211.7	1.309
12	275	12	0.093	0.907	213.5	1.288
13	274	13	0.101	0.899	215.3	1.273
14	274	14	0.109	0.891	217.2	1.262
15	272	15	0.116	0.884	219.1	1.241

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W2 % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pc(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 894  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  4485  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14690  
 Carga de Compactación kg. 1350

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 164.62  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.03  
 Peso del Agua en grs. 19.95  
 Contenido de Humedad en % 24.95  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1452  
 Grado de Comp. Corregido % 95.53  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 13.31



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

104

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 07 / MARZO / 90

Material: ARCILLA - ARENOSA

Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205

Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520

Humedad Óptima Wo.: 24

Humedad que contiene el Material W1: 4.7

Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2462

Peso Pastilla grs.: 4450

Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1807



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.72 cm      A<sub>s</sub> = 194.09 cm<sup>2</sup>      W<sub>i</sub> = 4450 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.70 cm      A<sub>c</sub> = 193.59 cm<sup>2</sup>      V<sub>t</sub> = 2462 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>i</sub> = 15.68 cm      A<sub>i</sub> = 193.10 cm<sup>2</sup>      V<sub>m</sub> = 1807 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.72 cm      A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_i}{6} = 1161.55$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: REPRODUCCION CONTROLADA T-54 / MIN.

TIEMPO TRANSCURRIDO MIN	CARGA kg.	DEFORMACION TOTAL mm.	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
0.5	44	0.5	0.034	0.996	194.4	0.226
1	70	1	0.068	0.992	195.1	0.358
1.5	100	1.5	0.012	0.988	195.9	0.510
2	127	2	0.016	0.984	196.7	0.646
2.5	155	2.5	0.020	0.980	197.5	0.785
3	180	3	0.024	0.976	198.3	0.908
3.5	203	3.5	0.028	0.972	199.1	1.020
4	220	4	0.031	0.969	199.9	1.101
4.5	232	4.5	0.035	0.965	200.7	1.156
5	242	5	0.039	0.961	202.5	1.201
6	260	6	0.047	0.953	203.2	1.260
7	268	7	0.055	0.945	204.9	1.308
8	271	8	0.063	0.937	206.6	1.312
9	272	9	0.071	0.929	208.3	1.506
10	272	10	0.079	0.921	210.1	1.295
11	272	11	0.086	0.914	211.9	1.279
12	269	12	0.094	0.906	213.8	1.258
13	269	13	0.102	0.898	215.6	1.248
14	266	14	0.110	0.890	217.5	1.223
15	265	15	0.118	0.882	219.5	1.207

CALCULOS

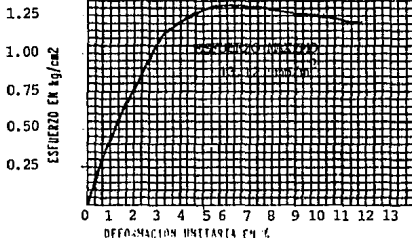
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pn(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> 894  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2) \cdot V}{10000}$  4485  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14690  
 Carga de Compactación kg. 1350

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 185.15  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Saco + Tara grs. 164.41  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.26  
 Peso del Agua en grs. 20.74  
 Contenido de Humedad en % 26.17  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1432  
 Grado de Comp. Corregido % 94.21  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 13.12

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - \text{Def. unit.}}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

105

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 13 / MARZO / 90 Material: ARCILLA- ARENOSA

Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 24.0 %

Humedad que contiene el Material W<sub>i</sub>: 4.7 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2505

Peso Pastilla grs.: 4300 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1717

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.71 cm As = 193.84 cm<sup>2</sup> W<sub>i</sub> = 4300 gr.  
D<sub>c</sub> = 15.725 cm Ac = 194.21 cm<sup>2</sup> V<sub>t</sub> = 2505 cm<sup>3</sup>  
D<sub>i</sub> = 15.74 cm A<sub>i</sub> = 194.53 cm<sup>2</sup> Y<sub>m</sub> = 1717 ton/m<sup>3</sup>  
H<sub>m</sub> = 12.90 cm A<sub>m</sub> =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{193.84 + 4(194.21) + 194.53}{6} = 194.21$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM / MIN



CALCULOS

Grado de Compactación % 90

Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1368

Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 27.0

Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> 958

Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 + W_2)V}{10000}$  grs. 4300

Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14505

Carga de Compactación kg. 490

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1

Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.84

Peso Mat. Humedo grs. 100.00

Peso Mat. Seco + Tara grs. 169.28

Peso Mat. Saco en grs. 77.44

Peso del Agua en grs. 22.56

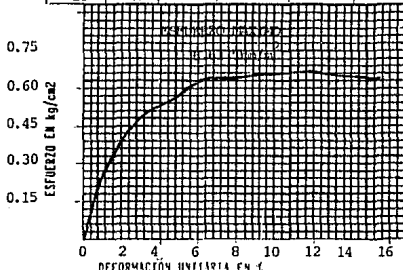
Contenido de Humedad en % 29.12

Peso Vol. Saco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1330

Grado de Comp. Corregido % 87.50

Esfuerzo Máximo ton/cm<sup>2</sup> 6.61

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	42	1	0.008	0.992	195.7	0.215
2	68	2	0.016	0.984	197.3	0.345
3	84	3	0.023	0.977	198.8	0.422
4	98	4	0.031	0.969	200.4	0.489
5	105	5	0.038	0.962	202.0	0.520
6	112	6	0.047	0.953	203.7	0.550
7	124	7	0.054	0.946	205.4	0.604
8	131	8	0.062	0.938	207.1	0.633
9	134	9	0.070	0.930	208.8	0.642
10	134	10	0.078	0.922	210.5	0.636
11	137	11	0.085	0.915	212.3	0.645
12	140	12	0.093	0.907	214.1	0.654
13	142	13	0.101	0.899	215.9	0.657
14	144	14	0.109	0.891	217.9	0.661
15	145	15	0.116	0.884	219.8	0.660
16	146	16	0.124	0.876	221.7	0.659
17	146	17	0.132	0.868	223.7	0.653
18	147	18	0.139	0.861	225.7	0.651
19	147	19	0.147	0.853	227.8	0.645
20	147	20	0.155	0.845	229.8	0.640



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - \text{Def. unit.}}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

106

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 20 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo.: 24.0 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2458  
 Peso Pastilla grs.: 4095 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1666

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 1.568 cm As = 1.93.10 cm<sup>2</sup> Wi = 4095 gr-  
 Dc = 1.568 cm Ac = 1.93.10 cm<sup>2</sup> Vt = 2456 cm<sup>3</sup>  
 Di = 1.568 cm Ai = 1.93.10 cm<sup>2</sup> Vm = 1666 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 1.273 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1.93.10 + 4(1.93.10) + 1.93.10}{6} = 1.97.10$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IMM.MIN

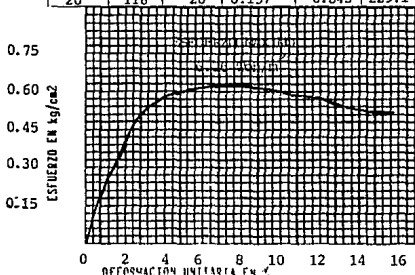
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	39	1	0.008	0.992	194.6	0.200
2	68	2	0.016	0.984	196.2	0.347
3	94	3	0.024	0.976	197.8	0.475
4	106	4	0.031	0.969	199.4	0.532
5	115	5	0.039	0.961	201.0	0.572
6	121	6	0.047	0.953	202.7	0.597
7	125	7	0.055	0.945	204.3	0.612
8	128	8	0.063	0.937	206.0	0.621
9	130	9	0.071	0.929	207.8	0.626
10	131	10	0.079	0.921	209.6	0.625
11	130	11	0.086	0.914	211.4	0.615
12	130	12	0.094	0.906	213.2	0.610
13	126	13	0.102	0.898	215.1	0.595
14	128	14	0.110	0.890	217.0	0.590
15	126	15	0.118	0.882	218.9	0.576
16	122	16	0.126	0.874	220.9	0.552
17	120	17	0.134	0.866	222.9	0.538
18	119	18	0.141	0.859	224.9	0.529
19	118	19	0.149	0.851	227.0	0.520
20	118	20	0.157	0.843	229.1	0.515

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W% 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 10.23  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  grs. 4110  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 380  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.84  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 168.14  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.57  
 Peso del Agua en grs. 22.34  
 Contenido de Humedad en % 28.91  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Grado de Comp. Corregido % 85  
 Esfuerzo Máximo ton/cm<sup>2</sup> 6.26

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

107

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**

Fecha: 20/ MARZO /90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Huedad Optima Wo.: 24.0 %  
 Huedad que contiene el Material W1: 4.7 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2465  
 Peso Pastilla grs.: 4110 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1667

**MEIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.71 cm As = 193.84 cm<sup>2</sup> Wi = 4110 gr.  
 Dc = 15.69 cm Ac = 193.35 cm<sup>2</sup> Vt = 2465 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.67 cm Ai = 192.85 cm<sup>2</sup> Ym = 1667 Ton/m<sup>3</sup>  
 Ho = 12.75 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1160.10 = 193.35 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA TASA / MIN.

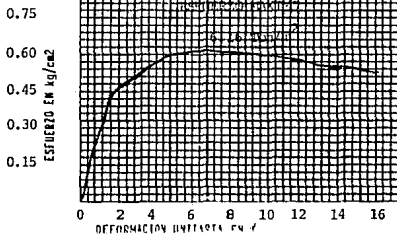
**CALCULOS**

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Huedad de prueba W2 % 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1023  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  grs 4110  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 355  
**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**  
 Capsula No. 5  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176.0  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.0  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 154.0  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.02  
 Peso del Agua en grs. 21.98  
 Contenido de Huedad en % 28.17  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1300  
 Grado de Comp. Corregido % 85.53  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 6.16

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	45	1	0.008	0.992	194.9	0.231
2	86	2	0.016	0.984	196.4	0.438
3	96	3	0.024	0.976	198.0	0.485
4	116	4	0.031	0.969	199.6	0.531
5	114	5	0.039	0.961	201.2	0.566
6	121	6	0.047	0.953	202.9	0.596
7	124	7	0.055	0.945	204.6	0.606
8	127	8	0.063	0.937	206.3	0.616
9	128	9	0.071	0.929	208.0	0.615
10	128	10	0.078	0.922	209.8	0.610
11	128	11	0.086	0.914	211.6	0.605
12	128	12	0.094	0.906	213.4	0.600
13	128	13	0.102	0.898	215.3	0.595
14	128	14	0.110	0.890	217.2	0.589
15	126	15	0.118	0.882	219.1	0.575
16	125	16	0.125	0.875	221.1	0.565
17	124	17	0.133	0.867	223.1	0.556
18	123	18	0.141	0.859	225.1	0.546
19	122	19	0.149	0.851	227.2	0.537
20	121	20	0.157	0.843	229.3	0.528

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

108

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 20 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima No.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2476  
 Peso Pastilla grs.: 4110 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1660



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AV. PAVIMENTOS DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

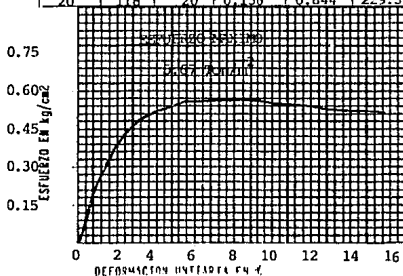
Ds = 15.70 cm As = 193.50 cm<sup>2</sup> W1 = 4110 gr.  
 Dc = 15.695 cm Ac = 193.47 cm<sup>2</sup> Vt = 2476 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.69 cm Ai = 193.35 cm<sup>2</sup> Ya = 1660 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.80 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1160.82 = 193.47 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM/MIN

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	40	1	0.008	0.992	195.0	0.205
2	67	2	0.016	0.984	196.5	0.341
3	84	3	0.023	0.977	198.1	0.424
4	96	4	0.031	0.969	199.7	0.481
5	104	5	0.039	0.961	201.3	0.517
6	109	6	0.047	0.953	203.0	0.537
7	114	7	0.055	0.945	204.7	0.557
8	116	8	0.063	0.937	206.4	0.562
9	118	9	0.070	0.930	208.1	0.567
10	119	10	0.078	0.922	209.9	0.567
11	120	11	0.086	0.914	211.7	0.567
12	120	12	0.094	0.906	213.5	0.562
13	119	13	0.102	0.898	215.3	0.553
14	119	14	0.109	0.891	217.2	0.548
15	119	15	0.117	0.883	219.2	0.543
16	118	16	0.125	0.875	221.1	0.534
17	118	17	0.133	0.867	223.1	0.529
18	118	18	0.141	0.859	225.1	0.524
19	118	19	0.148	0.852	227.2	0.519
20	118	20	0.156	0.844	229.3	0.515

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W2 % 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1023  
 Peso Mat. Num. =  $\frac{(100-W2)W}{10000}$  4110  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 350  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + tara grs. 184.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + tara grs. 162.25  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.62  
 Peso del Agua en grs. 22.38  
 Contenido de Humedad en % 28.83  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1269  
 Grado de Comp. Corregido % 84.80  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 5.67



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Dof. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 13 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24.0 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2485  
 Peso Pastilla grs.: 4280 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1722

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.69 cm As = 193.35 cm<sup>2</sup> Wt = 4280 gr.  
 Dc = 15.71 cm Ac = 193.84 cm<sup>2</sup> Vt = 2485 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.73 cm Ai = 194.33 cm<sup>2</sup> Vm = 1722 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.82 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1163.04 = 193.84 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA T-63 / MIN.

CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1360  
 Humedad de prueba W2 % 27.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 952  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  grs 4300  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14505  
 Carga de Compactación kg. 410

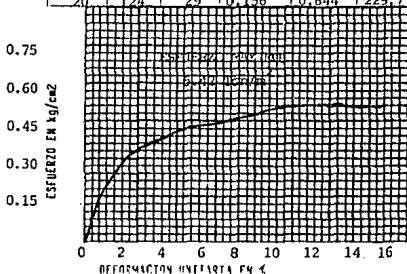
COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.50  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 156.71  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.81  
 Peso del Agua en grs. 23.19  
 Contenido de Humedad en % 30.19  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1323  
 Grado de Comp. Corregido % 87.04  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 5.42

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	35	1	0.008	0.992	195.4	0.179
2	54	2	0.016	0.984	196.9	0.274
3	67	3	0.023	0.977	198.5	0.338
4	75	4	0.031	0.969	200.1	0.375
5	80	5	0.039	0.961	201.7	0.397
6	88	6	0.047	0.953	203.4	0.433
7	93	7	0.055	0.945	205.0	0.454
8	96	8	0.062	0.936	206.7	0.464
9	99	9	0.070	0.929	208.5	0.475
10	102	10	0.078	0.922	210.2	0.485
11	106	11	0.086	0.914	212.0	0.500
12	111	12	0.094	0.906	213.9	0.519
13	115	13	0.101	0.899	215.7	0.535
14	117	14	0.109	0.891	217.6	0.538
15	119	15	0.117	0.883	219.5	0.542
16	120	16	0.125	0.875	221.5	0.542
17	121	17	0.133	0.867	223.5	0.541
18	121	18	0.140	0.860	225.5	0.538
19	123	19	0.148	0.852	227.6	0.541
20	124	20	0.156	0.844	229.7	0.540

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:





ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

110



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO.

Fecha: 13 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumetrico Seco Maximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2440  
 Peso Pastilla grs.: 4085 Peso Volumetrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1674

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.70 cm As = 193.59 cm<sup>2</sup> Wi = 4085 gr.  
 Dc = 15.67 cm Ac = 192.85 cm<sup>2</sup> Vt = 2440 cm<sup>3</sup>  
 Dj = 15.64 cm Ai = 192.12 cm<sup>2</sup> Ym = 1674 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.65 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1157.10}{6} = 192.85$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM/ MIN

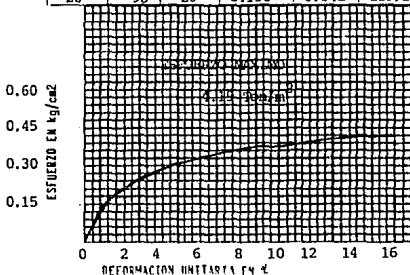
TIEMPO TRANSCU- RRIDO	CARGA	DEFORMA- CION TOTAL	DEFORMA- CION UNITARIA	1.-DEFOR- MACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	27	1	0.008	0.992	194.4	0.139
2	38	2	0.016	0.984	195.9	0.194
3	46	3	0.024	0.976	197.5	0.233
4	53	4	0.032	0.968	199.1	0.266
5	58	5	0.040	0.960	200.8	0.289
6	62	6	0.047	0.953	202.5	0.306
7	66	7	0.055	0.945	204.1	0.323
8	70	8	0.063	0.937	205.9	0.340
9	73	9	0.071	0.929	207.6	0.352
10	76	10	0.079	0.921	209.4	0.363
11	80	11	0.087	0.913	211.2	0.379
12	81	12	0.095	0.905	213.1	0.380
13	83	13	0.103	0.897	214.9	0.386
14	85	14	0.111	0.889	216.8	0.392
15	87	15	0.119	0.881	218.8	0.398
16	90	16	0.126	0.874	220.8	0.400
17	92	17	0.134	0.866	222.8	0.413
18	94	18	0.142	0.858	224.8	0.418
19	95	19	0.150	0.850	226.9	0.419
20	96	20	0.158	0.842	229.1	0.419

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W2 % 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1060  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  grs 4110  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14,315  
 Carga de Compactación kg. 2.55  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
 Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176.0  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.0  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 152.18  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.18  
 Peso del Agua en grs. 23.18  
 Contenido de Humedad en % 31.27  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1275  
 Grado de Comp. Corregido % 83.88  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 4.19

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

111

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 13 / MARZO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Vo.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2438  
 Peso Pastilla grs.: 4095 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1680

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.68 cm As = 193.10 cm<sup>2</sup> Wi = 4095 gr.  
 Oc = 15.665 cm Ac = 192.73 cm<sup>2</sup> Vt = 2438 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.65 cm Ai = 192.36 cm<sup>2</sup> Ym = 1680 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.65 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + A1}{6} = \frac{193.10 + 4(192.73) + 192.36}{6} = 192.73$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1251 / MIN



CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W2 % 26.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pn(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 1023  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot Y}{10000}$  4110  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 230

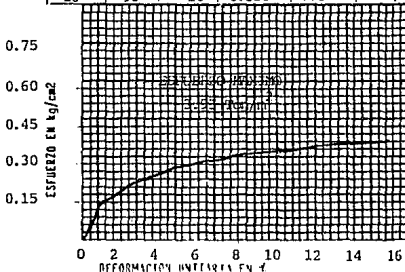
COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 164.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 160.75  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.12  
 Peso del Agua en grs. 23.88  
 Contenido de Humedad en % 31.37  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1279  
 Grado de Comp. Corregido % 84.14  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 3.93

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MÍN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	24	1	0.008	0.992	194.3	0.124
2	34	2	0.016	0.984	195.8	0.174
3	43	3	0.024	0.976	197.4	0.218
4	48	4	0.032	0.968	199.0	0.241
5	53	5	0.040	0.960	200.7	0.264
6	57	6	0.047	0.953	202.3	0.282
7	61	7	0.055	0.945	204.0	0.299
8	64	8	0.063	0.937	205.7	0.311
9	67	9	0.071	0.929	207.5	0.323
10	70	10	0.079	0.921	209.3	0.334
11	73	11	0.087	0.913	211.1	0.346
12	74	12	0.095	0.905	212.9	0.348
13	76	13	0.103	0.897	214.8	0.354
14	78	14	0.111	0.889	216.7	0.360
15	80	15	0.119	0.881	218.7	0.366
16	83	16	0.126	0.874	220.6	0.376
17	85	17	0.134	0.866	222.7	0.382
18	87	18	0.142	0.858	224.7	0.387
19	88	19	0.150	0.850	226.0	0.380
20	90	20	0.158	0.842	228.9	0.393

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

112

Fecha: 13 / MARZO / 90. Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Optima Wo.: 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2461  
 Peso Pastilla grs.: 4085 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1660



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

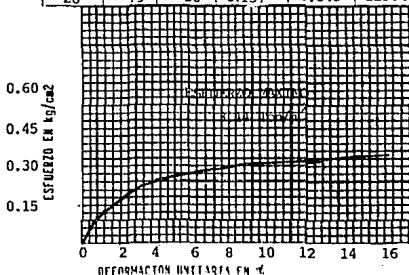
Ds = 15.70 cm As = 193.59 cm<sup>2</sup> Vi = 4085 gr.  
 Dc = 15.69 cm Ac = 193.35 cm<sup>2</sup> Vt = 2461 cm<sup>3</sup>  
 D1 = 15.68 cm A1 = 193.10 cm<sup>2</sup> Vm = 1660 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.73 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + A1}{6} = \frac{1160.10}{6} = 193.35$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM / MIN

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO	CALCULOS
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
1	21	1	0.008	0.992	194.9	0.108	Grado de Compactación % <u>85</u>
2	30	2	0.016	0.984	196.4	0.153	Peso Vol. Seco en kg/ m <sup>3</sup> <u>1292</u>
3	40	3	0.024	0.976	198.0	0.202	Humedad de prueba W2 % <u>28.5</u>
4	44	4	0.031	0.969	199.6	0.220	Agua/Agregar = $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1} \times 1023$
5	49	5	0.039	0.961	201.3	0.243	Peso Mat. Hum. = $\frac{(100-W2)V}{10000}$ <u>4110</u>
6	52	6	0.047	0.953	202.9	0.256	Peso Equipo + Mat. Hum. grs. <u>14.315</u>
7	55	7	0.055	0.945	204.6	0.269	Carga de Compactación kg. <u>220</u>
8	58	8	0.063	0.937	206.3	0.281	COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION
9	61	9	0.071	0.929	208.1	0.293	Capsula No. <u>1</u>
10	63	10	0.078	0.921	209.8	0.300	Peso Mat. Humedo + Tara grs. <u>185.15</u>
11	65	11	0.086	0.914	211.6	0.307	Peso Mat. Humedo grs. <u>100</u>
12	67	12	0.094	0.906	213.5	0.314	Peso Mat. Seco + Tara grs. <u>161.04</u>
13	68	13	0.102	0.898	215.3	0.316	Peso Mat. Seco en grs. <u>75.89</u>
14	70	14	0.110	0.890	217.2	0.322	Peso del Agua en grs. <u>24.11</u>
15	71	15	0.118	0.882	219.2	0.324	Contenido de Humedad en % <u>31.77</u>
16	73	16	0.126	0.874	221.1	0.330	Peso Vol. Seco Corregido kg/ m <sup>3</sup> <u>1260</u>
17	74	17	0.134	0.866	223.2	0.332	Grado de Comp. Corregido % <u>82.89</u>
18	76	18	0.141	0.859	225.2	0.337	Esfuerzo Máximo Ton/m <sup>2</sup> <u>3.44</u>
19	77	19	0.149	0.851	227.3	0.339	
20	79	20	0.157	0.843	229.4	0.344	

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Fecha: 20 / FEBRERO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde  $\text{cm}^3$  2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga  $\text{cm}$ : 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1520 Humedad Óptima  $\%$ : 24.0  
 Humedad que contiene el Material  $\text{M}$ : 11.0 Vol. Pastillón grs.: 24444  
 Peso de la Pastilla grs. 4665 Peso Volumétrico Pastilla  $\text{kg}/\text{m}^3$  1909

CALCULOS

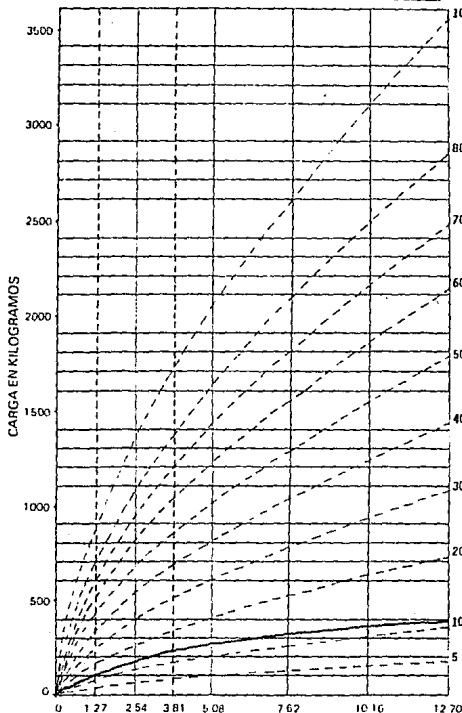
Grado de Compactación  $\%$  100  
 Peso Vol. Seco en  $\text{kg}/\text{m}^3$  1520  
 Humedad de prueba  $\text{M}\%$  24.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_w(M_2 - M_1)}{100 + M_1}$   $\text{cm}^3$  550  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{8(100 + M_2)Y}{10000}$  grs. 4665  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14870  
 Carga de Compactación  $\text{kg}$  5200

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 105  
 2.54 mm. (0.10") 182  
 3.81 mm. (0.15") 233  
 5.08 mm. (0.20") 270  
 7.62 mm. (0.30") 320  
 10.16 mm. (0.40") 365  
 12.70 mm. (0.50") 405

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 160.81  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.51  
 Peso del Agua en grs. 19.49  
 Contenido de Humedad en  $\%$  24.21  
 Peso Vol. Seco Corregido  $\text{kg}/\text{m}^3$  1537  
 Grado de Comp. Corregido  $\%$  101.12  
 V.R.S. Corregido  $\%$  13.38



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

114



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZADA DE  
MÉXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 21 / FEBRERO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7,58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo 24,0  
 Humedad que contiene el Material W1: 10,5 Vol. Pastillo grs. 2453  
 Peso de la Pastilla grs. 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1902

C A L C U L O S

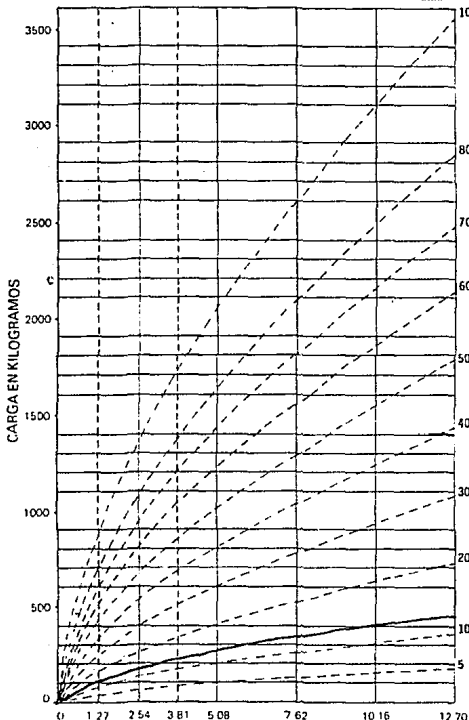
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba W2 % 24,0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 540  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{8(100+W2)W}{10000}$  grs. 540  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 4665  
 Carga de Compactación kg. 14870

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 106  
 2.54 mm. (0.10") 173  
 3.81 mm. (0.15") 225  
 5.08 mm. (0.20") 270  
 7.62 mm. (0.30") 344  
 10.16 mm. (0.40") 400  
 12.70 mm. (0.50") 447

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179,90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100,00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 164,44  
 Peso Mat. Seco en grs. 80,54  
 Peso del Agua en grs. 19,46  
 Contenido de Humedad en % 24,16  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1532  
 Grado de Comp. Corregido % 100,79  
 Y.R.S. Corregido % 12,72



TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVIATION DE  
MEXICO

Fecha: 21 / FEBRERO / 90 Material: ARCILLA - ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima No. 24.0  
 Humedad que contiene el Material M1: 10.5 Vol. Pastillo grs. 2451  
 Peso de la Pastilla grs. 4665 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1903

CALCULOS

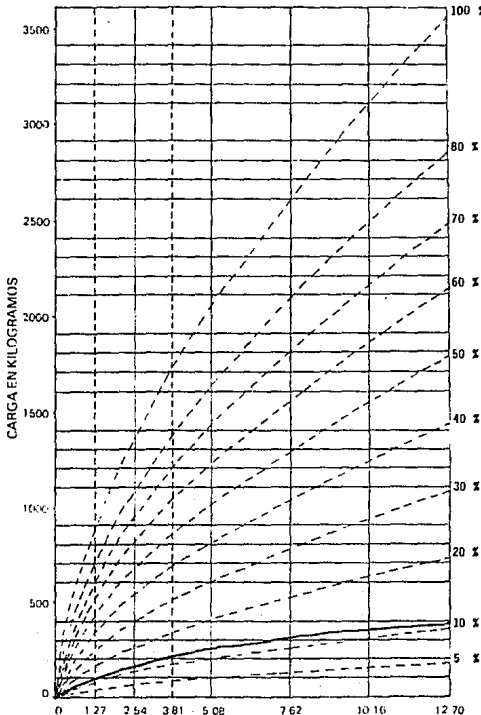
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1520  
 Humedad de prueba M<sub>2</sub>% 24.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(M_2 - M_1)}{100 + M_1}$  cm<sup>3</sup> 540 cm<sup>3</sup>  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{8(100 + M_2)W}{10000}$  grs. 4665 grs  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14870 grs  
 Carga de Compactación kg. 4520 kg

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 96  
 2.54 mm. (0.10") 165  
 3.81 mm. (0.15") 215  
 5.08 mm. (0.20") 247  
 7.62 mm. (0.30") 310  
 10.16 mm. (0.40") 350  
 12.70 mm. (0.50") 386

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 164.85  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.26  
 Peso del Agua en grs. 19.74  
 Contenido de Humedad en % 24.59  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 15.27  
 Grado de Comp. Corregido % 100.46  
 V.R.S. Corregido % 12.13



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 27-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima No. 24.0  
 Humedad que contiene el Material W: 6.2 Vol. Pastillo: cm<sup>3</sup>: 32473  
 Peso de la Pastilla grs. 4495 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 1613

CALCULOS

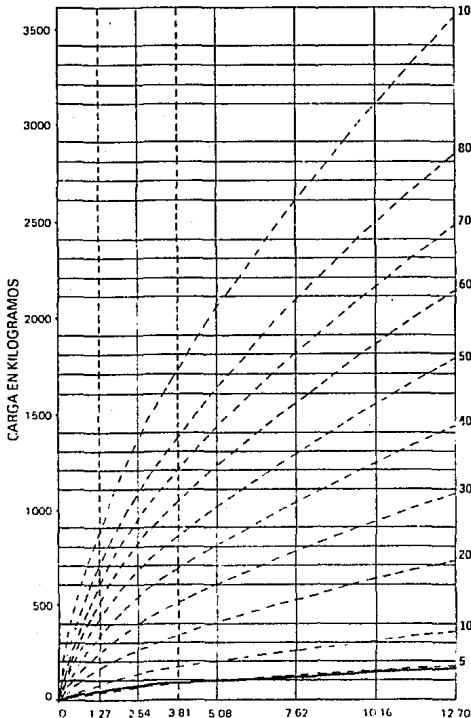
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W% 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 820  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4405  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14690  
 Carga de Compactación kg. 830

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 50  
 2.54 mm. (0.10") 74  
 3.81 mm. (0.15") 67  
 5.08 mm. (0.20") 102  
 7.62 mm. (0.30") 123  
 10.16 mm. (0.40") 146  
 12.70 mm. (0.50") 164

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.67  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 164.76  
 Peso Mat. Seco en grs. 80.09  
 Peso del Agua en grs. 19.91  
 Contenido de Humedad en % 24.86  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1456  
 Grado de Comp. Corregido % 95.79  
 V.R.S. Corregido % 5.44



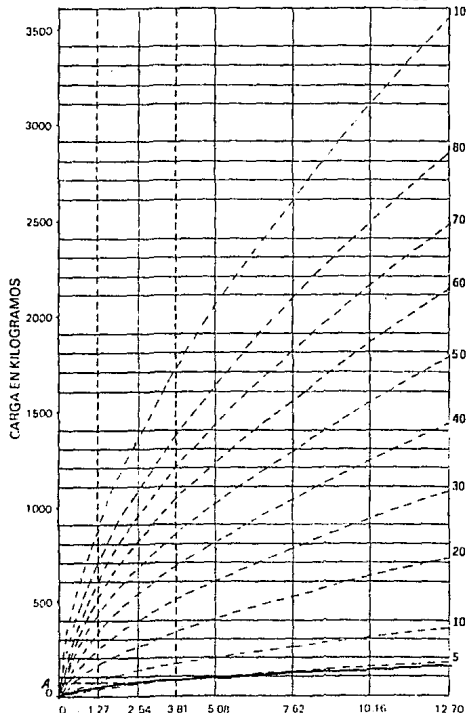
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 27-DEB-90 Material: ARCILLA+ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín o Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1320 Humedad Optima No. 24.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 8.6.7 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2475  
 Peso de la Pastilla grs. 4405 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1312



CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W2 % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 793  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{A(100+W2)V}{10000}$  grs. 4405  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14090  
 Carga de Compactación kg. 1000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 48  
 2.54 mm. (0.10") 67  
 3.81 mm. (0.15") 84  
 5.08 mm. (0.20") 96  
 7.62 mm. (0.30") 117  
 10.16 mm. (0.40") 144  
 12.70 mm. (0.50") 160

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.84  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 170.12  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.28  
 Peso del Agua en grs. 20.72  
 Contenido de Humedad en % 26.13  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1437  
 Grado de Comp. Corregido % 94.54  
 V.R.S. Corregido % 4.93



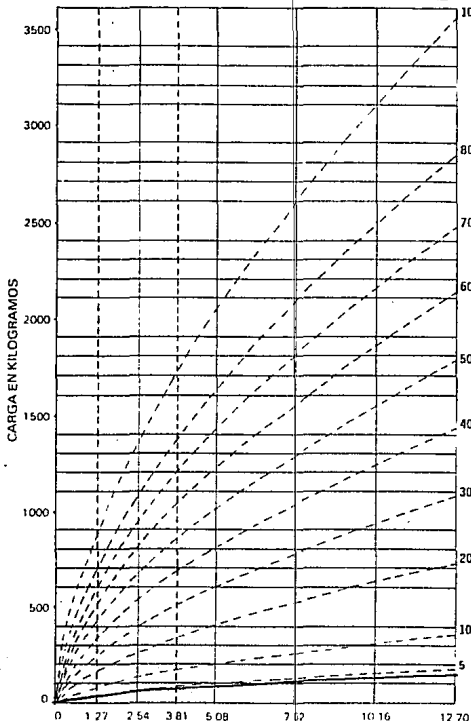
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 27-FES-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima % 24.0  
 Humedad que contiene el Material M1: 6.2 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2484  
 Peso de la Pastilla grs. 4490 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 1808



CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - M_1)}{100 + M_1}$  cm<sup>3</sup> 820  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{W(100 + M_2)}{10000}$  grs. 4425  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14690  
 Carga de Compactación kg. 950

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 44  
 2.54 mm. (0.10") 64  
 3.81 mm. (0.15") 76  
 5.08 mm. (0.20") 89  
 7.62 mm. (0.30") 110  
 10.16 mm. (0.40") 132  
 12.70 mm. (0.50") 150

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176.00  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 155.56  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.56  
 Peso del Agua en grs. 20.44  
 Contenido de Humedad en % 25.69  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1438  
 Grado de Comp. Corregido % 94.61  
 V.R.S. Corregido % 4.71



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVONIMA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 27-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima No. 24.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 6.2 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2408  
 Peso de la Pastilla grs. 44.95 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 1807

CALCULOS

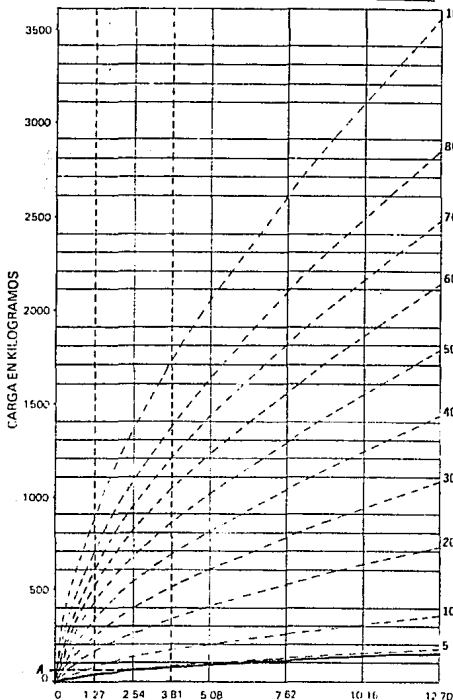
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1444  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 25.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 820  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4485  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14690  
 Carga de Compactación kg. 750

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05°) 43  
 2.54 mm. (0.10°) 61  
 3.81 mm. (0.15°) 75  
 5.08 mm. (0.20°) 87  
 7.62 mm. (0.30°) 106  
 10.16 mm. (0.40°) 138  
 12.70 mm. (0.50°) 152

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 159.31  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.41  
 Peso del Agua en grs. 20.59  
 Contenido de Humedad en % 25.93  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1435  
 Grado de Comp. Corregido % 94.41  
 V.R.S. Corregido % 4.49



TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 28-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima % 24  
 Humedad que contiene el Material W1: 86.2 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2477  
 Peso de la Pastilla grs. 4300 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1736

CALCULOS

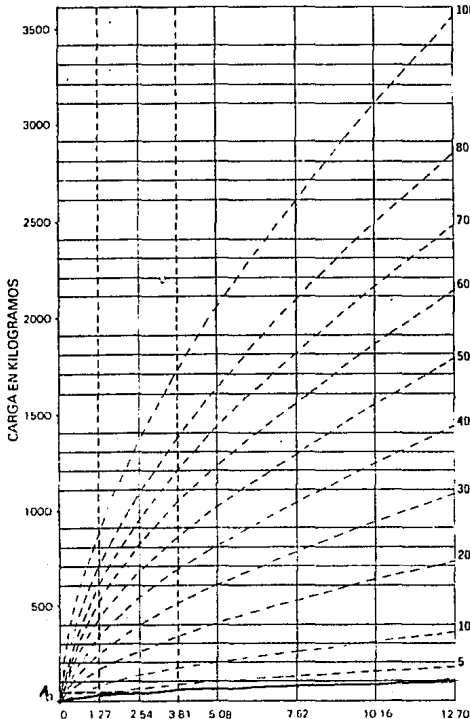
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1368  
 Humedad de prueba W2 % 27  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 881  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{8(100 + W_2)W}{10000}$  grs. 4300  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14505  
 Carga de Compactación kg. 440

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 31  
 2.54 mm. (0.10") 42  
 3.81 mm. (0.15") 49  
 5.08 mm. (0.20") 55  
 7.62 mm. (0.30") 69  
 10.16 mm. (0.40") 80  
 12.70 mm. (0.50") 90

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 163.11  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.52  
 Peso del Agua en grs. 21.48  
 Contenido de Humedad en % 27.36  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1363  
 Grado de Comp. Corregido % 89.67  
 V.R.S. Corregido % 3.09



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 28-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Mo. % 24  
 Humedad que contiene el Material W1: % 6.2 Vol. Pastillón cm<sup>3</sup> 3487  
 Peso de la Pastilla grs. 4300 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1729

CALCULOS

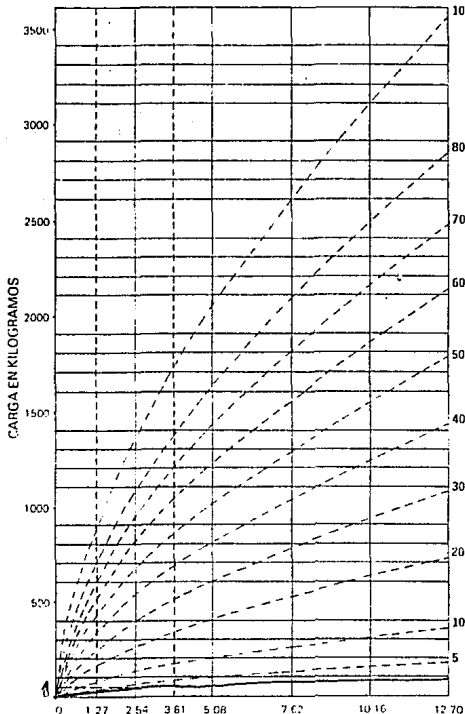
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1368  
 Humedad de prueba W2% 27%  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 881  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{P(100+W2)W}{10000}$  grs. 4300  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14505  
 Carga de Compactación kg. 455

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 30  
 2.54 mm. (0.10") 42  
 3.81 mm. (0.15") 49  
 5.08 mm. (0.20") 56  
 7.62 mm. (0.30") 68  
 10.16 mm. (0.40") 76  
 12.70 mm. (0.50") 86

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 158.38  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.48  
 Peso del Agua en grs. 21.52  
 Contenido de Humedad en % 27.42  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1357  
 Grado de Comp. Corregido % 89.27  
 V.R.S. Corregido % 3.09



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MÉXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 28-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10,205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2470  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima No. 224  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8.62 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2470  
 Peso de la Pastilla grs. 4300 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1741

100 % CALCULOS

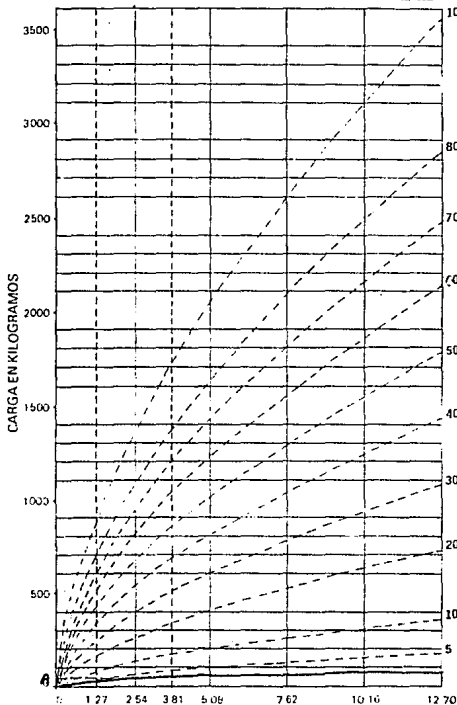
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1368  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 27%  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 881  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)W_2}{10000}$  grs. 4300  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14505  
 Carga de Compactación kg. 400

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 26  
 2.54 mm. (0.10") 36  
 3.81 mm. (0.15") 42  
 5.08 mm. (0.20") 48  
 7.62 mm. (0.30") 59  
 10.16 mm. (0.40") 68  
 12.70 mm. (0.50") 75

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 01  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 154.43  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.43  
 Peso del Agua en grs. 21.57  
 Contenido de Humedad en % 27.50  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1365  
 Grado de Comp. Corregido % 89.82  
 V.R.S. Corregido % 2.65%



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MÉXICO

Fecha: 27-FEB-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo, % 24.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 8.6.2 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2462  
 Peso de la Pastilla grs. 4300 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1747

CALCULOS

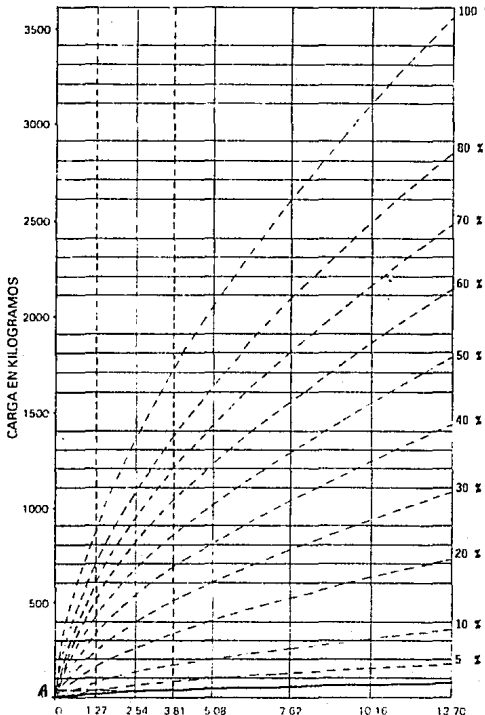
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1368  
 Humedad de prueba W2 % 27.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 88.1  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{A(100+W2)V}{10000}$  grs. 4300  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14505  
 Carga de Compactación Kg. 374

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 25  
 2.54 mm. (0.10") 34  
 3.81 mm. (0.15") 42  
 5.08 mm. (0.20") 46  
 7.62 mm. (0.30") 57  
 10.16 mm. (0.40") 66  
 12.70 mm. (0.50") 75

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 5  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 163.31  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.72  
 Peso del Agua en grs. 21.28  
 Contenido de Humedad en % 27.03  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1375  
 Grado de Comp. Corregido % 90.46  
 V.R.S. Corregido % 2.50



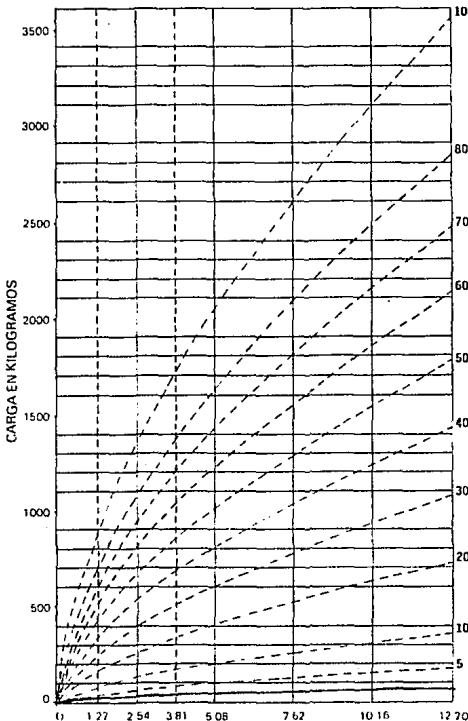
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MÉXICO

Fecha: 5-MARZO-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima % 24.0  
 Humedad que contiene el Material Ml: 8 4.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2482  
 Peso de la Pastilla grs. 4110 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1656



CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W% 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-M1)}{100+M1}$  cm<sup>3</sup> 1060  
 Peso Mat. Hum.  $Pw = \frac{8(100+W2)V}{10000}$  grs. 4110  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 270

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 22  
 2.54 mm. (0.10") 30  
 3.81 mm. (0.15") 36  
 5.08 mm. (0.20") 40  
 7.62 mm. (0.30") 50  
 10.16 mm. (0.40") 57  
 12.70 mm. (0.50") 64

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.67  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 162.58  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.91  
 Peso del Agua en grs. 22.09  
 Contenido de Humedad en % 28.35  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1290  
 Grado de Comp. Corregido % 84.87  
 V.R.S. Corregido % 2.21

LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL

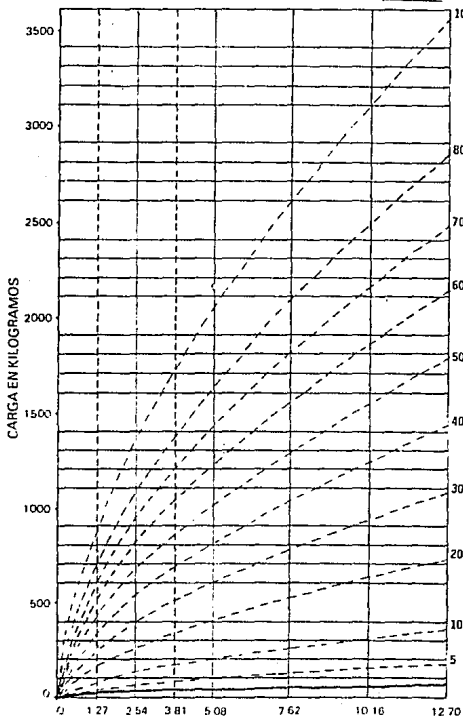
125



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVÉÑMA DE  
MÉXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 5-MARZO-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima Wo: 24.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 4.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2468  
 Peso de la Pastilla grs. 4110 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1665



CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W2% 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 1060  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{E(100+W2)Y}{10000}$  grs. 4110  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 240

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 23  
 2.54 mm. (0.10") 29  
 3.81 mm. (0.15") 35  
 5.08 mm. (0.20") 40  
 7.62 mm. (0.30") 47  
 10.16 mm. (0.40") 56  
 12.70 mm. (0.50") 62

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 179.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 157.73  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.83  
 Peso del Agua en grs. 22.17  
 Contenido de Humedad en % 28.49  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1296  
 Grado de Comp. Corregido % 85.26  
 V.R.S. Corregido % 2.13



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

126

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MEXICO

Fecha: 5-MARZO-90 Material: ARCILLA-ARENOSA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1520 Humedad Óptima % 24.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 4.0 Vol. Pastillón cm<sup>3</sup>: 2464  
 Peso de la Pastillón grs. 4110 Peso Volumétrico Pastillón kg/ m<sup>3</sup> 1668

CALCULOS

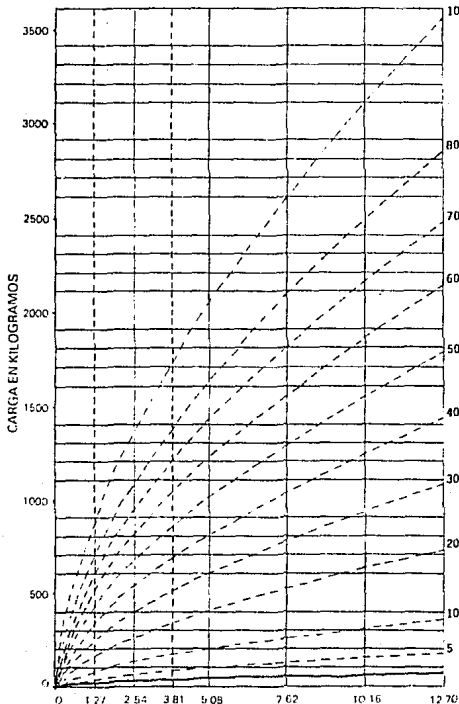
Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1292  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 28.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 1060  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2) V}{10000}$  grs. 4110  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 14315  
 Carga de Compactación kg. 260

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 21  
 2.54 mm. (0.10") 28  
 3.81 mm. (0.15") 38  
 5.08 mm. (0.20") 43  
 7.62 mm. (0.30") 52  
 10.16 mm. (0.40") 58  
 12.70 mm. (0.50") 66

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 176.00  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 153.71  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.71  
 Peso del Agua en grs. 22.29  
 Contenido de Humedad en % 22.68  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1296  
 Grado de Comp. Corregido % 85.26  
 V.R.S. Corregido % 2.06



IV.3.- RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS EN MATERIAL:

A R E N A - L I M O S A



**U.N.A.M.**  
**CEEP ARAGON**  
**LAB. DE GEOTECNIA**  
**TESIS PROFESIONAL**

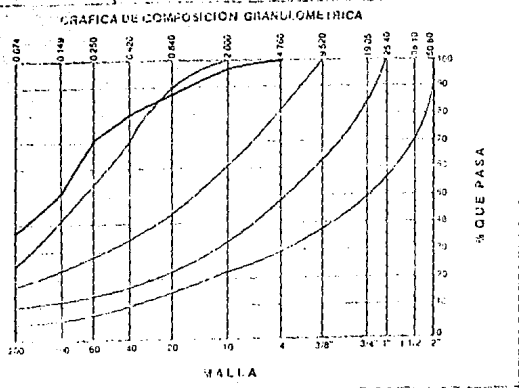
128

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA OBRAS Y SU BASE

MATERIAL <b>ARENA LIMOSA</b>	EQUIPO PARA MUESTREO A UNA PROFUNDIDAD DE 0,6 A 1,2 METROS
LOCALIZACION <b>POTRERO DE LA LAGUNA</b>	FECHA DE RECIBIDO
PROVENIENCIA <b>COACALCO, EDO. DE MEXICO</b>	FECHA DE RECIBO <b>19/I/89</b>

Descomposición en 20 Kg/m<sup>3</sup>  
 Descomposición en 10 Kg/m<sup>3</sup>  
 ( ) Kg/m<sup>3</sup>  
 Humedad Optima  
 % Que pasa a la 75  
 1.1.2  
 3.4  
 3.6  
 No 4 **100**  
 10 **97**  
 20 **88**  
 40 **80**  
 60 **71**  
 100 **52**  
 200 **38**  
 % Que pasa a la 200 **0**

VRS (relación) **1**  
 % Relación **3.0**  
 Velocidad (cm/s) **2.8**



PRUEBAS EN MATERIAL MASO 1.1.2	PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA TALLA No. 10
ASOCIACION	LÍMITE LÍQUIDO <b>40</b>
PLASTICIDAD	ÍNDICE DE PLASTICIDAD <b>33</b>
	ÍNDICE DE PLASTICIDAD <b>7</b>
	Índice de uniformidad <b>38</b>
	Coeficiente de uniformidad <b>2.0</b>

**OBSERVACIONES:** El material es de color gris verdoso.  
 Con un factor de abundamiento de 1.2  
 Clasificación: Arena limosa de baja compresibilidad

ELABORADOR(A)	REVISADO POR	INSTRUMENTOS
---------------	--------------	--------------



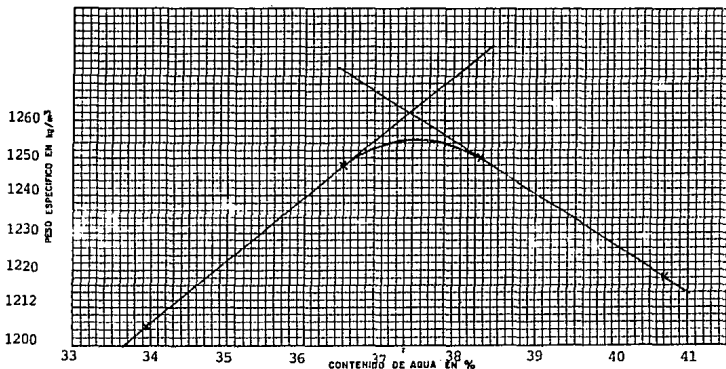
LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
 TESIS PROFESIONAL

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	<u>ARENA-LINDSA</u>	ENSAYE NUM.	<u>2</u>
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR	<u>PVSM Y H.O.</u>	FECHA DE INICIACION	
PROCEDENCIA	<u>POTRERO DE LA LAGUNA, COACATCO</u>	FECHA DE TERMINACION	
	<u>EDO. DE MEXICO</u>	LABORATORISTA	

TIPO DE PRUEBA PROCTOR AASHTO ESTANDAR  
 NUM. DE CAPAS 3 PESO PISON 2.5 Kg MOLDE NUM. 1  
 NUM. DE GOLPES POR CAPA 25 ALTURA CAIDA 30.5 cm. VOLUMEN (V) 997.7 cm<sup>3</sup>

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g	3625	3715	3740	3725			
PESO DEL MOLDE, g	2015	2015	2015	2015			
PESO SUELO HUMEDO, g (Wm)	1610	1700	1725	1710			
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{W_m}{V}$ )	1614	1704	1729	1714			
CAPSULA NUMERO	1	2	3	4			
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g	130.55	130.88	109.75	115.60			
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g	205.21	204.14	82.07	86.67			
PESO DEL AGUA, g	25.34	26.74	27.68	28.93			
PESO CAPSULA, g							
PESO SUELO SECO, g	74.56	73.26	72.32	71.07			
CONTENIDO DE AGUA, % (w)	33.94	36.50	38.27	40.71			
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{W_m}{1+w}$ )	1205	1248	1250	1218			



w o pt = 37.3 %

$\gamma_d$  m<sub>c</sub> = 1255 kg/m<sup>3</sup>

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

130

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 13/SEPTIEMBRE/89. Material: ARENA LINDSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima %: 37.3  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 10.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2513  
 Peso Pastilla grs.: 4265 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1697

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.84 cm      A<sub>s</sub> = 197.06 cm<sup>2</sup>      W<sub>1</sub> = 4265 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.835 cm      A<sub>c</sub> = 196.94 cm<sup>2</sup>      V<sub>t</sub> = 2513 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>j</sub> = 15.83 cm      A<sub>j</sub> = 196.81 cm<sup>2</sup>      V<sub>m</sub> = 1697 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.76 cm      A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_j}{6} = \frac{197.06 + 4(196.94) + 196.81}{6} = \frac{1181.63}{6} = 196.94$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.



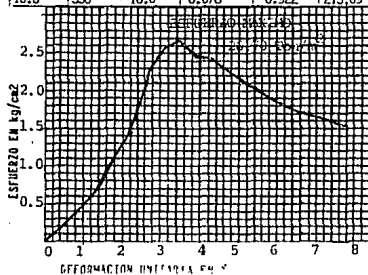
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	34	0.5	0.004	0.996	197.71	0.17
1.0	70	1.0	0.008	0.992	198.50	0.35
1.5	118	1.5	0.012	0.988	199.28	0.59
2.0	190	2.0	0.016	0.984	200.08	0.95
2.5	263	2.5	0.020	0.980	200.88	1.31
3.0	365	3.0	0.024	0.976	201.63	1.76
3.5	450	3.5	0.027	0.973	202.49	2.22
4.0	520	4.0	0.031	0.969	203.31	2.56
4.5	545	4.5	0.035	0.965	204.14	2.67
5.0	505	5.0	0.039	0.961	204.97	2.46
5.5	498	5.5	0.043	0.957	205.81	2.42
6.0	470	6.0	0.047	0.953	206.66	2.27
6.5	443	6.5	0.051	0.949	207.51	2.13
7.0	415	7.0	0.055	0.945	208.37	1.99
7.5	398	7.5	0.059	0.941	209.23	1.90
8.0	375	8.0	0.063	0.937	210.11	1.78
8.5	360	8.5	0.067	0.933	211.00	1.71
9.0	350	9.0	0.071	0.929	211.88	1.65
9.5	339	9.5	0.074	0.926	212.78	1.59
10.0	330	10.0	0.078	0.922	213.69	1.54

CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1255  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 37.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1} \text{ cm}^3$  1117  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2) \cdot V}{10000}$  4265  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12500  
 Carga de Compactación kg. 7550  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.92  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 165.39  
 Peso Mat. Seco en grs. 74.47  
 Peso del Agua en grs. 25.53  
 Contenido de Humedad en % 34.28  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1264  
 Grado de Comp. Corregido % 100.71  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 26.70

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - \text{Def. unit.}}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

131

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZADA DE  
MEXICO

Fecha: 25/SEPTIEMBRE/89 Material: ARENA-LIMOSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 24.75  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 9.0 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 25.27  
 Peso Pastilla grs.: 4265 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1688

MEIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.79 cm As = 195.82 cm<sup>2</sup> W1 = 4265 gr.  
 Dc = 15.80 cm Ac = 196.07 cm<sup>2</sup> Vt = 2527 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.81 cm Aj = 196.32 cm<sup>2</sup> Ym = 1688 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = \_\_\_\_\_ cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{195.82 + 4(196.07) + 196.32}{6} = 196.07$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1 mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	40	0.5	0.004	0.996	196.8	0.20
1.0	66	1.0	0.008	0.992	197.6	0.33
1.5	98	1.5	0.012	0.988	198.4	0.49
2.0	150	2.0	0.016	0.984	199.2	0.75
2.5	203	2.5	0.019	0.981	200.0	1.02
3.0	265	3.0	0.023	0.977	200.7	1.32
3.5	335	3.5	0.027	0.973	201.5	1.66
4.0	375	4.0	0.031	0.969	202.4	1.85
4.5	370	4.5	0.035	0.965	203.2	1.82
5.0	372	5.0	0.039	0.961	204.0	1.82
5.5	360	5.5	0.043	0.957	204.8	1.76
6.0	338	6.0	0.047	0.953	205.6	1.64
6.5	320	6.5	0.050	0.950	206.5	1.55
7.0	313	7.0	0.054	0.946	207.3	1.51
7.5	312	7.5	0.058	0.942	208.2	1.50
8.0	306	8.0	0.062	0.938	209.0	1.46
8.5	295	8.5	0.066	0.934	209.0	1.41
9.0	286	9.0	0.070	0.930	210.8	1.36
9.5	276	9.5	0.074	0.926	211.7	1.30
10.0	272	10.0	0.078	0.922	212.6	1.28

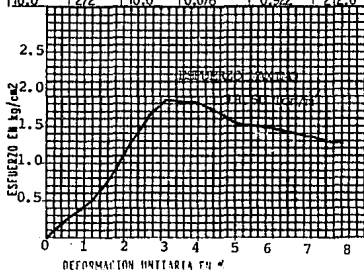
CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 125  
 Humedad de prueba W2 % 37.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pc(W2-W1)}{100-W1}$  11.68  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)Y}{10000}$  4265  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12500  
 Carga de Compactación kg. 8000

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 290.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 200.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 237.88  
 Peso Mat. Seco en grs. 146.98  
 Peso del Agua en grs. 53.02  
 Contenido de Humedad en % 36.07  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1241  
 Grado de Comp. Corregido % 98.89  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 18.50

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$



ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

132

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 19/09/89 Material: ARENA-LIJOSEA (S1)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 10 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2544  
 Peso Pastilla grs.: 4265 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1676

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.80 cm As = 196.07 cm<sup>2</sup> Vi = 4265 grs.  
 Dc = 15.79 cm Ac = 195.82 cm<sup>2</sup> Vt = 2544 cm<sup>3</sup>  
 Dj = 15.78 cm Aj = 195.47 cm<sup>2</sup> Va = 1676 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.99 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1174.92 = 195.82 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.



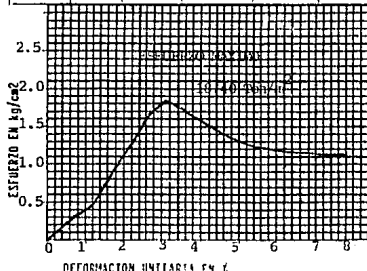
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1.0	65	1.0	0.008	0.992	197.34	0.33
1.5	94	1.5	0.012	0.988	198.11	0.47
2.0	144	2.0	0.015	0.985	198.88	0.72
2.5	205	2.5	0.019	0.981	199.66	1.03
3.0	275	3.0	0.023	0.977	200.45	1.37
3.5	340	3.5	0.027	0.973	201.24	1.69
4.0	371	4.0	0.031	0.969	202.04	1.34
4.5	355	4.5	0.035	0.965	202.85	1.75
5.0	335	5.0	0.038	0.962	203.66	1.64
5.5	310	5.5	0.042	0.958	204.48	1.52
6.0	288	6.0	0.046	0.954	205.30	1.40
6.5	269	6.5	0.050	0.950	206.13	1.30
7.0	256	7.0	0.054	0.946	206.97	1.24
7.5	250	7.5	0.058	0.942	207.82	1.20
8.0	246	8.0	0.062	0.938	208.67	1.18
8.5	245	8.5	0.065	0.935	209.53	1.17
9.0	243	9.0	0.069	0.931	210.40	1.15
9.5	241	9.5	0.073	0.927	211.27	1.14
10.0	241	10.0	0.077	0.923	212.15	1.14

CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Paso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1255  
 Humedad de prueba W2 % 37.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1117  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  grs. 4265  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12,500  
 Carga de Compactación kg. 6,000

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 190.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Soco + Tara grs. 164.38  
 Peso Mat. Soco en grs. 72.48  
 Peso del Agua en grs. 27.52  
 Contenido de Humedad en % 36.09  
 Paso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1232  
 Grado de Comp. Corregido % 98.17  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 18.40



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

133

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 19/SEPTIEMBRE/89. Material: ARENA-LIMOSA (SM).  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 6235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3 %  
 Humedad que contiene el Material Wt: 10.0 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2489  
 Peso Pastilla grs.: 4100 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1647

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.78 cm As = 195.57 cm<sup>2</sup> Wt = 4100 gr.  
 Dc = 15.79 cm Ac = 195.82 cm<sup>2</sup> Vt = 2489 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.80 cm Ai = 196.07 cm<sup>2</sup> Ym = 1647 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.71 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1174.92}{6} = 195.82$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

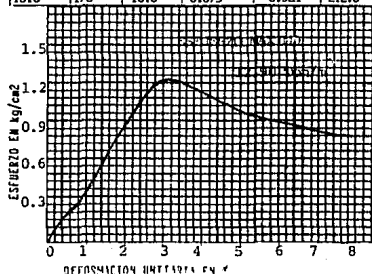
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	36	0.5	0.004	0.996	196.6	0.18
1.0	60	1.0	0.008	0.992	197.4	0.30
1.5	98	1.5	0.012	0.988	198.2	0.49
2.0	141	2.0	0.016	0.984	198.9	0.71
2.5	185	2.5	0.020	0.980	199.8	0.93
3.0	225	3.0	0.024	0.976	200.6	1.12
3.5	255	3.5	0.028	0.972	201.4	1.27
4.0	260	4.0	0.031	0.969	202.2	1.29
4.5	256	4.5	0.035	0.965	203.0	1.26
5.0	247	5.0	0.038	0.961	203.8	1.21
5.5	236	5.5	0.043	0.957	204.7	1.15
6.0	224	6.0	0.047	0.953	205.5	1.09
6.5	211	6.5	0.051	0.949	206.4	1.02
7.0	205	7.0	0.055	0.945	207.2	0.99
7.5	200	7.5	0.059	0.941	208.1	0.96
8.0	194	8.0	0.063	0.937	209.0	0.93
8.5	189	8.5	0.067	0.933	209.9	0.90
9.0	184	9.0	0.071	0.929	210.7	0.87
9.5	179	9.5	0.075	0.925	211.6	0.85
10.0	176	10.0	0.079	0.921	212.5	0.83

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1193  
 Humedad de prueba Wt % 38.8  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(Wt-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1178  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2)V}{10000}$  4100  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12335  
 Carga de Compactación kg. 4000  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.43  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 157.22  
 Peso Mat. Seco en grs. 72.79  
 Peso del Agua en grs. 27.21  
 Contenido de Humedad en % 37.33  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1199  
 Grado de Comp. Corregido % 95.54  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 12.90

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:





ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

134



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 13 / SEPTIEMBRE / '90 Material: ARENA-LIMOSA ( S M )  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2476  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Vo.: 37.3 g  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8 10.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2499  
 Peso Pastilla grs.: 4100 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1641

MEDIAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.76 cm As = 195.08 cm<sup>2</sup> W<sub>1</sub> = 4100 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.765 cm Ac = 195.20 cm<sup>2</sup> V<sub>t</sub> = 2499 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>i</sub> = 15.77 cm A<sub>i</sub> = 195.32 cm<sup>2</sup> Y<sub>m</sub> = 1641 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.80 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1171.20 = 195.20 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1MM/MIN.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	25	0.5	0.004	0.996	195.96	0.13
1.0	42	1.0	0.008	0.992	196.74	0.21
1.5	67	1.5	0.012	0.988	197.51	0.40
2.0	100	2.0	0.016	0.984	198.30	0.50
2.5	140	2.5	0.020	0.980	199.09	0.70
3.0	180	3.0	0.024	0.976	199.88	0.90
3.5	214	3.5	0.027	0.973	200.69	1.07
4.0	236	4.0	0.031	0.969	201.50	1.17
4.5	245	4.5	0.035	0.965	202.31	1.21
5.0	225	5.0	0.039	0.961	203.13	1.11
5.5	203	5.5	0.043	0.957	203.96	1.00
6.0	188	6.0	0.047	0.953	204.80	0.92
6.5	182	6.5	0.051	0.949	205.6	0.86
7.0	176	7.0	0.055	0.945	206.5	0.85
7.5	174	7.5	0.059	0.941	207.4	0.84
8.0	170	8.0	0.063	0.937	208.2	0.82
8.5	168	8.5	0.066	0.934	209.1	0.80
9.0	165	9.0	0.070	0.930	210.0	0.79
9.5	162	9.5	0.074	0.926	210.9	0.77
10.0	160	10.0	0.078	0.922	211.7	0.76

CALCULOS

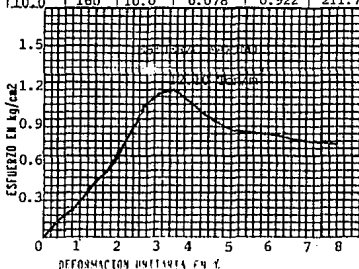
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1195  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 38.8  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1178  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2) Vt}{10000}$  4100  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 123.35  
 Carga de Compactación kg. 2700

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 157.08  
 Peso Mat. Seco en grs. 72.49  
 Peso del Agua en grs. 27.51  
 Contenido de Humedad en % 37.95  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1190  
 Grado de Comp. Corregido % 94.82  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 12.10

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

135



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 13/ SEPTIEMBRE /'90 Material: ARENA -LIMOSA (S M)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 8 10.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2469  
 Peso Pastilla grs.: 3925 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1590

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.73 cm As = 194.33 cm<sup>2</sup> Wi = 3925 gr.  
 Dc = 15.72 cm Ac = 194.09 cm<sup>2</sup> Vt = 2469 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.71 cm Ai = 193.84 cm<sup>2</sup> Va = 1590 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.72 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1164.53}{6} = 194.09$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA TMI / MIN.

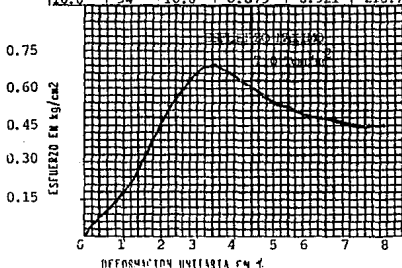
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	15	0.5	0.004	0.996	194.85	0.08
1.0	27	1.0	0.008	0.992	195.63	0.14
1.5	44	1.5	0.012	0.988	196.41	0.22
2.0	65	2.0	0.016	0.984	197.19	0.33
2.5	91	2.5	0.020	0.980	198.00	0.46
3.0	112	3.0	0.024	0.976	198.8	0.56
3.5	128	3.5	0.028	0.972	199.6	0.64
4.0	136	4.0	0.031	0.969	200.4	0.68
4.5	140	4.5	0.035	0.965	201.2	0.70
5.0	134	5.0	0.039	0.961	201.0	0.66
5.5	125	5.5	0.043	0.957	202.2	0.62
6.0	117	6.0	0.047	0.953	203.7	0.57
6.5	109	6.5	0.051	0.949	204.5	0.53
7.0	106	7.0	0.055	0.945	205.4	0.52
7.5	102	7.5	0.059	0.941	206.3	0.49
8.0	100	8.0	0.063	0.937	207.1	0.48
8.5	96	8.5	0.067	0.933	208.0	0.46
9.0	94	9.0	0.071	0.929	208.9	0.45
9.5	94	9.5	0.075	0.925	209.8	0.45
10.0	94	10.0	0.079	0.921	210.7	0.45

CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba W2 % 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pa(V2-W1)cm^3}{100 \cdot W1}$  1240  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2)V}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 1450  
 COMPROMISO DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 156.60  
 Peso Mat. Seco en grs. 71.97  
 Peso del Agua en grs. 28.03  
 Contenido de Humedad en % 38.95  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1144  
 Grado de Comp. Corregido % 91.15  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 7.0

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

136

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 25 / SEPTIEMBRE / '89 Material: ARENA-LIMODA (SM)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Optima Wo.: 37.3 %  
 Humedad que contiene el Material W1: 8.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2457  
 Peso Pastilla grs.: 3925 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1597

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.77 cm As = 195.32 cm<sup>2</sup> W1 = 3925 gr-  
 Dc = 15.77 cm Ac = 195.32 cm<sup>2</sup> Vt = 2457 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.77 cm Ai = 195.32 cm<sup>2</sup> Ya = 1597 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.58 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1171.42}{6} = 195.32$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA IMM / MIN.

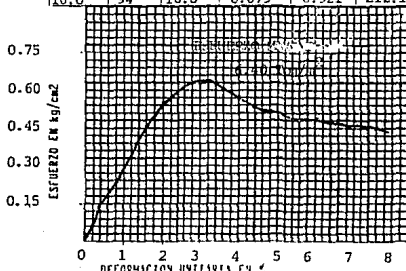
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	28	0.5	0.004	0.996	196.10	0.14
1.0	45	1.0	0.008	0.992	196.88	0.23
1.5	70	1.5	0.012	0.988	197.68	0.35
2.0	91	2.0	0.016	0.984	198.48	0.46
2.5	110	2.5	0.020	0.980	199.28	0.55
3.0	121	3.0	0.024	0.976	200.09	0.60
3.5	127	3.5	0.028	0.972	200.91	0.63
4.0	129	4.0	0.032	0.968	201.73	0.64
4.5	124	4.5	0.036	0.964	202.57	0.61
5.0	116	5.0	0.040	0.960	203.40	0.57
5.5	109	5.5	0.044	0.956	204.25	0.53
6.0	106	6.0	0.048	0.952	205.10	0.52
6.5	102	6.5	0.052	0.948	205.96	0.50
7.0	100	7.0	0.056	0.944	206.83	0.48
7.5	99	7.5	0.060	0.940	207.70	0.48
8.0	97	8.0	0.064	0.936	208.58	0.47
8.5	96	8.5	0.068	0.932	209.47	0.46
9.0	96	9.0	0.072	0.928	210.37	0.46
9.5	96	9.5	0.076	0.924	211.27	0.45
10.0	94	10.0	0.079	0.921	212.19	0.44

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba W2 % 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pw(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1.345  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Mat. Num. grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 1400

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 284.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 200.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 227.03  
 Peso Mat. Seco en grs. 142.40  
 Peso del Agua en grs. 57.60  
 Contenido de Humedad en % 40.45  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1137  
 Grado de Comp. Corregido % 90.60  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 6.40



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

137

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



Fecha: 21/09/'89 Material: ARENA-LIMOSA (S4)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3%  
 Humedad que contiene el Material Wt: 7.5 % Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2445  
 Peso Pastilla grs.: 3925 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1605

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.72 cm As = 194.09 cm<sup>2</sup> Wl = 3925 gr.  
 Dc = 15.725 cm Ac = 194.21 cm<sup>2</sup> Vt = 2445 cm<sup>3</sup>  
 D1 = 15.73 cm A1 = 194.33 cm<sup>2</sup> Ym = 1605 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.59 cm Am = As + Ac + A1 = 1165.26 = 194.21 cm<sup>2</sup>  
 6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1/24 / MIN.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	10	0.5	0.004	0.996	195.0	0.05
1.0	21	1.0	0.008	0.992	195.8	0.11
1.5	32	1.5	0.012	0.988	196.6	0.16
2.0	45	2.0	0.016	0.984	197.3	0.23
2.5	55	2.5	0.020	0.980	198.1	0.28
3.0	74	3.0	0.024	0.976	199.0	0.37
3.5	80	3.5	0.028	0.972	199.8	0.40
4.0	84	4.0	0.032	0.968	200.6	0.42
4.5	86	4.5	0.036	0.964	201.4	0.43
5.0	87	5.0	0.040	0.960	202.2	0.43
5.5	87	5.5	0.044	0.956	203.1	0.43
6.0	87	6.0	0.048	0.952	203.9	0.43
6.5	87	6.5	0.052	0.948	204.8	0.42
7.0	86	7.0	0.056	0.944	205.6	0.42
7.5	84	7.5	0.060	0.940	206.5	0.41
8.0	81	8.0	0.064	0.936	207.4	0.39
8.5	78	8.5	0.068	0.932	208.3	0.37
9.0	76	9.0	0.071	0.929	209.2	0.36
9.5	75	9.5	0.075	0.925	210.1	0.36
10.0	74	10.0	0.079	0.921	211.0	0.35

CALCULOS

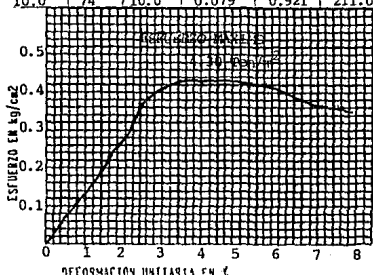
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba W % 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 1373  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 800

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 284.63  
 Peso Mat. Humedo grs. 200.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 225.60  
 Peso Mat. Seco en grs. 140.97  
 Peso del Agua en grs. 59.03  
 Contenido de Humedad en % 41.87  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1131  
 Grado de Comp. Corregido % 90.12  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 4.30

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

138

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 25 / SEPTIEMBRE / '90 Material: ARENA - I.T.MOSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo.: 37.3  
 Humedad que contiene el Material Wt: 8.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2416  
 Peso Pastilla grs.: 3725 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1542

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.74 cm As = 194.58 cm<sup>2</sup> Wt = 3725 gr.  
 Oc = 15.73 cm Ac = 194.33 cm<sup>2</sup> Vt = 2416 cm<sup>3</sup>  
 Oj = 15.72 cm Aj = 194.09 cm<sup>2</sup> Yn = 1542 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.43 cm Am = As + 4Ac + Aj = 1165.99 = 194.33 cm<sup>2</sup>  
6  
6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA INM / MIN.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	14	0.5	0.004	0.996	195.11	0.07
1.0	21	1.0	0.008	0.992	195.91	0.11
1.5	30	3.5	0.012	0.988	196.70	0.15
2.0	38	2.0	0.016	0.984	197.51	0.19
2.5	45	2.5	0.020	0.980	198.32	0.23
3.0	52	3.0	0.024	0.976	199.14	0.26
3.5	58	3.5	0.028	0.972	199.96	0.29
4.0	62	4.0	0.032	0.968	200.79	0.31
4.5	64	4.5	0.036	0.964	201.63	0.32
5.0	64	5.0	0.040	0.960	201.47	0.32
5.5	64	5.5	0.044	0.956	203.33	0.31
6.0	64	6.0	0.048	0.952	204.19	0.31
6.5	64	6.5	0.052	0.948	205.05	0.31
7.0	63	7.0	0.056	0.944	205.92	0.31
7.5	62	7.5	0.060	0.940	206.81	0.30
8.0	62	8.0	0.064	0.936	207.70	0.30
8.5	61	8.5	0.068	0.932	208.59	0.29
9.0	60	9.0	0.072	0.928	209.50	0.29
9.5	59	9.5	0.076	0.924	210.41	0.28
10.0	58	10.0	0.080	0.920	211.33	0.27

CALCULOS

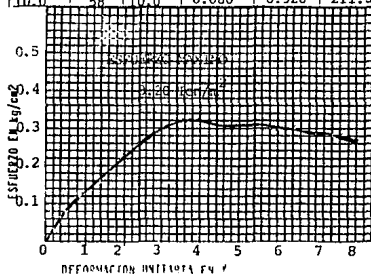
Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1067  
 Humedad de prueba Wt % 41.8  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(Wt - Wt_1)}{100 - Wt_1}$  cm<sup>3</sup> 1408  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - Wt) V}{10000}$  grs. 3745  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 11980  
 Carga de Compactación kg- 450

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 284.43  
 Peso Mat. Humedo grs. 200.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 225.60  
 Peso Mat. Seco en grs. 141.17  
 Peso del Agua en grs. 58.83  
 Contenido de Humedad en % 41.67  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1088  
 Grado de Comp. Corregido % 68.60  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 3.20

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

139

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 21/09/89 Material: ARENA-LIMOSA (S1)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.50  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Optima Wo.: 37.3 8  
 Humedad que contiene el Material W1: 7.5 8 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2438  
 Peso Pastilla grs.: 3745 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1536

MEIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.66 cm As = 192.61 cm<sup>2</sup> W1 = 3745 gr.  
 Dc = 15.67 cm Ac = 192.45 cm<sup>2</sup> Vt = 2438 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.60 cm Ai = 193.10 cm<sup>2</sup> Ym = 15.36 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.64 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1147.11}{6} = 192.85$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

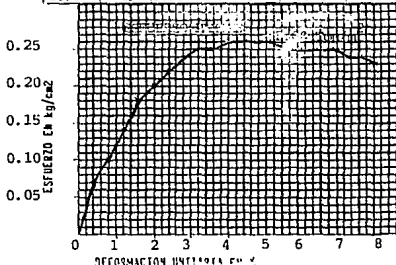
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	13	0.5	0.004	0.996	193.6	0.07
1.0	20	1.0	0.008	0.992	194.4	0.10
1.5	28	1.5	0.012	0.988	195.2	0.14
2.0	35	2.0	0.016	0.984	196.0	0.18
2.5	39	2.5	0.020	0.980	196.7	0.20
3.0	43	3.0	0.024	0.976	197.5	0.22
3.5	47	3.5	0.028	0.972	198.3	0.24
4.0	49	4.0	0.032	0.968	199.2	0.25
4.5	50	4.5	0.036	0.964	200.0	0.25
5.0	52	5.0	0.040	0.960	200.8	0.26
5.5	52	5.5	0.044	0.956	201.6	0.26
6.0	52	6.0	0.047	0.953	202.5	0.26
6.5	52	6.5	0.051	0.949	203.3	0.26
7.0	52	7.0	0.055	0.945	204.2	0.25
7.5	52	7.5	0.059	0.941	205.0	0.25
8.0	52	8.0	0.063	0.937	205.9	0.25
8.5	52	8.5	0.067	0.933	206.8	0.25
9.0	50	9.0	0.071	0.929	207.6	0.24
9.5	50	9.5	0.075	0.925	208.5	0.24
10.0	49	10.0	0.079	0.921	209.4	0.23

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1067  
 Humedad de prueba W2 % 41.8  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1436  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)W1}{10000}$  grs. 3745  
 Peso Equipa + Mat. Hum. grs. 11,980  
 Carga de Compactación kg. 340

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 284.43  
 Peso Mat. Humedo grs. 200.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 224.65  
 Peso Mat. Seco en grs. 115.57  
 Peso del Agua en grs. 59.76  
 Contenido de Humedad en % 42.63  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1077  
 Grado de Comp. Corregido % 85.82  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 2.60



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVÉÑMA DE  
MÉXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 22/AGOSTO/89 Material: ARENA-LIJOZA (SI)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima Wo. 37.3  
 Humedad que contiene el Material W: 6.0 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2516  
 Peso de la Pastilla grs. 4265 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1695

C A L C U L O S

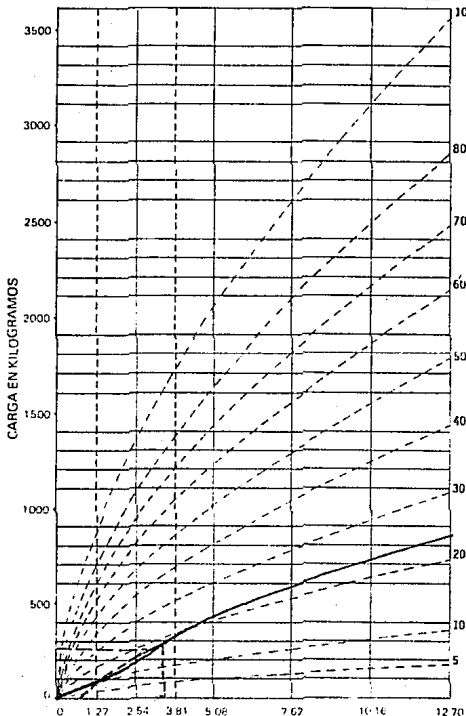
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1255  
 Humedad de prueba W% 37.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 1329  
 Peso Mat. Hum.  $Pw = \frac{A(100+W2)}{10000}$  grs. 4265  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12500  
 Carga de Compactación kg. 8,500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 78  
 2.54 mm. (0.10") 191  
 3.81 mm. (0.15") 315  
 5.08 mm. (0.20") 433  
 7.62 mm. (0.30") 591  
 10.16 mm. (0.40") 727  
 12.70 mm. (0.50") 839

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.53  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 203.02  
 Peso Mat. Seco en grs. 72.49  
 Peso del Agua en grs. 27.51  
 Contenido de Humedad en % 37.95  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1,229  
 Grado de Comp. Corregido % 97.33  
 V.R.S. Corregido % 19.0



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 31/AGOSTO/89 Material: ARENA-LIJOGA (S4)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde  $\text{cm}^3$  2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga  $\text{cm}$ : 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1255 Humedad Óptima No. 37.3  
 Humedad que contiene el Material  $\text{M}_1$ : 6.5 Vol. Pastillo  $\text{cm}^3$  2479  
 Peso de la Pastilla grs. 4100 Peso Volumétrico Pastilla  $\text{kg}/\text{m}^3$  1654

CALCULOS

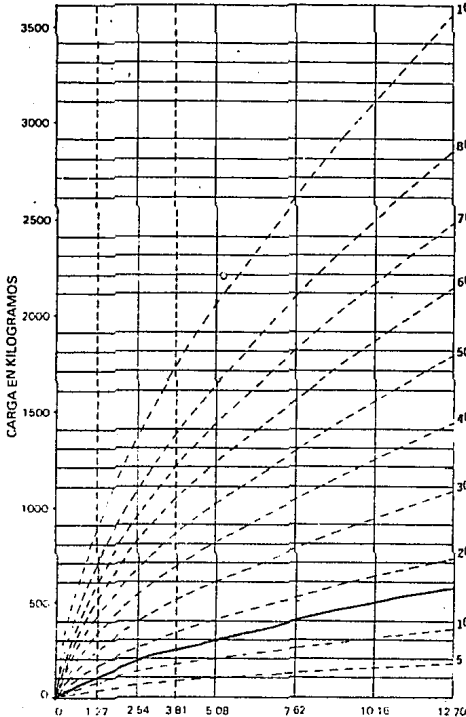
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en  $\text{kg}/\text{m}^3$  1255  
 Humedad de prueba  $\text{M}_2$  % 6.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(M_2 - M_1)}{100 + M_1}$   $\text{cm}^3$  1365  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{A(100 + M_2)}{10000}$  grs. 4095  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12330  
 Carga de Compactación  $\text{kg}$ . 3775

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05°) 75  
 2.54 mm. (0.10°) 190  
 3.81 mm. (0.15°) 240  
 5.08 mm. (0.20°) 295  
 7.62 mm. (0.30°) 370  
 10.16 mm. (0.40°) 500  
 12.70 mm. (0.50°) 570

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.59  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 157.07  
 Peso Mat. Seco en grs. 72.48  
 Peso del Agua en grs. 27.52  
 Contenido de Humedad en % 37.97  
 Peso Vol. Seco Corregido  $\text{kg}/\text{m}^3$  1199  
 Grado de Comp. Corregido % 95.54  
 V.R.S. Corregido % 14.0



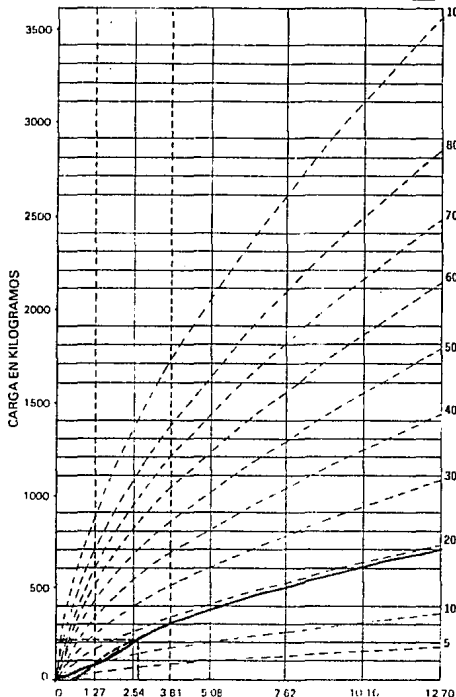




UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 22/AGOSTO/89 Material: AREJA LIMOSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima No. % 37.3  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 6.0 Vol. Pastilla cm.<sup>3</sup> 2479  
 Peso de la Pastilla grs. 4095 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1652



CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1193  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 38.8  

$$\text{Agua/Agregar} = \frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1} \text{ cm}^3$$
 1392  

$$\text{Peso Mat. Hum. } P_w = \frac{6(100 + W_2)}{10000} \text{ grs.}$$
 4095  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12330  
 Carga de Compactación kg. 6,000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 81  
 2.54 mm. (0.10") 197  
 3.81 mm. (0.15") 304  
 5.08 mm. (0.20") 380  
 7.62 mm. (0.30") 497  
 10.16 mm. (0.40") 606  
 12.70 mm. (0.50") 704

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.55  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 202.60  
 Peso Mat. Seco en grs. 72.05  
 Peso del Agua en grs. 27.95  
 Contenido de Humedad en % 38.79  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1190  
 Grado de Comp. Corregido % 94.82  
 V.R.S. Corregido % 15.4

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MEXICO

Fecha: 22/AGOSTO/89 Material: ARENA - LIMOSA (S4)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 37.3  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 6.0 Vol. Pastillo grs 2464  
 Peso de la Pastilla grs. 3925 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1593

C A L C U L O S

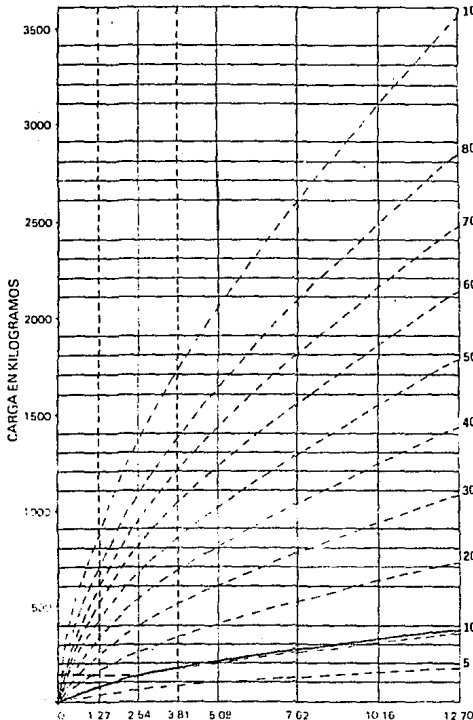
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub>% 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 1456  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{8(100 + W_2)W_2}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 3000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 75  
 2.54 mm. (0.10") 134  
 3.81 mm. (0.15") 174  
 5.08 mm. (0.20") 206  
 7.62 mm. (0.30") 265  
 10.16 mm. (0.40") 327  
 12.70 mm. (0.50") 300

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 5  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.66  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara gr 202.37  
 Peso Mat. Seco en grs. 71.52  
 Peso del Agua en grs. 28.48  
 Contenido de Humedad en % 39.82  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1139  
 Grado de Comp. Corregido % 90.76  
 V.R.S. Corregido % 9.82



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

144



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENARA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 22/AGOSTO/199 Material: ARENA - LIMSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumetrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Optima No. % 37.3  
 Humedad que contiene el Material W1: % 6.5 Vol. Pastillito grs. 2469  
 Peso de la Pastilla grs. 3925 Peso Volumetrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1590

CALCULOS

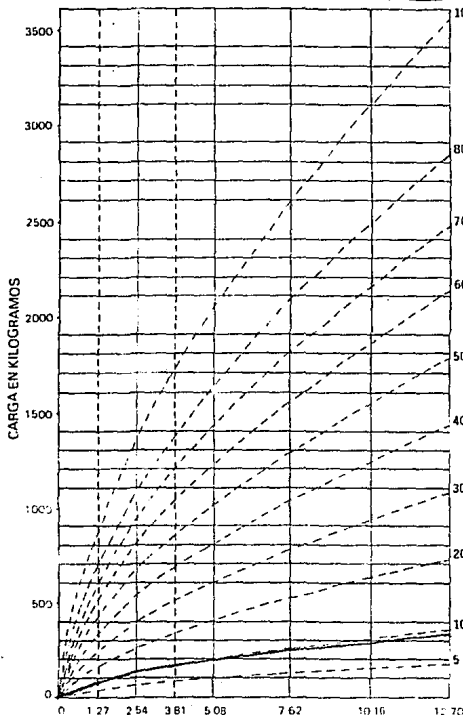
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba W2% 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 1428  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{\delta(100 + W_2)V}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 2250

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 75  
 2.54 mm. (0.10") 130  
 3.81 mm. (0.15") 165  
 5.08 mm. (0.20") 196  
 7.62 mm. (0.30") 246  
 10.16 mm. (0.40") 290  
 12.70 mm. (0.50") 330

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 115.87  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 87.53  
 Peso Mat. Seco en grs. 71.66  
 Peso del Agua en grs. 28.34  
 Contenido de Humedad en % 39.55  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1139  
 Grado de Comp. Corregido % 90.76  
 V.R.S. Corregido % 9.76



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 31/AGOSTO/1989 Material: ARENA-LIMOSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1255 Humedad Óptima No. 37.3  
 Humedad que contiene el Material M1: 6.5 Vol. Pastillo grs. 24.61  
 Peso de la Pastilla grs. 3925 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1595

CALCULOS

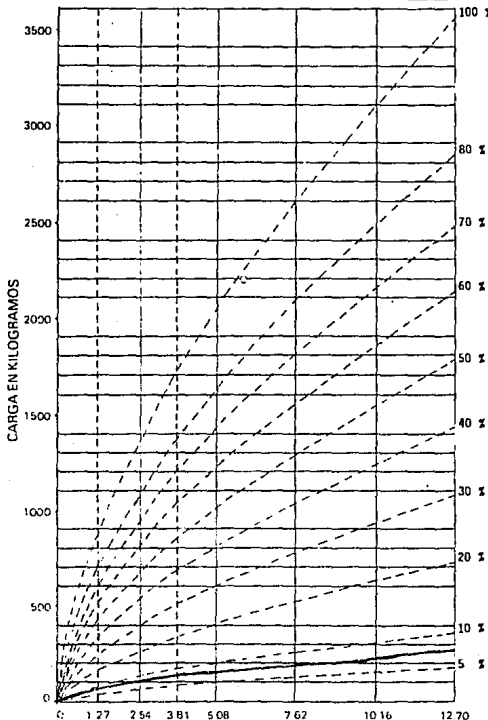
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1130  
 Humedad de prueba M<sub>2</sub>% 40.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(M_2 - M_1)}{100 + M_1}$  cm<sup>3</sup> 1428  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{8(100 + M_2)W}{10000}$  grs. 3925  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12160  
 Carga de Compactación kg. 1875

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 64  
 2.54 mm. (0.10") 102  
 3.81 mm. (0.15") 130  
 5.08 mm. (0.20") 152  
 7.62 mm. (0.30") 194  
 10.16 mm. (0.40") 232  
 12.70 mm. (0.50") 270

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 184.66  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 155.12  
 Peso Mat. Seco en grs. 71.46  
 Peso del Agua en grs. 28.54  
 Contenido de Humedad en % 39.94  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1140  
 Grado de Comp. Corregido % 90.84  
 V.R.S. Corregido % 7.5





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 22/AGOSTO/89. Material: ARENA-LIMOSA (SM)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2476  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1256 Humedad Óptima No. % 37.3  
 Humedad que contiene el Material M1: % 6.0 Vol. Pastilla grs. 2445  
 Peso de la Pastilla grs. 37.45 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1532

CALCULOS

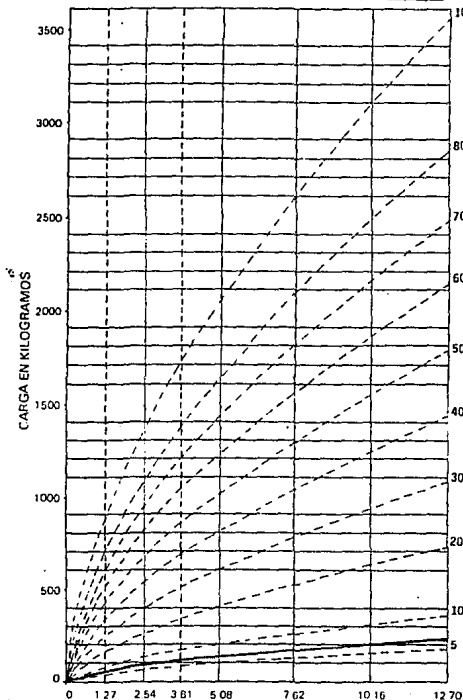
Grado de Compactación % 86  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1067  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 41.8  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 1520  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{P(100 + W_2)V}{10000}$  grs. 3745  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 11980  
 Carga de Compactación kg. 1500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 55  
 2.54 mm. (0.10") 89  
 3.81 mm. (0.15") 112  
 5.08 mm. (0.20") 131  
 7.62 mm. (0.30") 173  
 10.16 mm. (0.40") 203  
 12.70 mm. (0.50") 237

CONPROCCION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.67  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 201.30  
 Peso Mat. Seco en grs. 70.63  
 Peso del Agua en grs. 29.37  
 Contenido de Humedad en % 41.58  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1062  
 Grado de Comp. Corregido % 86.21  
 V.R.S. Corregido % 6.54



IV.4.- RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS EN MATERIAL:  
A R E N A - A R C I L L O S A



U.N.A.M.  
ENEP ARAGON  
LAB. DE GEOTECNIA  
TESIS PROFESIONAL

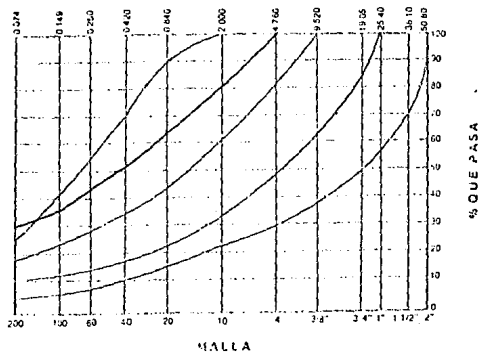
148

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES PARA BASE Y SUB-BASE

MATERIAL: <b>TOBA VOLCANICA (SC1)</b>	ELABORADO POR: <b>MUESTREO EN BANCO DE MATERIAL</b>
LOCALIZACION: <b>BANCO LA PALMA</b>	FECHA DE RECIBIDO: _____
PRECEDENCIA: <b>COACALCO EDO. DE MEXICO</b>	FECHA DE INFORME: _____

Peso de helados: 1885  
 Peso de helados máximos: 1885  
 PVSIM Kg/m<sup>3</sup>: 1475  
 Humedad: 27.8  
 Que pasa la malla:  
 2"  
 1 1/2"  
 1"  
 3/4"  
 3/8"  
 No. 4: 100  
 10: 81  
 20: 64  
 40: 52  
 60: 44  
 100: 36  
 200: 30

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



VRS (porcentaje): 46  
 Límite líquido: 0.28  
 Límite plástico: 4.8

ENSAYES EN LABORATORIO

PRUEBAS SOBRE MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 40

ASOCIACION: _____	LÍMITE LÍQUIDO: 45	HUMEDAD CAMPO: 18
CANTIDAD: _____	LÍMITE PLÁSTICO: 26	CONTRACCIÓN LINEAL: 3.0
	LÍMITE ELÁSTICO: 19	

OBSERVACIONES: Material color amarillento, comunmente conocido como tepate.

Clasificación: Arena Arcillosa

ELABORADOR/A:

REVISADO POR:

RECIBIDO POR:



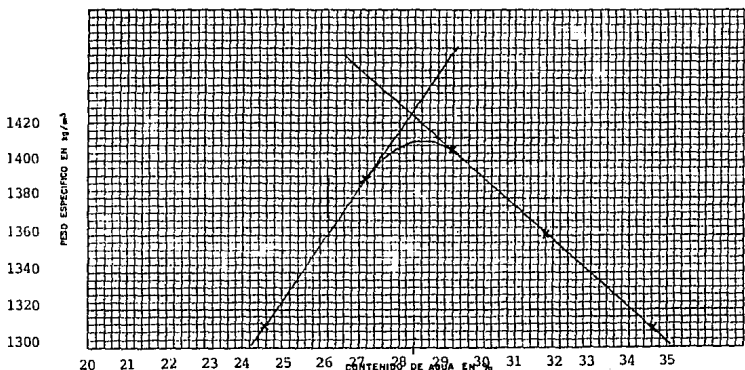
LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
 TESIS PROFESIONAL

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA ARENA-ARCILLOSA ENSAYE NUM. 3  
 ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR PVSM Y H.O. FECHA DE INICIACION 13/JUNIO/1989  
 PROCEDENCIA BANCO LA PALMA TULTEPEC, EDO. DE MEX. FECHA DE TERMINACION \_\_\_\_\_  
 LABORATORISTA \_\_\_\_\_

TIPO DE PRUEBA PROCTOR AASHTO ESTANDAR  
 NUM. DE CAPAS 3 PESO PISON 2.5 Kg MOLDE NUM. 1  
 NUM. DE GOLPES POR CAPA 25 ALTURA CAIDA 30.5 cm VOLUMEN (V) 998 cm<sup>3</sup>

PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g	3485	3545	3650	3785	3835	3810	3780
PESO DEL MOLDE, g	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
PESO SUELO HUMEDO, g (Wm)	1465	1525	1630	1765	1815	1790	1760
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{W_m}{V}$ )	1468	1528	1633	1769	1819	1794	1764
CAPSULA NUMERO	130.35	130.63	130.90	130.89	130.56	130.48	130.89
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g	230.35	230.63	230.90	230.89	230.56	230.48	230.89
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g	213.59	212.43	211.17	209.52	207.84	206.36	205.16
PESO DEL AGUA, g	16.76	18.20	19.73	21.37	22.72	24.12	25.73
PESO CAPSULA, g							
PESO SUELO SECO, g	83.24	81.80	80.27	78.63	77.28	75.88	74.27
CONTENIDO DE AGUA, % (w)	20.13	22.25	24.58	27.18	29.40	31.79	34.64
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{W_m}{1+w}$ )	1222	1250	1311	1391	1406	1361	1310



w opt = 28.4 %      γ<sub>d</sub> máx = 1410 kg/m<sup>3</sup>



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

150

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 10/JULIO/1989 Material: ARENA ARTIFICIAL (S.C.)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2490  
 Peso Pastilla grs.: 4467 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1794

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.80 cm As = 196.07 cm<sup>2</sup> W1 = 4467 gr.  
 Dc = 15.78 cm Ac = 195.57 cm<sup>2</sup> Vt = 2490 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.76 cm Ai = 195.07 cm<sup>2</sup> Ym = 1794 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.73 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1173}{6} = 195.57$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min

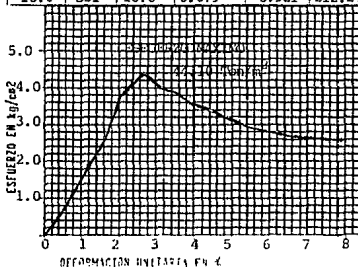
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	97	0.5	0.004	0.996	196.34	0.49
1.0	230	1.0	0.008	0.992	197.12	1.17
1.5	380	1.5	0.012	0.988	197.90	1.92
2.0	534	2.0	0.016	0.984	198.69	2.64
2.5	702	2.5	0.020	0.980	199.49	3.52
3.0	838	3.0	0.024	0.976	200.29	4.18
3.5	886	3.5	0.027	0.973	201.10	4.41
4.0	805	4.0	0.031	0.969	201.92	3.99
4.5	783	4.5	0.035	0.965	202.74	3.86
5.0	730	5.0	0.039	0.961	203.57	3.59
5.5	700	5.5	0.043	0.957	204.40	3.43
6.0	672	6.0	0.047	0.953	205.24	3.27
6.5	637	6.5	0.051	0.949	206.09	3.09
7.0	603	7.0	0.055	0.945	206.95	2.91
7.5	587	7.5	0.059	0.941	207.81	2.83
8.0	576	8.0	0.063	0.937	208.69	2.76
8.5	567	8.5	0.067	0.933	209.56	2.71
9.0	558	9.0	0.071	0.929	210.45	2.65
9.5	552	9.5	0.075	0.925	211.34	2.61
10.0	551	10.0	0.079	0.921	212.24	2.60

CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W2 % 28  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pw(W2-V1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 971  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V2}{10000}$  4467  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10500

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.56  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Saco + Tara grs. 208.87  
 Peso Mat. Saco en grs. 78.31  
 Peso del Agua en grs. 21.69  
 Contenido de Humedad en % 27.69  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1405  
 Grado de Comp. Corregido % 99.64  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 44.10



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

151

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 10/JULIO/1989 Material: ARENA ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.50  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2476  
 Peso Pastilla grs.: 4450 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1797

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.78 cm As = 195.57 cm<sup>2</sup> W1 = 4450 gr.  
 Dc = 15.78 cm Ac = 195.57 cm<sup>2</sup> Vt = 2476 cm<sup>3</sup>  
 D1 = 15.78 cm A1 = 195.57 cm<sup>2</sup> Ym = 1797 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.66 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + A1}{6} = \frac{195.57 + 4(195.57) + 195.57}{6} = 177.42 = 195.54$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: 1mm/min

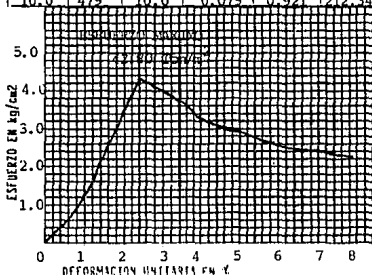
CALCULOS

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	80	0.5	0.004	0.996	196.35	0.41
1.0	184	1.0	0.008	0.992	197.13	0.93
1.5	325	1.5	0.012	0.988	197.92	1.64
2.0	515	2.0	0.016	0.984	198.71	2.59
2.5	710	2.5	0.020	0.980	199.51	3.56
3.0	858	3.0	0.024	0.976	200.32	4.28
3.5	830	3.5	0.028	0.972	201.13	4.13
4.0	774	4.0	0.032	0.968	201.95	3.83
4.5	737	4.5	0.036	0.964	202.78	3.64
5.0	676	5.0	0.039	0.961	203.61	3.32
5.5	638	5.5	0.043	0.957	204.45	3.12
6.0	613	6.0	0.047	0.953	205.30	2.99
6.5	594	6.5	0.051	0.949	206.16	2.88
7.0	564	7.0	0.055	0.945	207.02	2.72
7.5	545	7.5	0.059	0.941	207.89	2.62
8.0	529	8.0	0.063	0.937	208.76	2.53
8.5	513	8.5	0.067	0.933	209.65	2.45
9.0	499	9.0	0.071	0.929	210.54	2.37
9.5	489	9.5	0.075	0.925	211.44	2.31
10.0	479	10.0	0.079	0.921	212.34	2.26

Grado de Compactación % 100%  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W2 % 28  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 971  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4467  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10500  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.46  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.57  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.11  
 Peso del Agua en grs. 21.89  
 Contenido de Humedad en % 28.02  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1404  
 Grado de Comp. Corregido % 99.55  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 42.80

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

152

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

ARENA ARCILLOSA (SC)

Fecha: 5/JUNIO/89. Material: TOBA VOLCANICA.  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Wo.: 28  
 Humedad que contiene el Material W1: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2515  
 Peso Pastilla grs.: 4475 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1779



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.835 cm As = 196.94 cm<sup>2</sup> Wl = 4475 gr.  
 Dc = 15.817 cm Ac = 196.50 cm<sup>2</sup> Vt = 2515 cm<sup>3</sup>  
 Df = 15.80 cm Af = 196.10 cm<sup>2</sup> Ym = 1779 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.80 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1179.01}{6} = 196.50$  cm<sup>2</sup>

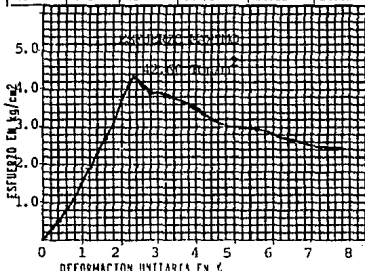
Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO	CALCULOS			
							Grado de Compactación %	Peso Vol. Seco en kg/ m <sup>3</sup>	Humedad de prueba W %	Grado de Compactación %
0.5	100	0.5	0.004	0.996	197.3	0.51				
1	208	1	0.008	0.992	198.0	1.05				
1.5	365	1.5	0.012	0.988	198.8	1.84				
2	540	2	0.016	0.984	199.6	2.71				
2.5	742	2.5	0.020	0.980	200.4	3.70				
3	858	3	0.023	0.977	201.2	4.26				
3.5	800	3.5	0.027	0.973	202.0	3.96				
4	775	4	0.031	0.969	202.8	3.82				
4.5	752	4.5	0.035	0.965	203.7	3.69				
5	710	5	0.039	0.961	204.4	3.47				
5.5	675	5.5	0.043	0.957	205.3	3.29				
6	645	6	0.047	0.953	206.2	3.13				
6.5	620	6.5	0.051	0.949	207.0	2.99				
7	604	7	0.055	0.945	207.9	2.91				
7.5	590	7.5	0.059	0.941	208.7	2.83				
8	576	8	0.063	0.937	209.6	2.74				
8.5	558	8.5	0.066	0.934	210.4	2.65				
9	544	9	0.070	0.930	211.4	2.57				
9.5	534	9.5	0.074	0.926	212.3	2.52				
10	525	10	0.078	0.922	213.2	2.46				

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W % 28  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pa(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 911  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4470  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs 12705  
 Carga de Compactación kg- 10600  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 160  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 209.19  
 Peso Mat. Seco en grs. 78.29  
 Peso del Agua en grs. 21.71  
 Contenido de Humedad en % 27.73  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1393  
 Grado de Comp. Corregido % 98.79  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 42.6

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

153

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 12/JULIO/89. Material: ARENA ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5.26 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2515  
 Peso Pastilla grs.: 4470 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1777



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTÓNOMA DE  
 MÉXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.85 cm As = 197.30 cm<sup>2</sup> W1 = 4470 gr.  
 Dc = 15.83 cm Ac = 196.81 cm<sup>2</sup> Vt = 2515 cm<sup>3</sup>  
 Dt = 15.81 cm At = 196.32 cm<sup>2</sup> Ym = 1778 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.78 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + At}{6} = \frac{1180.86}{6} = 196.81$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/mín.

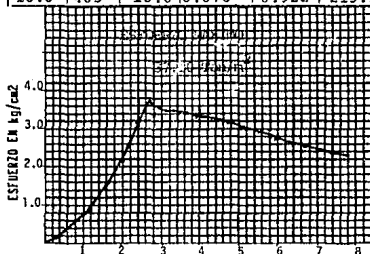
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	33	0.5	0.004	0.996	197.6	0.17
1.0	93	1.0	0.008	0.992	198.4	0.47
1.5	177	1.5	0.012	0.988	199.2	0.89
2.0	292	2.0	0.016	0.984	199.9	1.46
2.5	437	2.5	0.020	0.980	200.7	2.18
3.0	604	3.0	0.024	0.976	201.7	3.00
3.5	750	3.5	0.027	0.973	202.4	3.71
4.0	720	4.0	0.031	0.969	203.2	3.54
4.5	705	4.5	0.035	0.965	204.0	3.46
5.0	700	5.0	0.039	0.961	204.8	3.42
5.5	682	5.5	0.043	0.957	205.7	3.32
6.0	661	6.0	0.047	0.953	206.5	3.20
6.5	536	6.5	0.051	0.949	207.4	3.07
7.0	615	7.0	0.055	0.945	208.2	2.95
7.5	576	7.5	0.059	0.941	209.1	2.75
8.0	552	8.0	0.063	0.937	210.0	2.63
8.5	527	8.5	0.067	0.933	210.8	2.50
9.0	508	9.0	0.070	0.930	211.7	2.40
9.5	495	9.5	0.074	0.926	212.6	2.33
10.0	485	10.0	0.078	0.922	213.5	2.27

CALCULOS

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W2 % 28.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 971  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4467  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10500

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.55  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.31  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.76  
 Peso del Agua en grs. 22.24  
 Contenido de Humedad en % 28.60  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1382  
 Grado de Comp. Corregido % 98.01  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 37.10



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

154

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

ARENA ARCILLOSA (SC)

Fecha: 6/JUNIO/89. Material: TOBA VOLCANICA.  
Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Vo.: 28  
Humedad que contiene el Material W1: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2469  
Peso Pastilla grs.: 4295 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1740



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

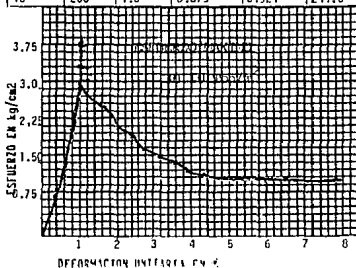
Os = 15.75 cm As = 194.83 cm<sup>2</sup> W1 = 4295 gr.  
Oc = 15.753 cm Ac = 194.89 cm<sup>2</sup> Vt = 2469 cm<sup>3</sup>  
O1 = 15.755 cm A1 = 194.95 cm<sup>2</sup> Yn = 1740 ton/m<sup>3</sup>  
Hn = 12.67 cm An = As + 4Ac + A1 = 1169.34 = 194.89 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	157	0.5	0.004	0.996	195.7	0.80
1	426	1	0.008	0.992	195.4	2.7
1.5	594	1.5	0.012	0.988	197.2	3.01
2	515	2	0.016	0.984	198.0	2.60
2.5	442	2.5	0.020	0.980	198.8	2.22
3	400	3	0.024	0.976	199.6	2.00
3.5	357	3.5	0.028	0.972	200.4	1.78
4	325	4	0.032	0.968	201.2	1.61
4.5	308	4.5	0.036	0.964	202.0	1.52
5	299	5	0.039	0.961	202.9	1.47
5.5	290	5.5	0.043	0.957	203.7	1.42
6	278	6	0.047	0.953	204.6	1.36
6.5	273	6.5	0.051	0.949	205.3	1.32
7	270	7	0.055	0.945	206.3	1.31
7.5	266	7.5	0.059	0.941	207.2	1.28
8	266	8	0.063	0.937	208.0	1.28
8.5	268	8.5	0.067	0.933	208.9	1.28
9	270	9	0.071	0.929	209.8	1.29
9.5	266	9.5	0.075	0.925	210.7	1.26
10	266	1.0	0.079	0.921	211.6	1.26

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1340  
Humedad de prueba W2 % 29.5  
Agua/Agregar =  $Pn(W2-W1)cm^3$  375  
 $\frac{100 \cdot W1}{10000}$   
Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4295  
Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12530  
Carga de Compactación kg. 5300  
COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
Capsula No. 1  
Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.48  
Peso Mat. Humedo grs. 100  
Peso Mat. Seco + Tara grs. 200.30  
Peso Mat. Seco en grs. 77.90  
Peso del Agua en grs. 22.10  
Contenido de Humedad en % 28.37  
Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1355  
Grado de Comp. Corregido % 96.10  
Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 30.10



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

155

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 6/JUNIO/89. Material: TOBA VOLCANICA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28  
 Humedad que contiene el Material Wt: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2488  
 Peso Pastilla grs.: 4295 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1726

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.815 cm As = 196.44 cm<sup>2</sup> Wt = 4295 gr.  
 Dc = 15.78 cm Ac = 195.63 cm<sup>2</sup> Vt = 2488 cm<sup>3</sup>  
 D1 = 15.75 cm A1 = 194.83 cm<sup>2</sup> Ym = 1726 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.74 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + A1}{6} = \frac{196.44 + 4(195.63) + 194.83}{6} = 171.79 = 195.30$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada lmm/min.



CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1340  
 Humedad de prueba W2 % 29.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 975  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot Y}{10000}$  4295  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12,530  
 Carga de Compactación kg. 4850

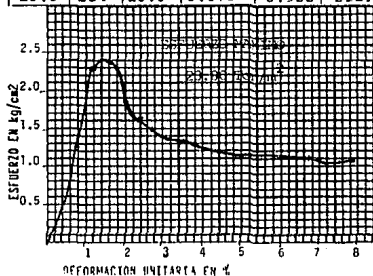
COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
 Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 142.80  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 119.77  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.97  
 Peso del Agua en grs. 23.03  
 Contenido de Humedad en % 29.92  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1329  
 Grado de Comp. Corregido % 94.26  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 23.80

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	83	0.5	0.004	0.996	196.1	0.42
1.0	266	1.0	0.008	0.992	196.9	1.35
1.5	449	1.5	0.012	0.988	197.6	2.27
2.0	473	2.0	0.016	0.984	198.4	2.38
2.5	375	2.5	0.020	0.980	199.2	1.88
3.0	324	3.0	0.024	0.976	200.0	1.62
3.5	296	3.5	0.027	0.973	200.8	1.47
4.0	273	4.0	0.031	0.969	201.6	1.35
4.5	265	4.5	0.035	0.965	202.5	1.31
5.0	252	5.0	0.039	0.961	203.3	1.24
5.5	248	5.5	0.043	0.957	204.1	1.22
6.0	242	6.0	0.047	0.953	205.0	1.18
6.5	241	6.5	0.051	0.949	205.8	1.17
7.0	239	7.0	0.055	0.945	206.7	1.16
7.5	238	7.5	0.059	0.941	207.5	1.15
8.0	236	8.0	0.063	0.937	208.4	1.13
8.5	231	8.5	0.067	0.933	209.3	1.10
9.0	230	9.0	0.071	0.929	210.2	1.09
9.5	231	9.5	0.075	0.925	211.0	1.09
10.0	234	10.0	0.078	0.922	211.9	1.10

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

156



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 12/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Saco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 8.28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 8.5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2461  
 Peso Pastilla grs.: 4275 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1737

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.76 cm As = 195.08 cm<sup>2</sup> Wl = 4275 gr.  
 Dc = 15.745 cm Ac = 194.70 cm<sup>2</sup> Vt = 2461 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.73 cm Ai = 194.33 cm<sup>2</sup> Ym = 1737 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.64 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{195.08 + 4(194.70) + 194.33}{6} = 194.70$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

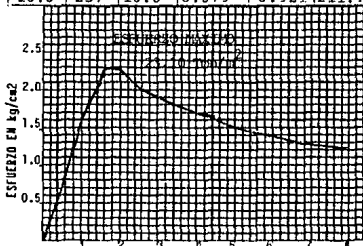
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIR	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	96	0.5	0.004	0.996	195.47	0.49
1.0	253	1.0	0.008	0.992	196.3	1.29
1.5	368	1.5	0.012	0.988	197.0	1.87
2.0	445	2.0	0.016	0.984	197.9	2.31
2.5	450	2.5	0.020	0.980	198.6	2.27
3.0	413	3.0	0.024	0.976	199.4	2.07
3.5	290	3.5	0.028	0.972	200.2	1.95
4.0	373	4.0	0.032	0.968	201.1	1.85
4.5	358	4.5	0.036	0.964	201.9	1.77
5.0	345	5.0	0.040	0.960	202.7	1.70
5.5	333	5.5	0.044	0.956	203.6	1.64
6.0	319	6.0	0.047	0.953	204.4	1.56
6.5	307	6.5	0.051	0.949	205.3	1.50
7.0	296	7.0	0.055	0.945	206.1	1.44
7.5	287	7.5	0.059	0.941	207.0	1.39
8.0	278	8.0	0.063	0.937	207.9	1.34
8.5	271	8.5	0.067	0.933	208.7	1.30
9.0	264	9.0	0.071	0.929	209.6	1.26
9.5	260	9.5	0.075	0.925	210.5	1.24
10.0	257	10.0	0.079	0.921	211.4	1.22

CALCULOS

Grado de Compactación %	95
Peso Vol. Saco en kg/ m <sup>3</sup>	1340
Humedad de prueba W2 %	29.5
Agua/Agregar = $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W2}$ cm <sup>3</sup>	1035
Peso Mat. Hum. = $\frac{(100+W2)V}{10000}$ grs.	4295
Peso Equipo + Mat. Hum. grs.	12530
Carga de Compactación kg.	5000
COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION	
Capsula No.	5
Peso Mat. Humedo + Tara grs.	230.45
Peso Mat. Humedo grs.	100.00
Peso Mat. Seco + Tara grs.	207.27
Peso Mat. Seco en grs.	76.82
Peso del Agua en grs.	23.18
Contenido de Humedad en %	30.17
Peso Vol. Saco Corregido kg/ m <sup>3</sup>	1334
Grado de Comp. Corregido %	94.61
Esfuerzo $\frac{W_2 - W_1}{W_2} \frac{100}{100 - W_2}$ ton/m <sup>2</sup>	23.10

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



DEFORMACION UNITARIA EN %

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

157

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

ARENA-ARCILLOSA (SC)

Fecha: 22/JUNIO/89. Material: TOBA VOLCANICA.  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Wo.: 28  
 Humedad que contiene el Material W1: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2494  
 Peso Pastilla grs.: 4270 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1712



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVIATION DE  
 MEXICO

15.70

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.80 cm As = 196.07 cm<sup>2</sup> Wi = 4270 gr.  
 Dc = 15.75 cm Ac = 194.83 cm<sup>2</sup> Vt = 2494 cm<sup>3</sup>  
 Di = \_\_\_\_\_ cm Ai = 193.59 cm<sup>2</sup> Ym = 1712 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.80 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{196.07 + 4(194.83) + 193.59}{6} = 194.83$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	18	0.5	0.004	0.996	195.6	0.09
1	52	1	0.008	0.992	196.4	0.26
1.5	105	1.5	0.012	0.988	197.1	0.53
2	182	2	0.016	0.984	197.9	0.92
2.5	275	2.5	0.020	0.980	198.7	1.38
3	368	3	0.023	0.977	199.5	1.84
3.5	435	3.5	0.027	0.973	200.3	2.17
4	457	4	0.031	0.969	201.1	2.27
4.5	440	4.5	0.035	0.965	201.9	2.17
5	406	5	0.039	0.961	202.8	2.00
5.5	378	5.5	0.043	0.957	203.6	1.86
6	360	6	0.047	0.953	204.4	1.76
6.5	350	6.5	0.051	0.949	205.3	1.71
7	343	7	0.055	0.945	206.1	1.66
7.5	338	7.5	0.058	0.942	207.0	1.63
8	332	8	0.062	0.938	207.8	1.60
8.5	328	8.5	0.066	0.934	208.7	1.57
9	322	9	0.070	0.930	209.6	1.54
9.5	318	9.5	0.074	0.926	210.5	1.51
10	313	10	0.078	0.922	211.3	1.48

CALCULOS

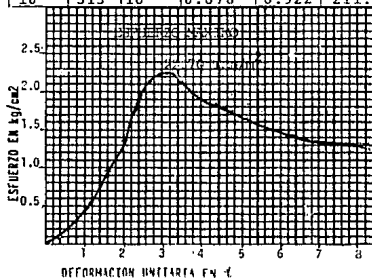
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1340  
 Humedad de prueba W2 % 29.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 975  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4295  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12530  
 Carga de Compactación kg. 4950

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.90  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.32  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.42  
 Peso del Agua en grs. 22.58  
 Contenido de Humedad en % 29.16  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1325  
 Grado de Comp. Corregido % 93.97  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 22.7

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:





**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

158

Fecha: 12/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC) TOGA VOLCANICA.

Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: 5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2448  
 Peso Pastilla grs.: 4280 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1748

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.75 cm As = 194.83 cm<sup>2</sup> V1 = 4380 gr.  
 Dc = 15.735 cm Ac = 194.46 cm<sup>2</sup> Vt = 2448 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.72 cm A1 = 194.04 cm<sup>2</sup> Ym = 17.48 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.59 cm Am = As + 4Ac + A1 = 1166.76 = 194.46 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.



TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	37	0.5	0.004	0.996	195.2	0.19
1.0	126	1.0	0.008	0.992	196.0	0.64
1.5	261	1.5	0.012	0.988	196.8	1.33
2.0	356	2.0	0.016	0.984	197.6	1.80
2.5	525	2.5	0.020	0.980	198.4	2.14
3.0	446	3.0	0.024	0.976	199.2	2.24
3.5	422	3.5	0.028	0.972	200.0	2.11
4.0	403	4.0	0.032	0.968	200.8	2.00
4.5	391	4.5	0.036	0.964	201.7	1.94
5.0	373	5.0	0.040	0.960	202.5	1.84
5.5	356	5.5	0.044	0.956	203.3	1.75
6.0	344	6.0	0.048	0.952	204.2	1.68
6.5	336	6.5	0.052	0.948	205.1	1.64
7.0	329	7.0	0.056	0.944	205.9	1.59
7.5	322	7.5	0.060	0.940	206.8	1.56
8.0	316	8.0	0.064	0.936	207.7	1.52
8.5	311	8.5	0.068	0.932	208.5	1.49
9.0	303	9.0	0.071	0.929	209.4	1.45
9.5	295	9.5	0.075	0.925	210.3	1.40
10.0	285	10.0	0.079	0.921	211.2	1.35

**CALCULOS**

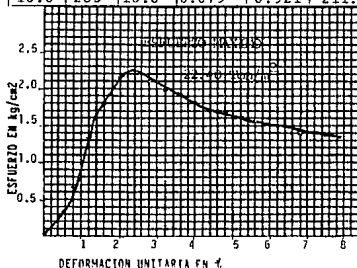
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1340  
 Humedad de prueba W2 % 29.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 1035  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4295  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12530  
 Carga de Compactación kg. 5000

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.38  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.0  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 207.15  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.77  
 Peso del Agua en grs. 23.23  
 Contenido de Humedad en % 30.26  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1342  
 Grado de Comp. Corregido % 95.18  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 22.40

Nota: AREA CORREG.=  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARACON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

159

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 12/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
TOBA VOLCANICA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumetrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material Wt: 5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2425  
 Peso Pastilla grs.: 4115 Peso Volumetrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1697



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

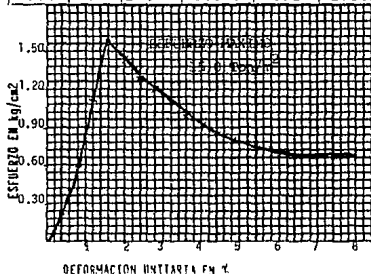
Ds = 15.71 cm As = 193.84 cm<sup>2</sup> Wi = 4115 gr.  
 Dc = 15.69 cm Ac = 193.35 cm<sup>2</sup> Vt = 2425 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.67 cm Ai = 192.85 cm<sup>2</sup> Ym = 1697 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.54 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1160.09 = 193.35 cm<sup>2</sup>  
 6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	45	0.5	0.004	0.996	194.1	0.23
1.0	115	1.0	0.008	0.992	194.9	0.59
1.5	220	1.5	0.012	0.988	195.7	1.12
2.0	294	2.0	0.016	0.984	196.5	1.50
2.5	283	2.5	0.020	0.980	197.3	1.43
3.0	245	3.0	0.024	0.976	198.1	1.29
3.5	236	3.5	0.028	0.972	198.9	1.19
4.0	219	4.0	0.032	0.968	199.7	1.10
4.5	199	4.5	0.036	0.964	200.6	0.99
5.0	185	5.0	0.040	0.960	201.4	0.92
5.5	174	5.5	0.044	0.956	202.2	0.86
6.0	163	6.0	0.048	0.952	203.1	0.80
6.5	156	6.5	0.052	0.948	203.9	0.77
7.0	150	7.0	0.056	0.944	204.8	0.73
7.5	147	7.5	0.060	0.940	205.7	0.71
8.0	145	8.0	0.064	0.936	206.5	0.70
8.5	144	8.5	0.068	0.932	207.4	0.69
9.0	144	9.0	0.072	0.928	208.3	0.69
9.5	144	9.5	0.076	0.924	209.2	0.69
10.0	144	10.0	0.080	0.920	210.2	0.69

CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1270  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 31.0  
 Agua/Agregar =  $Pm(W_2 - W_1)cm^3$  1090  
 100\*W<sub>1</sub>  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  grs. 4118  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12355  
 Carga de Compactación kg. 1850  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.88  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 206.80  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.92  
 Peso del Agua en grs. 24.08  
 Contenido de Humedad en % 31.72  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1288  
 Grado de Comp. Corregido % 91.35  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 15.0



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

160

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

ARENA-ARCILLOSA (SC)

Fecha: 22/JUNIO/89. Material: TO3A VOLCANICA.

Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 758

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 28

Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2512

Peso Pastilla grs.: 4245 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1690

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Os = 15.80 cm      As = 196.07 cm<sup>2</sup>      Wi = 4245 gr.  
 Dc = 15.75 cm      Ac = 194.83 cm<sup>2</sup>      Vt = 2512 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.70 cm      Ai = 193.59 cm<sup>2</sup>      Ym = 1690 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.895 cm      Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1168.98}{6} = 194.83$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada imm/min.



TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	32	0.5	0.004	0.996	195.6	0.16
1	122	1	0.008	0.992	196.4	0.62
1.5	224	1.5	0.012	0.988	197.1	1.14
2	242	2	0.016	0.984	197.9	1.22
2.5	211	2.5	0.020	0.980	198.7	1.06
3	193	3	0.024	0.976	199.5	0.96
3.5	181	3.5	0.028	0.972	200.3	0.90
4	170	4	0.032	0.968	201.1	0.85
4.5	163	4.5	0.035	0.965	201.9	0.81
5	156	5	0.039	0.961	202.7	0.77
5.5	149	5.5	0.043	0.957	203.5	0.73
6	143	6	0.047	0.953	204.3	0.70
6.5	138	6.5	0.050	0.950	205.2	0.67
7	134	7	0.054	0.946	206.0	0.65
7.5	131	7.5	0.058	0.942	206.9	0.63
8	126	8	0.062	0.938	207.7	0.61
8.5	124	8.5	0.066	0.934	208.6	0.59
9	122	9	0.070	0.930	209.5	0.58
9.5	121	9.5	0.074	0.926	210.3	0.58
10	119	10	0.078	0.922	211.2	0.56

CALCULOS

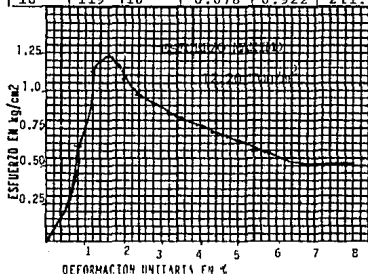
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1270  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 31.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1038  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  4120  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12355  
 Carga de Compactación kg. 2000

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.61  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 207.35  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.74  
 Peso del Agua en grs. 23.26  
 Contenido de Humedad en % 30.31  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1297  
 Grado de Comp. Corregido % 91.99  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 12.2

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

161

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**

ARENA-ARCILLOSA (SC)

Fecha: 13/JULIO/89. Material: TOBY VOLCANICA

Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28

Humedad que contiene el Material W1: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2446

Peso Pastilla grs.: 4110 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1680



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.78 cm As = 195.78 cm<sup>2</sup> Wi = 4110 gr.  
 Dc = 15.76 cm Ac = 195.03 cm<sup>2</sup> Vt = 2446 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.74 cm Ai = 194.58 cm<sup>2</sup> Ym = 1680 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.54 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1170.47 = 195.08 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

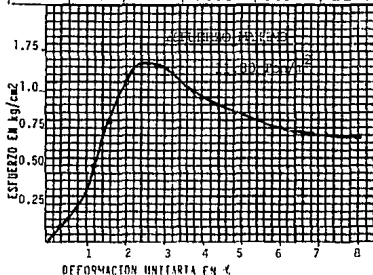
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	20	0.5	0.004	0.996	195.9	0.10
1	50	1	0.008	0.992	196.7	0.25
1.5	98	1.5	0.012	0.988	197.4	0.50
2	150	2	0.016	0.984	198.2	0.80
2.5	207	2.5	0.020	0.980	199.0	1.04
3	236	3	0.024	0.976	199.9	1.18
3.5	235	3.5	0.028	0.972	200.7	1.17
4	223	4	0.032	0.968	201.5	1.11
4.5	206	4.5	0.036	0.964	202.3	1.02
5	193	5	0.040	0.960	203.2	0.95
5.5	183	5.5	0.044	0.956	204.0	0.90
6	175	6	0.048	0.952	204.9	0.85
6.5	169	6.5	0.052	0.948	205.7	0.82
7	164	7	0.056	0.944	206.6	0.79
7.5	159	7.5	0.060	0.940	207.5	0.77
8	155	8	0.064	0.936	208.4	0.74
8.5	153	8.5	0.068	0.932	209.3	0.73
9	149	9	0.072	0.928	210.2	0.71
9.5	148	9.5	0.076	0.924	211.1	0.70
10	147	10	0.080	0.920	212.0	0.69

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1270  
 Humedad de prueba W2 % 31.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pc(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1038  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)Y}{10000}$  4120  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12355  
 Carga de Compactación kg. 1900

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.38  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 206.33  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.95  
 Peso del Agua en grs. 24.05  
 Contenido de Humedad en % 31.66  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1276  
 Grado de Comp. Corregido % 90.50  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 11.80



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

162

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**AVENIDA DE**  
**MEXICO**

Fecha: 22/JUNIO/89 Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
TOBA VOLCANICA.  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28  
 Humedad que contiene el Material W1: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2474  
 Peso Pastilla grs.: 4035 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1631

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.70 cm As = 193.59 cm<sup>2</sup> Wi = 4035 gr.  
 Dc = 15.75 cm Ac = 194.83 cm<sup>2</sup> Vt = 2474 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.80 cm Ai = 196.07 cm<sup>2</sup> Yc = 1631 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.70 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1168.98 = 194.83 cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: **Deformación Controlada 1mm/min.**

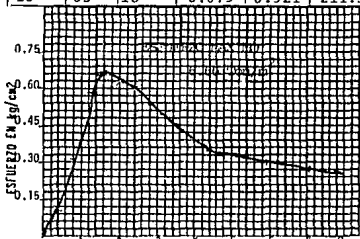
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	20	0.5	0.004	0.996	195.60	0.10
1	63	1	0.008	0.992	196.38	0.32
1.5	114	1.5	0.012	0.988	197.16	0.58
2	131	2	0.016	0.984	197.95	0.66
2.5	125	2.5	0.020	0.980	198.74	0.63
3	117	3	0.024	0.976	199.54	0.59
3.5	107	3.5	0.028	0.972	200.4	0.53
4	100	4	0.031	0.969	201.2	0.50
4.5	94	4.5	0.035	0.965	202.0	0.46
5	89	5	0.039	0.961	202.8	0.44
5.5	84	5.5	0.043	0.957	203.7	0.41
6	82	6	0.047	0.953	204.5	0.40
6.5	79	6.5	0.051	0.949	205.3	0.38
7	78	7	0.055	0.945	206.2	0.38
7.5	75	7.5	0.059	0.941	207.1	0.36
8	72	8	0.063	0.937	207.9	0.35
8.5	71	8.5	0.067	0.933	208.8	0.34
9	69	9	0.071	0.929	209.7	0.33
9.5	68	9.5	0.075	0.925	210.6	0.32
10	65	10	0.079	0.921	211.5	0.31

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1200  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 32.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)cm^3}{100 \cdot W_1}$  1102  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2)V}{10000}$  3935  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12170  
 Carga de Compactación kg. 1000  
**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**  
 Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 116.60  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 92.16  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.56  
 Peso del Agua en grs. 24.44  
 Contenido de Humedad en % 32.35  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1232  
 Grado de Comp. Corregido % 87.38  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 6.60

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



DEFORMACION UNITARIA EN CM

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

163

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**

**ARENA-ARCILLOSA (SC)**

Fecha: 13/JULIO/89. Material: TOBA VOLCANICA.

Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475

Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58

Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Mo.: 28

Humedad que contiene el Material Wt: 6.44 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2412

Peso Pastilla grs.: 3945 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1636



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.68 cm As = 193.10 cm<sup>2</sup> Wi = 3945 gr.  
 Dc = 15.675 cm Ac = 192.98 cm<sup>2</sup> Vt = 2412 cm<sup>3</sup>  
 O<sub>i</sub> = 15.67 cm A<sub>i</sub> = 192.85 cm<sup>2</sup> Ya = 1636 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.50 cm Am = As + 1/4Ac + A<sub>i</sub> = 1157.87 = 192.98 cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

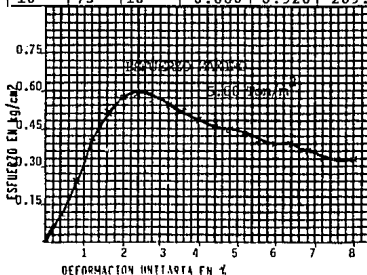
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
HIM	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	20	0.5	0.004	0.996	193.8	0.10
1	47	1	0.008	0.992	194.5	0.24
1.5	79	1.5	0.012	0.988	195.3	0.40
2	100	2	0.016	0.984	196.1	0.51
2.5	113	2.5	0.020	0.980	196.9	0.57
3	115	3	0.024	0.976	197.7	0.58
3.5	114	3.5	0.028	0.972	198.5	0.57
4	109	4	0.032	0.968	199.4	0.55
4.5	104	4.5	0.036	0.964	200.2	0.52
5	99	5	0.040	0.960	201.0	0.49
5.5	94	5.5	0.044	0.956	201.9	0.47
6	90	6	0.048	0.952	202.7	0.44
6.5	87	6.5	0.052	0.948	203.6	0.43
7	83	7	0.056	0.944	204.4	0.41
7.5	81	7.5	0.060	0.940	205.3	0.39
8	78	8	0.064	0.936	206.2	0.38
8.5	77	8.5	0.068	0.932	207.1	0.37
9	75	9	0.072	0.928	207.95	0.36
9.5	74	9.5	0.076	0.924	208.9	0.35
10	73	10	0.080	0.920	209.8	0.35

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1200  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 32.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)cm^3}{100 \cdot W_1}$  1102  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2)V}{10000}$  3935  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12,170  
 Carga de Compactación kg. 420

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + tara grs. 230.86  
 Peso Mat. Humedo grs. 100  
 Peso Mat. Seco + tara grs. 205.40  
 Peso Mat. Seco en grs. 74.54  
 Peso del Agua en grs. 25.46  
 Contenido de Humedad en % 34.16  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1219  
 Grado de Comp. Corregido % 86.45  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 5.80



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

164

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 12/JULIO/89 Material: ARENA ARCILLOSA (SC)  
TOBA VOLCANICA.  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Wo.: 28.0  
 Humedad que contiene el Material Wt: 5.28 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2453  
 Peso Pastilla grs.: 3935 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1604



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.67 cm As = 192.85 cm<sup>2</sup> Wl = 1935 gr.  
 Dc = 15.675 cm Ac = 192.98 cm<sup>2</sup> Vt = 2453 cm<sup>3</sup>  
 Dt = 15.68 cm At = 193.10 cm<sup>2</sup> Ym = 1604 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.71 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + At}{6} = \frac{192.85 + 4(192.98) + 193.10}{6} = \frac{1157.87}{6} = 192.98$  cm<sup>2</sup>

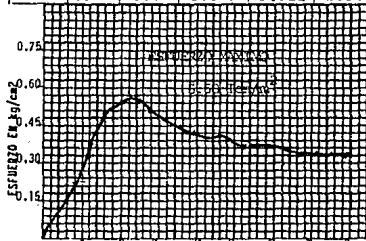
Velocidad de Aplicación de la Carga: Deformación Controlada 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	17	0.5	0.004	0.996	193.74	0.09
1.0	42	1.0	0.008	0.992	194.51	0.22
1.5	74	1.5	0.012	0.988	195.28	0.38
2.0	98	2.0	0.016	0.984	196.07	0.50
2.5	107	2.5	0.020	0.980	196.85	0.54
3.0	108	3.0	0.024	0.976	197.65	0.55
3.5	103	3.5	0.028	0.972	198.44	0.52
4.0	96	4.0	0.031	0.969	199.25	0.48
4.5	91	4.5	0.035	0.965	200.06	0.45
5.0	87	5.0	0.039	0.961	200.88	0.43
5.6	83	5.5	0.043	0.957	201.7	0.41
6.0	81	6.0	0.047	0.953	202.5	0.40
6.5	78	6.5	0.051	0.949	203.4	0.38
7.0	77	7.0	0.055	0.945	204.2	0.38
7.5	75	7.5	0.059	0.941	205.1	0.37
8.0	74	8.0	0.063	0.937	205.9	0.36
8.5	73	8.5	0.067	0.933	206.8	0.35
9.0	71	9.0	0.071	0.929	207.7	0.34
9.5	70	9.5	0.075	0.925	208.6	0.34
10.0	69	10.0	0.079	0.921	209.5	0.33

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1200  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 32.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 1152  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  grs. 3935  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 12170  
 Carga de Compactación kg. 650  
 COMPRESION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.55  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 205.56  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.01  
 Peso del Agua en grs. 24.99  
 Contenido de Humedad en % 33.31  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1203  
 Grado de Comp. Corregido % 85.32  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 5.50

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$



ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

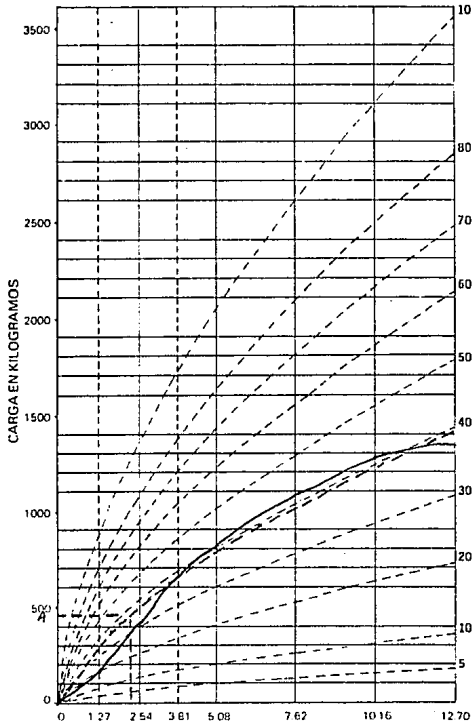
DEFORMACION UNITARIA EN %

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 5/JULIO/90. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima No. % 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: % 9.75 Vol. Pastillo grs. 2481  
 Peso de la Pastilla grs. 4475 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1804



C A L C U L O S

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W2 % 28.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 748  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{A(100+W2)}{10000}$  grs. 4467  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 165  
 2.54 mm. (0.10") 410  
 3.81 mm. (0.15") 655  
 5.08 mm. (0.20") 810  
 7.62 mm. (0.30") 1075  
 10.16 mm. (0.40") 1280  
 12.70 mm. (0.50") 1315

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.89  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 209.95  
 Peso Mat. Seco en grs. 79.06  
 Peso del Agua en grs. 20.94  
 Contenido de Humedad en % 26.48  
 % Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1426  
 Grado de Comp. Corregido % 101.13  
 V.R.S. Corregido % 35.15



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 5/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima No. 28.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 7.0 Vol. Pastillón grs. 24.72  
 Peso de la Pastilla grs. 4450 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1800

C A L C U L O S

Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub>% 28.0  

$$\text{Agua/Agregar} = \frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1} \text{ cm}^3$$
 883  

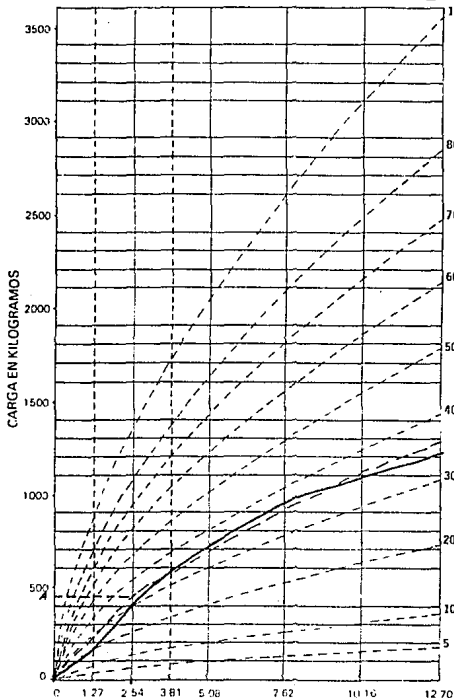
$$\text{Peso Mat. Hum. } P_w = \frac{3(100 + W_2) V}{10000} \text{ grs.}$$
 4467  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 160  
 2.54 mm. (0.10") 400  
 3.81 mm. (0.15") 580  
 5.08 mm. (0.20") 725  
 7.62 mm. (0.30") 965  
 10.16 mm. (0.40") 1095  
 12.70 mm. (0.50") 1215

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.46  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.43  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.97  
 Peso del Agua en grs. 22.03  
 Contenido de Humedad en % 28.25  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1404  
 Grado de Comp. Corregido % 99.57  
 V.R.S. Corregido % 29.41



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 3 / JULIO / 89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima W<sub>o</sub> % 28.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 11.0 Vol. Pastillo grs. 2458  
 Peso de la Pastilla grs. 4470 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1818

C A L C U L O S

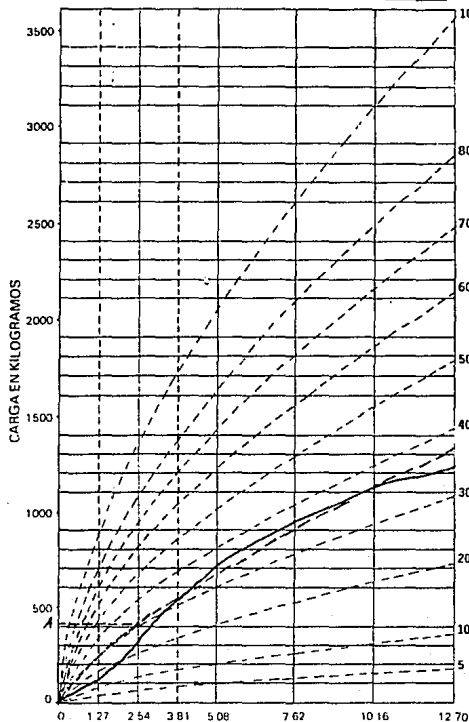
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1410  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub>% 28.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 689  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4467  
 Peso Equipo + Material Húmedo grs. 12702  
 Carga de Compactación kg. 10500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 125  
 2.54 mm. (0.10") 320  
 3.81 mm. (0.15") 530  
 5.08 mm. (0.20") 715  
 7.62 mm. (0.30") 970  
 10.16 mm. (0.40") 1140  
 12.70 mm. (0.50") 1225

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 1  
 Peso Mat. Húmedo + Tara grs. 230.85  
 Peso Mat. Húmedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.75  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.90  
 Peso del Agua en grs. 22.10  
 Contenido de Humedad en % 28.38  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1416  
 Grado de Comp. Corregido % 100.43  
 V.R.S. Corregido % 23.53



27.77



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 5/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Mo. 8.28.0  
 Humedad que contiene el Material NI: % 7.0 Vol. Pastilla grs. 24.57  
 Peso de la Pastilla grs. 4305 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1752

CALCULOS

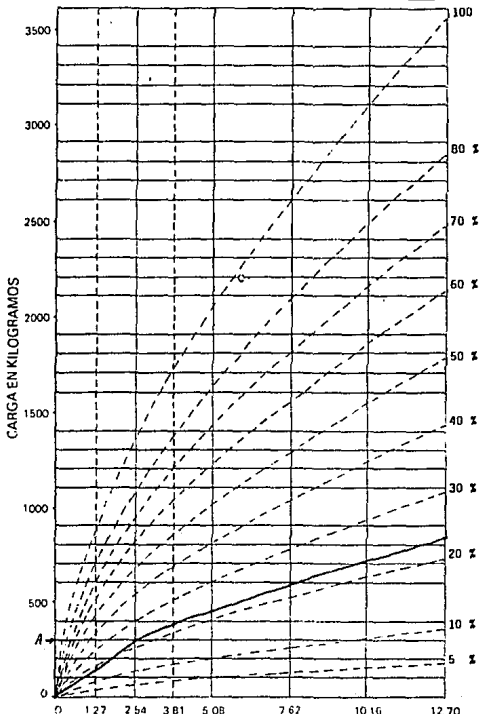
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1340  
 Humedad de prueba M2% 29.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pw(M2-M1)}{100+M1}$  cm<sup>3</sup> 946  
 Peso Mat. Hum.  $Pw = \frac{A(100+M2)W}{10000}$  grs. 4295  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12530  
 Carga de Compactación kg, 5000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 155  
 2.54 mm. (0.10") 300  
 3.81 mm. (0.15") 380  
 5.08 mm. (0.20") 460  
 7.62 mm. (0.30") 595  
 10.16 mm. (0.40") 715  
 12.70 mm. (0.50") 840

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.85  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 208.16  
 Peso Mat. Seco en grs. 77.31  
 Peso del Agua en grs. 22.69  
 Contenido de Humedad en % 29.35  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1354  
 Grado de Comp. Corregido % 96.03  
 V.R.S. Corregido % 22.06

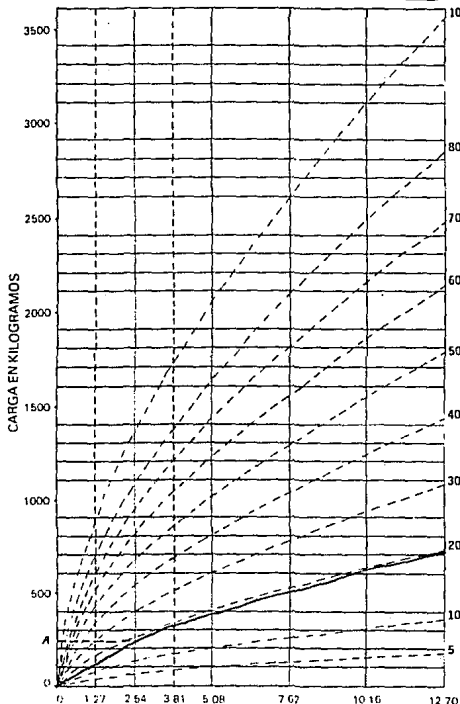


PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 3/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 28.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 11.0 Vol. Pastillo grs.: 2462  
 Peso de la Pastilla grs. 4295 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 1745



CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1340  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 29.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 750  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)V}{10000}$  grs. 4295  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12530  
 Carga de Compactación kg. 4750

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 110  
 2.54 mm. (0.10") 238  
 3.81 mm. (0.15") 315  
 5.08 mm. (0.20") 375  
 7.62 mm. (0.30") 505  
 10.16 mm. (0.40") 620  
 12.70 mm. (0.50") 730

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 2  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.56  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 207.38  
 Peso Mat. Seco en grs. 76.82  
 Peso del Agua en grs. 23.18  
 Contenido de Humedad en % 30.17  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1341  
 Grado de Comp. Corregido % 95.11  
 V.R.S. Corregido % 17.50

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Fecha: 3/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima Wo. % 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: % 11.0 Vol. Pastilla grs. 2438  
 Peso de la Pastilla grs. 4100 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1682

CALCULOS

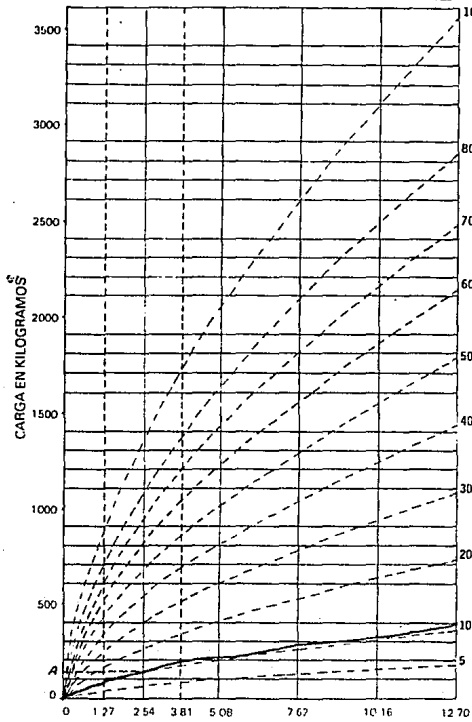
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1270  
 Humedad de prueba W2 % 31.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 810  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{A(100+W2)W}{10000}$  grs. 4118  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12353  
 Carga de Compactación kg. 1900

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 92  
 2.54 mm. (0.10") 145  
 3.81 mm. (0.15") 181  
 5.08 mm. (0.20") 212  
 7.62 mm. (0.30") 280  
 10.16 mm. (0.40") 338  
 12.70 mm. (0.50") 400

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 3  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.48  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 206.33  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.85  
 Peso del Agua en grs. 24.15  
 Contenido de Humedad en % 31.84  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1276  
 Grado de Comp. Corregido % 90.50  
 V.R.S. Corregido % 10.66



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

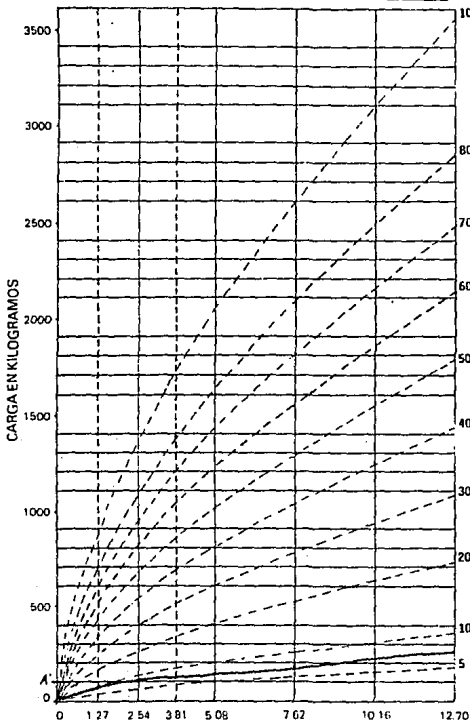
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 5/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Óptima No. % 28.0  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 6.39 Vol. Pastillo grs. 2435  
 Peso de la Pastilla grs. 4095 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1682



**C A L C U L O S**

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1270  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 31.0  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 1040  
 Peso Mat. Hum.  $Pw = \frac{P(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4118  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12355  
 Carga de Compactación kg, 1750

**RESISTENCIA A LA PENETRACION**

1.27 mm. (0.05") 70  
 2.54 mm. (0.10") 101  
 3.81 mm. (0.15") 123  
 5.08 mm. (0.20") 143  
 7.62 mm. (0.30") 185  
 10.16 mm. (0.40") 223  
 12.70 mm. (0.50") 262

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.83  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 206.36  
 Peso Mat. Seco en grs. 75.53  
 Peso del Agua en grs. 24.47  
 Contenido de Humedad en % 32.40  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1270  
 Grado de Comp. Corregido % 90.07  
 V.R.S. Corregido % 7.43

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 3/JULIO/89 Material: ARENA-ARCILLOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde  $\text{cm}^3$  2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga  $\text{cm}$ : 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1410 Humedad Óptima No. 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: % 11.0 Vol. Pastillo grs. 2443  
 Peso de la Pastilla grs. 3940 Peso Volumétrico Pastilla  $\text{kg}/\text{m}^3$  1613

CALCULOS

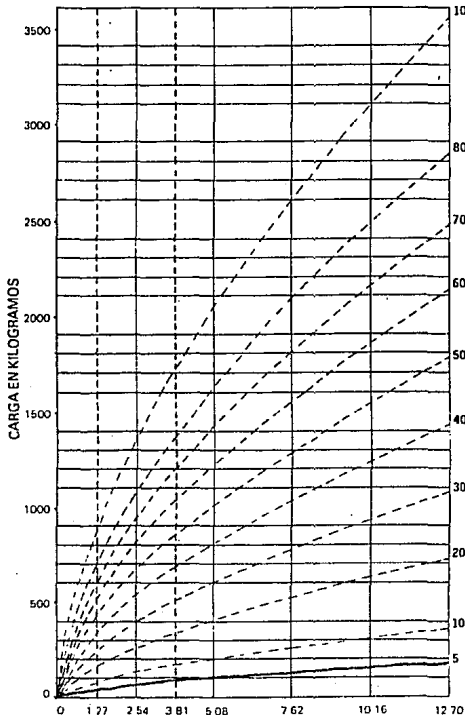
Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en  $\text{kg}/\text{m}^3$  1200  
 Humedad de prueba W2% 32.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$   $\text{cm}^3$  872  
 Peso Mat. Hum.  $Pw = \frac{W(100+W2)V}{10000}$  grs. 3935  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12170  
 Carga de Compactación  $\text{kg}$ , 900

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 52  
 2.54 mm. (0.10") 73  
 3.81 mm. (0.15") 89  
 5.08 mm. (0.20") 105  
 7.62 mm. (0.30") 136  
 10.16 mm. (0.40") 165  
 12.70 mm. (0.50") 195

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 4  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.35  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 205.21  
 Peso Mat. Seco en grs. 74.86  
 Peso del Agua en grs. 25.14  
 Contenido de Humedad en % 33.58  
 Peso Vol. Seco Corregido  $\text{kg}/\text{m}^3$  1208  
 Grado de Comp. Corregido % 85.67  
 V.R.S. Corregido % 5.37



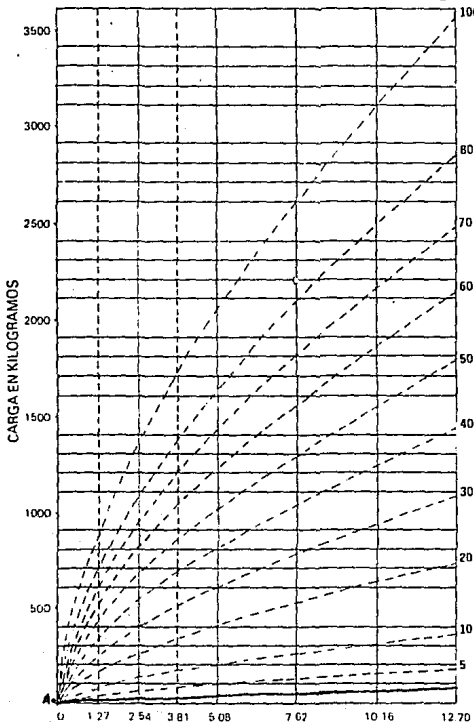
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 5/JULIO/89. Material: ARENA-ARCILOSA (SC)  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8235 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 1410 Humedad Optima Mo. % 28.0  
 Humedad que contiene el Material W1: % 6.39 Vol. Pastillo grs. 2435  
 Peso de la Pastilla grs. 3930 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1614



C A L C U L O S

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1200  
 Humedad de prueba W2% 32.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 1104  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{A(100+W2)V}{10000}$  grs. 3935  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12170  
 Carga de Compactación kg. 420

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05°) 20  
 2.54 mm. (0.10°) 28  
 3.81 mm. (0.15°) 36  
 5.08 mm. (0.20°) 40  
 7.62 mm. (0.30°) 52  
 10.16 mm. (0.40°) 65  
 12.70 mm. (0.50°) 78

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. 5  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. 230.43  
 Peso Mat. Humedo grs. 100.00  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. 205.04  
 Peso Mat. Seco en grs. 74.61  
 Peso del Agua en grs. 25.39  
 Contenido de Humedad en % 34.03  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1204  
 Grado de Comp. Corregido % 8539  
 V.R.S. Corregido % 2.06



**IV.5.- RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS EN MATERIAL:****G R A V A - C O N T R O L A D A**



UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA

175

TESIS PROFESIONAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS PARA BARRAS Y SOBRECARGAS

TIPO DE SUELO: GRAVA CONTROLADA 60-40  
UBICACION: GRAVA CALIZA, MINA LOS  
CONEJOS, EDO. HIDALGO Y TOBA VOL.  
LABORATORIO: BANCO LA PALMA, COACALCO,  
EDO. DE MEXICO

OBJETIVO: ESTABILIZACION MECANICA  
60-40 PARA MEJORAR G SANULOMETRIA

Numero de muestra: 1632  
Fecha de ensayo: 2218

PVSM: 2040  
Módulo de elasticidad: 8.7

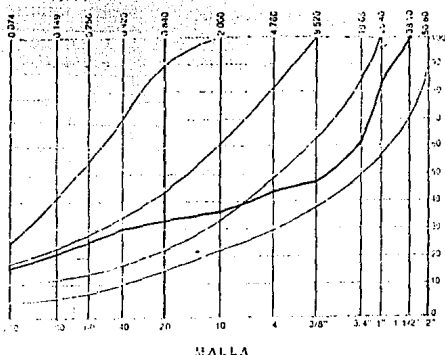
11.2" 100  
10" 83  
9.4" 61  
8.8" 47  
8.2" 44  
7.6" 36  
7.0" 33  
6.4" 30  
5.8" 26  
5.2" 21  
4.6" 16

VRS (estándar): 106  
Coeficiente de fricción: 0.16

Material de ensayo: FALTA DE DATOS MAYOR

ARRECIACION: 0.528  
DENSIDAD: 2.60

GRANICACION Y POSICION CALIBRO CURVA



INDICE DE AGREGADO	36.24	FORMA HUMECADO (MAD)	138
INDICE DE AGREGADO	23.33	CONTRACCION LINEAL	3.5
INDICE DE AGREGADO	12.91		

ELABORADOR:

REVISOR:

RECIBIDO POR:



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS

PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

MATERIAL: GRAVA CONTROLADA

FECHA: \_\_\_\_\_

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL RETENIDO MALLA No. 4

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL, Grs.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2"				
1½"			0	100
1"	4.250	17.0	17	83
¾"	5.580	22.0	39	61
½"				
⅜"	3.490	14.0	53	47
¼"				
No. 4	1.290	5.0	58	42
PASA No. 4	10.390	42.0	100	
SUMA	25.000			

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA No. 4 (POR LAVADO)

MALLA No.	PESO RETENIDO PARCIAL, Grs.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
10	72.3	14.0	14	36
20	34.9	7.0	21	33
40	38.0	8.0	29	30
60	44.9	9.0	38	26
100	90.1	18.0	56	21
200	29.8	6.0	62	16
PASA No. 200	190.0	38.0	100	
SUMA	500.0			

## GRAVA CONTROLADA

Al inicio de este trabajo de Tesis, se estableció el análisis de cuatro materiales, tratando de cubrir los casos más comunes que se presentan en las obras de Ingeniería. Contemplando el análisis de un material con características de -- "Grava Controlada".

Considerando que este material tiene mayor grado de dificultad, se decidió estudiar después de haber analizado a los otros tres materiales con el fin de obtener experiencia y práctica al realizar las pruebas.

Al estudiar este material nos encontramos con dos problemas, que describiremos a continuación:

## 1er. Problema:

Se planteó reproducir los pesos volumétricos, tal como lo establece la prueba Porter Modificada en los diferentes grados de compactación de 100, 95, 90 y 85% con humedades de  $w_o$ ,  $w_o + 1.5$ ,  $w_o + 3.0$  y  $w_o + 4.5$ , respectivamente.

Se reprodujo el 100% de grado de compactación con humedad óptima, en el cual se aplicó la prueba de VRS, obteniéndose un valor del orden de 150%. A continuación se reprodujo el 95% del grado de compactación, encontrándose al aplicar la prueba de VRS un valor de 35%, dado que se consideró un tanto absurdo. No convencidos con el resultado de VRS, se reprodujo el 90% de grado de compactación con una humedad de  $w_o + 3.0\%$  y el resultado continuó bajando irrazonablemente, ahora se obtenía un valor del 20% de VRS.

Estos resultados se consideraron incongruentes.

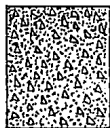
Analizando las características particulares de cada uno de los materiales -- que componen la mezcla, se deduce que el agua agregada afecta exclusivamente a la toba volcánica, por lo que fué necesario hacer un ajuste en la cantidad de agua por agregar, como se ilustra a continuación.

TOBA 2
GRAVA 3

Relación en peso de acuerdo a la selección de mezcla de los materiales (60-40) en peso.



$W_0 = 8.7\%$  de la mezcla  
 Tamaño de la muestra  
 seleccionado para el  
 borar las probetas = 6 kg.



Tamaño muestra = 6 kg.  
 Grava = 3600 kg.  
 Toba = 2400 kg.  
 $W_1 = 1.87\%$

Calculando la cantidad de agua por agregar para un grado de compactación del 100% se emplea la fórmula siguiente:

$$\text{Agua por agregar} = \frac{Em(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$$

En donde:  $W_2 = W_0$  Para un grado de compactación del 100%

Sustituyendo:

$$\text{Agua} = \frac{6000(8.7 - 1.87)}{101.87} = 402.3 \text{ cc.}$$

La cantidad de agua por agregar para el 95% de grado de compactación se calcula utilizando la humedad de prueba, siendo igual a la humedad óptima más 1.5% de humedad, que en este caso es de  $8.7 + 1.5 = 10.2\%$  de humedad.

Calculando el agua por agregar se tiene:

$$\text{Agua} = \frac{6000(10.2 - 1.87)}{100 + 1.87} = 490.6 \text{ cc.}$$

Al realizar con esta humedad la prueba de VRS, su valor se reduce exageradamente. Analizando las características específicas de los materiales, se deduce que el VRS disminuye debido a que el agua afecta exclusivamente a la toba volcánica. Para un incremento de agua de  $90 \text{ cm}^3$  afecta a la parte susceptible de - - 2400 grs. de material, como consecuencia, la toba volcánica no sufre un incremento de humedad de 1.5%, sino un incremento aproximado de 3.75% de humedad, de ahí que el VRS baje su valor en forma exagerada.

Para solucionar este problema se planteó lo siguiente:

Tenemos una mezcla de dos materiales formada por cinco partes; tres partes -

son de grava caliza y las otras dos partes de toba volcánica. De la grava caliza se determinó su absorción y humedad natural encontrándose de 0.52% y 0.75%, respectivamente, la absorción la consideramos insignificante para fines prácticos - de la mezcla y consideramos que el material que absorbe exclusivamente al agua - es la toba volcánica, por lo que el agua por agregar se puede calcular haciendo el siguiente análisis:

TOBA 2	$1 - 0.3$ $1 - 0.3$ $= 0.6\%$	} Parte sensible	Si el incremento de humedad debe ser de 1.5% en función del peso total de la muestra, al repartir 1.5% entre las 5 partes se tiene que les tocaría absorber 0.3% de humedad a cada parte, pero solo tenemos dos partes sensibles: por
GRAVA 3	$1 - 0.3$ $1 - 0.3$ $1 - 0.3$ $= 1.5\%$		

lo tanto, el incremento de humedad es de 0.6% con respecto al peso total de la muestra de esta forma la toba volcánica sufriría un incremento de humedad de - - 1.5%

Por lo tanto el agua por agregar se calculará en función de la humedad de - - prueba  $W_2$ , que quedará como a continuación se indica.

Humedad de prueba	$W_0$	$W_0 + 0.6$	$W_0 + 1.2$	$W_0 + 1.8$
Grado de compactación	100	95	90	85
Humedad de prueba	8.7%	9.3%	9.9%	10.5%

NOTA: El incremento de humedad de 1.5% en la toba volcánica, al incrementar - la humedad en 0.6% con respecto al peso total; se comprobó determinando humedades de toba volcánica obtenidas de algunas mezclas, tomando exclusivamente material fino.

## 2do. Problema:

Determinación de la humedad.

En los tres primeros materiales la humedad se determinó de la siguiente manera: una vez incorporada la humedad, se procedía a pesar la cantidad de material a depositar en el molde para compactar, de acuerdo al grado de compactación a reproducir, pesando en forma paralela 200 grs. para determinar la humedad del espécimen.

Se pesaba en paralelo debido a la influencia de las condiciones ambientales, que marcaban un cambio considerable en la humedad de prueba, tomando en cuenta que el tiempo mínimo de ejecución de las pruebas de C.S. o VRS era de 7 minutos como mínimo, además de observar que al tomar una humedad de la probeta y una humedad del material recién mezclado se presentaba una diferencia hasta del 3% de humedad; se decidió tomar la muestra de humedad del material recién mezclado y homogeneizado.

Al realizar las primeras pruebas en el material estabilizado (Grava caliza-toba volcánica), pretendimos calcular la humedad pesando en paralelo como en los materiales anteriores, solo que con una cantidad de 500 grs. por tratarse de una muestra que contiene grava.

Al determinar las humedades daban la apariencia de estar cambiadas o presentaban el mismo valor para grados de compactación diferentes; es decir que una humedad correspondiente a un 90% se asemejara a una de 100% de grado de compactación, cosa que no es lógica. Analizando este punto se encontró que esto se debía al efecto que produce el hecho de pesar una grava más o una grava menos en la muestra para determinar la humedad.

Para solucionar este problema se realizó lo siguiente:

- 1.- Primero se verificó que la cantidad de agua agregada nos diera la humedad deseada, esto se verificó en el problema número 1 de la grava controlada.
- 2.- Conociendo los pesos volumétricos secos que se pretenden reproducir, con sus respectivas humedades de prueba y el volumen que debe ocupar el material compactado, podemos calcular el peso del material húmedo.
- 3.- Con el peso del material húmedo y sabiendo que la mezcla tiene una humedad  $W_1 = 1.87\%$  y la humedad de prueba establecida, se calcula el peso de material estabilizado que contiene una humedad de 1.87%.
- 4.- Cálculo de agua por agregar: Conociendo el peso del material estabilizado con humedad inicial de 1.87% para cada grado de compactación y la humedad de prueba, se calcula el agua por agregar para cada uno de los grados de compactación.
- 5.- Una vez conociendo el peso del material que contiene humedad inicial de 1.87% calculamos la cantidad de grava y toba volcánica sabiendo que la mezcla tiene una relación en peso de 60-40.

Una vez calculadas las partes exactas de cada material más el agua por agregar mezcladas constituirían el peso húmedo, que compactado al grado establecido en rasara el molde, del cual se extraerá para determinar la humedad del espécimen completo.

Una vez elaborados los especímenes se introdujeron al horno dejándolos secar - hasta peso constante. Los resultados obtenidos se anexan en la siguiente hoja.

6.-Una vez teniendo bien definida la influencia de las condiciones ambientales así como el conocimiento de la humedad de los materiales y el agua por agregar para reproducir las humedades deseadas en los grados de compactación correspondientes, se procedió a reproducir en forma paralela dos especímenes para ensayarse, uno en VRS y el otro en Compresión Simple. De esta manera - se trató hasta donde fué posible de reproducir dos especímenes idénticos. Con el fin de no determinar a cada espécimen la humedad de prueba de acuerdo al problema planteado de humedad.

Nota: Se trabajó diariamente para evitar alteraciones en el material. Siempre se - trabajó a las mismas horas, 18.00 Hrs. p. m. en adelante, comprobando diariamente la humedad de los materiales. De acuerdo a la experiencia en cada prueba se perdía por evaporación en las charolas de mezclado de 10 a 15 cm<sup>3</sup> de agua, la cual -- era compensada adicionando esta cantidad ( no aparece en tablas de cálculos ).





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 182  
 'ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN'  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS' ÁREA DE ING. CIVIL,  
**PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE**  
 TESIS PROFESIONAL

GRAVA CONTROLADA 60-40

ENSAYE No. _____ FECHA _____ LABORATORISTA _____ EQUIPO No. _____				
PESO (P <sub>g</sub> ) DEL MOLDE, COLLARIN Y BASE, grs. <u>8220</u>	VOLUMEN (V) DEL MOLDE, cm <sup>3</sup> <u>2475</u>			
ALTURA (h) DEL BORDE SUPERIOR DEL COLLARIN A LA PLACA DE CARGA, cm. <u>7.58</u>				
PESO VOLUMETRICO SECO MÁXIMO (P <sub>m</sub> ), Kg/m <sup>3</sup> <u>2040</u>	HUMEDAD ÓPTIMA (W <sub>o</sub> ) <u>8.7%</u>			
HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (W <sub>1</sub> ) <u>1.87%</u>				
GRADO DE COMPACTACION, %	100	95	90	85
PESO VOLUMETRICO SECO (P <sub>s</sub> ) Kg/dm <sup>3</sup>	2040	1940	1836	1734
HUMEDAD DE PRUEBA (W <sub>1</sub> )	8.7	9.3	9.9	10.5
AGUA POR AGREGAR, cm <sup>3</sup> = $\frac{5000 (W_2 - W_1)}{100 - W_1}$	345	357	365	371
PESO MAT. HUMEDO, CRT. P <sub>w</sub> = $\frac{P_s (100 + W_2)}{100}$	5488	5248	4994	4742
PESO DEL EQUIPO CON EL MAT. HUMEDO, CRT. = P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub>	13708	13468	13214	12962
CARGA DE COMPACTACION, Kp	20000	10000	3500	1050

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y DEL GRADO DE COMPACTACION**

No. DEL RECIPIENTE	1	2	3	4
PESO MUESTRA HUMEDA + RECIPIENTE, grs. (1)	100	95	90	85
VOL. DE MUESTRA CM <sup>3</sup>	2465	2452	2450	2444
PESO MUESTRA HUMEDA, grs. = (1) - (2) + (3)	5470	5250	4985	4730
ALTURA PROMEDIO CM	12.72	12.68	12.64	12.64
DIAMETRO PROMEDIO CM	15.71	15.69	15.71	15.69
PESO MUESTRA SECA, grs. = (4) - (2) + (5)	5035	4800	4540	4275
HUMEDAD = $\frac{(2) - (1)}{(5)}$ 100	8.64	9.37	9.86	10.64
PESO VOL. SECO (P <sub>s</sub> ) CORREGIDO, Kg/m <sup>3</sup>	2042	1957	1853	1749
GRADO DE COMPACTACION CORREGIDO, %	100.12	95.96	90.83	85.74

Determinación de cantidades exactas para cada probeta.

Cantidad de material mezclado W <sub>1</sub> grs.	5144	4891	4629	4372
Cantidad de grava por pesar grs.	3806	2935	2777	2623
Cantidad de toba volc. por pesar grs.	2058	1956	1852	1749

Nota: Obsérvese que el agua por agregar, se calculó con cada uno de los pesos de material mezclado con W<sub>1</sub>, en vez de manejar 5000 ó 6000 grs. que usualmente se maneja. Esto se debe al interés de depositar el 100% del material mezclado y determinar la humedad en el espécimen completo.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

183

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 24-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2513  
 Peso Pastilla grs.: 5470 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2177

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.77 cm As = 195.3 cm<sup>2</sup> Wl = 5470 gr.  
 Dc = 15.755 cm Ac = 194.95 cm<sup>2</sup> Vt = 2513 cm<sup>3</sup>  
 D1 = 15.74 cm A1 = 194.58 cm<sup>2</sup> Ym = 2177 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.89 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + A1}{6} = \frac{195.3 + 4(194.95) + 194.58}{6} = 195.7$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	55	0.5	0.004	0.996	195.7	0.281
1	220	1	0.008	0.992	196.5	1.120
1.5	550	1.5	0.012	0.988	197.2	2.788
2	925	2	0.016	0.984	198.0	4.671
2.5	1270	2.5	0.019	0.981	198.8	6.388
3	1470	3	0.023	0.977	199.6	7.365
3.5	1510	3.5	0.027	0.973	200.4	7.535
4	1510	4	0.031	0.969	201.2	7.505
4.5	1475	4.5	0.035	0.965	202.0	7.302
5	1420	5	0.039	0.961	202.8	7.001
5.5	1350	5.5	0.043	0.957	203.6	6.629
6	1300	6	0.047	0.953	204.5	6.358
6.5	1250	6.5	0.050	0.950	205.3	6.089
7	1175	7	0.054	0.946	206.1	5.700
7.5	1125	7.5	0.058	0.942	207.0	5.435
8	1075	8	0.062	0.938	207.8	5.172
8.5	1010	8.5	0.066	0.934	208.7	4.839
9	960	9	0.070	0.930	209.6	4.581
9.5	910	9.5	0.074	0.926	210.5	4.324
10	875	10	0.078	0.922	211.3	4.140

CALCULOS

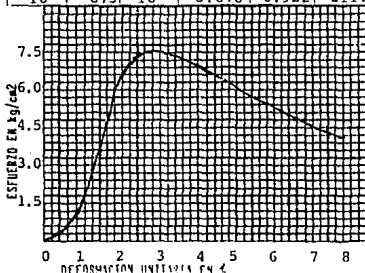
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 2040  
 Humedad de prueba W2 % 8.7  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 402  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  5488  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15695  
 Carga de Compactación kg. 21000

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 8.7  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 2003  
 Grado de Comp. Corregido % 98.19  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 75.35

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

184

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

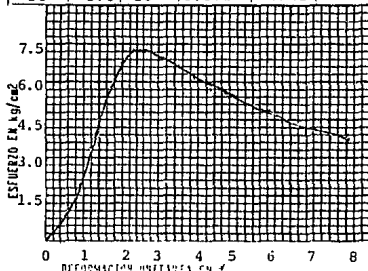
Fecha: 24-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2501  
 Peso Pastilla grs.: 5475 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2189

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.79 cm As = 195.8 cm<sup>2</sup> Wl = 5475 gr.  
 Dc = 15.76 cm Ac = 195.1 cm<sup>2</sup> Vt = 2501 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.73 cm Ai = 194.3 cm<sup>2</sup> Va = 2189 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.82 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1170.6 = 195.1 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO	CALCULOS	
							Grado de Compactación %	100
0.5	125	0.5	0.004	0.996	195.9	0.635	Peso Vol. Seco en kg/ m <sup>3</sup>	2040
1	350	1	0.008	0.992	196.7	1.779	Humedad de prueba W2 %	8.7
1.5	725	1.5	0.012	0.988	197.4	3.673	Agua/Agregar = $\frac{Pm(W2-W1)}{100 \cdot W1}$ cm <sup>3</sup>	402
2	1150	2	0.016	0.984	198.2	5.302	Peso Mat. Hum. = $\frac{(100+W2)V}{10000}$	5450
2.5	1410	2.5	0.020	0.980	199.0	7.036	Peso Equipo + Mat. Hum. grs.	15695
3	1500	3	0.023	0.977	199.8	7.508	Carga de Compactación kg.	21000
3.5	1505	3.5	0.027	0.973	200.6	7.503	COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION	
4	1470	4	0.031	0.969	201.4	7.300	Capsula No.	-----
4.5	1400	4.5	0.035	0.965	202.2	6.924	Peso Mat. Humedo + Tara grs.	-----
5	1325	5	0.039	0.961	203.0	6.527	Peso Mat. Humedo grs.	-----
5.5	1275	5.5	0.043	0.957	203.8	6.255	Peso Mat. Seco + Tara grs.	-----
6	1215	6	0.047	0.953	204.7	5.936	Peso Mat. Seco en grs.	-----
6.5	1150	6.5	0.051	0.949	205.5	5.596	Peso del Agua en grs.	-----
7	1100	7	0.055	0.945	206.4	5.330	Contenido de Humedad en %	8.7
7.5	1075	7.5	0.059	0.941	207.2	5.188	Peso Vol. Seco Corregido kg/ m <sup>3</sup>	2014
8	1015	8	0.062	0.938	208.1	4.878	Grado de Comp. Corregido %	98.73
8.5	975	8.5	0.066	0.934	209.0	4.667	Esfuerzo Mixto ton/m <sup>2</sup>	75.08
9	940	9	0.070	0.930	209.8	4.480		
9.5	900	9.5	0.074	0.926	210.7	4.271		
10	870	10	0.078	0.922	211.6	4.111		



Nota: AREA CORREG. = Am  
 1-Def. unit.

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

185

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 26-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.50  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material Wt: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2461  
 Peso Pastilla grs.: 5250 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2133

MEIDAS DE LA MUESTRA:

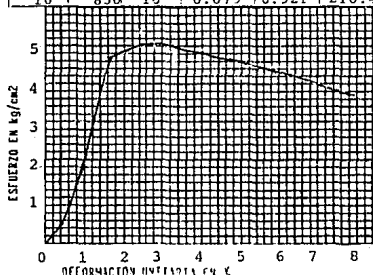
Ds = 15.76 cm As = 195.1 cm<sup>2</sup> Wt = 5250 gr.  
 Dc = 15.71 cm Ac = 193.8 cm<sup>2</sup> Vt = 2461 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.66 cm Ni = 192.6 cm<sup>2</sup> Ym = 2133 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.70 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{195.1 + 4(193.8) + 192.6}{6} = 193.8$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO MIN	CARGA kg.	DEFORMACION TOTAL cm.	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
0.5	95	0.5	0.004	0.996	194.6	0.488
1	310	1	0.008	0.992	193.3	1.567
1.5	650	1.5	0.012	0.988	196.1	3.314
2	965	2	0.016	0.984	196.9	4.901
2.5	1010	2.5	0.020	0.980	197.7	5.109
3	1040	3	0.024	0.976	198.5	5.240
3.5	1045	3.5	0.028	0.972	199.3	5.244
4	1045	4	0.032	0.968	200.1	5.222
4.5	1030	4.5	0.035	0.965	200.9	5.126
5	1015	5	0.039	0.961	201.7	5.031
5.5	1000	5.5	0.043	0.957	202.6	4.936
6	985	6	0.047	0.953	203.4	4.842
6.5	970	6.5	0.051	0.949	204.3	4.749
7	950	7	0.055	0.945	205.1	4.632
7.5	930	7.5	0.059	0.941	206.0	4.515
8	910	8	0.063	0.937	206.8	4.400
8.5	890	8.5	0.067	0.933	207.7	4.285
9	865	9	0.071	0.929	208.6	4.147
9.5	845	9.5	0.075	0.925	209.5	4.034
10	830	10	0.079	0.921	210.4	3.946

CALCULOS

Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 438  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)W}{10000}$  5250  
 Peso Equipo + Mat. Hua. grs. 15455  
 Carga de Compactación kg. 11100  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1952  
 Grado de Comp. Corregido % 95.69  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 52.44



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

186

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 26-1-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material Wt: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2499  
 Peso Pastilla grs.: 5250 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2101

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.81 cm As = 196.32 cm<sup>2</sup> Wi = 5250 gr.  
 Dc = 15.755 cm Ac = 194.95 cm<sup>2</sup> Vt = 2499 cm<sup>3</sup>  
 Dt = 15.70 cm At = 193.59 cm<sup>2</sup> Ym = 2101 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.82 cm Am = As + 4Ac + At = 1169.7 = 194.95 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: **DEFORMACION CONTROLADA** 1mm/min.



TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	95	0.5	0.004	0.996	195.7	0.485
1	300	1	0.008	0.992	196.5	1.527
1.5	680	1.5	0.012	0.988	197.3	3.445
2	975	2	0.016	0.984	198.0	4.923
2.5	1055	2.5	0.020	0.980	198.8	5.306
3	1070	3	0.023	0.977	199.6	5.360
3.5	1065	3.5	0.027	0.973	200.4	5.314
4	1050	4	0.031	0.969	201.2	5.219
4.5	1025	4.5	0.035	0.965	202.0	5.073
5	995	5	0.039	0.961	202.9	4.905
5.5	955	5.5	0.043	0.957	203.7	4.689
6	925	6	0.047	0.953	204.5	4.523
6.5	895	6.5	0.051	0.949	205.4	4.358
7	875	7	0.055	0.945	206.2	4.243
7.5	845	7.5	0.059	0.941	207.1	4.081
8	825	8	0.063	0.937	207.9	3.969
8.5	785	8.5	0.066	0.934	208.8	3.760
9	760	9	0.070	0.930	209.7	3.625
9.5	735	9.5	0.074	0.926	210.6	3.491
10	700	10	0.078	0.922	211.4	3.311

CALCULOS

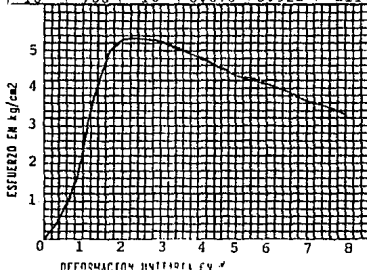
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_s(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 438  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  5250  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15455  
 Carga de Compactación kg. 11,400

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1922  
 Grado de Comp. Corregido % 94.22  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 53.60

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_s}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

187



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 26-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>t</sub>: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2484  
 Peso Pastilla grs.: 5225 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2103

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.78 cm      A<sub>s</sub> = 195.57 cm<sup>2</sup>      W<sub>l</sub> = 5225 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.745 cm      A<sub>c</sub> = 194.70 cm<sup>2</sup>      V<sub>t</sub> = 2484 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>i</sub> = 15.71 cm      A<sub>i</sub> = 193.64 cm<sup>2</sup>      W<sub>m</sub> = 2103 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.76 cm      A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_i}{6} = \frac{1168.20}{6} = 194.70$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO MIN	CARGA kg.	DEFORMACION TOTAL mm.	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
0.5	100	0.5	0.004	0.996	195.5	0.512
1	200	1	0.008	0.992	196.2	1.427
1.5	575	1.5	0.012	0.988	197.0	2.919
2	810	2	0.016	0.984	197.8	4.095
2.5	1000	2.5	0.020	0.980	198.6	5.035
3	1020	3	0.024	0.976	199.4	5.116
3.5	980	3.5	0.027	0.973	200.2	4.895
4	940	4	0.031	0.969	201.0	4.677
4.5	910	4.5	0.035	0.965	201.8	4.509
5	870	5	0.039	0.961	202.6	4.293
5.5	860	5.5	0.043	0.957	203.5	4.227
6	840	6	0.047	0.953	204.3	4.111
6.5	810	6.5	0.051	0.949	205.2	3.948
7	775	7	0.055	0.945	206.0	3.762
7.5	755	7.5	0.059	0.941	206.9	3.650
8	745	8	0.063	0.937	207.7	3.586
8.5	725	8.5	0.067	0.933	208.6	3.476
9	715	9	0.071	0.929	209.5	3.413
9.5	690	9.5	0.074	0.926	210.4	3.280
10	685	10	0.078	0.922	211.3	3.243

CALCULOS

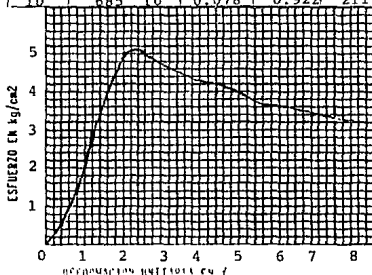
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>t</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_o(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 438  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  5250  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15455  
 Carga de Compactación kg. 11,200

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1924  
 Grado de Comp. Corregido % 94.31  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 51.16

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - D_{nf. unit.}}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

18B

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 26-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2476  
 Peso Pastilla grs.: 5270 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2126

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.78 cm As = 195.57 cm<sup>2</sup> Wl = 5270 gr.  
 Dc = 15.73 cm Ac = 194.33 cm<sup>2</sup> Vt = 2476 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.68 cm Ai = 193.10 cm<sup>2</sup> Ym = 2128 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.74 cm Am = As + 4Ac + Ai = 1165.98 = 194.33 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kn/cm <sup>2</sup>
0.5	100	0.5	0.004	0.996	195.1	0.513
1	305	1	0.008	0.992	195.9	1.557
1.5	600	1.5	0.012	0.988	196.6	3.051
2	850	2	0.016	0.984	197.4	4.305
2.5	945	2.5	0.020	0.980	198.2	4.767
3	1050	3	0.024	0.976	199.0	5.276
3.5	1055	3.5	0.027	0.973	199.8	5.280
4	990	4	0.031	0.969	200.6	4.934
4.5	960	4.5	0.035	0.965	201.4	4.766
5	940	5	0.039	0.961	202.3	4.647
5.5	915	5.5	0.043	0.957	203.1	4.505
6	890	6	0.047	0.953	203.9	4.364
6.5	860	6.5	0.051	0.949	204.8	4.200
7	840	7	0.055	0.945	205.6	4.085
7.5	805	7.5	0.059	0.941	206.5	3.900
8	780	8	0.063	0.937	207.4	3.762
8.5	760	8.5	0.067	0.933	208.2	3.650
9	740	9	0.071	0.929	209.1	3.539
9.5	720	9.5	0.075	0.925	209.9	3.429
10	705	10	0.078	0.922	210.9	3.343

CALCULOS

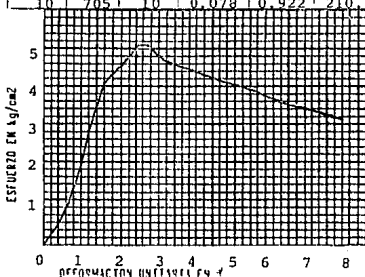
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_2(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> 438  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2) \cdot V}{10000}$  5250  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15455  
 Carga de Compactación kg. 11375

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1947  
 Grado de Comp. Corregido % 95.44  
 Esfuerzo Máximo ton/ac<sup>2</sup> 52.80

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

189



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 28-1-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Vo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2444  
 Peso Pastilla grs.: 4950 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2025

**MEDIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.74 cm As = 194.58 cm<sup>2</sup> Wt = 4950 gr.  
 Dc = 15.715 cm Ac = 193.96 cm<sup>2</sup> Vt = 2444 cm<sup>3</sup>  
 Dt = 15.69 cm At = 193.35 cm<sup>2</sup> Ym = 2025 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.60 cm Am = As + 4Ac + At = 1163.76 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	50	0.5	0.004	0.996	194.7	0.257
1	125	1	0.008	0.992	195.5	0.639
1.5	245	1.5	0.012	0.988	196.3	1.248
2	370	2	0.016	0.984	197.1	1.877
2.5	445	2.5	0.020	0.980	197.9	2.249
3	470	3	0.024	0.976	198.7	2.365
3.5	478	3.5	0.028	0.972	199.5	2.396
4	475	4	0.032	0.968	200.3	2.371
4.5	460	4.5	0.036	0.964	201.1	2.287
5	448	5	0.040	0.960	202.0	2.218
5.5	440	5.5	0.044	0.956	202.8	2.169
6	425	6	0.048	0.952	203.7	2.087
6.5	422	6.5	0.052	0.948	204.5	2.063
7	416	7	0.056	0.944	205.4	2.026
7.5	407	7.5	0.060	0.940	206.2	1.973
8	398	8	0.063	0.937	207.1	1.922
8.5	378	8.5	0.067	0.933	208.0	1.817
9	378	9	0.071	0.929	208.9	1.810
9.5	375	9.5	0.075	0.925	209.8	1.788
10	375	10	0.079	0.921	210.7	1.780

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W2 % 9.9  
 Agua/Agregar =  $Pm(W2-W1)cm^3$  473  
100\*W1  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100+W2)V}{10000}$  4995

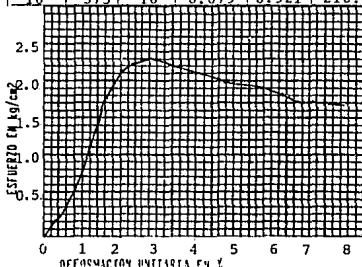
Peso Equipo + Mat. Huc. grs. 15,200  
 Carga de Compactación kg. 4,500

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1843  
 Grado de Comp. Corregido % 90.34  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 23.96

Nota: AREA CORREG.=  $\frac{As}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:





**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**LABORATORIO DE PAVIMENTOS**

190

**COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVETMA DE  
 MEXICO**

Fecha: 28-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumetrico Seco Maximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2436  
 Peso Pastilla grs.: 5005 Peso Volumetrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2055

**MEIDAS DE LA MUESTRA:**

Ds = 15.68 cm As = 193.10 cm<sup>2</sup> Wl = 5005 gr.  
 Dc = 15.67 cm Ac = 192.85 cm<sup>2</sup> Vt = 2436 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.66 cm Ai = 192.61 cm<sup>2</sup> Ym = 2055 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.63 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{193.10 + 4(192.85) + 192.61}{6} = 1157.13$  192.85 cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

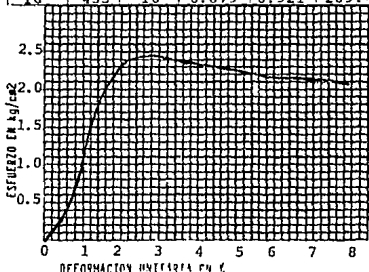
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	50	0.5	0.004	0.996	193.6	0.258
1	140	1	0.008	0.992	194.4	0.720
1.5	300	1.5	0.012	0.988	195.2	1.537
2	400	2	0.016	0.984	196.0	2.041
2.5	465	2.5	0.020	0.980	196.7	2.363
3	478	3	0.024	0.976	197.5	2.420
3.5	482	3.5	0.028	0.972	198.3	2.430
4	480	4	0.032	0.968	199.2	2.410
4.5	470	4.5	0.036	0.964	200.0	2.350
5	468	5	0.040	0.960	200.8	2.331
5.5	465	5.5	0.044	0.956	201.6	2.306
6	460	6	0.048	0.952	202.5	2.272
6.5	456	6.5	0.051	0.949	203.3	2.243
7	450	7	0.055	0.945	204.2	2.204
7.5	445	7.5	0.059	0.941	205.0	2.170
8	440	8	0.063	0.937	205.9	2.137
8.5	440	8.5	0.067	0.933	206.8	2.128
9	438	9	0.071	0.929	207.6	2.109
9.5	438	9.5	0.075	0.925	208.5	2.100
10	435	10	0.079	0.921	209.4	2.077

**CALCULOS**

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W2 % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)cm^3}{100 \cdot W1}$  473  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2)V}{10000}$  4995  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15,200  
 Carga de Compactación kg. 4,500

**COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION**

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1870  
 Grado de Comp. Corregido % 91.67  
 Esfuerzo Maximo Ton/m<sup>2</sup> 24.30



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

191

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

Fecha: 26 -I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2443  
 Peso Pastilla grs.: 5005 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2049

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.70 cm As = 193.59 cm<sup>2</sup> W1 = 5005 gr.  
 Dc = 15.68 cm Ac = 193.10 cm<sup>2</sup> Vt = 2443 cm<sup>3</sup>  
 Dt = 15.66 cm At = 192.61 cm<sup>2</sup> Ym = 2049 ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.65 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{193.59 + 4(193.10) + 192.61}{6} = 193.10$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

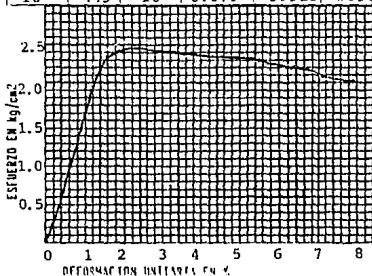
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	95	0.5	0.004	0.996	193.9	0.490
1	260	1	0.008	0.992	194.6	1.336
1.5	405	1.5	0.012	0.988	195.4	2.072
2	480	2	0.016	0.984	196.2	2.446
2.5	500	2.5	0.020	0.980	197.0	2.538
3	505	3	0.024	0.976	197.8	2.553
3.5	500	3.5	0.028	0.972	198.6	2.518
4	500	4	0.032	0.968	199.4	2.507
4.5	500	4.5	0.036	0.964	200.2	2.497
5	500	5	0.040	0.960	201.0	2.487
5.5	500	5.5	0.043	0.957	201.9	2.477
6	495	6	0.047	0.953	202.7	2.442
6.5	495	6.5	0.051	0.949	203.6	2.432
7	490	7	0.055	0.945	204.4	2.397
7.5	485	7.5	0.059	0.941	205.3	2.363
8	475	8	0.063	0.937	206.1	2.304
8.5	475	8.5	0.067	0.933	207.0	2.295
9	455	9	0.071	0.929	207.9	2.189
9.5	450	9.5	0.075	0.925	208.8	2.155
10	445	10	0.079	0.921	209.7	2.122

CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1830  
 Humedad de prueba W2 % 9.9  
 Agua/Agregar =  $\frac{Ps(W2-W1)}{100 \cdot W1}$  cm<sup>3</sup> 473  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W2) \cdot V}{10000}$  4995  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 15200  
 Carga de Compactación kg. 4500

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capaula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. ----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1864  
 Grado de Comp. Corregido % 91.37  
 Esfuerzo Mixto ton/m<sup>2</sup> 25.53



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

192

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZANDO  
 MEXICO

Fecha: 28-I-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima W<sub>o</sub>: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2442  
 Peso Pastilla grs.: 4975 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 2037

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.70 cm      A<sub>s</sub> = 193.59 cm<sup>2</sup>      W<sub>i</sub> = 4975 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.685 cm      A<sub>c</sub> = 193.22 cm<sup>2</sup>      V<sub>t</sub> = 2442 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>f</sub> = 15.67 cm      A<sub>f</sub> = 192.85 cm<sup>2</sup>      Y<sub>m</sub> = 2037 Ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.64 cm      A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_f}{6} = \frac{193.59 + 4(193.22) + 192.85}{6} = 193.22$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

TIEMPO TRANSCURRIDO MIN	CARGA kg.	DEFORMACION TOTAL mm.	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA cm <sup>2</sup>	ESFUERZO kg/cm <sup>2</sup>
0.5	46	0.5	0.004	0.996	194.0	0.237
1	130	1	0.008	0.992	194.8	0.667
1.5	272	1.5	0.012	0.988	195.5	1.391
2	395	2	0.016	0.984	196.3	2.012
2.5	460	2.5	0.020	0.980	197.1	2.334
3	478	3	0.024	0.976	197.9	2.415
3.5	485	3.5	0.028	0.972	198.7	2.441
4	472	4	0.032	0.968	199.5	2.366
4.5	461	4.5	0.036	0.964	200.4	2.301
5	449	5	0.040	0.960	201.2	2.232
5.5	439	5.5	0.044	0.956	202.0	2.173
6	429	6	0.047	0.953	202.8	2.115
6.5	420	6.5	0.051	0.949	203.7	2.062
7	414	7	0.055	0.945	204.5	2.024
7.5	408	7.5	0.059	0.941	205.4	1.986
8	404	8	0.063	0.937	206.3	1.959
8.5	395	8.5	0.067	0.933	207.2	1.907
9	390	9	0.071	0.929	208.0	1.875
9.5	382	9.5	0.075	0.925	208.9	1.828
10	372	10	0.079	0.921	209.8	1.773

CALCULOS

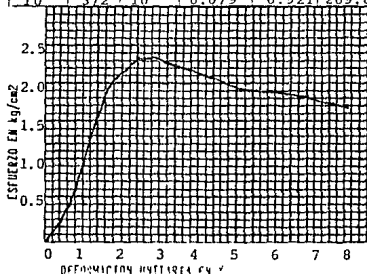
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.9  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 473  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)Y}{10000}$  4995  
 Peso Equivo + Mat. Hum. grs. 15,200  
 Carga de Compactación kg. 4,500

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1854  
 Grado de Comp. Corregido % 90.88  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 24.41

Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1 - Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



DEFORMACION UNITARIA CM Y

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

193

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 6-II-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2438  
 Peso Pastilla grs.: 4745 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1946



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AUTÓNOMA DE  
 MÉXICO

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.72 cm      A<sub>s</sub> = 194.09 cm<sup>2</sup>      W<sub>i</sub> = 4745 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.695 cm      A<sub>c</sub> = 193.47 cm<sup>2</sup>      V<sub>t</sub> = 2438 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>1</sub> = 15.67 cm      A<sub>1</sub> = 192.85 cm<sup>2</sup>      Y<sub>m</sub> = 1946 Ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.60 cm      A<sub>m</sub> =  $\frac{A_s + 4A_c + A_1}{6} = \frac{194.09 + 4(193.47) + 192.85}{6} = 193.47$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA mm/min.

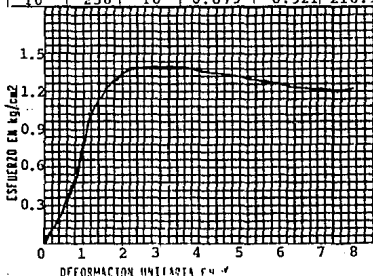
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	40	0.5	0.004	0.996	194.2	0.206
1	105	1	0.008	0.992	195.0	0.538
1.5	200	1.5	0.012	0.988	195.8	1.021
2	240	2	0.016	0.984	196.6	1.221
2.5	268	2.5	0.020	0.980	197.4	1.358
3	275	3	0.024	0.976	198.2	1.388
3.5	277	3.5	0.028	0.972	199.0	1.392
4	280	4	0.032	0.968	199.8	1.401
4.5	280	4.5	0.036	0.964	200.6	1.396
5	275	5	0.040	0.960	201.5	1.365
5.5	270	5.5	0.044	0.956	202.3	1.335
6	269	6	0.048	0.952	203.1	1.324
6.5	268	6.5	0.052	0.948	204.0	1.314
7	265	7	0.056	0.944	204.9	1.294
7.5	260	7.5	0.060	0.940	205.7	1.264
8	258	8	0.063	0.937	206.6	1.249
8.5	257	8.5	0.067	0.933	207.5	1.239
9	257	9	0.071	0.929	208.4	1.233
9.5	251	9.5	0.075	0.925	209.2	1.200
10	256	10	0.079	0.921	210.1	1.218

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1734  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 - W_1}$  cm<sup>3</sup> 508  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 - W_2)V}{10000}$  grs. 4745  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14,950  
 Carga de Compactación kg. 1,950

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula M. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1761  
 Grado de Comp. Corregido % 86.32  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 14.01



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{A_m}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

TESIS PROFESIONAL  
LABORATORIO DE PAVIMENTOS

194

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

Fecha: 6-II-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Wo.: 8.7  
 Humedad que contiene el Material Wt: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2433  
 Peso Pastilla grs.: 4735 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1946

MEDIDAS DE LA MUESTRA:

Ds = 15.73 cm As = 194.33 cm<sup>2</sup> Vt = 4735 gr.  
 Dc = 15.705 cm Ac = 193.72 cm<sup>2</sup> Vm = 2433 cm<sup>3</sup>  
 Di = 15.68 cm Ai = 193.10 cm<sup>2</sup> Vm = 1946 Ton/m<sup>3</sup>  
 Hm = 12.56 cm Am =  $\frac{As + 4Ac + Ai}{6} = \frac{1162.31}{6} = 193.72$  cm<sup>2</sup>

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.



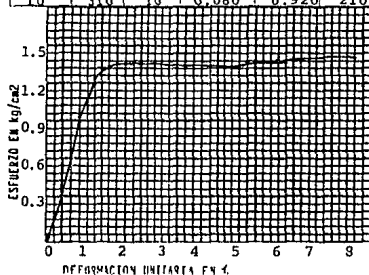
TIEMPO TRANSCU- RIDO	CARGA	DEFORMA- CION TOTAL	DEFORMA- CION UNITARIA	1.-DEFOR- MACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	mm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	69	0.5	0.004	0.996	194.5	0.355
1	193	1	0.008	0.992	195.3	0.988
1.5	256	1.5	0.012	0.988	196.1	1.306
2	273	2	0.016	0.984	196.9	1.387
2.5	281	2.5	0.020	0.980	197.7	1.422
3	281	3	0.024	0.976	198.5	1.416
3.5	285	3.5	0.028	0.972	199.3	1.430
4	283	4	0.032	0.968	200.1	1.414
4.5	282	4.5	0.036	0.964	200.9	1.404
5	283	5	0.040	0.960	201.8	1.403
5.5	282	5.5	0.044	0.956	202.6	1.392
6	283	6	0.048	0.952	203.4	1.391
6.5	291	6.5	0.052	0.948	204.3	1.424
7	294	7	0.056	0.944	205.2	1.433
7.5	296	7.5	0.060	0.940	206.0	1.437
8	299	8	0.064	0.936	206.9	1.445
8.5	303	8.5	0.068	0.932	207.8	1.458
9	306	9	0.072	0.928	208.7	1.466
9.5	310	9.5	0.076	0.924	209.6	1.479
10	310	10	0.080	0.920	210.5	1.473

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1734  
 Humedad de prueba W % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100-W1}$  cm<sup>3</sup> 508  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100-W2)V}{10000}$  grs. 4745  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14,950  
 Carga de Compactación kg. 1,750

COMPROBACION DE LA HUMEDAD  
Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. =-----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1761  
 Grado de Comp. Corregido % 86.32  
 Esfuerzo Máximo Ton/m<sup>2</sup> 14.79



Nota: AREA CORREG. =  $\frac{Am}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"  
 TESIS PROFESIONAL  
 LABORATORIO DE PAVIMENTOS

COMPRESION SIMPLE APLICADA A PORTER MODIFICADA

195



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVANZA DE  
 MEXICO

Fecha: 7-II-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup>: 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarín o Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/ m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Vo. % 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2462  
 Peso Pastilla grs.: 4730 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup>: 1921

MEODAS DE LA MUESTRA:

D<sub>s</sub> = 15.69 cm A<sub>s</sub> = 193.35 cm<sup>2</sup> W<sub>1</sub> = 4730 gr.  
 D<sub>c</sub> = 15.685 cm A<sub>c</sub> = 193.22 cm<sup>2</sup> V<sub>t</sub> = 2462 cm<sup>3</sup>  
 D<sub>i</sub> = 15.68 cm A<sub>i</sub> = 193.10 cm<sup>2</sup> Y<sub>m</sub> = 1.921 ton/m<sup>3</sup>  
 H<sub>m</sub> = 12.74 cm A<sub>m</sub> = A<sub>s</sub> + 4A<sub>c</sub> + A<sub>i</sub> = 1159.32 = 193.22 cm<sup>2</sup>  
6 6

Velocidad de Aplicación de la Carga: DEFORMACION CONTROLADA 1mm/min.

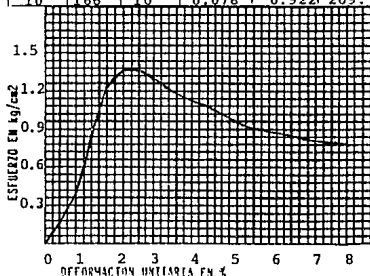
TIEMPO TRANSCURRIDO	CARGA	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	1.-DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO
MIN	kg.	cm.			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0.5	33	0.5	0.004	0.996	193.9	0.170
1	80	1	0.008	0.992	194.7	0.411
1.5	175	1.5	0.012	0.988	195.5	0.895
2	242	2	0.016	0.984	196.3	1.233
2.5	270	2.5	0.020	0.980	197.1	1.370
3	271	3	0.024	0.976	197.9	1.370
3.5	255	3.5	0.028	0.972	198.7	1.283
4	245	4	0.031	0.969	199.5	1.228
4.5	234	4.5	0.035	0.965	200.3	1.168
5	225	5	0.039	0.961	201.1	1.119
5.5	215	5.5	0.043	0.957	201.9	1.065
6	206	6	0.047	0.953	202.8	1.016
6.5	192	6.5	0.051	0.949	203.6	0.943
7	185	7	0.055	0.945	204.5	0.905
7.5	182	7.5	0.059	0.941	205.3	0.886
8	178	8	0.063	0.937	206.2	0.863
8.5	172	8.5	0.067	0.933	207.0	0.831
9	169	9	0.071	0.929	207.9	0.813
9.5	168	9.5	0.075	0.925	208.8	0.805
10	166	10	0.078	0.922	209.7	0.792

CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/ m<sup>3</sup> 1734  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_s(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> 508  
 Peso Mat. Hum. =  $\frac{(100 \cdot W_2) \cdot V_{rs}}{10000}$  4745  
 Peso Equipo + Mat. Hum. grs. 14,950  
 Carga de Compactación kg. 1,750  
 COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION  
 Capsula No. -----  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Humedo grs. -----  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. -----  
 Peso Mat. Seco en grs. -----  
 Peso del Agua en grs. -----  
 Contenido de Humedad en % 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/ m<sup>3</sup> 1738  
 Grado de Comp. Corregido % 85.20  
 Esfuerzo Máximo ton/m<sup>2</sup> 13.70

Nota: AREA CORREG.=  $\frac{A_m}{1-Def. unit.}$

ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA:



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MÉXICO

Fecha: 5-DICIEMBRE-89 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No% 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8.1.87 Vol. Pastillón: cm<sup>3</sup> 2455  
 Peso de la Pastilla grs. 5486 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2235

CALCULOS

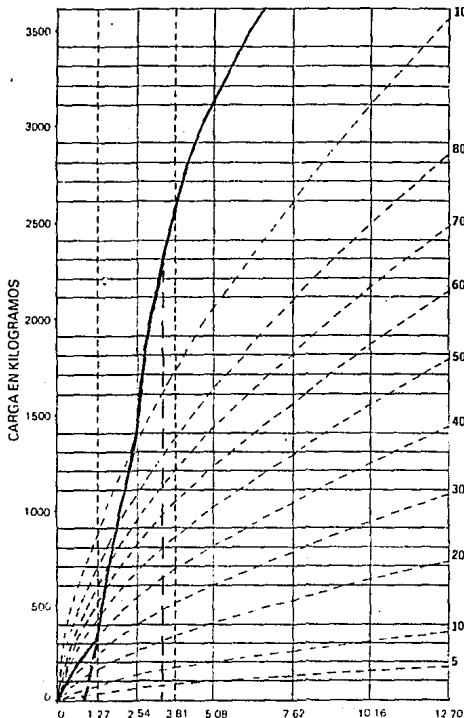
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 2040  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> 8.7  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 400  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)W}{10000}$  grs. 5486  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13710  
 Carga de Compactación kg. 25,000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 320  
 2.54 mm. (0.10") 1400  
 3.81 mm. (0.15") 2550  
 5.08 mm. (0.20") 3125  
 7.62 mm. (0.30") 3920  
 10.16 mm. (0.40") 4725  
 12.70 mm. (0.50") 5400

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 8.7  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 2056  
 Grado de Comp. Corregido % 100.78  
 V.R.S. Corregido % 165.44





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 5- DICIEMBRE-89 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima No. 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8.1.87 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2456  
 Peso de la Pastilla grs. 5486 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2234

CALCULOS

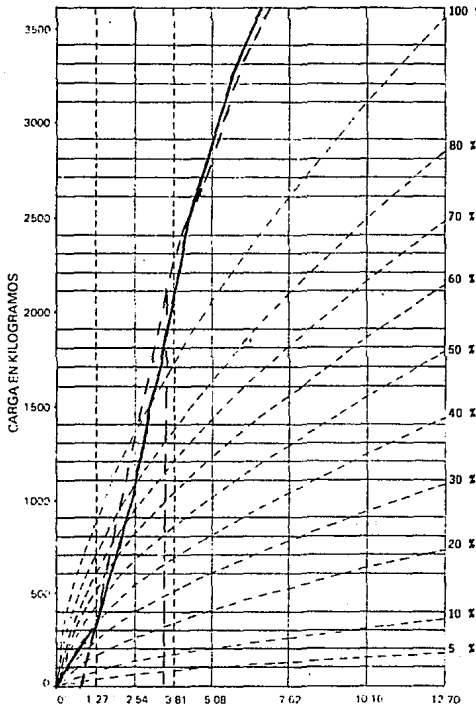
Grado de Compactación % 100  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 2040  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 8.7  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 400  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 5486  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13710  
 Carga de Compactación kg. 20,000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 310  
 2.54 mm. (0.10") 1025  
 3.81 mm. (0.15") 2030  
 5.08 mm. (0.20") 2875  
 7.62 mm. (0.30") 4140  
 10.16 mm. (0.40") 5145  
 12.70 mm. (0.50") 5740

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 8.7  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 2056  
 Grado de Comp. Corregido % 100.74  
 V.R.S. Corregido % 154.41





LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 8-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No. 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8.87 Vol. Pastillón cm<sup>3</sup> 2452  
 Peso de la Pastilla grs. 5248 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 140

CALCULOS

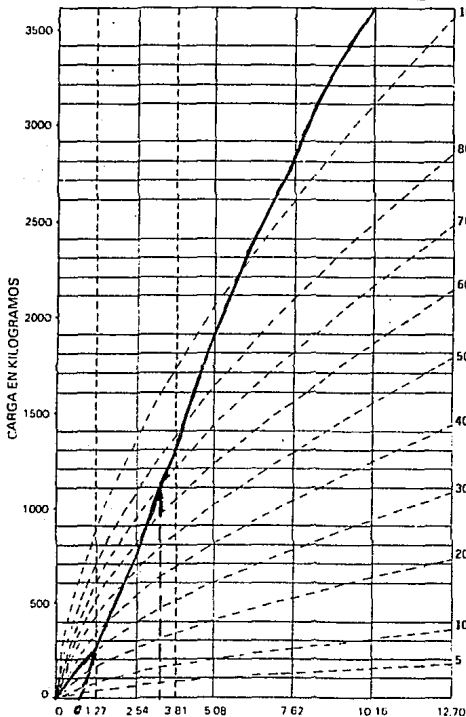
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 935  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{8(100 + W_2)W_2}{10000}$  grs. 5248  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13470  
 Carga de Compactación kg. 11,000

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 250  
 2.54 mm. (0.10") 750  
 3.81 mm. (0.15") 1300  
 5.08 mm. (0.20") 1900  
 7.62 mm. (0.30") 2825  
 10.16 mm. (0.40") 3600  
 12.70 mm. (0.50") 4075

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1956  
 Grado de Comp. Corregido % 95.98  
 V.R.S. Corregido % 80.88



TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 9-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No. 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8.1.87 Vol. Pastilla : cm<sup>3</sup> 2466  
 Peso de la Pastilla grs. 5250 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2129

CALCULOS

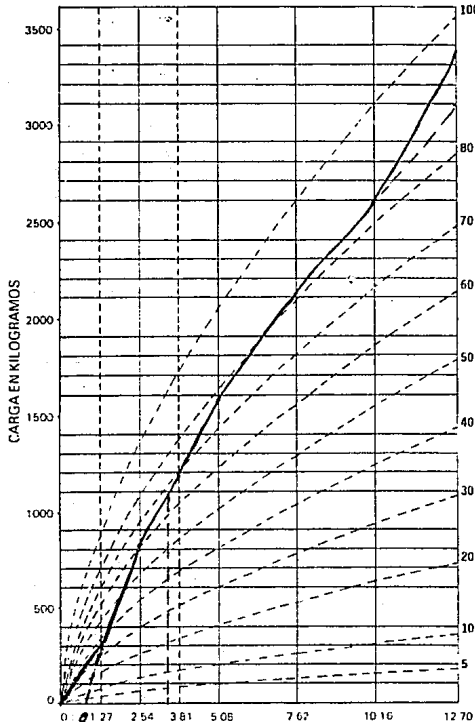
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 440  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{8(100 + W_2)}{10000} Y$  grs. 5250  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13470  
 Carga de Compactación kg. 11,250

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 300  
 2.54 mm. (0.10") 830  
 3.81 mm. (0.15") 1180  
 5.08 mm. (0.20") 1575  
 7.62 mm. (0.30") 2125  
 10.16 mm. (0.40") 2600  
 12.70 mm. (0.50") 3350

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 % Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1948  
 Grado de Comp. Corregido % 95.49  
 V.R.S. Corregido % 78.68



LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 8-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima Wo% 8.7  
 Humedad que contiene el Material W1: 8 1.87 Vol. Pastillo cm<sup>3</sup> 2466  
 Peso de la Pastilla grs. 5248 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2128

C A L C U L O S

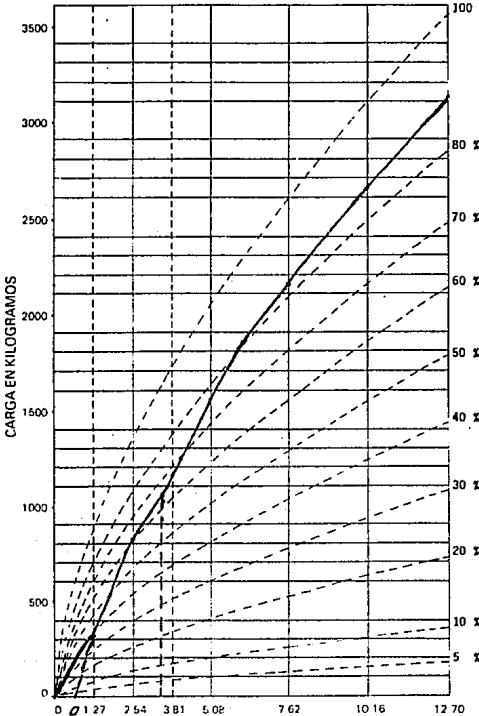
Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W2% 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W2-W1)}{100+W1}$  cm<sup>3</sup> 435  
 Peso Mat. Hum. Pw =  $\frac{Pm(100+W2)W}{10000}$  grs. 5248  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13470  
 Carga de Compactación kg. 11,375

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 325  
 2.54 mm. (0.10") 830  
 3.81 mm. (0.15") 1160  
 5.08 mm. (0.20") 1530  
 7.62 mm. (0.30") 2150  
 10.16 mm. (0.40") 2650  
 12.70 mm. (0.50") 3115

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1947  
 Grado de Comp. Corregido % 95.44  
 V.R.S. Corregido % 77.94



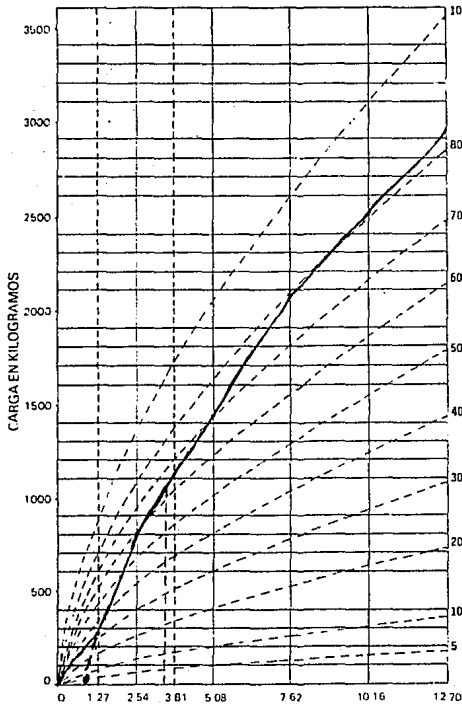
PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 8-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No. % 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 1.87 Vol. Pastillito: cm<sup>3</sup> 2485  
 Peso de la Pastilla grs. 5250 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2114

CALCULOS



Grado de Compactación % 95  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1940  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub>% 9.3  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 440  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)W_2}{10000}$  grs. 5250  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13470  
 Carga de Compactación kg. 11,400

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 275  
 2.54 mm. (0.10") 800  
 3.81 mm. (0.15") 1125  
 5.08 mm. (0.20") 1450  
 7.62 mm. (0.30") 2050  
 10.16 mm. (0.40") 2500  
 12.70 mm. (0.50") 2950

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.3  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1934  
 Grado de Comp. Corregido % 94.80  
 V.R.S. Corregido % 77.21

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGON"

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

202



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 9-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2476  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No. 8 0.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2473  
 Peso de la Pastilla grs. 4995 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 2020

CALCULOS

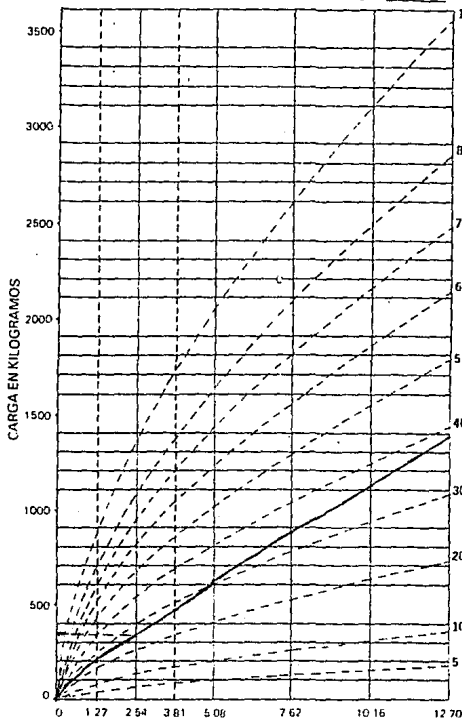
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.9  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 472  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4995  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13215  
 Carga de Compactación kg. 4,500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 200  
 2.54 mm. (0.10") 340  
 3.81 mm. (0.15") 460  
 5.08 mm. (0.20") 625  
 7.62 mm. (0.30") 890  
 10.16 mm. (0.40") 1115  
 12.70 mm. (0.50") 1390

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1836  
 Grado de Comp. Corregido % 90.10  
 V.R.S. Corregido % 25.00



PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE:



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 9-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima W<sub>o</sub> % 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: % 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup>: 2474  
 Peso de la Pastilla grs. 4995 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2019

CALCULOS

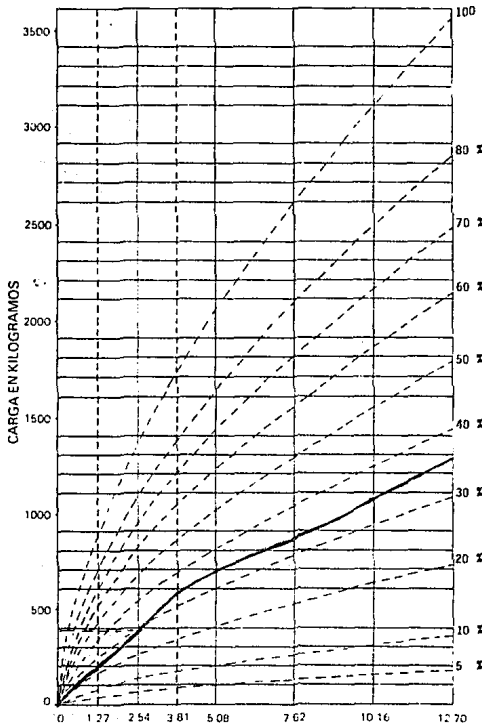
Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.9  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1}$  cm<sup>3</sup> 472  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)}{10000}$  grs. 4995  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13215  
 Carga de Compactación kg. 4,150

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 180  
 2.54 mm. (0.10") 380  
 3.81 mm. (0.15") 590  
 5.08 mm. (0.20") 690  
 7.62 mm. (0.30") 850  
 10.16 mm. (0.40") 1050  
 12.70 mm. (0.50") 1275

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.9  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1837  
 Grado de Comp. Corregido % 90.05  
 V.R.S. Corregido % 27.94



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVÉÑMA DE  
MÉXICO

Fecha: 9-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima No. 8.7  
 Humedad que contiene el Material M1: 8.1.87 Vol. Pastillito cm<sup>3</sup> 2479  
 Peso de la Pastilla grs. 4995 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 2015

CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba M2 % 9.9  

$$\text{Agua/Agregar} = \frac{Pm(M2-M1)}{100+M1} \text{ cm}^3$$
 472  

$$\text{Peso Mat. Hum. } Pw = \frac{8(100+M2)}{10000} \text{ grs.}$$
 4995  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13215  
 Carga de Compactación kg. 4,700

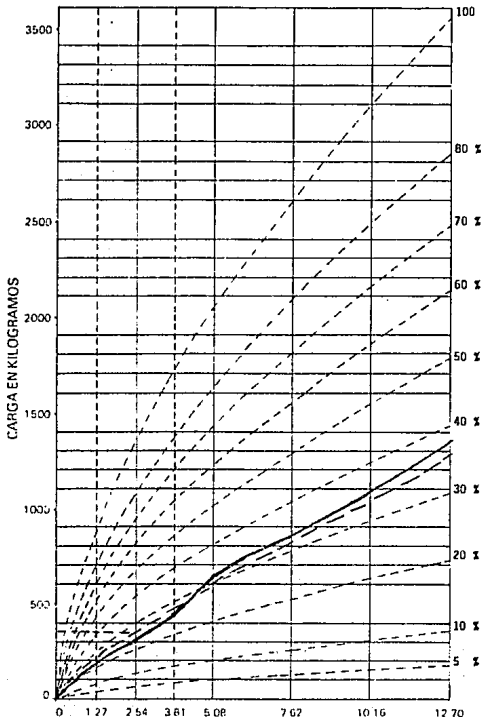
RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 160  
 2.54 mm. (0.10") 300  
 3.81 mm. (0.15") 450  
 5.08 mm. (0.20") 640  
 7.62 mm. (0.30") 855  
 10.16 mm. (0.40") 1080  
 12.70 mm. (0.50") 1350

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.9  

$$\text{Peso Vol. Seco Corregido kg/m}^3$$
 1,833  
 Grado de Comp. Corregido % 89.85  
 V.R.S. Corregido % 22.06

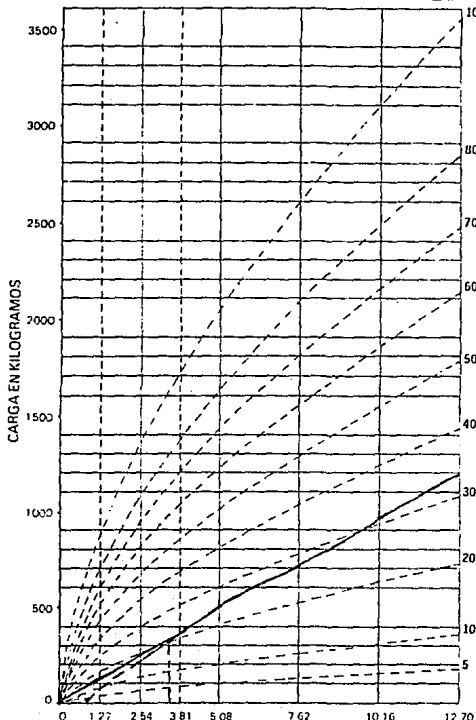


PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Fecha: 9-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 8220 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima W<sub>o</sub>: 8.7  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2471  
 Peso de la Pastilla grs. 4995 Peso Volumétrico Pastilla kg/m<sup>3</sup> 2021



CALCULOS

Grado de Compactación % 90  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1836  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 9.9  

$$\text{Agua/Agregar} = \frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1} \text{ cm}^3$$
 472  

$$\text{Peso Mat. Hum. Pw} = \frac{A(100 + W_2)}{10000} \text{ grs.}$$
 4995  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 13215  
 Carga de Compactación kg<sub>s</sub> 4,500

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 120  
 2.54 mm. (0.10") 245  
 3.81 mm. (0.15") 355  
 5.08 mm. (0.20") 500  
 7.62 mm. (0.30") 715  
 10.16 mm. (0.40") 970  
 12.70 mm. (0.50") 1280

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 9.9  

$$\text{Peso Vol. Seco Corregido kg/m}^3$$
 1,831  

$$\text{Grado de Comp. Corregido \%}$$
 89.75  

$$\text{V.R.S. Corregido \%}$$
 22.79





UNIVERSIDAD NACIONAL  
 AVENIDA DE  
 MEXICO

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Fecha: 15-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde  $\text{cm}^3$  2475  
 Altura del Borde Superior del Collarin a Placa de Carga  $\text{cm}$ : 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 2040 Humedad Óptima  $\%$ : 8.7  
 Humedad que contiene el Material  $\text{W}$ : 1.87 Vol. Pastillo  $\text{cm}^3$ : 2449  
 Peso de la Pastilla grs.: 4745 Peso Volumétrico Pastilla  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1938

C A L C U L O S

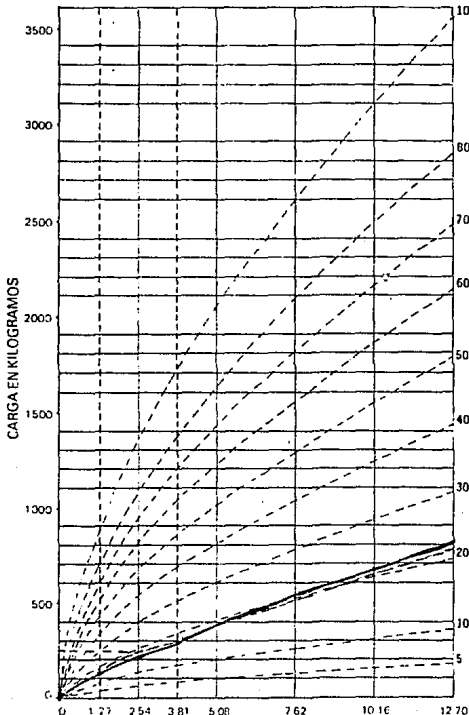
Grado de Compactación  $\%$ : 85  
 Peso Vol. Seco en  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1734  
 Humedad de prueba  $\text{W}\%$ : 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - W_1)}{100 + W_1} \text{cm}^3$ : 506  
 Peso Mat. Hum.  $P_w = \frac{8(100 + W_2)}{10000} \text{V}$  grs.: 4745  
 Peso Equipo + Material Humedo grs.: 12965  
 Carga de Compactación  $\text{kg}$ : 1,750

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 130  
 2.54 mm. (0.10") 210  
 3.81 mm. (0.15") 275  
 5.08 mm. (0.20") 370  
 7.62 mm. (0.30") 520  
 10.16 mm. (0.40") 660  
 12.70 mm. (0.50") 810

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en  $\%$ : 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido  $\text{kg}/\text{m}^3$ : 1,754  
 Grado de Comp. Corregido  $\%$ : 85.98  
 V.R.S. Corregido  $\%$ : 17.28



TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MÉXICO

Fecha: 15-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarín y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Borde Superior del Collarín a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Óptima No. 87  
 Humedad que contiene el Material W<sub>1</sub>: 8 1.87 Vol. Pastilla cm.<sup>3</sup> 2452  
 Peso de la Pastilla grs. 4745 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1935

CÁLCULOS

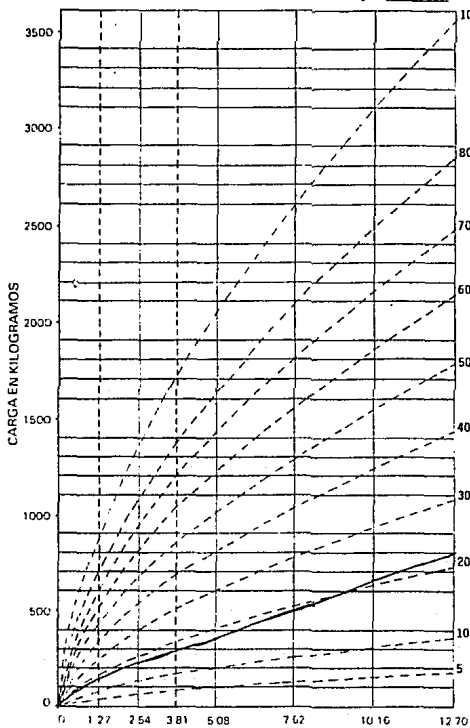
Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1734  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{Pm(W_2 - W_1)}{100 \cdot W_1}$  cm<sup>3</sup> 506  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{6(100 \cdot W_2) V}{10000}$  grs. 4745  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12965  
 Carga de Compactación kg. 1,750

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 130  
 2.54 mm. (0.10") 230  
 3.81 mm. (0.15") 270  
 5.08 mm. (0.20") 360  
 7.62 mm. (0.30") 500  
 10.16 mm. (0.40") 660  
 12.70 mm. (0.50") 800

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1751  
 Grado de Comp. Corregido % 85.83  
 V.R.S. Corregido % 16.18



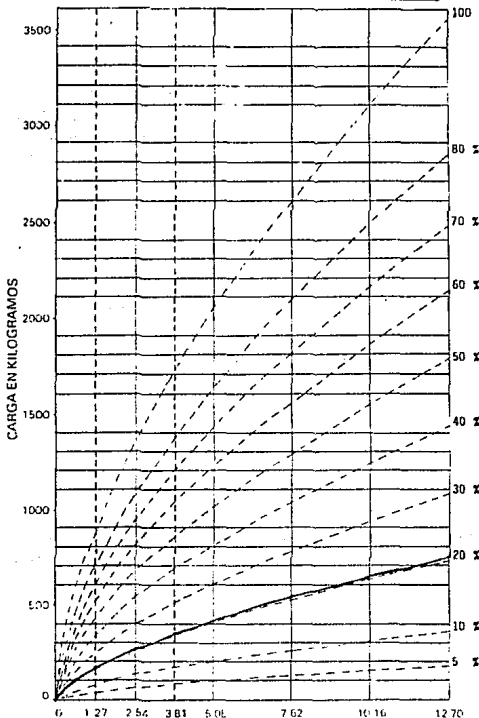
LABORATORIO DE PAVIMENTOS  
TESIS PROFESIONAL

PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

Fecha: 15-ENERO-90 Material: GRAVA CONTROLADA  
 Peso del Molde, Collarin y Base grs.: 10205 Vol. Molde cm<sup>3</sup> 2475  
 Altura del Bordo Superior del Collarin a Placa de Carga cm: 7.58  
 Peso Volumétrico Seco Máximo kg/m<sup>3</sup>: 2040 Humedad Optima Mo. % 8.7  
 Humedad que contiene el Material Ml: % 1.87 Vol. Pastilla cm<sup>3</sup> 2469  
 Peso de la Pastilla grs. 4745 Peso Volumétrico Pastilla kg/ m<sup>3</sup> 1922



CALCULOS

Grado de Compactación % 85  
 Peso Vol. Seco en kg/m<sup>3</sup> 1734  
 Humedad de prueba W<sub>2</sub> % 10.5  
 Agua/Agregar =  $\frac{P_m(W_2 - M_1)}{100 + M_1}$  cm<sup>3</sup> 506  
 Peso Mat. Hum. P<sub>w</sub> =  $\frac{A(100 + W_2)Y}{10000}$  grs. 4745  
 Peso Equipo + Material Humedo grs. 12965  
 Carga de Compactación kg. 1,750

RESISTENCIA A LA PENETRACION

1.27 mm. (0.05") 160  
 2.54 mm. (0.10") 260  
 3.81 mm. (0.15") 350  
 5.08 mm. (0.20") 425  
 7.62 mm. (0.30") 540  
 10.16 mm. (0.40") 620  
 12.70 mm. (0.50") 750

COMPROBACION DE LA HUMEDAD Y GRADO DE COMPACTACION

Capsula No. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Humedo grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco + Tara grs. \_\_\_\_\_  
 Peso Mat. Seco en grs. \_\_\_\_\_  
 Peso del Agua en grs. \_\_\_\_\_  
 Contenido de Humedad en % 10.5  
 Peso Vol. Seco Corregido kg/m<sup>3</sup> 1,739  
 Grado de Comp. Corregido % 85.25  
 V.R.S. Corregido % 19.12

## ANALISIS ESTADISTICO

En este capítulo hacemos referencia a los elementos de la estadística que utilizaremos para estudiar los resultados de las pruebas que pretendemos correlacionar, ya que será de gran utilidad conocer en qué forma están relacionadas las variables objeto de este estudio y expresar esta relación en función de una ecuación matemática que nos permita ciertas proyecciones.

Para lograr tal propósito utilizaremos el método de los mínimos cuadrados.

## V.1.- METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

## V-1.1.-ANALISIS DE REGRESION

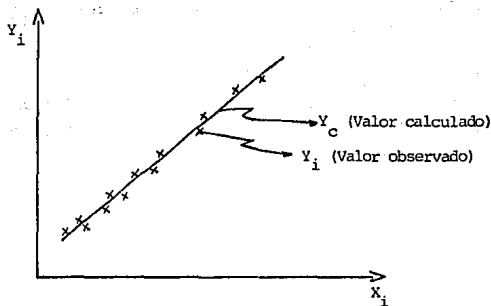
En la aplicación de este método es necesario distinguir dos etapas en el proceso de ajuste, para encontrar la ecuación de regresión, por una parte está el problema de elegir la función que relaciona en forma adecuada a las variables; por otra la necesidad de disponer de un método que permita determinar los valores que asumen los parámetros de la ecuación de regresión.

Para solucionar la primera etapa, es de mucha utilidad la representación gráfica de la información disponible.

La segunda etapa consiste en seleccionar una función en base a la representación gráfica, que dependiendo del tipo que sea, contendrá el número de parámetros a determinar, para lo cual se hará una tabla de cálculos con los términos necesarios para formar un sistema de ecuaciones, que nos permita encontrar los parámetros de la ecuación matemática de regresión.

V.1.2.- Regresión Simple. Esta denominación se da a la metodología que permite obtener ecuaciones donde sólo intervienen dos variables, una independiente y otra dependiente. Con las informaciones obtenidas, que deben ser en número suficiente para garantizar un buen ajuste, se podrá definir si la función adecuada es, una recta, hipérbola, una potencial, una exponencial, etc. A continuación analizaremos algunos de estos casos:

a) Línea Recta.- Si al representar los puntos observados en una gráfica, estos muestran un comportamiento rectilíneo como el que se muestra en la gráfica, entonces es necesario calcular los parámetros de la ecuación de regresión de dicha recta.



La ecuación de la recta será:  $Y_c = aX_i + b$  en donde los parámetros a determinar son: a y b

El método de los mínimos cuadrados cumple con la condición de minimizar la expresión:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_c)^2 \quad \text{donde:}$$

$Y_i$ : es un valor observado

$Y_c$ : es un valor calculado por la ecuación de regresión.

n: es el número de observaciones.

Si se reemplaza  $Y_c$  por  $aX_i + b$  dentro de la sumatoria de la ecuación anterior, se puede derivar y encontrar los valores de los coeficientes a y b, que satisfacen la condición.

Llamemos Z a la expresión:

$$Z = \sum (Y_i - aX_i - b)^2$$

ahora se trata de derivar parcialmente respecto a cada uno de los parámetros.

$$\frac{\partial Z}{\partial b} = 2 \sum (Y_i - aX_i - b) (-1) = 0$$

aplicando las propiedades de la sumatoria se tiene:

$$\sum Y_i = a \sum X_i + nb$$

que es la primera ecuación normal

$$\frac{\partial Z}{\partial a} = 2 \sum (Y_i - aX_i - b) (-X_i) = 0$$

aplicando las propiedades de la sumatoria, se tiene:

$$\sum Y_i X_i = a \sum X_i^2 + b \sum X_i$$

que viene siendo la 2a. ecuación normal.

Obsérvese que tenemos dos ecuaciones con dos incógnitas con las que podemos formar un sistema de ecuaciones para determinar el valor de los parámetros de la ecuación de regresión.

$$\sum Y_i = a \sum X_i + nb$$

$$\sum Y_i X_i = a \sum X_i^2 + b \sum X_i \quad \text{donde:}$$

$\sum Y_i$ : Es la suma de los valores observados de la variable dependiente.

$\sum X_i$ : Es la suma de los valores observados de la variable independiente.

n: Es el número de observaciones.

El signo del coeficiente de regresión "a" que corresponde con la pendiente de la recta, determina si la regresión es directa o inversa.

Si "a" es positivo quiere decir que ante incrementos de la variable independiente, corresponden incrementos de la variable dependiente. Si el signo de "a" es negativo ante incrementos de la variable independiente habrá incrementos de la variable dependiente y se dice que la regresión es inversa.

Puede plantearse una regresión de "X en Y" donde lo que interesa minimizar es:

$$\sum_{i=1}^n (X_i - X_c)^2$$

$$\text{Siendo } X_c = aY_i + b$$

las ecuaciones en este caso por analogía serán:

$$\sum X_i = a \sum Y_i + nb$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum Y_i^2 + b \sum Y_i$$

Tómese en cuenta que los parámetros de regresión de "Y en X" serán diferentes de los de "X en Y".

Por tal motivo, a los coeficientes de correlación suele distinguírseles de la siguiente manera:

$r_{yx}$ : coeficiente de correlación de "Y en X"

$r_{xy}$ : coeficiente de correlación de "X en Y"

Nota: Estos coeficientes más adelante se definen.

Cuando se analiza una relación de regresión, se especifica cual es la variable independiente y cual es la dependiente; una vez tomada la decisión, se denominará con  $Y_i$  la variable dependiente y con  $X_i$  a la variable independiente.

b) Ecuación Potencial.- Es una de las funciones más utilizadas por su flexibilidad, se representa de la forma siguiente:

$$Y_c = b \cdot X_i^a$$

En la determinación de las ecuaciones normales se procede en forma semejante al caso de la recta, realizando mediante la aplicación de logaritmos una transformación lineal:

$$\log Y_c = \log b + a \log X_i$$

$$\log Y_c = b' + a \log X_i, \text{ donde } b' = \log b$$

en este caso se trata de minimizar la expresión:

$$Z = \sum_{i=1}^n (\log Y_i - \log Y_c)^2$$

sustituyendo  $Y_c$  por su valor en la ecuación anterior queda:

$$Z = \sum_{i=1}^n (\log Y_i - a \log X_i - b')^2$$

Derivando respecto a cada uno de los parámetros e igualando los resultados a cero, se obtienen las ecuaciones normales.

$$\frac{\partial Z}{\partial b'} = 2 \sum (\log Y_i - a \log X_i - b') (-1) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial a} = 2 \sum (\log Y_i - a \log X_i - b') (-\log X_i) = 0$$

Aplicando a ambas derivadas las propiedades de la sumatoria se tiene:

$$\sum \log Y_i = a \sum \log X_i + nb'$$

$$\sum \log Y_i = a \sum (\log X_i)^2 + b' \sum \log X_i$$

Este sistema de ecuaciones normales permitirán el cálculo de los parámetros  $a$  y  $b'$ . Para las funciones logarítmicas es necesario trabajar con logaritmos de por lo menos cinco decimales, para evitar desviaciones considerables en la ecuación de regresión.

c).- Función Exponencial.- Cuando se desea calcular tasas de crecimiento tomando en cuenta todos los puntos observados en un período histórico, se utiliza esta función:

$$\hat{Y}_C = ab^t \quad \text{donde: } b = 1 + i$$

t.- Tiempo en periodos

Aplicando logaritmos a la expresión anterior, tenemos:

$$\log Y_C = \log a + ti \log b$$

También aquí interesa minimizar la expresión:

$$Z = \sum_{i=1}^n (\log Y_i - \log Y_C)^2$$

$$Z = \sum (\log Y_i - \log a - ti \log b)^2$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \log a} = 2 \sum (\log Y_i - \log a - ti \log b) (-1) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \log b} = 2 \sum (\log Y_i - \log a - ti \log b) (-ti) = 0$$

Aplicando propiedades de la sumatoria se tienen las dos ecuaciones normales, con las cuales se pueden obtener los valores de los parámetros a y b.

$$\sum \log Y_i = n \log a + \log b \sum ti$$

$$\sum ti \log Y_i = \log a \sum ti + \log b \sum ti^2$$

d) Ecuación Parabólica.- Esta función se ajusta de manera semejante a los casos anteriores.

$$Y_C = aX_1^2 + bX_1 + c$$

Dado que la forma general contiene 3 parámetros, será necesario contar con tres ecuaciones que nos permitan formar un sistema mediante el cual podemos determinar los parámetros a, b y c.

La ecuación que interesa minimizar es:

$$Z = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_C)^2$$

$$Z = \sum (Y_i - aX_i^2 - bX_i - c)^2$$



Derivando con respecto de a, b, y c se tiene:

$$\frac{\partial Z}{\partial c} = 2 \sum (Y_i - aX_i^2 - bX_i - c) (-1) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial b} = 2 \sum (Y_i - aX_i^2 - bX_i - c) (-X_i) = 0$$

$$\frac{\partial Z}{\partial a} = 2 \sum (Y_i - aX_i^2 - bX_i - c) (-X_i^2) = 0$$

Aplicando las propiedades de la sumatoria, se obtienen las siguientes ecuaciones normales:

$$\sum Y_i = a \sum X_i^2 + b \sum X_i + nc$$

$$\sum Y_i X_i = a \sum X_i^3 + b \sum X_i^2 + c \sum X_i$$

$$\sum Y_i X_i^2 = a \sum X_i^4 + b \sum X_i^3 + c \sum X_i^2$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones, podemos determinar el valor de los parámetros de la ecuación de regresión.

e) Hipérbola Equilátera.- Para el ajuste de algunas funciones de demanda y por la propiedad que tiene de que cualquier punto de la función subtiende superficies iguales con los ejes de coordenadas es de gran utilidad.

$$Y_c = \frac{a}{X_i}$$

Como sólo tiene un parámetro, sólo se calcula una ecuación normal y la expresión que interesa minimizar es la siguiente:

$$Z = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_c)^2; \quad Z = \sum (Y_i - \frac{a}{X_i})^2 \text{ derivando respecto de a:}$$

$$\frac{\partial Z}{\partial a} = 2 \sum (Y_i - \frac{a}{X_i}) (-\frac{1}{X_i}) = 0$$

Aplicando la propiedad de la sumatoria se tiene:

$$\sum \frac{Y_i}{X_i} = a \sum \frac{1}{(X_i)^2} \text{ de esta expresión calculamos el valor del parámetro}$$

a, con lo cual solucionamos el problema.

## V.2.- ANALISIS DE CORRELACION

En el inciso V.1.1.- de este capítulo presentamos las técnicas de ajuste de las funciones por el método de los mínimos cuadrados. Una vez determinada la función es conveniente determinar si hay asociación entre las variables consideradas y en qué grado lo están. El análisis de asociación es objetivo y trata de poner un indicador cuantitativo del grado de asociación, que respalde a la ecuación de regresión, para que al realizar alguna proyección por medio de la ecuación de regresión, sea ésta, totalmente válida y confiable.

Para fines de este trabajo, solo haremos referencia a los siguientes tipos de correlación:

- Correlación Simple.- Cuando se estudia el grado de asociación entre un par de variables, independiente y dependiente.
- Correlación según sea la Función.- Rectilínea, parabólica, potencial, exponencial, logarítmica, etc.
- Correlación Directa o Positiva.- Cuando a aumentos de la variabilidad independiente corresponden aumentos de la variable dependiente.
- Correlación Inversa o Negativa.- Cuando a incrementos en la variable independiente corresponden decrementos de la variable dependiente.

### V.2.1.- EL COEFICIENTE DE CORRELACION

Un coeficiente de correlación indica el grado de asociación entre las variables; se simboliza por "r", definiéndose de la siguiente manera:

$$r = \left( \frac{S_{YC}^2}{S_Y^2} \right)^{1/2} = \frac{S_{YC}}{S_Y}$$

Donde:

- $S_Y^2$  .- Representa la varianza total
- $S_{YC}^2$  .- Representa la varianza explicada
- $S_{YS}^2$  .- Representa la varianza no explicada.

Definidos de la siguiente forma:

$$S_Y^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n} \quad y_i: \text{valor observado}$$

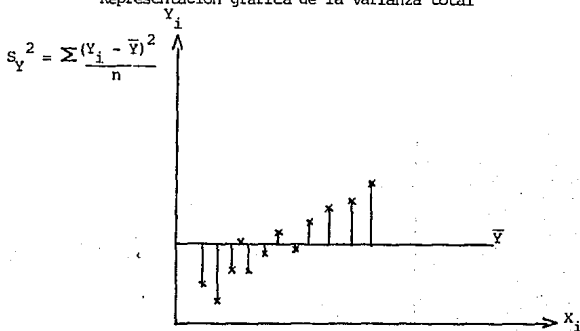
$$S_{Yc}^2 = \frac{\sum (Yc - \bar{y})^2}{n} \quad Yc: \text{valor calculado}$$

$$S_{Ys}^2 = \frac{\sum (y_i - Yc)^2}{n}$$

Como puede observarse, las dos primeras varianzas expresan un promedio de desviaciones respecto a la misma media aritmética y su cálculo no difiere de una varianza cualquiera.

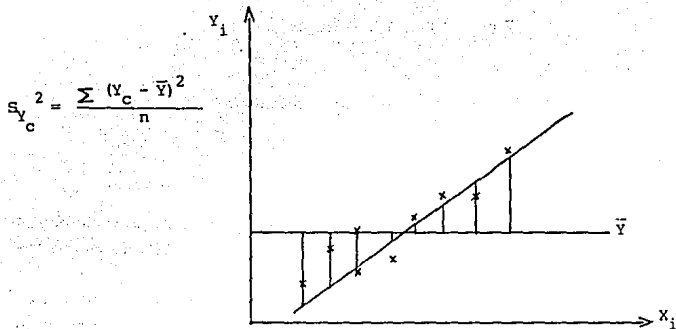
De acuerdo a la fórmula del coeficiente de correlación y a la representación gráfica de las varianzas, nos damos cuenta que la varianza total se descompone en dos partes, una es la varianza explicada y la otra es la varianza no explicada.

Representación gráfica de la varianza total



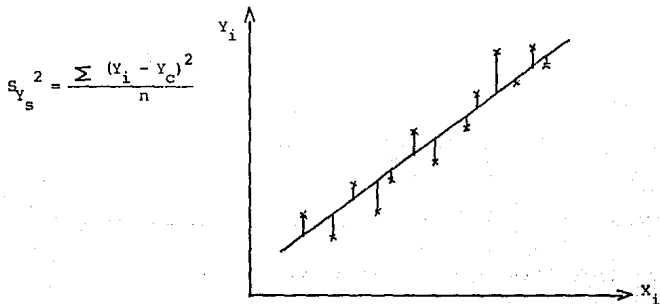
Desviaciones que toma en cuenta este estadígrafo.

## Representación gráfica de la varianza explicada



Desviaciones que toma en cuenta este estadígrafo.

## Representación gráfica de la varianza no explicada



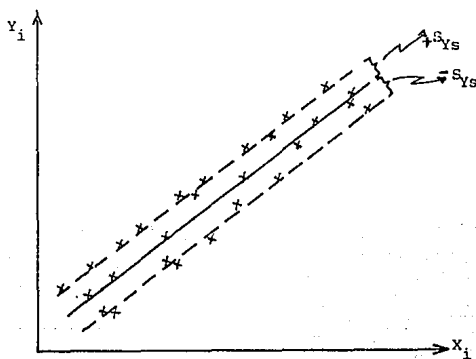
Desviaciones que toma en cuenta este estadígrafo.

## V.2.2.- ERROR DE PROYECCION

En base a la fórmula del coeficiente de correlación nos damos cuenta que la varianza explicada, relacionada con la varianza total, nos dá el grado de asociación entre las variables en estudio.

Por otro lado, la raíz cuadrada de la varianza no explicada nos indica el grado de dispersión de los puntos observados respecto a la ecuación de regresión y recibe el nombre de error de proyección; para esto se considera que los datos observados tienen una distribución normal de probabilidad, en la que al sumar y restar -- una desviación, el intervalo presenta un nivel de confianza del 68%, si se suman y restan dos veces el error de proyección, el nivel de confianza será del 95% y al sumar y restar 3 veces el error de proyección vamos a tener un nivel de confianza del 99%.

Interpretación gráfica del error de proyección.



En base a las gráficas se tiene que:

$$S_Y^2 = S_{YC}^2 + S_{YS}^2$$

Nota: Esta fórmula tiene una deducción matemática que aquí no desarrollamos, ya que sólo nos interesa su significado cuantitativo o interpretación gráfica.

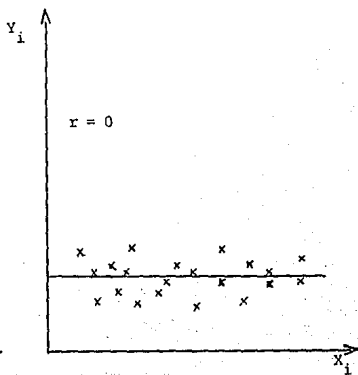
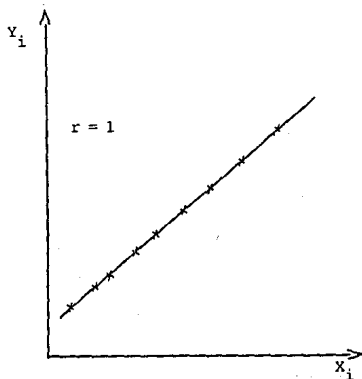
Como se observa en las gráficas  $S_{YC}^2$  no podrá ser mayor que  $S_Y^2$ , por lo que el valor numérico del coeficiente de correlación estará comprendido entre 0 y 1.

$$0 \leq r^2 \leq 1 \quad \text{y} \quad 0 \leq r \leq 1$$

Casos particulares: r

r = 1 Cuando todos los puntos estén situados sobre la ecuación de regresión.

r = 0 Cuando la ecuación de regresión coincida con una paralela al eje de las abscisas a la altura de la media aritmética.



### V.3.- Métodos para el Cálculo del Coeficiente de Correlación

Existen varios métodos para el cálculo del coeficiente de correlación que a continuación se mencionan:

a) Fórmula del momento - producto donde:

$$a_{yx} = \frac{C [X_i Y_i]}{V(X_i)} \qquad a_{xy} = \frac{C [X_i Y_i]}{V(Y_i)}$$

$$r^2 = a_{xy} a_{yx} \qquad r = \sqrt{a_{xy} a_{yx}}$$

Donde.

$a_{yx}$ ,  $a_{xy}$ : Son coeficientes angulares

$C [X_i Y_i]$ : Es la covarianza de  $X_i$ ,  $Y_i$

$V (X_i)$  : Es la varianza de  $X_i$

$V (Y_i)$  : Es la varianza de  $Y_i$

b) Fórmula del momento con orden uno-uno respecto a la media aritmética.

$$r^2 = \frac{c [X_i Y_i]^2}{V [X_i] V[Y_i]} \qquad r = \frac{c [X_i Y_i]}{S_{Y_i} S_{X_i}}$$

Donde:

$S_{Y_i}$  y  $S_{X_i}$  son las desviaciones estándar de cada una de las variables  $X_i$  y  $Y_i$ .

c) Fórmula por el método abreviado:

$$r^2 = \frac{S_{Y_C}^2}{S_Y^2} = \frac{\sum (y_c - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

A continuación se describe el método abreviado ya que es el método que utilizamos para este trabajo, por presentar algunas ventajas sobre los otros métodos.

## V.3.1.- Método Abreviado para Cálculo de R.

La ventaja de este método, es el aprovechamiento de los cálculos que se realizan para determinar la ecuación de regresión: a continuación analizamos las funciones más comunes.

a) Para una función lineal.

$$Y_c = aX_i + b$$

$$r^2 = \frac{S_{Y_c}^2}{S_Y^2} = \frac{\sum (Y_c - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Desarrollando los binomios cuadrados y aplicando la propiedad de la sumatoria.

$$r^2 = \frac{\sum Y_c^2 - 2\bar{Y} \sum Y_c + n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - 2\bar{Y} \sum Y_i + n\bar{Y}^2}$$

Obsérvese que:  $\sum Y_c = \sum Y_i = n\bar{Y}$

$$r^2 = \frac{\sum Y_c^2 - 2n\bar{Y}^2 + n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - 2n\bar{Y}^2 + n\bar{Y}^2} \quad r^2 = \frac{\sum Y_c^2 - n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}$$

$$Y_c^2 = (aX_i + b)^2 \quad \text{desarrollando el binomio}$$

$$Y_c^2 = a^2 X_i^2 + aX_ib + aX_ib + b^2$$

$$Y_c^2 = a(aX_i^2 + X_ib) + b(aX_i + b)$$

Aplicando la propiedad de la sumatoria.

$$\sum Y_c^2 = a \underbrace{\left( a \sum X_i^2 + b \sum X_i \right)}_{\text{ec. normal}} + b \underbrace{\left( a \sum X_i + nb \right)}_{\text{ec. normal}}$$

$$\sum Y_c^2 = a \sum X_i Y_i + b \sum Y_i$$

Sustituyendo esta igualdad en la fórmula general de r, queda:

$$r^2 = \frac{a \sum X_i Y_i + b \sum Y_i - n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}$$



b) Si la función es del tipo:

$$Y_c = a \log X + b$$

$$r^2 = \frac{S_{Yc}^2}{S_{Y_i}^2} = \frac{\sum (Y_c - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\sum Y_c^2 - n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}$$

Pero:  $Y_c^2 = a^2 (\log X_i)^2 + 2ab \log X_i + b^2$

$$\sum Y_c^2 = a \left\{ \underbrace{\sum (\log X_i)^2 + b \sum \log X_i}_{\text{ec. normal}} \right\} + b \left\{ \underbrace{a \sum \log X_i + nb}_{\text{ec. normal}} \right\}$$

$$\sum Y_c^2 = a \sum Y_i \log X_i + b \sum Y_i$$

$$r^2 = \frac{a \sum Y_i \log X_i + b \sum Y_i - n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}$$

c) Si la función es del tipo exponencial

$$Y_c = f d^X ; \text{ si } \log f = b; \log d = a$$

$$\log Y_c = ax + b$$

$$r^2 = \frac{\sum (Y_c - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\sum Y_c^2 - n\bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n\bar{Y}^2}$$

Obsérvese que en la función aparece el logaritmo de  $Y_i$ , por esta razón la fórmula particular será:

$$r^2 = \frac{\sum (\log Y_c)^2 - n \log \bar{Y}^2}{\sum (\log Y_i)^2 - n \log \bar{Y}^2} \quad \text{donde,}$$

$$\log \bar{Y} = M [\log Y_i] = \frac{\sum \log Y_i}{n}$$

dado que;  $\log Y_c = a X_i + b$

$$\sum (\log Y_c)^2 = a^2 \sum X_i^2 + ab \sum X_i + ab \sum X_i + nb^2$$

$$\sum (\log Y_c)^2 = a \left\{ a \sum X_i^2 + b \sum X_i \right\} + b \left\{ a \sum X_i + nb \right\}$$

$\sum (\log Y_c)^2 = a \sum (\log Y_i) X_i + b \sum \log Y_i$  sustituyendo queda:

$$r^2 = \frac{a \sum X_i \log Y_i + b \sum \log Y_i - n \log \bar{Y}^2}{\sum (\log Y_i)^2 - n \log \bar{Y}^2}$$

d) Si la función es potencial.

$Y_c = b X^a$  cuya expresión logarítmica es:

$\log Y_c = \log b + a \log X_i$  donde:

$$r^2 = \frac{\sum (\log Y_c - \log \bar{Y})^2}{\sum (\log Y_i - \log \bar{Y})^2}$$

$\log Y_c^2 = (a \log X_i + \log b)^2$  desarrollando el binomio queda:

$$= a^2 (\log X_i)^2 + a \log X_i \log b + a \log X_i \log b + (\log b)^2$$

$$= a [a (\log X_i)^2 + \log X_i \log b] + \log b [\log X_i + \log b]$$

Aplicando la propiedad de la sumatoria.

$$\sum Y_c^2 = a \left[ a \underbrace{\sum (\log X_i)^2}_{\text{ec. normal}} + \log b \sum \log X_i \right] + \log b \left[ a \underbrace{\sum \log X_i + \log b}_{\text{ec. normal}} \right]$$

$\sum Y_c^2 = a \sum \log X_i \log Y_i + \log b \sum \log Y_i$  sustituyendo en la ecuación general del coeficiente de correlación, queda:

$$r^2 = \frac{a \sum \log X_i \log Y_i + \log b \sum \log Y_i - n \log \bar{Y}^2}{\sum (\log Y_i)^2 - n \log \bar{Y}^2}$$

e) Si la función es parabólica.

$Y_c = aX^2 + bX + c$  donde:

$$r^2 = \frac{\sum (Y_c - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\sum Y_c^2 - n \bar{Y}^2}{\sum Y_i^2 - n \bar{Y}^2}$$

$$Y_c^2 = (aX^2 + bX + c)^2 = a^2 X^4 + b^2 X^2 + c^2 + 2abX^3 + 2acX^2 + 2bcX$$

$$Y_c^2 = a^2 X^4 + abX^3 + abX^3 + b^2 X^2 + acX^2 + acX^2 + c^2 + bcX + bcX$$

Agrupando términos para formar las ecuaciones normales, queda:

$$Y_c^2 = a[ax^4 + bx^3 + cx^2] + b[ax^3 + bx^2 + cx] + c[ax^2 + bx + c]$$

Aplicando el operador sumatoria queda:

$$\sum y_c^2 = a[a \sum x^4 + b \sum x^3 + c \sum x^2] + b[a \sum x^3 + b \sum x^2 + c \sum x] + c[a \sum x^2 + b \sum x + nc]$$

$$\therefore \sum y_c^2 = a[\sum y_i x_i^2] + b[\sum x_i y_i] + c[\sum y_i]$$

La fórmula abreviada será:

$$r^2 = \frac{a \sum y_i x_i^2 + b \sum y_i x_i + c \sum y_i - n \bar{y}^2}{\sum y_i^2 - n \bar{y}^2}$$

## V.4.- ANALISIS ESTADISTICO

Material: Arcilla Arenosa de Texcoco

## Análisis de Regresión y Correlación de ( PVS-VRS )

De las pruebas ejecutadas de VRS para este material, obtenemos los datos de PVS y VRS de las mismas; estos datos los ordenamos en forma decreciente y graficamos, para poder apreciar a que tipo de función se asemejan, encontrándose que toman forma parecida a la función potencial y a la función parabólica.

Con base en lo anterior, se determinaron las ecuaciones de regresión, así como -- sus coeficientes de correlación correspondientes, encontrándose una mejor adaptación de la gráfica a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno, con la función de tipo potencial.

Solamente desarrollaremos la función potencial aquí, con el fin de evitar confu-- siones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS Kg/ 3 m	VRS %	HUMEDAD %	G.C. %
1537	13.38	24.21	101.12
1532	12.72	24.16	100.79
1527	12.13	24.59	100.46
1456	5.44	24.86	95.79
1438	4.71	25.69	94.61
1437	4.93	26.13	94.54
1435	4.49	25.93	94.41
1375	2.50	27.03	90.46
1365	2.65	27.50	89.82
1363	3.09	27.36	89.67
1357	3.09	27.42	89.27
1296	2.13	28.49	85.26
1296	2.06	28.68	85.26
1290	2.21	28.35	84.87

## V.4.-ANALISIS ESTADISTICO

Material: Arcilla Arenosa de Texcoco

Tabla de Cálculos, Función Potencial

PVS	VRS	logPVS	logPVSlogVRS	logVRS	(logVRS) <sup>2</sup>	(logPVS) <sup>2</sup>
1537	13.38	3.186673868	3.589648260	1.126456113	1.268903375	10.15489034
1532	12.72	3.185258765	3.518077252	1.104487111	1.219891779	10.14587340
1527	12.13	3.183839037	3.450838329	1.083860801	1.174754236	10.13683101
1456	5.44	3.163161375	2.326618027	0.735598699	0.541105741	10.00558988
1438	4.71	3.157758886	2.125237750	0.673020907	0.452957141	9.971441182
1437	4.93	3.157456768	2.187634195	0.692846919	0.480036853	9.969533242
1435	4.49	3.156851901	2.059045102	0.652246341	0.425425289	9.965713926
1375	2.50	3.136302698	1.248856203	0.397940008	0.158356250	9.848943826
1365	2.65	3.135132651	1.326931959	0.423245873	0.179137069	9.829056742
1363	3.09	3.134495856	1.535772823	0.489958479	0.240059311	9.825064270
1357	3.09	3.132579848	1.534834059	0.489958479	0.240059311	9.813056502
1296	2.13	3.112605002	1.022115996	0.328379603	0.107833164	9.688309895
1296	2.06	3.112605002	0.976944679	0.313867220	0.098512632	9.688309895
1290	2.21	3.110589710	1.071263063	0.344392273	0.118606038	9.675768346
	$\Sigma$	44.067311370	27.974017700	8.856259026	6.705638189	138.718382500

Sistema de ecuaciones

$$\Sigma \log PVS = a \Sigma \log VRS + b'n$$

$$\Sigma \log PVS \log VRS = a \Sigma (\log VRS)^2 + b' \Sigma \log VRS$$

Sustituyendo:

$$44.06731137 = a(8.856259026) + 14 b'$$

$$27.9740177 = a(6.705638189) + 8.856259026 b'$$

$$b' = \log b$$

Resolviendo:

$$a = 0.088356735 \quad b' = 3.091771517 \quad b = 1235.3$$

La ecuación de regresión queda:

$$PVS = 1235.3 VRS^{0.088356735}$$

Cálculo del Coeficiente de Correlación

$$r^2 = \frac{a \sum \log PVS \log VRS + \log b \sum \log PVS - \log \overline{PVS} \sum \log PVS}{\sum (\log PVS)^2 - \log \overline{PVS} \sum \log PVS}$$

Sustituyendo y realizando operaciones.

$$r^2 = \frac{0.008613028}{0.00924454} = 0.932$$

$$r_{PVS, VRS} = 0.9652$$

#### ERROR DE PROYECCION

Una vez que tenemos la tabla de cálculo de los logaritmos podemos encontrar la ecuación de regresión de (VRS-PVS) que nos indica que ahora la variable independiente es PVS, esto lo hacemos para comprobar si el coeficiente de correlación de PVS, VRS es igual al Coeficiente de Correlación de VRS-PVS.

Utilizando los datos de la misma tabla, el sistema de ecuaciones queda:

$$\sum \log VRS = a \sum \log PVS + nb'$$

$$\sum \log VRS \log PVS = a \sum (\log PVS)^2 + \sum \log PVS b'$$

Sustituyendo:

$$8.856259026 = a(44.06731137) + b'14$$

$$27.9740177 = a(138.7183825) + b'44.06731137$$

Resolviendo el sistema:

$$a = 10.54467694 \quad b' = -32.55852165 \quad b = 2.7636201 \times 10^{-35}$$

La ecuación de Regresión queda:

$$VRS = 2.7636201 \times 10^{-33} PVS^{10.54467694}$$

Para determinar el coeficiente de correlación de VRS, PVS la fórmula será:

$$r^2_{VRS, PVS} = \frac{a \sum \log PVS \log VRS + \log b \sum \log VRS - \log \overline{VRS} \sum \log VRS}{\sum (\log VRS)^2 - \log \overline{VRS} \sum \log VRS}$$

Sustituyendo y realizando operaciones:

$$r^2_{VRS, PVS} = \frac{1.02789792}{1.103257912} = 0.932$$

$$r_{VRS, PVS} = r_{PVS, VRS} = 0.965$$

Esta comprobación nos va a permitir que podamos expresar el error de proyección en unidades de VRS, C.S. según sea el caso y a la vez determinarse en unidades de PVS.

Esto nos beneficia ya que nos interesa conocer el comportamiento y variaciones -- que estas pruebas presenten, para poder establecer hasta que grado ésta correlación es confiable.

#### Determinación del error de Proyección

En Unidades de VRS			En Unidades de PVS		
VRSi	VRSc	(VRSi-VRSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
13.38	11.86	2.31	1537	1553	256
12.72	11.43	1.66	1532	1547	225
12.13	10.98	1.32	1527	1540	169
5.44	6.43	0.98	1456	1435	441
4.71	5.58	0.77	1438	1417	441
4.93	5.54	0.37	1437	1422	225
4.49	5.45	0.92	1435	1411	576
2.50	3.36	0.74	1375	1339	1296
2.65	3.09	0.20	1365	1346	361
3.09	3.04	0.01	1363	1365	4
2.13	1.72	0.17	1296	1321	625
2.06	1.72	0.12	1296	1317	441
2.21	1.63	0.34	1290	1325	1225
$\sum (VRSi-VRSc)^2 = 9.95$			$\sum (PVSi-PVSc)^2 = 6349$		

$$\sqrt{\frac{\sum (VRSi-VRSc)^2}{n}} = 0.711$$

$$\sqrt{\frac{\sum (PVSi-PVSc)^2}{n}} = 453.5$$

$$\sqrt{\quad} = 0.84 \%$$

$$\sqrt{\quad} = 21.3 \text{ Kg/m}^3$$

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Material: Arcilla Arenosa de Texcoco

## Análisis de Regresión y Correlación de (PVS-C.S.)

De las pruebas ejecutadas de Compresión Simple con este material, obtenemos los datos de PVS y C.S. de las mismas, estos datos los clasificamos en forma decreciente y los graficamos, con la intención de poder apreciar a qué tipo de función son adaptables, encontrándose que toman forma semejante a la función parabólica y a la función potencial.

Se determinaron las ecuaciones de regresión para estas funciones, así como también se calcularon sus coeficientes de correlación correspondientes, encontrándose una mejor adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno en la función potencial.

Aquí solamente desarrollamos la función potencial con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS <sub>3</sub> Kg/m <sup>3</sup>	C.S. <sub>2</sub> Ton/m <sup>2</sup>	Humedad %	G.C. %
1533	31.38	23.18	100.86
1528	31.33	22.96	100.54
1527	29.80	23.50	100.50
1526	25.30	23.79	100.40
1509	24.41	24.22	99.28
1491	23.46	24.65	98.09
1467	14.78	24.77	96.55
1452	13.31	24.95	95.53
1448	14.28	25.53	95.28
1432	13.12	26.17	94.21
1330	6.61	29.13	87.50
1323	5.42	30.19	87.04
1300	6.16	28.17	85.53
1292	6.26	28.91	85.00
1289	5.67	28.83	84.40
1279	3.93	31.37	84.14
1275	4.19	31.27	83.88
1260	3.44	31.77	82.89



## ANALISIS ESTADISTICO

Material: Arcilla Arenosa de Texcoco

Correlación PVS - C. S.

Tabla de Cálculos, Función Potencial

PVS	C.S.	logPVS	(logPVS) <sup>2</sup>	logPVSlogC.S.	logC.S.	(logC.S.) <sup>2</sup>
1533	31.38	3.185542155	10.47767882	4.76651029	1.496652939	2.23997002
1528	31.33	3.184123354	10.13864154	4.76332243	1.495960395	2.237897503
1527	29.80	3.183839037	10.13683101	4.693667291	1.474216264	2.173313593
1526	25.30	3.183554534	10.13501947	4.466910697	1.403120521	1.968747197
1509	24.41	3.178689240	10.10406528	4.410646770	1.387567779	1.925344342
1491	23.46	3.173477644	10.07096035	4.348705297	1.370328008	1.877798849
1467	14.78	3.166430114	10.02627967	3.703692353	1.169674434	1.368138282
1452	13.31	3.161966616	9.998032883	3.554613482	1.124178056	1.263776301
1448	14.28	3.172602931	10.06540936	3.649828616	1.154728207	1.333397233
1432	13.12	3.155943018	9.959976333	3.528135481	1.117933835	1.249776059
1330	6.61	3.123851641	9.758449075	2.562187675	0.820201459	0.672730434
1323	5.42	3.121559844	9.744135861	2.291222699	0.733999286	0.538754952
1300	6.16	3.113943352	9.696643201	2.458709610	0.7895807120	0.623437701
1292	6.26	3.111262514	9.679954429	2.478351862	0.796574333	0.634530668
1289	5.67	3.110252917	9.673673210	2.343833907	0.753583058	0.567887426
1279	3.93	3.106870545	9.65264458	1.846700707	0.594392550	0.353302503
1275	4.19	3.105510185	9.644193508	1.932291985	0.622214023	0.387150290
1260	3.44	3.100370545	9.612297517	1.663529991	0.536558442	0.287894962
56.63979019	178.2448861	59.46286144	18.8414643	21.70384832		

Determinación de la Ecuación de Regresión

$$\sum \log PVS = \sum \log C.S. + nb'$$

$$\sum \log PVS \log C.S. = \sum (\log C.S.)^2 + \sum \log C.S. b'$$

Sustituyendo:

$$56.63979019 = 18.8414643 a + 18b'$$

$$59.46286114 = 21.70384832 a + 18.8414643 b'$$

Resolviendo el sistema.

$$a + 0.088451052 b' = 3.054069047 \quad b = 1132.6$$

La Ecuación es:

$$PVS = 1132.6 C.S. + 0.088451052$$

## Cálculo del Coeficiente de Correlación

$$r_{PVS,C.S.}^2 = \frac{a \sum \log PVS \log C.S. + \log b \sum \log PVS - \log \overline{PVS} \sum \log PVS}{\sum (\log PVS)^2 - \log \overline{PVS} \sum \log PVS}$$

Sustituyendo y realizando operaciones

$$r_{PVS,C.S.}^2 = \frac{0.015503052}{0.01900648} = 0.815671813$$

$$r = 0.9031$$

## Determinación del error de proyección

En Unidades de C.S.

En Unidades de PVS

C.S.i	C.S.c	(C.S.i-C.S.c) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
31.38	30.64	0.55	1533	1536	9
31.33	29.53	3.24	1528	1536	64
29.80	29.31	0.24	1527	1529	4
25.30	29.10	14.44	1526	1507	361
24.41	25.63	1.49	1509	1502	49
23.46	22.38	1.17	1491	1497	36
14.78	18.63	14.82	1467	1437	900
13.31	16.59	10.76	1452	1424	784
14.28	16.08	3.24	1448	1433	225
13.12	14.18	1.12	1432	1422	100
6.61	6.15	0.21	1330	1339	81
5.42	5.79	0.14	1323	1315	64
6.16	4.75	1.99	1300	1330	900
6.26	4.43	3.35	1292	1332	1600
5.67	4.32	1.82	1289	1320	961
3.93	3.95	0.00	1279	1278	1
4.19	3.81	0.14	1275	1286	121
3.44	3.34	0.01	1260	1263	9

$$\sum (CSi - CSc)^2 = 58.73$$

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 6269$$

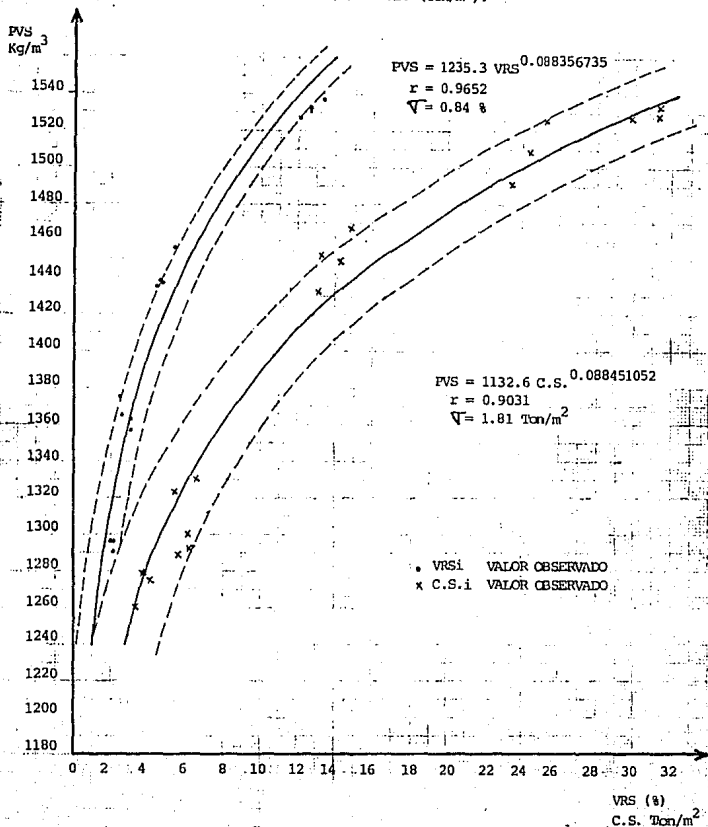
$$\sigma^2 = \frac{\sum (CSi - CSc)^2}{n} = 3.263$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (PVSi - PVSc)^2}{n} = 348.3$$

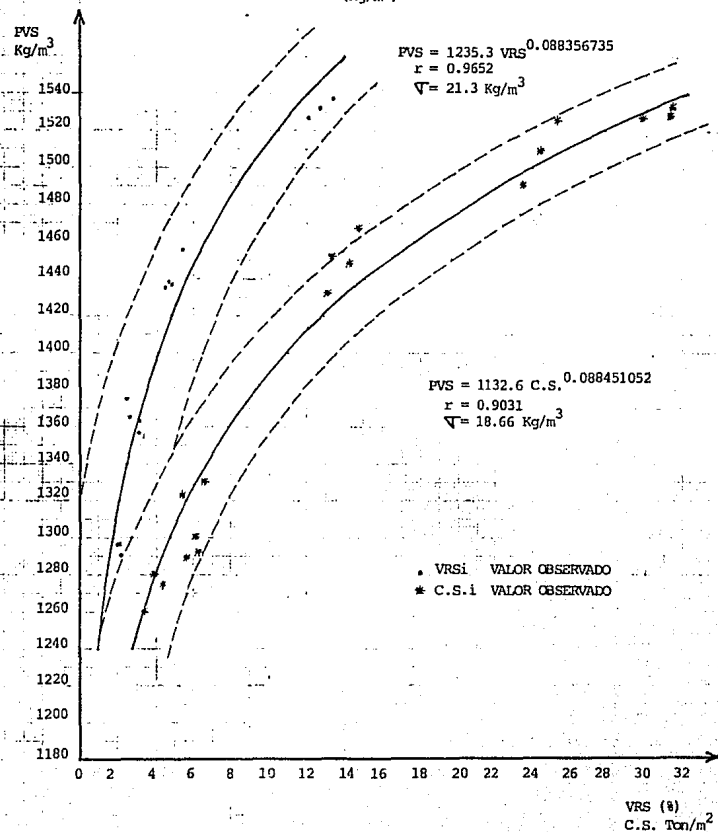
$$\sigma_e = 1.81 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_e = 18.66 \text{ Kg/m}^3$$

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>).



GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (FVS-VRS),  
(FVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE FVS (Kg/m<sup>3</sup>)



## ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DIRECTA (CS-VRS)

Siguiendo el objetivo de correlacionar de manera directa datos de (C.S.-VRS), -- -- que es la parte fundamental de esta tesis, se hizo lo siguiente:

1°.- Para lograr dicho objetivo el PVS de las correlaciones de (PVS-C.S.) (PVS-VRS) lo utilizamos como elemento pivote, ya que los PVS deben ser los mismos para ambas -- pruebas, de esta manera podemos igualar las ecuaciones de regresión y poner a la C.S. en función del VRS y el VRS en función de C.S.

$$PVS = 1235.3 \text{ VRS}^{0.088356735}$$

$$PVS = 1132.6 \text{ C.S.}^{0.088451052}$$

Igualando estas ecuaciones tenemos que:

$$1235.3 \text{ VRS}^{0.088356735} = 1132.6 \text{ C.S.}^{0.088451052}$$

Aplicando logaritmos y despejando C.S. la ecuación queda:

$$\log \text{ C.S.} = 0.998934042 \log \text{ VRS} + 0.426178058$$

Despejando VRS queda:

$$\log \text{ VRS} = 1.001067095 \log \text{ C.S.} - 0.426632831$$

2°.- Con apoyo de las gráficas de las ecuaciones de regresión correspondientes de (PVS-VRS), (PVS-C.S.) y los datos observados, podemos proyectar para cada valor real de C. S. un valor de VRS que debería tomar la otra prueba. Es decir, con la proyección se logra encontrar el valor que correspondería a la otra prueba, como si se ensayaran dos especímenes idénticos ó que en un mismo espécimen fuese posible ejecutar las dos pruebas de Compresión Simple y VRS.

Esto lo hacemos porque al efectuar las pruebas no es posible reproducir PVS y h medades iguales, a la vez que para un mismo material obtuvimos más datos de VRS que de Compresión Simple o viceversa y como consecuencia no podemos formar parejas de -- correspondencia biunívoca para su correlación.

3°.- Hacemos una tabla para proyectar valores de C.S. ó VRS, en la que aparecen datos de  $PVS_{VRS}$  obtenido,  $PVS_{CS}$  obtenido, VRS observado, CS observado, VRS calculado, C.S. calculado, incremento de VRS, incremento de CS y CS proyectada ó VRS proyectado según la prueba a proyectar, como más adelante se aprecia.

También sabemos que se trata de una correlación directa, en la que a todo  $\Delta$  de PVS corresponden  $\Delta$  de C.S. e  $\Delta$  de VRS, de acuerdo a su ecuación de regresión correspondiente. Con base en lo anterior, concluimos que al correlacionar (CS-VRS), -- para todo incremento ( $\Delta$  VRS) corresponde un incremento de Compresión Simple -- ( $\Delta$  CS). Tales incrementos los podemos calcular de la siguiente forma:

CALCULO DEL INCREMENTO DE COMPRESION SIMPLE (  $\Delta$  CS)

a).- Es necesario encontrar el VRS calculado, obteniéndose por medio de la siguiente ecuación:

$$\log \text{VRS} = \frac{\log \text{PVS} - \log 1235.3}{0.088356735}$$

Obtenida de despejar el VRS de la ecuación de regresión de (PVS-VRS). En esta fórmula se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas obteniéndose consecuentemente el VRS calculado.

b).- Entre el VRS calculado y el VRS observado, encontramos una diferencia a la que llamamos incremento del valor relativo de soporte (  $\Delta$  VRS), este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Compresión Simple (  $\Delta$  CS), que se utilizará para calcular el valor de Compresión Simple proyectada.

En este caso particular, por tratarse de una función en la que se aplicaron logaritmos, el incremento de Compresión Simple (  $\Delta$  CS) se obtiene de sustituir en forma directa el incremento de valor relativo de soporte (  $\Delta$  VRS). Por lo que la ecuación se puede poner en función de incrementos.

$$\log \Delta \text{CS} = 0.0998934042 \log \Delta \text{VRS} + 0.42617805$$

c).- INTERPRETACION DE LOS SIGNOS  $\Delta$  VRS,  $\Delta$  C.S.

Se tendrá signo negativo ( -  $\Delta$  VRS) cuando el punto observado (VRS,PVS) esté a la izquierda de la gráfica de la ecuación de regresión (PVS-VRS). El valor de Compresión Simple proyectado (CSp) será igual al valor de Compresión Simple calculada (CSc), menos el incremento de Compresión Simple ( -  $\Delta$  CS), por lo tanto el valor proyectado (CSp) estará a la izquierda de la ecuación de regresión (PVS-CS).

Si el punto observado (VRS,PVS) se encuentra a la derecha de la ecuación de regresión (PVS-VRS), será positivo el incremento ( +  $\Delta$  VRS), por lo consiguiente será positivo ( +  $\Delta$  CS) y el valor de la Proyección Simple proyectada (CSp) será igual a la (CSc) más el incremento ( +  $\Delta$  CS). Este valor proyectado como consecuencia estará a la derecha de la gráfica de la ecuación de regresión (PVS-CS).

El mismo criterio de la convención de signos se aplica para proyectar valores de VRS.

Lo anteriormente expuesto se puede simplificar mediante las siguientes fórmulas:

SÍ:

VRS; < VRSc,  $\Delta$  VRS es negativo

VRS; > VRSc,  $\Delta$  VRS es positivo

CSi < CSC,  $\Delta$  CS es negativo

CSi > CSC,  $\Delta$  CS es positivo

Por consiguiente para:

$$\begin{aligned} - \Delta \text{ VRS} \dots \text{CSp} &= \text{CSc} - \Delta \text{ CS.} \\ + \Delta \text{ VRS} \dots \text{CSp} &= \text{CSc} + \Delta \text{ CS.} \\ - \Delta \text{ CS} \dots \text{VRSp} &= \text{VRSc} - \Delta \text{ VRS.} \\ + \Delta \text{ CS} \dots \text{VRSp} &= \text{VRSc} + \Delta \text{ VRS} \end{aligned}$$

Al aplicar este criterio en la proyección de datos, estos tendrán magnitudes y variaciones semejantes a la de los datos observados en las pruebas, como se observa en las gráficas.

#### CALCULO DEL INCREMENTO DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE ( $\Delta$ VRS)

a).- Primero es necesario encontrar los valores de Compresión Simple calculada, obtenidos mediante la siguiente ecuación:

$$\log \text{CS} = \frac{\log \text{PVS} - \log 1132.6}{0.088451052}$$

Esta fórmula se obtiene de despejar (CS) de la ecuación de regresión de (PVS-CS). En seguida se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas, encontrándose consecuentemente los valores de Compresión Simple calculada (CSc).

b).- Al hacer una resta entre Compresión Simple observada y calculada, encontramos una diferencia a la que llamamos incremento de Compresión Simple (  $\Delta$  CS).

Este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de valor relativo de soporte (  $\Delta$  VRS), que se utiliza en el cálculo de VRS proyectado. Esto se realiza de acuerdo a la convención de signos anteriormente expuesta para el cálculo de (  $\Delta$  CS).

En este caso por tratarse de una función en la que aplicamos logaritmos, el incremento de valor relativo de soporte (  $\Delta$  VRS) se puede calcular en forma directa al sustituir el incremento de Compresión Simple (  $\Delta$  CS) en la ecuación. Por lo que la ecuación la podemos poner en función de incrementos, quedando:

$$\log \Delta \text{ VRS} = 1.001067095 \log \Delta \text{ CS} - 0.426632831.$$

## 4°.-TABLAS DE PROYECCION

Proyección de Ç.S. en base de Observaciones de V.R.S.

PVS Obtenido	VRS Calculado	VRS Observado	+ $\Delta$ VRS -	C.S. Calculado	+ $\Delta$ C.S. -	C.S. Proyectado
1537	11.86	13.38	+ 1.52	31.56	+ 4.05	35.61
1532	11.43	12.72	+ 1.29	30.42	+ 3.44	33.86
1527	10.98	12.13	+ 1.14	29.31	+ 3.05	32.36
1456	6.43	5.44	- 0.98	17.11	- 2.70	14.41
1438	5.58	4.71	- 0.87	14.87	- 2.32	12.91
1437	5.54	4.93	- 0.61	14.75	- 1.62	13.13
1435	5.45	4.49	- 0.96	14.52	- 2.57	11.95
1375	3.36	2.50	- 0.86	8.96	- 2.29	6.67
1365	3.09	2.65	- 0.45	8.25	- 1.19	7.06
1363	3.04	3.09	+ 0.05	8.11	+ 0.13	8.24
1357	2.89	3.09	+ 0.19	7.72	+ 0.51	8.23
1296	1.72	2.13	+ 0.41	4.59	+ 1.09	5.68
1296	1.72	2.06	+ 0.34	4.59	+ 0.91	5.50
1290	1.63	2.21	+ 0.58	4.35	+ 1.55	5.90



## PROYECCION DE VRS EN BASE A OBSERVACIONES DE C. S.

VRS Obtenido	C.S. Calculada	C.S. Observado	+ $\Delta$ C.S. -	VRS Calculado	+ $\Delta$ VRS -	VRS Proyectado
1533	30.64	31.38	+ 0.74	11.51	+ 0.28	11.79
1528	29.53	31.33	+ 1.80	11.10	+ 0.67	11.77
1527	29.31	29.80	+ 0.49	11.02	+ 0.18	11.20
1526	29.10	25.30	- 3.80	10.93	- 1.42	9.51
1509	25.63	24.41	- 1.22	9.61	- 0.46	9.15
1491	22.38	23.46	+ 1.08	8.41	+ 0.40	8.81
1467	18.63	14.78	- 3.85	7.00	- 1.44	5.56
1452	16.59	13.31	- 3.28	6.23	- 1.22	5.01
1448	16.08	14.28	- 1.80	6.04	- 0.67	5.37
1432	14.18	13.12	- 1.06	5.32	- 0.40	4.92
1330	6.15	6.61	+ 0.46	2.31	+ 0.17	2.48
1323	5.79	5.42	- 0.37	2.17	- 0.14	2.03
1300	4.75	6.16	+ 1.41	1.78	+ 0.53	2.31
1292	4.43	6.26	+ 1.83	1.66	+ 0.69	2.35
1289	4.32	5.67	+ 1.35	1.62	+ 0.51	2.13
1279	3.95	3.93	- 0.02	1.48	- 0.01	1.47
1275	3.81	4.19	+ 0.38	1.43	+ 0.14	1.57
1260	3.34	3.44	+ 0.10	1.25	+ 0.04	1.29

De estas tablas procedemos a obtener las parejas de datos (C.S. - VRS) de correspondencia biunívoca formadas como a continuación se indica (CSp-VRS<sub>p</sub>) y (CSp-VRS<sub>R</sub>) - en la que:

C.S.<sub>O</sub> = Compresión Simple Observada ó Real

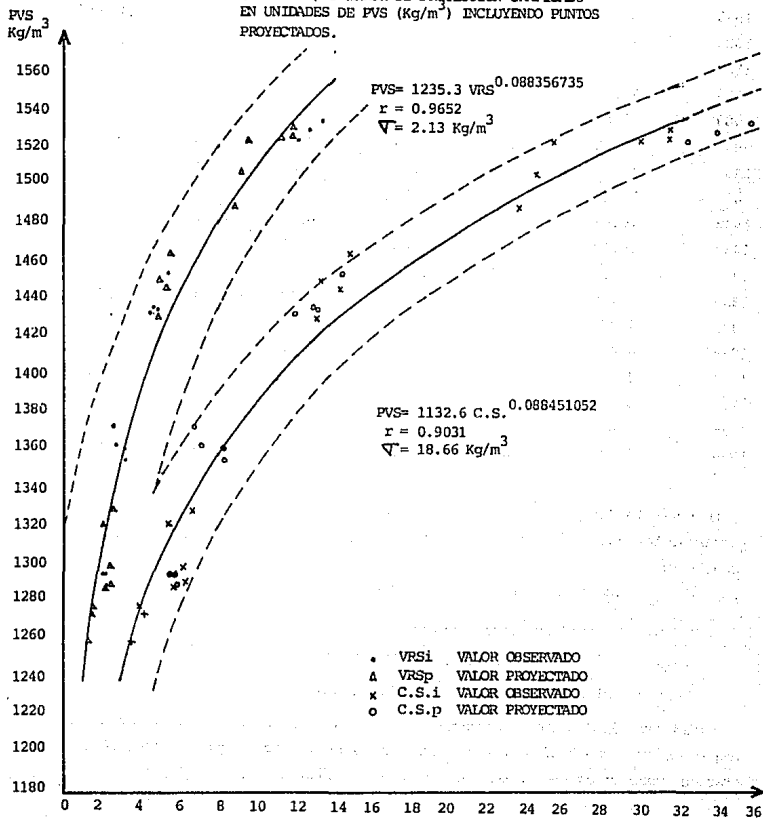
C.S.<sub>p</sub> = Compresión Simple Proyectada

VRS<sub>O</sub> = Valor Relativo de Soporte Observado ó Real

VRS<sub>p</sub> = Valor Relativo de Soporte Proyectado.

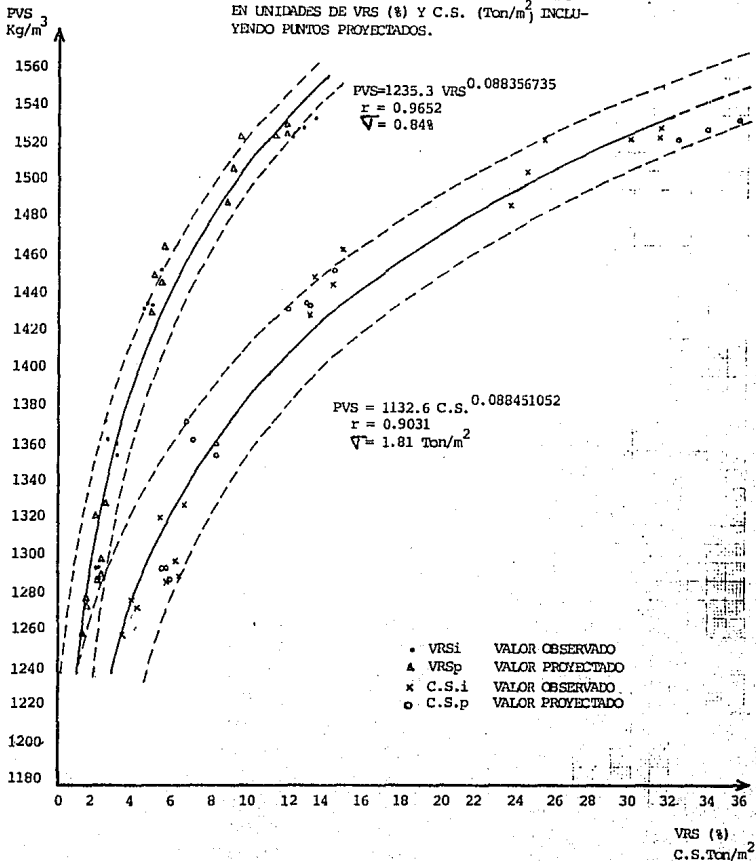
Estas parejas de datos se ordenaron en forma decreciente. Al graficar estos datos se observa que tenían un comportamiento lineal, por lo que se procedió a encontrar su Ecuación de regresión y calcular su Coeficiente de Correlación.

GRAFICA DE LA LC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE PVS (Kg/m<sup>3</sup>) EXCLUYENDO PUNTOS  
PROYECTADOS.



VRS (t)  
C.S. Ton/m<sup>2</sup>

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>) INCLU-  
YENDO PUNTOS PROYECTADOS.



## 5°.- ANALISIS ESTADISTICO DE ( C.S. - VRS )

## . Correlación Lineal

C. S.	VRS	(C.S.) (VRS)	(VRS) <sup>2</sup>	(C.S.) <sup>2</sup>
31.61	13.38	476.4618	179.0244	1268.0721
33.86	12.72	430.6992	161.7984	1146.4996
32.36	12.13	392.5268	147.1369	1047.1696
31.38	11.79	369.9702	139.0041	984.7044
31.33	11.77	368.7541	138.5329	981.5689
29.80	11.20	333.7600	125.4400	888.0400
25.30	9.51	240.6030	90.4401	640.0900
24.41	9.15	223.3515	83.7225	595.8481
23.46	8.81	206.6826	77.6161	550.3716
14.78	5.56	82.1768	30.9136	218.4484
14.41	5.44	78.3904	29.5936	207.6481
14.28	5.37	76.6836	28.8369	203.9184
13.31	5.01	66.6831	25.1001	177.1561
13.13	4.93	64.7309	24.3049	172.3969
13.12	4.92	64.5504	24.2064	172.1344
12.91	4.71	60.8061	22.1841	166.6681
11.95	4.49	53.6555	20.1601	142.8025
8.24	3.09	25.4616	9.5481	67.8976
8.23	3.09	25.4307	9.5481	67.7329
7.06	2.65	18.7090	7.0225	49.8436
6.67	2.50	16.6750	6.2500	44.4889
6.61	2.48	16.3928	6.1504	43.6921
6.26	2.35	14.7110	5.5225	39.1876
6.16	2.31	14.2296	5.3361	37.9456
5.90	2.21	13.0390	4.8841	34.8100
5.68	2.13	12.0984	4.5369	32.2624
5.67	2.13	12.0771	4.5369	32.1489
5.50	2.06	11.3300	4.2436	30.2500
5.42	2.03	11.0026	4.1209	29.3764
4.19	1.57	6.5783	2.4649	17.5561
3.93	1.47	5.7771	2.1609	15.4449
3.44	1.29	4.4376	1.6641	11.8336
464.36	174.25	3798.4358	1426.0051	10,118.0078

CALCULO DE LA ECUACION DE REGRESION Y COEFICIENTE DE CORRELACION  
EN FUNCION DE ( C.S. - VRS )

El sistema para encontrar los parámetros es:

$$\sum C.S. = a \sum VRS + nb$$

$$\sum (C.S.) (VRS) = a \sum (VRS)^2 + b \sum VRS$$

Sustituyendo y resolviendo el sistema:

$$464.36 = a (174.25) + 32b$$

$$3798.4358 = a (1426.0051) + 174.25b$$

$$a = 2.661271046 \quad b = 0.01979751$$

Por lo tanto, la ecuación de regresión queda:

$$C.S. = 2.661271046VRS + 0.0197975$$

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION

Fórmula:

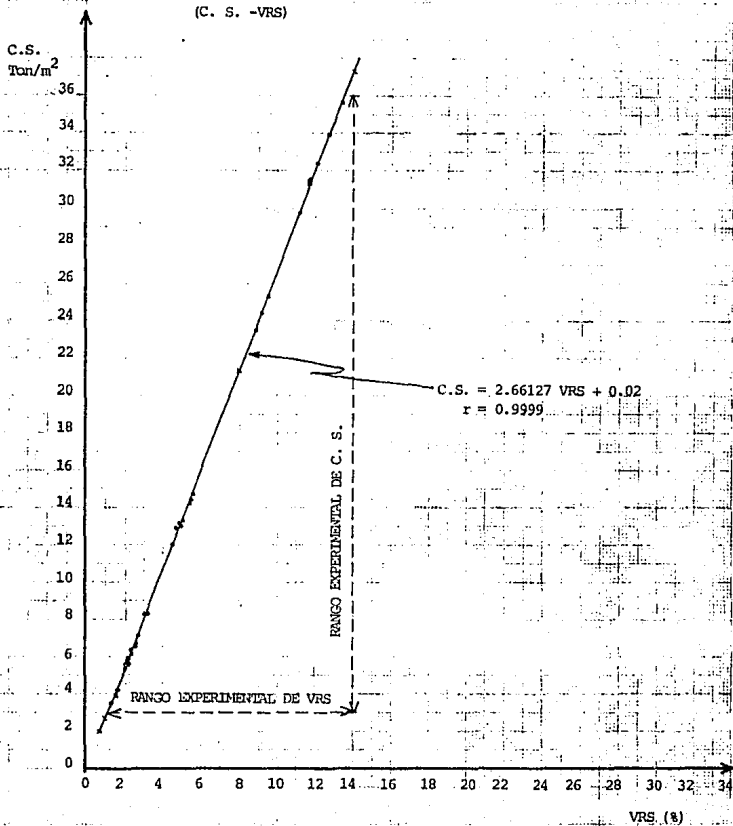
$$r^2 = \frac{a \sum (VRS) (C.S.) + b \sum C.S. - n(\overline{C.S.})^2}{\sum (C.S.)^2 - n(\overline{C.S.})^2}$$

Sustituyendo y realizando operaciones queda:

$$r^2 = \frac{3379.416329}{3379.563749} = 0.999956379$$

$$r = 0.99998 \approx 1$$

MATERIAL: ARCILLA-ARENOSA DE TEXCOCO

GRAFICA DE CORRELACION LINEAL  
(C. S. -VRS)

## V.5.-ANALISIS ESTADISTICO

Material: Arena Limosa

## ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION DE (PVS - VRS)

De las pruebas ejecutadas de VRS, obtenemos los datos de PVS y VRS de las mismas. Estos datos los clasificamos y graficamos para poder apreciar a qué tipo de función es similar, encontrándose que se asemeja a dos posibles funciones que son la Potencial y la Parabólica.

Se determinaron las ecuaciones de regresión, así como también el coeficiente de correlación, encontrándose una mejor adaptación a los datos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno con la función de tipo Potencial. Sólo desarrollamos los cálculos de la función Potencial, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS Kg/m <sup>3</sup>	VRS %	Humedad %	G.C. %
1229	19.0	37.95	97.93
1190	15.4	38.79	94.82
1199	14.0	37.97	95.54
1139	9.85	39.82	90.76
1139	9.56	39.55	90.76
1140	7.5	39.94	90.84
1082	6.5	41.58	86.21

## Tabla de Cálculos

## Función Potencial (PVS - VRS)

PVS	VRS	logVRS	(logVRS) <sup>2</sup>	logPVSlogVRS	logPVS	(logPVS) <sup>2</sup>
1229	19.0	1.278753601	1.635210772	3.950775596	3.089551883	9.545330837
1190	15.4	1.187520721	1.410205462	3.652275745	3.075546961	9.458989112
1199	14.0	1.146128036	1.313609474	3.528720983	3.078819183	9.479127562
1139	9.85	0.993436230	0.986915544	3.036461407	3.056523724	9.342337276
1139	9.56	0.980457892	0.961297678	2.996792808	3.056523724	9.342337276
1130	7.5	0.875061263	0.765732214	2.674979021	3.056904851	9.344667270
1082	6.5	0.812913356	0.660828125	2.466563867	3.034227261	9.206535070
	Σ	7.274271099	7.733799269	22.306569430	21.448097590	65.719324400

El sistema de ecuación es:

$$\sum \log PVS = a \sum \log VRS + b'n$$

$$\sum \log PVS \log VRS = a \sum (\log VRS)^2 + b' \sum \log VRS$$

Sustituyendo:

$$21.44809759 = 7.274271099 a + 7 b'$$

$$22.30656943 = 7.733799269 a + 7.274271099 b'$$

Resolviendo el sistema:

$$a = 0.103726416 \quad b' = 2.956223359 \quad b = 904.11$$

La ecuación de regresión es:

$$PVS = 904.11 VRS^{0.103726416}$$

Cálculo del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{a \sum \log PVS \log VRS + \log b \sum \log PVS - n (\log \overline{PVS})^2}{\sum (\log PVS)^2 - n (\log \overline{PVS})^2}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{0.103726416(22.30656943) + (2.956223359)(21.44809759) - 7(9.368181433)}{65.7193244 - 65.71727003}$$

$$r^2 = \frac{0.001877568}{0.002054371} = 0.913938134$$

$$r = 0.956$$



## ERROR DE PROYECCION (PVS-VRS)

Como ya hemos comprobado que el coeficiente de correlación del peso volumétrico en función del VRS es igual al coeficiente de correlación del Valor Relativo de Soporte en función del Peso Volumétrico seco, esto es:

$r_{VRS, PVS} = r_{PVS, VRS}$  podemos graficar el error de proyección expresado tanto en unidades de PVS como en unidades de VRS. Esto nos ayuda a conocer la variabilidad de las pruebas de VRS y nos permite determinar cierto grado de confiabilidad en la correlación si ser utilizada con un fin específico.

## Cuantificación del error de Proyección

En Unidades de VRS

VRSi	VRS <sub>c</sub>	(VRSi - VRS <sub>c</sub> ) <sup>2</sup>
19.00	19.29	0.08
15.40	14.14	1.59
14.00	15.20	1.45
9.85	9.27	0.34
9.56	9.27	0.08
7.50	9.35	3.42
6.50	5.65	0.72

$$\sum (VRSi - VRS_c)^2 = 7.68$$

$$\frac{\sum (VRSi - VRS_c)^2}{n} = 1.097$$

$$\sigma = 1.05\%$$

En Unidades de PVS

PVSi	PVSc	(PVSi - PVSc) <sup>2</sup>
1229	1227	4
1190	1201	121
1199	1189	100
1139	1146	49
1139	1143	16
1140	1114	676
1082	1098	256

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 1222$$

$$\frac{\sum (PVSi - PVSc)^2}{n} = 174.57$$

$$\sigma = 13.2 \text{ Kg/m}^3$$

## ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION (PVS-CS)

Procediendo de manera análoga al caso anterior, de las pruebas ejecutadas de Compresión Simple (CS) se tomaron los datos de PVS y de CS de las mismas, procediendo a graficar estos valores para poder apreciar a qué tipo de función son similares dichos valores, encontrándose que toman semejanza a dos funciones que son la Potencial y la Función Parabólica.

Posteriormente se determinaron las ecuaciones de regresión, así como también se calcularon los coeficientes de correlación, encontrándose una mayor adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno con la función tipo parabólica. A continuación desarrollamos los cálculos de la función Parabólica, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas de CS.

PVS <sub>3</sub> Kg/m <sup>3</sup>	CS <sub>2</sub> Ton/m <sup>2</sup>	Humedad %	G.C. %
1264	26.7	34.28	100.71
1241	18.5	36.07	98.88
1232	18.4	36.09	98.17
1199	12.9	37.38	95.54
1190	12.1	37.95	94.82
1144	7.0	38.95	91.15
1137	6.4	40.45	90.60
1131	4.3	41.87	90.12
1088	3.2	41.67	86.69
1077	2.6	42.63	85.82

TABLA DE CALCULOS

Función Parabólica (PVS - CS)

PVS	(PVS) <sup>2</sup>	CS	(CS) <sup>2</sup>	(CS) <sup>3</sup>	(CS) <sup>4</sup>	(PVS) (CS)	(PVS) (CS) <sup>2</sup>
1264	1597696	26.70	712.90	19,034.2	508,212.2	33,748.8	901,105.6
1241	1540081	18.50	342.30	6,331.6	117,135.1	22,958.5	424,794.3
1232	1517824	18.40	338.56	6,229.5	114,622.9	22,668.8	417,105.9
1199	1437601	12.90	166.40	2,146.7	27,692.3	15,467.1	199,513.6
1190	1416100	12.10	146.40	1,771.6	21,435.9	14,399.0	174,216.0
1144	1308736	7.00	49.00	343.0	2,401.0	8,008.0	56,056.0
1137	1291769	6.40	41.00	262.1	1,677.7	7,276.8	46,617.0
1131	1279161	4.30	18.50	79.5	341.9	4,863.3	20,923.5
1088	1183744	3.20	10.20	32.8	104.9	3,481.6	11,097.6
1077	1159929	2.60	6.76	17.6	45.7	2,800.2	7,280.5
$\Sigma$ 11703.0	13733641.0	112.1	1832.0	36,248.6	793,669.6	135,672.1	2'258,710.0

El sistema de ecuaciones por aplicar es:

$$\Sigma PVS = a \Sigma CS^2 + b \Sigma CS + nc$$

$$\Sigma (PVS) (CS) = a \Sigma CS^3 + b \Sigma CS^2 + c \Sigma CS$$

$$\Sigma (PVS) (CS)^2 = a \Sigma CS^4 + b \Sigma CS^3 + c \Sigma CS^2$$

Sustituyendo en el sistema:

$$11,703.0 = a (1832) + b(112.1) + 10 c$$

$$135,672.1 = a (36,248.6) + b (1832.0) + c (112.1)$$

$$2'258,710.0 = a (793,669.6) + b (36,248.6) + c (1832.0)$$

Resolviendo el sistema se encuentra que:

$$a = -0.264228146 \quad b = 15.00452923 \quad c = 1050.505824$$

La ecuación de regresión queda:

$$PVS = -0.264228146 CS^2 + 15.00452923 CS + 1050.51$$

Cálculo del Coeficiente de Correlación

$$r^2 = \frac{a \Sigma (PVS) (CS)^2 + b \Sigma (PVS) (CS) + c \Sigma PVS - n \overline{PVS}^2}{\Sigma PVS^2 - n \overline{PVS}^2}$$

$$r^2 = \frac{-0.264228146(2,258,710.0) + 15.00452923(135,672.1) + 1050.505824(11,703) - 13'696,020.9}{13,733641.0 - 13,696,020.9}$$

$$r^2 = \frac{14329765.65 - 14292835.66}{37620.1} = \frac{36929.992}{37620.1}$$

$$r^2 = 0.981165587 \quad \therefore \quad r = 0.990785481$$

#### DETERMINACION DEL ERROR DE PROYECCION (PVS - CS)

Como ya comprobamos que el coeficiente de correlación del peso volumétrico seco en base a la Compresión Simple es igual al Coeficiente de Correlación de la Compresión Simple en base al peso volumétrico seco; es decir:

$$r_{PVS,CS} = r_{CS,PVS}$$

Podemos obtener y graficar el error de proyección expresado en unidades de PVS, así como en unidades de Compresión Simple. Esto nos permite conocer el comportamiento de las variaciones de Compresión Simple y peso volumétrico con el fin de poder establecer cierto grado de confiabilidad en la ecuación de regresión, para poderla usar con acertividad en casos específicos.

#### Cálculo del error de Proyección

En Unidades de CS			En Unidades de PVS		
CSi Ton/m <sup>2</sup>	CSc Ton/m <sup>2</sup>	(CSi-CSc) <sup>2</sup> (T/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
26.7	28.4	2.89	1264	1263	1.0
18.5	19.2	0.49	1241	1238	9.0
18.4	17.5	0.81	1232	1237	25.0
12.9	12.8	0.01	1199	1200	1.0
12.1	11.7	0.16	1190	1193	9.0
7.0	7.1	0.01	1144	1143	1.0
6.4	6.5	0.01	1137	1136	1.0
4.3	6.0	2.89	1131	1110	441.0
3.2	2.6	0.36	1088	1096	64.0
2.6	1.8	0.64	1077	1088	121.0

$$\sum (CSi - CSc)^2 = 8.27$$

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 673$$

$$\sum \frac{(CSi - CSc)^2}{n} = 0.827$$

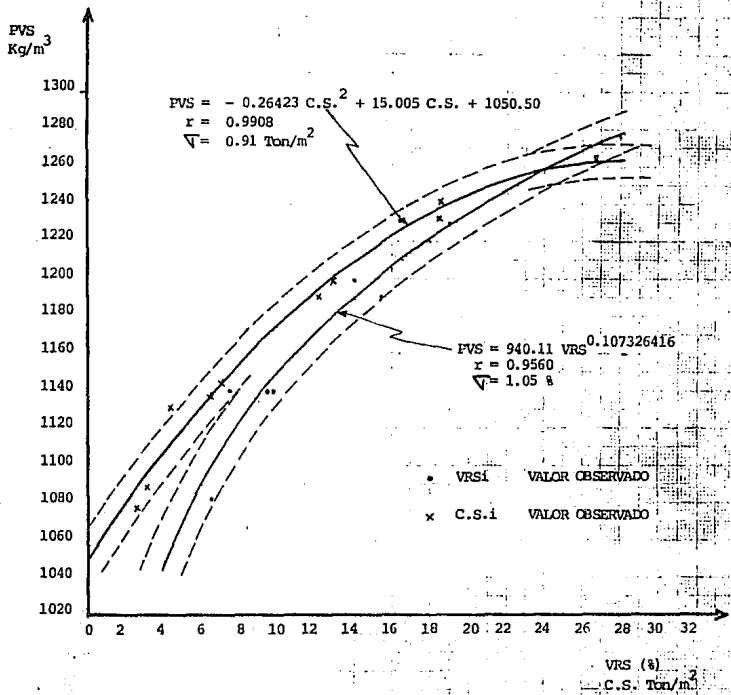
$$\sum \frac{(PVSi - PVSc)^2}{n} = 67.3$$

$$\nabla_{CS} = 0.91 \text{ Ton/m}^2$$

$$\nabla_{PVS} = 8.2 \text{ Kg/m}^3$$

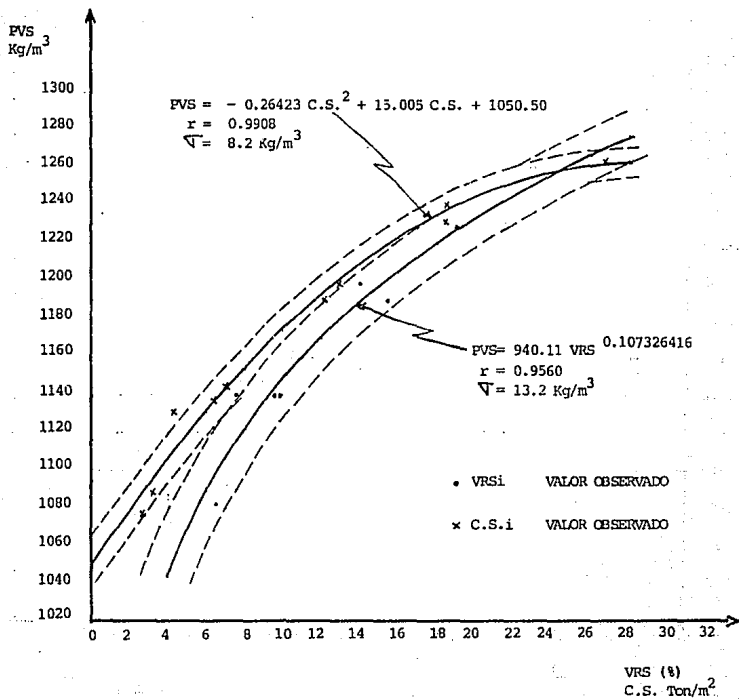
MATERIAL: ARENA-LIMOSA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICO  
EN UNIDADES DE VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>).



MATERIAL: ARENA-LIMOSA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE PVS (Kg/m<sup>3</sup>).



## ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DIRECTA (CS-VRS)

Continuando con el objetivo que es correlacionar valores de (CS,VRS) hacemos lo siguiente.

1.- El PVS de las correlaciones (PVS-CS) y (PVS-VRS) nos sirve como elemento pi vote para poder igualar las ecuaciones de regresión, considerando que para cada ma terial se reprodujeron pesos volumétricos secos del orden de 100 al 85% del PVS, - en cada una de las pruebas de Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte.

$$PVS = 904.11 \text{ VRS}^{0.103726416}$$

$$PVS = 0.264228146 \text{ CS}^2 + 15.00452923 \text{ CS} + 1050.51$$

Igualando estas dos ecuaciones, podemos poner el VRS en función de CS ó poner la CS en función del VRS, para este material.

Igualando:

$$- 0.264228146 \text{ CS}^2 + 15.00452923 \text{ CS} + 1050.51 = 904.11 \text{ VRS}^{0.103726416}$$

Despejando Compresión Simple se tiene:

$$\text{CS} = \frac{56.786 - (19,127.69147 - 13686.808 \text{ VRS}^{0.103726416})^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Despejando el Valor Relativo de Soporte, se tiene:

$$\text{VRS} = (1.161927199 + 0.016595911 \text{ CS} - 0.000292252 \text{ CS}^2)^{\frac{1}{0.103726416}}$$

2.- Con apoyo de las gráficas de las ecuaciones de regresión y los datos observados, podemos proyectar para cada valor observado de (CS) un valor de (VRS) que debería tomar la otra prueba; también podemos proyectar para cada observación de (VRS) un valor de (CS) que debería obtenerse en la otra prueba.

Es decir, con la proyección se logra encontrar el valor que correspondería a la otra prueba como si se ensayaran dos especímenes idénticos en peso volumétricos y humedad, ó que en un sólo espécimen fuese posible ejecutar ambas pruebas (Valor Relativo de Soporte y Compresión Simple).

Esto lo hacemos porque al realizar las pruebas no es posible reproducir peso volumétricos secos y humedades iguales, a la vez que para un mismo material, obtuvimos más datos de VRS que de Compresión Simple (CS) ó viceversa y como consecuencia no podemos formar parejas (CS,VRS) para su análisis de regresión y correlación.

3.- Hacemos una tabla para proyectar valores de CS ó VRS, en la que aparecerán datos de:

PVS<sub>VRS</sub> obtenido, PVS<sub>CS</sub> obtenido, VRS observado, CS observado, VRS calculado, CS - calculada, incremento de CS, incremento de VRS, CS proyectada ó VRS proyectado, se-

gún sea la prueba a proyectar, como se puede apreciar en la tabla de proyección.

También sabemos que se trata de una correlación directa en la que a todo  $\Delta$  PVS - corresponden  $\Delta$  CS e  $\Delta$  VRS de acuerdo a su ecuación de regresión correspondiente.

Con base en lo anterior, concluimos que al correlacionar (CS-VRS), para todo incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS) corresponde un incremento de Compresión Simple  $\Delta$  CS. Dichos incrementos los podemos calcular de la forma siguiente.

#### CALCULO DEL INCREMENTO DE COMPRESION SIMPLE ( $\Delta$ CS)

a).- Es necesario encontrar el VRS calculado, obtenido por medio de la siguiente ecuación:

$$VRS = \frac{(PVS)}{904.11} \cdot 9.640745709$$

Esta fórmula se obtiene de despejar el VRS de la ecuación de regresión de - - - (PVS-VRS). En ella se substituyen los PVS obtenidos en las pruebas, encontrándose -- consecuentemente el VRS calculado.

b).- Entre el VRS calculado y el VRS observado, encontramos una diferencia a la que llamamos incremento de Valor Relativo de Soporte  $\Delta$  VRS, este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS), que se utilizará para calcular el Valor de Compresión Simple proyectada.

Sustituyendo los valores de VRS calculado y el VRS observado en la siguiente ecuación:

$$CS = \frac{56.786 - (19127.69 - 13686.81 \cdot VRS^{0.103726416})^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Al hacer la diferencia entre estos dos resultados encontramos el incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS).

c).- Interpretación de los signos  $+$   $\Delta$  VRS  $+$   $\Delta$  CS.

Será negativo ( $-$   $\Delta$  VRS) cuando el punto observado (VRS,PVS) esté a la izquierda de la gráfica de la ecuación de regresión (PVS-VRS). El valor de Compresión Simple proyectado (CSp) será igual al valor de la Compresión Simple calculada (CSc), menos el incremento de Compresión Simple ( $-$   $\Delta$  CS), por lo tanto el valor proyectado (CSp) estará a la izquierda de la gráfica de la ecuación de regresión.

#### CALCULO DEL INCREMENTO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE ( $\Delta$ VRS)

a).- Primero es necesario encontrar la Compresión Simple calculada (CSc), obtenida



mediante la siguiente ecuación:

$$CS = \frac{56.786 - (19127.69 - 15.13843268 \text{ PVS})^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Esta ecuación se obtiene de despejar (CS) de la ecuación de regresión de (PVS-CS), que en este caso resultó ser una función Parabólica. Enseguida se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas, encontrándose consecuentemente la Compresión Simple calculada (CSc).

b).- Al hacer una resta entre Compresión Simple calculada (CSc) con Compresión Simple observada (CSi) encontramos una diferencia a la que llamamos incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS). Este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS), que se utiliza para calcular la proyección del Valor Relativo de Soporte (VRSp). Esto se realiza mediante una convención de signos anteriormente expuesta.

Sustituyendo la CS calculada y la CS observada en la ecuación:

$$VRS = (1.161927199 + 0.016595911 \text{ CS} - 0.000292252 \text{ CS}^2)^{9.640745709}$$

Encontramos dos cantidades de Valor Relativo de Soporte (VRS) a cuya diferencia -- denominamos incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS).

Lo anteriormente expuesto se puede simplificar mediante las siguientes fórmulas:

S I

$VRSi < VRSc, \dots \Delta$  VRS es negativo

$VRSi > VRSc, \dots \Delta$  VRS es positivo

$CSi < CSc, \dots \Delta$  CS es negativo

$CSi > CSc, \dots \Delta$  CS es positivo

También se tiene que para:

-  $\Delta$  VRS,  $CSp = CSc - \Delta$  CS

+  $\Delta$  VRS,  $CSp = CSc + \Delta$  CS

-  $\Delta$  CS,  $VRSp = VRSc - \Delta$  VRS

+  $\Delta$  CS,  $VRSp = VRSc + \Delta$  VRS

Al aplicar este criterio en la proyección de datos, estos tendrán magnitudes y variabilidad semejante a la de los datos observados en las pruebas, como se observa en las gráficas correspondientes.

## 4.- TABLAS DE PROYECCION

Proyección de VRS en base a observaciones de CS

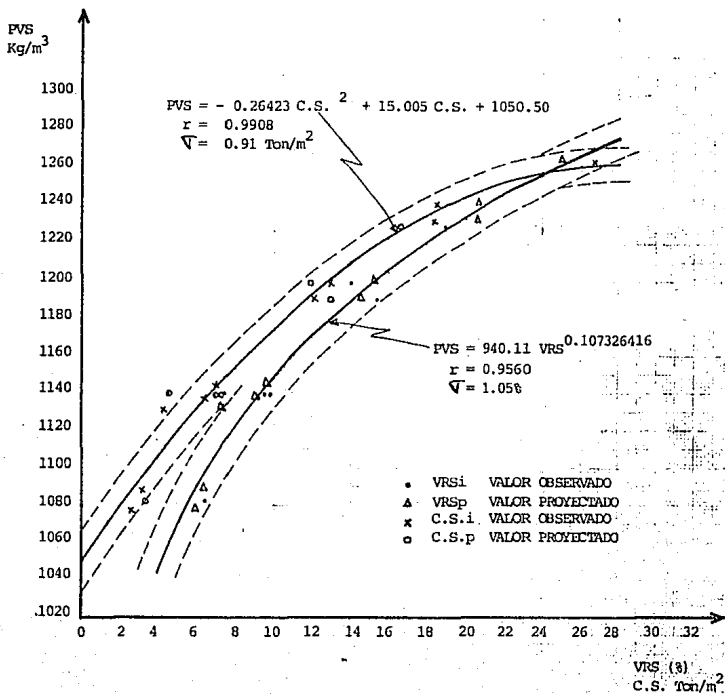
$FVS_{CS}$ Observado	CSc Calculada	CSi Observada	$\Delta$ CS	VRS Calculado	$\Delta$ VRS	VRSp Proyectado
1264	28.4	26.7	- 1.7	25.29	- 0.24	25.05
1241	19.2	18.5	- 0.7	21.21	- 0.57	20.64
1232	17.5	18.4	+ 1.0	20.09	+ 0.47	20.56
1199	12.8	12.9	+ 0.1	15.24	+ 0.01	15.25
1190	11.7	12.1	+ 0.4	14.13	+ 0.40	14.53
1144	7.1	7.0	- 0.1	9.65	- 0.10	9.55
1137	6.5	6.4	- 0.1	9.10	- 0.09	9.01
1131	6.0	4.3	- 1.7	8.66	- 1.42	7.24
1088	2.6	3.2	+ 0.6	5.95	+ 0.44	6.39
1077	1.8	2.6	+ 0.8	5.39	+ 0.56	5.95

Proyección de CS en base a observaciones de VRS

$FVS_{VRS}$ Observado	VRS <sub>c</sub> Calculado	VRS <sub>i</sub> Observado	$\Delta$ VRS	CSc Calculada	$\Delta$ CS	CSp Proyectado
1229	19.29	19.0	- 0.29	16.96	- 0.32	16.64
1190	14.14	15.40	+ 1.26	11.71	+ 1.25	12.96
1199	15.20	14.00	- 1.20	12.76	- 1.18	11.58
1139	9.27	9.85	+ 0.58	6.69	+ 0.63	7.32
1139	9.27	9.56	+ 0.29	6.69	+ 0.32	7.01
1140	9.35	7.50	- 1.85	6.78	- 2.15	4.63
1082	5.65	6.50	+ 0.85	2.18	+ 1.17	3.35

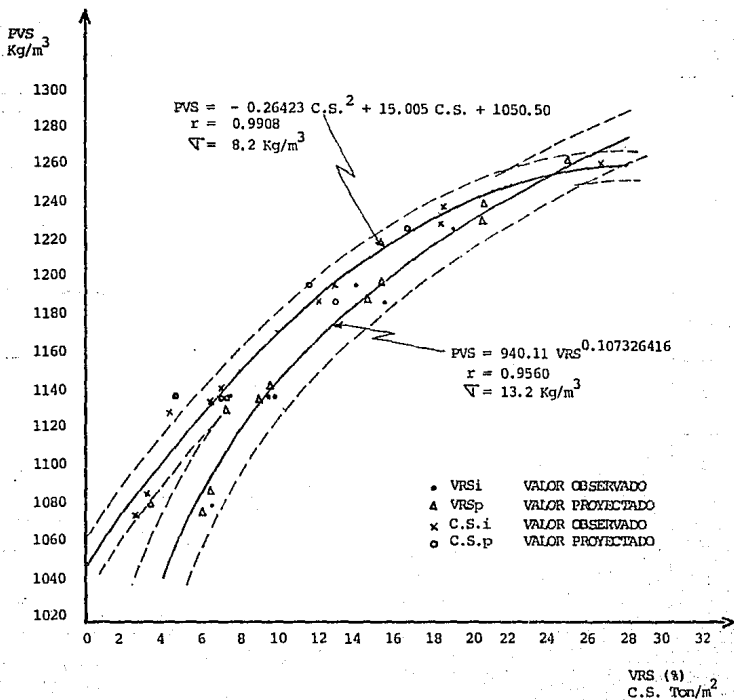
MATERIAL: ARENA-LIMOSA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERROR DE  
PROYECCION GRAFICADO EN UNIDADES  
DE VRS (‰) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>) INCLUYENDO  
PUNTOS PROYECCADOS.



MATERIAL: ARENA-LIMOSA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE PVS (Kg/m<sup>3</sup>), INCLUYENDO PUN-  
TOS PROYECTADOS.



## 5.- ANALISIS DE REGRESION (CS -VRS)

Ordenando las parejas de datos (VRS,CS) en forma decreciente, constituidas por un dato observado y otro proyectado, procedemos a graficar dichos puntos con el fin de identificar a qué función matemática se asemeja.

Al graficar, nos damos cuenta que se trata de una línea recta por lo que procedamos a calcular los parámetros de dicha ecuación:

Tabla de cálculos función lineal

CS	VRS	VRS <sup>2</sup>	(CS) (VRS)	CS <sup>2</sup>
26.70	25.05	627.50	668.84	712.89
18.50	20.64	426.01	381.84	342.25
18.40	20.56	422.71	378.30	338.56
16.64	19.00	361.00	316.16	276.89
12.96	15.40	237.16	199.58	167.96
12.90	15.25	232.56	196.73	166.41
12.10	14.53	211.12	175.81	146.41
11.58	14.00	196.00	162.12	134.10
7.32	9.85	97.02	72.10	53.58
7.01	9.56	91.39	67.02	49.14
7.00	9.55	91.20	66.85	49.00
6.40	9.01	81.18	57.66	40.96
4.63	7.50	56.25	34.73	21.44
4.30	7.24	52.42	31.13	18.49
3.35	6.50	42.25	21.78	11.22
3.20	6.39	40.83	20.45	10.24
2.60	5.95	35.40	15.47	6.76
$\Sigma$ 175.59	215.98	3302.00	2866.57	2546.30

El sistema de ecuaciones para una función lineal es:

$$\Sigma CS = a \Sigma VRS + bn$$

$$\Sigma (CS) (VRS) = a \Sigma (VRS)^2 + b \Sigma VRS$$

Sustituyendo se tiene:

$$175.59 = a (215.98) + b (17)$$

$$2866.57 = a (3302) + b (215.98)$$

Resolviendo el sistema se tiene:

$$a = 1.139261345 \quad b = - 4.145156777$$

La ecuación de regresión queda:

$$CS = 1.139261345 \text{ VRS} - 4.145$$

En esta correlación (CS-VRS) no se calculó error de proyección, ya que teóricamente debe ser cero: si se encontrase una ecuación de regresión ideal esto se debería a que fué obtenida de datos observados y proyectados, calculados mediante la ecuación que resultó de igualar los VRS y cuya finalidad fué relacionar los datos proyectados con los observados para poder formar parejas.

Estos puntos son equivalentes a los que se obtuvieron al graficar la ecuación que resultó de igualar los pesos volumétricos.

El coeficiente de correlación debería ser igual a uno si la ecuación fuese la -- ideal para esta correlación.

Por otro lado las pequeñas diferencias que puedan existir carecen de sentido desde el punto de vista de variabilidad de las pruebas, es decir no tienen relación alguna con las variaciones obtenidas en las pruebas.

Cálculo del Coeficiente de Correlación:

$$r^2 = \frac{a \sum (\text{VRS}) (\text{CS}) + b \sum \text{CS} - n \overline{\text{CS}}^2}{\sum (\text{CS})^2 - n \overline{\text{CS}}^2}$$

Sustituyendo:

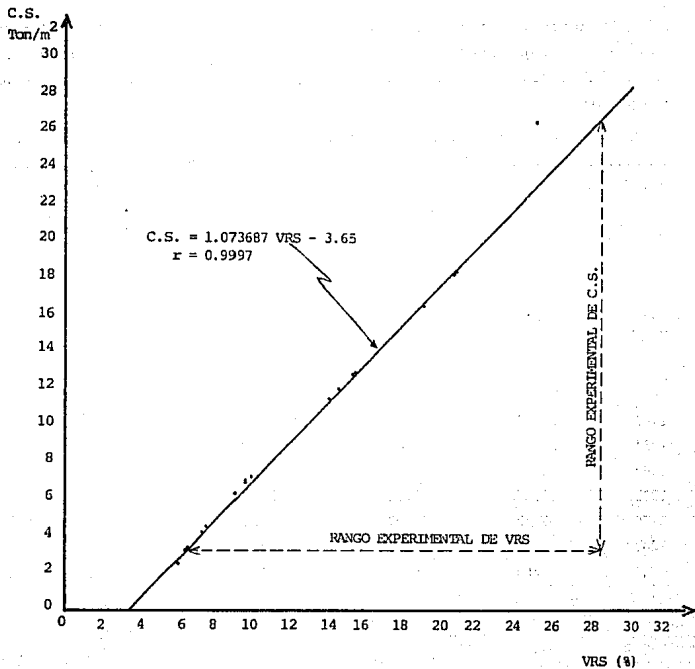
$$r^2 = \frac{1.139261345 (2866.57) + (-4.145156777) (175.59) - 1813.638123}{2546.3 - 1813.638123}$$

$$r^2 = \frac{3265.772394 - 2541.486202}{732.661877} = \frac{724.2861922}{732.661877}$$

$$r^2 = 0.988568144 \quad r = 0.99426$$

Por lo tanto esta ecuación la graficamos con la finalidad de representar la relación directa de (CS-VRS), utilizando una fórmula más sencilla que la obtenida de igualar los pesos volumétricos, marcando sobre dicha gráfica el rango experimental de las pruebas.

MATERIAL: ARENA-LIMOSA  
GRAFICA DE CORRELACION LINEAL  
(C.S.-VRS).



## V.6.- ANALISIS ESTADISTICO

Material: Arena Arcillosa      Banco: La Palma

## ANALISIS DE CORRELACION (FVS-VRS)

De las pruebas ejecutadas de VRS, obtenemos los datos de FVS y VRS de las mismas. Estos datos los graficamos para poder apreciar a que tipo de función son similares, encontrándose que toman una forma semejante, tanto a una función potencial como a una parabólica.

Con base en lo anterior se determinaron las ecuaciones de regresión, así como -- también el coeficiente de correlación encontrándose una mejor adaptación a los puntos observados y un mayor coeficiente de correlación con la función parabólica. Só lo desarrollaremos aquí el cálculo de la función seleccionada, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

FVS <sub>2</sub> Kg/m <sup>2</sup>	VRS %	G.C. %	Humedad
1426	36.76	101.13	26.48
1416	31.25	100.43	28.38
1404	32.35	99.57	28.25
1354	22.06	96.03	29.35
1340	16.91	95.11	30.17
1275	10.66	90.50	31.84
1270	7.43	90.07	32.40
1207	5.37	85.67	32.53
1204	2.06	85.39	34.03



Tabla de Cálculos  
Función Parabólica (PVS - VRS)

PVS	VRS	(VRS) <sup>2</sup>	(VRS) <sup>3</sup>	(VRS) <sup>4</sup>	(PVS)(VRS)	(PVS)(VRS) <sup>2</sup>	(PVS) <sup>2</sup>
1426	36.76	1351.30	49673.70	1826,005.20	52,419.76	1,926,950.38	2,033,476
1416	31.25	976.56	30517.58	953,674.32	44,250.00	1,382,812.50	2,005,056
1404	32.35	1046.52	33855.00	1095,209.34	45,419.40	1,469,317.59	1,971,216
1354	22.06	486.64	10735.36	236,821.99	29,869.24	658,915.43	1,833.316
1340	16.91	285.95	4835.38	81,766.32	22,659.40	383,170.45	1,795,600
1275	10.66	113.64	1211.36	12,913.05	13,591.50	144,885.39	1,625,625
1270	7.43	55.20	410.17	3,047.58	9,436.10	70,110.22	1,612,900
1207	5.37	28.84	154.85	831.57	6,481.59	34,806.14	1,456,849
1204	2.06	4.24	8.74	18.01	2,480.24	5,109.29	1,449,616
11896.0	164.85	4348.89	131402.14	4'210,287.38	226,607.23	6'076,077.40	15'783,654

Sistema de ecuaciones a aplicar:

$$\sum PVS = a \sum (VRS)^2 + b \sum (VRS) + nc$$

$$\sum (PVS)(VRS) = a \sum (VRS)^3 + b \sum (VRS)^2 + c \sum (VRS)$$

$$\sum (PVS)(VRS)^2 = a \sum (VRS)^4 + b \sum (VRS)^3 + c \sum (VRS)^2$$

Sustituyendo en el sistema:

$$11896 = a (4348.89) + b (164.85) + c (9)$$

$$226,607.23 = a (131,402.14) + b (4,348.89) + c (164.85)$$

$$6'076,077.4 = a (4'210,287.38) + b (131,402.14) + c (4,348.89)$$

Resolviendo el sistema:

$$a = -0.11927 \quad b = 11.1960895 \quad c = 1174.34$$

La ecuación de regresión queda:

$$PVS = -0.1193 VRS^2 + 11.196 VRS + 1174.34$$

Cálculo del coeficiente de Correlación:

Fórmula:

$$r^2 = \frac{a \sum (PVS)(VRS)^2 + b \sum (PVS)(VRS) + c \sum (PVS) - n(\overline{PVS})^2}{\sum (PVS)^2 - n(\overline{PVS})^2}$$

Sustituyendo se tiene:

$$r^2 = \frac{(-0.1193)(6'076,077.4) + 11.196(226,607.23) + 1174.34(11,896) - 9(1,747,096.49)}{15'783,654 - 9(1'747,096.49)}$$

Realizando operaciones queda:

$$r^2 = \frac{58298.65}{59785.56} = 0.97513$$

$$r = 0.987$$

ERROR DE PROYECCION (PVS-VRS)

De acuerdo a la comprobación práctica realizada en el material arcilla arenosa, -- donde se verificó que el coeficiente de correlación del peso volumétrico en base al valor relativo de soporte, es igual al coeficiente de correlación del valor relativo de soporte en base al peso volumétrico seco, es decir:

$$r_{VRS,PVS} = r_{PVS,VRS}$$

Se puede expresar el error de proyección tanto en unidades de PVS como de VRS.

Esto nos beneficia ya que nos interesa conocer el comportamiento de las variaciones de VRS, para poder establecer hasta que grado ésta correlación es confiable.

#### Cuantificación del error de Proyección

En Unidades de VRS			En Unidades de PVS		
VRSi	VRSc	(VRSi-VRSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
36.76	37.30	0.29	1426	1425	1.0
31.25	33.64	5.71	1416	1408	64.0
32.35	30.28	4.29	1404	1412	64.0
22.06	20.54	2.31	1354	1363	81.0
16.91	18.40	2.22	1340	1330	100.0
10.66	10.07	0.35	1275	1292	289.0
7.43	9.50	4.29	1270	1251	361.0
5.37	3.01	5.57	1207	1231	576.0
2.06	2.73	0.45	1204	1197	49.0
$\Sigma (VRSi-VRSc)^2 = 25.48$			$\Sigma (PVSi-PVSc)^2 = 1585.0$		
$\frac{\Sigma (VRSi - VRSc)^2}{n} = 2.83$			$\frac{\Sigma (PVSi - PVSc)^2}{n} = 176.11$		
$\sigma_{VRS} = 1.68\%$			$\sigma_{PVS} = 13.27 \text{ Kg/m}^3$		

## ANALISIS DE CORRELACION (PVS -CS)

Procediendo de manera análoga como en el caso anterior, de las pruebas realizadas de Compresión Simple (C.S.) se tomaron los datos de PVS y de (C.S.) de las mismas, - procediendo a graficar estos valores para poder apreciar a qué tipo de función son - similares, encontrando que toma semejanza tanto a la función parabólica como a la -- función potencial.

Se determinaron las ecuaciones de regresión, así como también se calcularon los - coeficientes de correlación, encontrándose mayor adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno con la función de tipo potencial. A continuación se desarrollan los cálculos únicamente de la función potencial, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS <sub>3</sub> Kg/m <sup>3</sup>	C. S. <sub>2</sub> Ton/m <sup>2</sup>	Humedad %	G. C. %
1405	44.10	27.69	99.64
1404	42.80	28.02	99.55
1393	42.60	27.73	98.79
1386	37.10	28.60	98.01
1355	30.10	28.37	96.10
1342	22.40	30.26	95.18
1334	23.10	30.17	94.61
1328	23.80	29.92	94.26
1325	22.70	29.16	93.97
1297	12.20	30.31	91.99
1288	15.00	31.72	91.35
1276	11.80	31.66	90.50
1232	6.60	32.35	87.38
1219	5.80	34.16	86.45
1203	5.50	33.31	85.32

## TABLA DE CALCULOS

Función Potencial (FVS - C.S.)

FVS	C.S.	logFVS	logC.S.	(logFVS) (logCS)	(logCS) <sup>2</sup>	(logFVS) <sup>2</sup>
1405	44.1	3.147676324	1.64443859	5.176160415	2.704178275	9.907866242
1404	42.8	3.147367108	1.631443769	5.134752457	2.661608771	9.905919711
1393	42.6	3.143951116	1.629409599	5.122784128	2.654975642	9.884428622
1386	37.1	3.141763230	1.569373910	4.930601244	2.462934468	9.870676195
1355	30.1	3.131939295	1.478566496	4.630780508	2.186158882	9.809043749
1342	22.4	3.127752516	1.350248018	4.223241636	1.823169711	9.782835800
1334	23.1	3.125155830	1.363611980	4.261499928	1.859437632	9.766598959
1328	23.8	3.123198075	1.376576957	4.299322503	1.894964119	9.754366216
1325	22.7	3.122215878	1.356025857	4.233805464	1.838806125	9.748231991
1297	12.2	3.112939976	1.086359831	3.381772945	1.180177682	9.690395295
1288	15.0	3.109915863	1.176091259	3.657544863	1.383190650	9.671576675
1276	11.8	3.105850674	1.071882007	3.329105455	1.148931038	9.646308412
1232	6.6	3.090610708	0.819543935	2.532891263	0.671652262	9.551874547
1219	5.8	3.086003706	0.763427993	2.355941617	0.582822301	9.523418871
1203	5.5	3.080265627	0.740362689	2.280513744	0.548136912	9.488036335
	$\Sigma$	46.79660593	19.05736289	59.55071817	25.60114447	146.0015776

Sistema de ecuaciones a aplicar:

$$\Sigma \log FVS = a \Sigma \log CS + nb'$$

$$\Sigma \log FVS \log CS = a \Sigma (\log CS)^2 + b' \Sigma \log C.S.$$

Donde:

$$b' = \log b$$

Sustituyendo en el sistema:

$$46.79660593 = a(19.05736289) + 15 b'$$

$$59.55071817 = a(25.60114447) + b' (19.05736289)$$

Resolviendo el sistema se tiene:

$$a = 0.069159323 \quad b' = 3.03190744 \quad b = 1076.2358$$

Por lo que la ecuación de regresión será:

$$FVS = 1076.24 C.S. 0.069159323$$

## CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION

$$r^2 = \frac{a \sum \log PVS \log CS + \log b \sum \log PVS - n(\log \bar{Y})^2}{\sum (\log Y_1)^2 - n(\log \bar{Y})^2}$$

Sustituyendo se tiene:

$$r^2 = \frac{0.069159323 (59.55071817) + (3.03190744) (46.79660593) - 145.9948218}{146.0015776 - 145.9948218}$$

$$r^2 = \frac{0.00664327}{0.0067558} = 0.9833 \quad \therefore r = 0.9916$$

## DETERMINACION DEL ERROR DE PROYECCION (PVS - C.S.)

Con base a la comprobación realizada en el material Arcilla arenosa, donde se presenta un ejemplo de cálculo de coeficiente de correlación resulta que:

$$r_{PVS,CS} = r_{CS,PVS}$$

Esta igualdad nos permite expresar el error de proyección en unidades de PVS -- así como también en unidades de Compresión Simple.

Esto nos ayuda a conocer el comportamiento de las variaciones de la Compresión Simple, para poder establecer un cierto grado de confiabilidad en esta ecuación de regresión. Así también estos errores de proyección nos darán confianza al realizar la correlación directa de (CS - VRS) cuyo objetivo se persigue.

## CALCULO DEL ERROR DE PROYECCION

En Unidades de C. S.			En Unidades de PVS		
C.S.i	C.S.c	(CSi-CSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
44.1	47.22	9.73	1405	1398	49.0
42.8	46.74	15.52	1404	1396	64.0
42.6	41.71	0.79	1393	1395	4.0
37.1	38.78	2.82	1386	1382	16.0
30.1	27.96	4.58	1355	1362	49.0
22.4	24.33	3.73	1342	1334	64.0
23.1	22.31	0.62	1334	1337	9.0
23.8	20.90	8.41	1328	1340	144.0
22.7	20.23	6.10	1325	1336	121.0
12.2	14.86	7.08	1297	1280	289.0
15.0	13.43	2.46	1288	1298	100.0
11.8	11.73	0.01	1276	1277	1.0

CSI	CSc	(CSI-CSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
6.6	7.06	0.21	1232	1226	36.0
5.8	6.06	0.07	1219	1215	16.0
5.5	5.01	0.24	1203	1211	64.0

$$\sum (CSI - CSc)^2 = 62.37$$

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 1026$$

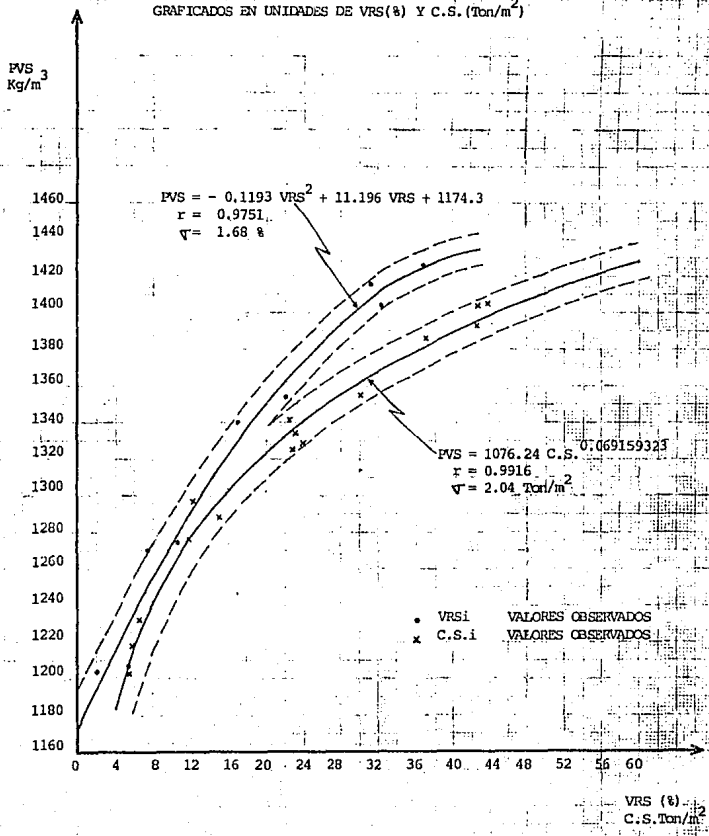
$$\frac{\sum (CSI - CSc)^2}{n} = 4.158$$

$$\frac{\sum (PVSi - PVSc)^2}{n} = 68.4$$

$$\nabla_{CS} = 2.04 \text{ Ton/m}^2$$

$$\nabla_{PVS} = 8.3 \text{ Kg/m}^3$$

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERRORES DE PROYECCION  
GRAFICADOS EN UNIDADES DE VRS(%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>)



GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS),  
(PVS-C.S.) Y ERRORES DE PROYECCION GRAFICADOS  
EN UNIDADES DE PVS (Kg/m<sup>3</sup>)

PVS  
Kg/m<sup>3</sup>

1460  
1440  
1420  
1400  
1380  
1360  
1340  
1320  
1300  
1280  
1260  
1240  
1220  
1200  
1180  
1160

$$PVS = -0.1193 VRS^2 + 11.196 VRS + 1174.3$$

$$r = 0.9751$$

$$\nabla = 13.27 \text{ Kg/m}^3$$

$$PVS = 1076.24 \text{ C.S.}^{0.0069159323}$$

$$r = 0.9916$$

$$\nabla = 8.3 \text{ Kg/m}^3$$

• VRSi VALORES OBSERVADOS  
x C.S.i VALORES OBSERVADOS

0 4 8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60

VRS (g)  
C.S. Ton/m<sup>2</sup>



## ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DIRECTA (C.S.-VRS)

Sin perder de vista el objetivo que es correlacionar valores de (CS-VRS) hacemos lo siguiente:

1.- Para tales propósitos el PVS de las correlaciones (PVS-CS) y (PVS-VRS) nos — sirve como elemento pivote para poder igualar las ecuaciones de regresión, considerando que para cada material se reprodujeron pesos volumétricos secos del orden del 100 al 85% del PVS<sup>1</sup> para cada una de las pruebas de Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte.

$$PVS = - 0.1193 VRS^2 + 11.196 VRS + 1174.34$$

$$PVS = 1076.24 CS^{0.069159323}$$

Igualando estas dos ecuaciones, podemos poner el VRS en función de C.S. ó poner — la C.S. en función de VRS.

Igualando

$$- 0.1193 VRS^2 + 11.196 VRS + 1174.34 = 1076.24 C.S.^{0.069159323}$$

Despejando C.S. queda:

$$C.S.^{0.069159323} = - 0.000110853 VRS^2 + 0.01040327 VRS + 1.091191228$$

$$C.S. = (-0.000110853 VRS^2 + 0.01040327 VRS + 1.091191228)^{14.45936653}$$

Despejando VRS de la igualdad se tiene:

$$- 0.1193 VRS^2 + 11.196 VRS + 1174.34 = 1076.24 C.S.^{0.069159323}$$

$$VRS^2 - 93.847 VRS - 9843.59 + 9020.96 C.S.^{0.069159323}$$

Aplicando la fórmula general para encontrar las raíces de un polinomio de segundo grado se tiene:

$$VRS = \frac{93.85 + \{8807 - 4(-9843.59 + 9020.96 C.S.^{0.069159323})\}^{\frac{1}{2}}}{2}$$

$$VRS = \frac{93.85 + \{48,181.35 - 36,083.8 C.S.^{0.069159323}\}^{\frac{1}{2}}}{2}$$

En este caso, la raíz que se adapta a los puntos observados, es la que toma en — cuenta la parte negativa de la ecuación por lo que la fórmula queda:

$$VRS = \frac{93.85 - \{48,181.35 - 36,083.8 C.S.^{0.069159323}\}^{\frac{1}{2}}}{2}$$

2.- Con apoyo de las gráficas de las ecuaciones de regresión y los datos observados, podemos proyectar para cada valor observado de (CS) un valor de (VRS) que debería tomar la otra prueba: también podemos proyectar para cada observación de (VRS) — un valor de CS Simple que debería obtenerse en la otra prueba.

Es decir, con la proyección se logra encontrar el valor que correspondería a la otra prueba como si se ensayaran dos especímenes idénticos en pesos volumétricos y humedad, ó que en un sólo espécimen fuese posible ejecutar las dos pruebas de Valor Relativo de Soporte y Compresión Simple.

Esto lo hacemos porque al ejecutar las pruebas no es posible reproducir PVS y hu medades iguales, a la vez que en algunas pruebas del mismo material obtuvimos más - datos de VRS que de Compresión Simple ó viceversa, como consecuencia no podemos for mar parejas de correspondencia biunívoca para su correlación.

3.- Hacemos una tabla para proyectar valores de C.S. o VRS, en la que aparecerán datos de:

PVS<sub>VRS</sub> obtenido, PVS<sub>CS</sub> obtenido, VRS observado, CS observado, VRS calculado, CS calculada, incremento de CS, incremento de VRS y CS proyectada ó VRS proyectada según sea la prueba a proyectar, como más adelante se aprecia.

También sabemos que se trata de una correlación directa en la que a todo  $\Delta$  PVS - corresponden  $\Delta$  CS e  $\Delta$  VRS, de acuerdo a su ecuación de regresión correspondiente. Con base en lo anterior concluimos que al correlacionar (CS-VRS) para todo incremento del Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS) corresponde un incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS). Dichos incrementos los podemos calcular de la siguiente forma:

#### CALCULO DEL INCREMENTO DE COMPRESION SIMPLE ( $\Delta$ CS)

a) Es necesario encontrar el VRS calculado, obtenido por medio de la siguiente -- ecuación:

$$VRS = \frac{93.85 - (48181.7 - 33.63 PVS)^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Esta fórmula se obtiene de despejar el VRS de la ecuación de regresión de - - - - (PVS-VRS). En seguida se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas, encontrándose consecuentemente el VRS calculado.

b) Con el VRS calculado y el VRS observado, encontramos una diferencia a la que - llamamos incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS) este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS); que se utilizará para calcular el valor de la Compresión Simple proyectada.

Sustituyendo los valores de VRS calculado y el de VRS observado en la ecuación si guiente:

$$CS = (- 0.000110853 VRS^2 + 0.01040327 VRS + 1.091191228) 14.45936653$$

Al hacer la diferencia entre estos dos resultados encontramos el incremento de --- Compresión Simple ( $\Delta$  CS).

c) Interpretación de los signos  $^+ \Delta VRS$ ,  $^- \Delta CS$ .

Será negativo ( $- \Delta VRS$ ) cuando el punto observado ( $VRS, PVS$ ) esté a la izquierda de la gráfica de la ecuación de regresión ( $PVS-VRS$ ). El valor de Compresión Simple proyectado ( $CSp$ ) será igual al valor de la Compresión Simple calculada ( $CSc$ ), menos el incremento de Compresión Simple ( $- \Delta CS$ ), por lo tanto el valor proyectado ( $CSp$ ) estaría a la izquierda de la gráfica de la ecuación de regresión.

Si el punto observado ( $VRS, PVS$ ) se encuentra a la derecha de la ecuación de regresión ( $PVS - VRS$ ), será positivo el incremento ( $+ \Delta VRS$ ) por consiguiente será positivo ( $+ \Delta CS$ ); el valor de la Compresión Simple proyectada ( $CSp$ ) será igual a la Compresión Simple calculada ( $CSc$ ) más el incremento ( $+ \Delta CS$ ) esta proyección como consecuencia estará a la derecha de la gráfica de la ecuación de regresión.

El mismo criterio se aplica para proyectar valores de Valor Relativo de Soporte.

Lo anteriormente expuesto se puede simplificar mediante las siguientes fórmulas:

S I

$$VRS_i < VRSc, \Delta VRS \text{ es negativo}$$

$$VRS_i > VRSc, \Delta VRS \text{ es positivo}$$

$$CS_i < CSc, \Delta CS \text{ es negativo}$$

$$CS_i > CSc, \Delta CS \text{ es positivo}$$

También se tiene que,

S I

$$- \Delta VRS \quad \therefore \quad CSp = CSc - \Delta CS$$

$$+ \Delta VRS \quad \therefore \quad CSp = CSc + \Delta CS$$

$$- \Delta CS \quad \therefore \quad VRSp = VRSc - \Delta VRS$$

$$+ \Delta CS \quad \therefore \quad VRSp = VRSc + \Delta VRS$$

Al aplicar este criterio en la proyección de datos, estos tendrán magnitudes y variabilidad semejante a la de los datos observados en las pruebas, como se observa más adelante en las gráficas.

#### CALCULO DEL INCREMENTO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE ( $\Delta VRS$ )

a).- Primero es necesario encontrar la Compresión Simple calculada ( $CSc$ ), obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$CS = \frac{\log PVS - \log 1076.24}{0.069159323}$$

Esta ecuación se obtiene de despejar ( $CS$ ) de la ecuación de regresión de ( $PVS-CS$ ), que en este caso resultó ser una función potencial. En seguida se sustituyen los ( $PVS$ )

obtenidos en las pruebas, encontrándose consecuentemente la Compresión Simple calculada (CSc).

b).- Al hacer una resta entre Compresión Simple calculada (CSc) con Compresión Simple observada (CSi), encontramos una diferencia a la que llamamos Incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS).

Este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS) que utilizamos para calcular la proyección del Valor Relativo de Soporte (VRSp). Esto se realiza mediante una convención de signos que anteriormente fué expuesta, para el cálculo del ( $\Delta$  CS).

Sustituyendo la CS calculada y la CS observada en la ecuación tenemos:

$$VRS = \frac{93.85 - (48181.35 - 36083.8 CS^{0.069159323})^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Encontramos dos cantidades de Valor Relativo de Soporte (VRS), a cuya diferencia denominamos incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS).

## 4.-TABLAS DE PROYECCION

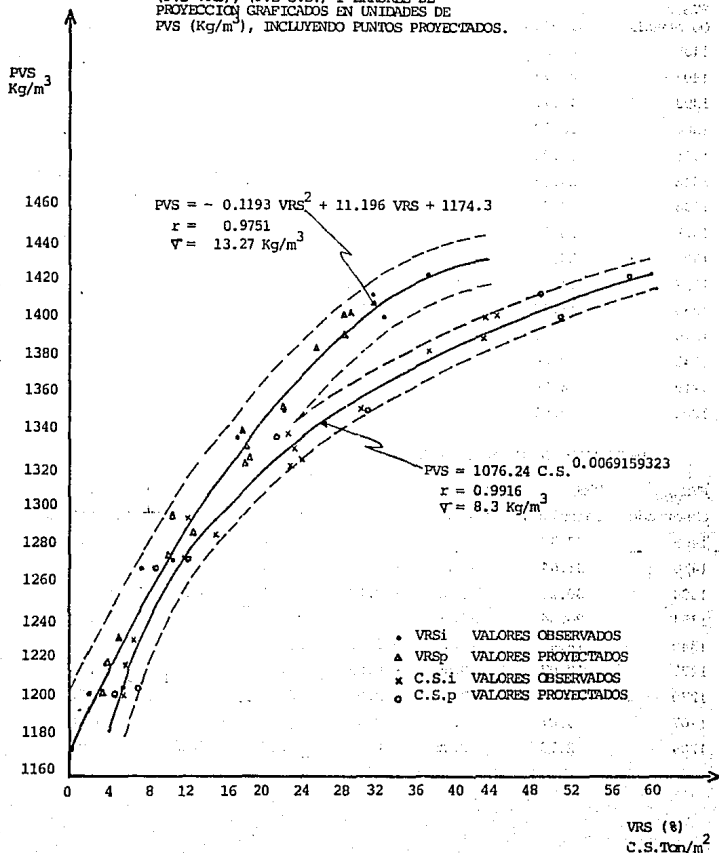
## PROYECCION DE VRS EN BASE A OBSERVACIONES DE CS.

PVScs Observado	C.S. Calculada	C.S. Observado	$\Delta$ C.S.	VRS Calculado	$\Delta$ VRS	VRS <sub>p</sub> Proyectado
1405	47.22	44.10	- 3.12	30.54	- 1.62	28.92
1404	46.74	42.80	- 3.94	30.29	- 2.02	28.27
1393	41.71	42.60	+ 0.89	27.72	+ 0.45	28.17
1386	38.78	37.10	- 1.68	26.25	- 0.85	25.40
1355	27.96	30.10	+ 2.14	20.70	+ 1.14	21.84
1342	24.33	22.40	- 1.93	18.71	- 1.12	17.59
1334	22.31	23.10	+ 0.79	17.54	+ 0.46	18.00
1328	20.90	23.80	+ 2.90	16.69	+ 1.72	18.41
1325	20.23	22.70	+ 2.47	16.28	+ 1.49	17.77
1297	14.86	12.20	- 2.66	12.67	- 2.09	10.58
1288	13.43	15.00	- 1.57	11.58	+ 1.19	12.77
1276	11.73	11.80	+ 0.07	10.19	+ 0.06	10.25
1232	7.06	6.60	- 0.46	5.47	- 0.57	4.90
1219	6.06	5.80	- 0.26	4.18	- 0.36	3.82
1203	5.01	5.50	+ 0.49	2.64	+ 0.75	3.39

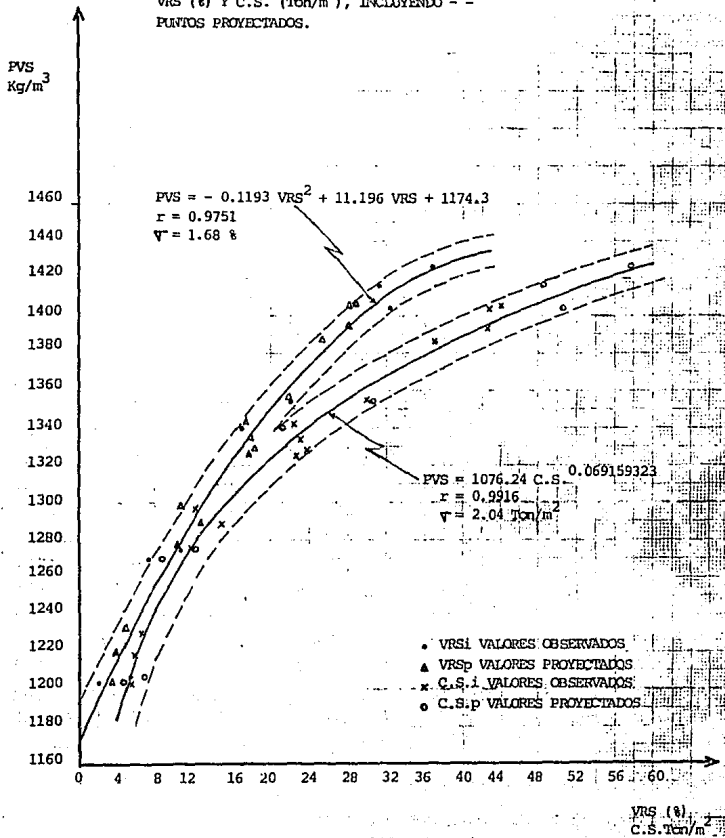
## PROYECCION DE CS EN BASE A OBSERVACIONES DE VRS

PVS <sub>VRS</sub> Observado	VRS Calculado	VRS Observado	$\Delta$ VRS	C. S. Calculada	$\Delta$ C. S.	C. S. <sub>p</sub> Proyectada
1426	37.30	36.76	- 0.46	58.51	- 0.75	57.76
1416	33.64	31.25	- 2.39	52.86	- 4.30	48.56
1404	30.28	32.35	+ 2.07	46.74	+ 3.84	50.58
1354	20.54	22.06	+ 1.52	27.67	+ 2.87	30.54
1340	18.40	16.91	- 1.49	23.81	- 2.55	21.26
1275	10.07	10.66	+ 0.59	11.60	+ 0.69	12.29
1270	9.50	7.43	- 2.07	10.96	- 2.15	8.81
1207	3.01	5.37	+ 2.36	5.25	+ 1.73	6.98
1204	2.73	2.06	- 0.67	5.07	- 0.42	4.65

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE

(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERRORES DE PROYECCION, GRAFICADOS EN UNIDADES DE PVS (Kg/m<sup>3</sup>), INCLUYENDO PUNTOS PROYECTADOS.

MATERIAL: ARENA-ARCILLOSA BANCO LA PALMA  
 GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
 ( PVS - VRS ), ( PVS-C.S. ) Y ERRORES DE  
 PROYECCION GRAFICADOS EN UNIDADES DE --  
 VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>), INCLUYENDO --  
 PUNTOS PROYECTADOS.



## 5.- ANALISIS DE REGRESION. ( CS-VRS)

Ordenando las parejas de datos ( CS,VRS) en forma decreciente, constituidas por un dato observado y otro proyectado, procedemos a graficar dichos puntos con el fin de saber que función matemática puede representar dicho fenómeno y encontramos que se asemeja a dos funciones, que son la parabólica y potencial.

## FUNCION PARABOLICA

C.S.	VRS	(VRS) <sup>2</sup>	(VRS) <sup>3</sup>	(VRS) <sup>4</sup>	CS(VRS) <sup>2</sup>	CS(VRS)	(CS) <sup>2</sup>
57.76	36.76	1351.30	49,673.7	1,826,005.2	78,050.9	2123.3	3336.2
50.58	32.35	1046.52	33,855.0	1,095,209.3	52,933.1	1636.3	2558.3
48.56	31.25	976.56	30,517.6	953,674.3	47,421.9	1517.5	2358.1
44.10	28.92	836.37	24,187.7	699,508.8	36,883.8	1275.4	1944.8
42.80	28.27	799.19	22,593.2	638,709.3	34,205.5	1209.9	1831.8
42.60	28.17	793.55	22,354.3	629,719.9	33,805.2	1200.0	1814.8
37.10	25.40	645.16	16,387.1	416,231.4	23,935.4	942.3	1376.4
30.54	22.06	486.64	10,735.4	236,822.0	14,862.1	673.7	932.7
30.10	21.84	476.99	10,417.4	227,515.3	14,357.3	657.4	906.0
23.80	18.41	338.93	6,239.7	114,872.3	8,066.5	438.2	566.4
23.10	18.00	324.00	5,832.0	104,976.0	7,484.4	415.8	533.6
22.70	17.77	315.77	5,611.3	99,712.5	7,168.0	403.4	515.3
22.40	17.59	309.41	5,442.5	95,733.4	6,930.7	394.0	501.8
21.26	16.91	285.95	4,835.4	81,766.3	6,079.3	359.5	452.0
15.00	12.77	163.07	2,082.4	26,592.8	2,446.1	191.6	225.0
12.29	10.66	113.64	1,211.4	12,913.1	1,396.6	131.0	151.0
11.80	10.25	105.06	1,076.9	11,038.1	1,239.7	121.0	139.2
8.81	7.43	55.20	410.2	3,047.6	486.4	65.5	77.6
6.98	5.37	28.84	154.9	831.6	201.3	37.5	48.7
5.80	3.82	14.59	55.7	212.9	84.6	22.2	33.6
5.50	3.39	11.49	39.0	132.1	63.2	18.6	30.3
4.65	2.06	4.24	8.7	18.0	19.7	9.6	21.6
$\Sigma$ 568.23	399.45	9482.47	253,721.5	7'275,242.2	378,121.7	13,843.7	20355.2

$$\Sigma CS = a \Sigma VRS^2 + b \Sigma VRS + nc$$

$$\Sigma CS (VRS) = a \Sigma VRS^3 + b \Sigma VRS^2 + c \Sigma VRS$$

$$\Sigma CS (VRS)^2 = a \Sigma VRS^4 + b \Sigma VRS^3 + c \Sigma VRS^2$$



Sustituyendo:

$$568.23 = a (9482.47) + b (399.45) + c (22)$$

$$13843.7 = a (253,721.5) + b (9482.47) + c (399.45)$$

$$378121.7 = a (7'275,242.2) + b (253,721.5) + c (9482.47)$$

Resolviendo el sistema se tiene:

$$a = 0.020566391 \quad b = 0.829366122 \quad c = 1.905432585$$

$$CS = 0.020566391 \text{ VRS}^2 + 0.828366122 \text{ VRS} + 1.905$$

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION

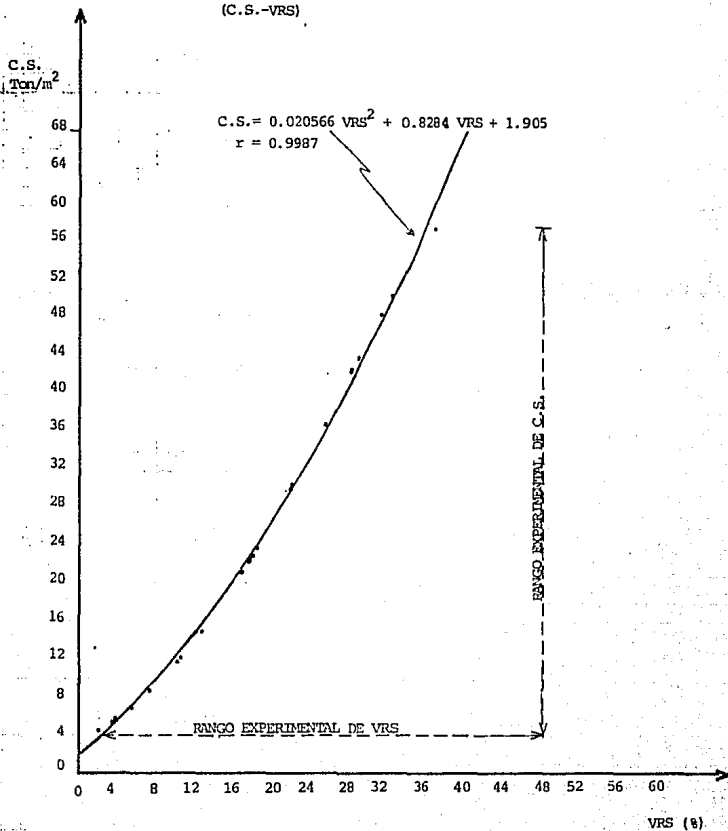
$$r^2 = \frac{a \sum CS \text{ VRS}^2 + b \sum CS \text{ VRS} + c \sum Yi - n\bar{Y}^2}{\sum CS^2 - n\bar{Y}^2}$$

$$r^2 = \frac{(0.020566391)(378121.7) + 0.829366122 (13843.7) + 1.905432585 (568.23) - 22(667.1184564)}{20,355.2 - 22(667.1184564)}$$

$$r^2 = \frac{20340.81847 - 14676.60604}{20355.2 - 14676.60604} = \frac{5664.212429}{5678.59396} = 0.997467413$$

$$r = 0.9987$$

MATERIAL: ARENA-ARCILLOSA, BANCO LA PALMA

GRAFICA DE CORRELACION DIRECTA DE  
(C.S.-VRS)

## FUNCION POTENCIAL

C.S.	VRS	logCS	logVRS	(logVRS) <sup>2</sup>	logVRSlogCS	(logCS) <sup>2</sup>
57.76	36.76	1.761627185	1.565375503	2.450400465	2.75760804	3.103330338
50.58	32.35	1.703978825	1.509874285	2.279720357	2.527293810	2.903543836
48.56	31.25	1.686278678	1.494850022	2.234576587	2.520733719	2.843535780
44.10	28.92	1.644438590	1.461198289	2.135100439	2.402850853	2.704178275
42.80	28.27	1.631443769	1.451325809	2.106346602	2.367756447	2.661608771
42.60	28.17	1.629409599	1.449786847	2.101881902	2.362296605	2.654975642
37.10	25.40	1.569373910	1.404833717	1.973557771	2.204709382	2.462934468
30.54	22.06	1.484869033	1.343605508	1.805275761	1.995078211	2.204836044
30.10	21.84	1.478566496	1.339252634	1.793597618	1.980174074	2.186158882
23.80	18.41	1.376576957	1.265053789	1.600361088	1.741443895	1.894964119
23.10	18.00	1.363611980	1.255272505	1.575709062	1.711704626	1.859437632
22.70	17.77	1.356025857	1.249687428	1.561718667	1.694608466	1.838806125
22.40	17.59	1.350248018	1.245265840	1.550687011	1.681417732	1.823169711
21.26	16.91	1.327563260	1.228143608	1.508336721	1.630438332	1.762424210
15.00	12.77	1.176091159	1.106190897	1.223658301	1.300981445	1.383190650
12.29	10.66	1.089551883	1.027757205	1.056284872	1.119794798	1.187123306
11.80	10.25	1.071882007	1.010723865	1.021562732	1.083376726	1.148931038
8.81	7.43	0.944975908	0.870988813	0.758621513	0.823063445	0.892979467
6.98	5.37	0.843855422	0.729974285	0.532862457	0.615992759	0.712091974
5.80	3.82	0.763427993	0.582063362	0.338797758	0.444363465	0.582822301
5.50	3.39	0.740362689	0.530199698	0.281111720	0.392540074	0.548136912
4.65	2.06	<u>0.667452952</u>	<u>0.313867220</u>	<u>0.098512632</u>	<u>0.209491603</u>	<u>0.445493444</u>
	$\Sigma$	28.66161227	25.43529113	31.98868204	35.61321851	39.80467293

El sistema de ecuaciones a aplicar es:

$$\Sigma \log CS = a \Sigma \log VRS + nb'$$

$$\Sigma \log CS \log VRS = a \Sigma (\log VRS)^2 + b' \Sigma \log VRS$$

Sustituyendo valores:

$$1) 28.66161227 = a (25.43529113) + 22 b'$$

$$2) 35.61321851 = a (31.98868204) + b' (25.43529113)$$

Despejando b'

Despejando b'

$$b' = 1.302800558 - a (1.156149597)$$

Sustituyendo en 2)

$$35.61321851 = a (31.98868204) + 33.13711148 - (29.40700159)a$$

$$2.47610703 = a(2.58168045)$$

$$a = 0.959106705 \quad b' = 0.193929727 \quad b = 1.562894732$$

Por lo tanto la ecuación de regresión queda:

$$CS = 1.562894732 \text{ VRS}^{0.959106705}$$

CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION (CS-VRS) FUNCION POTENCIAL

$$r^2 = \frac{a \log CS \log VRS + \log b \log CS - n(\log CS)^2}{(\log CS)^2 - n(\log CS)^2}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{0.959106705(35.6132851) + 0.193929727 (28.66161227) - 22 (1.697289293)}{39.804672293 - 22(1.697289293)}$$

$$r^2 = \frac{2.374914721}{2.464308482} = 0.963724606$$

$$r^2 = 0.981695$$

Una vez determinadas las ecuaciones de regresión calculamos sus coeficientes de correlación correspondientes, encontrándose mejor adaptación a los puntos graficados con la función Parabólica, misma que presenta un coeficiente de correlación -- más cercano a uno.

#### ERROR DE PROYECCION (CS - VRS)

A la correlación (CS-VRS) no le calculamos error de proyección, ya que teóricamente el error de proyección debe ser cero y el coeficiente de correlación debe -- ser 1. Lo anterior se cumple, debido que los datos proyectados se calcularon en base a la ecuación que resultó de igualar los PVS, en cuya expresión se manejan el - VRS en función de CS, y a la inversa.

Esto viene siendo equivalente a formar las parejas de (CS,VRS) en base a sustituir los PVS; en sus respectivas ecuaciones de regresión correspondiente, como sabemos esta era otra alternativa para poder correlacionar la Compresión Simple en - función de VRS.

Función Parabólica	Coef. Correlación
$CS = 0.020566VRS^2 + 0.8294 VRS + 1.905$	$r = 0.9987$
Función Potencial	Coef. Correlación
$CS = 1.5629 VRS^{0.959106705}$	$r = 0.9817$

Como se puede apreciar la función parabólica tiene un coeficiente de correlación aproximadamente igual a uno, aunque teóricamente debe de ser igual a uno, esto se - debe a que no es una ecuación de regresión 100% ideal. Por otro lado, las pequeñas desviaciones que puedan existir carecen de sentido desde el punto de vista de interés de variabilidad entre pruebas. Por esta razón los errores de proyección se calcularon en las correlaciones respectivas de (PVS-CS) y (PVS-VRS).

## V.7.-ANALISIS ESTADISTICO

### Material: Grava Controlada

De acuerdo al procedimiento de elaboración de los especímenes de prueba para Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte, analizado en el capítulo anterior. Presentamos una comparativa de la ecuación de regresión obtenida por medio del análisis de datos reales y proyectados, cotejada con la ecuación de regresión obtenida de los valores observados de Compresión Simple y VRS.

Esto es con el fin de ver que diferencia hay al utilizar el PVS como elemento pivote en los otros materiales para correlacionar (CS-VRS), reforzando con esto dichas correlaciones o haciendo ver alguna discrepancia en las mismas.

### ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION (PVS-VRS)

De las pruebas realizadas de VRS obtenemos los datos de PVS, VRS de las mismas. Es tos datos los clasificamos en forma decreciente y se grafican para poder determinar a qué función se asemejan; encontrándose en este caso que toman forma parecida a una función Potencial así como a una función Parabólica.

Se determinaron las ecuaciones de regresión de estas funciones así como también se calcularon sus coeficientes de correlación correspondientes, encontrándose una mejor adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno con la función tipo Potencial.

Unicamente se desarrolla los cálculos de la función Potencial, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS Kg/m <sup>3</sup>	VRS %	Humedad %	G.C. %
2056	165.44	8.70	100.78
2055	154.41	8.70	100.74
1958	80.88	9.30	95.98
1948	78.68	9.30	95.49
1947	77.94	9.30	95.44
1934	77.21	9.30	94.80
1838	25.00	9.90	90.10
1837	27.94	9.90	90.05
1833	22.06	9.90	89.85
1831	22.79	9.90	89.75
1754	17.28	10.50	85.98
1751	16.18	10.50	85.83
1739	19.12	10.50	85.25

## Tabla de Cálculos

## Función Potencial PVS - VRS

PVSi	VRS	logPVSi	(logPVSi) <sup>2</sup>	logPVSi logVRS	logVRS	(logVRS) <sup>2</sup>
2056	165.44	3.313023110	10.976122130	7.350407321	2.218640521	4.922365763
2055	154.41	3.312811826	10.974722200	7.250669825	2.188675423	4.790300107
1958	80.88	3.291812688	10.836030770	6.280255679	1.907841143	3.639857825
1948	78.68	3.289588953	10.821395480	6.236614425	1.895864351	3.594301638
1947	77.94	3.289365952	10.819928360	6.222692253	1.891760402	3.578757417
1934	77.21	3.286456470	10.800796130	6.203756959	1.887673553	3.563311441
1838	25.00	3.264345507	10.655951590	4.563359187	1.397940009	1.954236268
1837	27.94	3.264109156	10.654408580	4.720640840	1.446226402	2.091570805
1833	22.06	3.263162465	10.648229270	4.384403062	1.343605508	1.805275761
1831	22.79	3.262688344	10.645135230	4.429896584	1.357744325	1.843469653
1754	17.28	3.244029589	10.523727970	4.014628504	1.237543738	1.531514504
1751	16.18	3.243286146	10.518905030	3.921063276	1.208978517	1.461629055
1739	19.12	<u>3.240299582</u>	<u>10.499541380</u>	<u>4.152404668</u>	<u>1.281487888</u>	<u>1.642211207</u>
	Σ	42.564979790	139.3748941	69.73079258	21.26398178	36.41880144

El sistema de ecuaciones por aplicar es:

$$\Sigma \log PVS = a \Sigma \log VRS + nb'$$

$$\Sigma \log PVS \Sigma \log VRS = a \Sigma (\log VRS)^2 + b' \Sigma \log VRS$$

Sustituyendo queda:

$$42.564979790 = a (21.26398178) + 13 b'$$

$$69.73079258 = a (36.41880144) + b' (21.26398178)$$

Resolviendo el sistema se encontró:

$$a = 0.065735712 \quad b' = 3.166705908 \quad b = 1467.93$$

Por lo que la ecuación de regresión será:

$$PVS = 1467.93 VRS^{0.065735712}$$

## Cálculo del Coeficiente de Correlación

$$r^2 = \frac{a \Sigma \log PVSi \Sigma \log VRSi + \log b \Sigma \log PVSi - \log PVS \Sigma \log VRS}{\Sigma (\log PVS)^2 - \log PVS \Sigma \log PVS}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{(0.065735712)(69.73079258) + (3.166705908)(42.56497979) - (3.274229215)(42.56497979)}{139.3748941 - 139.3675004}$$



$$r^2 = \frac{0.00707587}{0.00739375} = 0.957006931$$

$$r = 0.9783$$

#### ERROR DE PROYECCION (PVS-VRS)

Como ya se comprobó que el coeficiente de correlación del peso volumétrico seco en función del Valor Relativo de Soporte, es igual al coeficiente de correlación del Valor Relativo de Soporte en función del peso volumétrico seco, es decir:

$$r_{PVS,VRS} = r_{VRS,PVS}$$

Esta comprobación nos permite determinar el error de proyección expresado en unidades de PVS, así como en unidades de VRS. Esto es de gran utilidad ya que nos interesa conocer la variabilidad de los resultados de las pruebas de VRS y nos permite determinar cierto grado de confiabilidad en la correlación de (PVS-VRS).

#### Cuantificación del error de Proyección

En Unidades de VRS			En Unidades de PVS		
VRSi	VRSc	(VRSi-VRSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
165.44	168.21	7.67	2056	2054	4
154.41	166.97	157.72	2055	2045	100
80.88	80.02	0.74	1958	1959	1
78.68	74.02	21.70	1948	1956	64
77.94	73.45	20.20	1947	1955	64
77.21	66.36	118.39	1934	1953	361
25.00	30.57	31.06	1838	1814	576
27.94	30.32	5.67	1837	1827	100
22.06	29.33	52.89	1833	1799	1156
22.79	28.85	36.71	1831	1803	784
17.28	15.01	5.17	1754	1770	256
16.18	14.62	2.43	1751	1763	144
19.12	13.17	35.42	1739	1782	1849

$$\sum (VRSi - VRSc)^2 = 495.77$$

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 5459$$

$$\frac{\sum (VRSi - VRSc)^2}{n} = 38.14$$

$$\frac{\sum (VRSi - VRSc)^2}{n} = 419.9$$

$$\sqrt{\text{VRS}} = 6.28$$

$$\sqrt{\text{PVS}} = 20.5 \text{ Kg/m}^3$$

## ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION (PVS-CS)

## Material; Grava Controlada

De las pruebas ejecutadas de Compresión Simple con este material, obtenemos los datos de PVS y CS de las mismas; estos datos los ordenamos en forma decreciente y --graficamos con objeto de apreciar mediante la gráfica a qué tipo de función se asemejan; encontrándose que toman forma parecida a la función Parabólica y a la función Potencial.

Con base a lo anterior, se determinaron las ecuaciones de regresión, así como --también se calcularon sus coeficientes de correlación correspondientes; encontrándose una mejor adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación más cercano a uno con la función de tipo Potencial.

Aquí solamente se desarrolla la función Potencial, con el fin de evitar confusiones.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS <sub>3</sub> Kg/m <sup>3</sup>	CS <sup>2</sup> Ton/m <sup>2</sup>	Humedad %	G.C. %
2056	75.35	8.70	98.19
2055	75.08	8.70	98.73
1958	53.60	9.30	94.22
1948	52.80	9.30	95.44
1947	52.44	9.30	95.69
1934	51.16	9.30	94.31
1838	25.53	9.90	91.37
1837	24.41	9.90	90.88
1833	24.30	9.90	91.67
1831	23.96	9.90	90.34
1754	14.79	10.50	86.32
1751	14.01	10.50	86.32
1739	13.70	10.50	85.20

## Tabla de Cálculos

## Función Potencial (PVS - CS)

PVSi	CS	logPVSi	(logPVSi) <sup>2</sup>	logPVSi logCS	logCS	(logCS) <sup>2</sup>
2056	75.05	3.313023110	10.97612213	6.218820209	1.877083257	3.523441552
2055	75.08	3.312811826	10.97472220	6.213258962	1.875524264	3.517591265
1958	53.60	3.291812688	10.83603077	5.692086594	1.729164790	2.990010870
1948	52.80	3.289588953	10.82139548	5.666757521	1.722633923	2.967467631
1947	52.44	3.289365952	10.81992836	5.656599878	1.719662683	2.957239743
1934	51.16	3.286456470	10.80079613	5.616325816	1.708930536	2.920443576
1838	25.53	3.264345507	10.65595159	4.593100005	1.407050815	1.979791995
1837	14.41	3.264109156	10.65440858	4.529172694	1.387567779	1.925344342
1833	24.30	3.263162465	10.64822927	4.521458383	1.385606274	1.919047745
1831	23.96	3.262688344	10.64513523	4.500835548	1.379486814	1.902983869
1754	14.79	3.244029589	10.52372797	3.795411375	1.169968174	1.368825528
1751	14.01	3.243286146	10.51890503	3.718226922	1.146438135	1.314320398
1739	13.70	<u>3.240299582</u>	<u>10.49954138</u>	<u>3.683315179</u>	<u>1.136720567</u>	<u>1.292133648</u>
		42.56497979	139.3748941	64.40536909	19.64583801	30.57864216

El sistema de ecuaciones es:

$$\log PVS = a \log CS + nb'$$

$$\log PVS \log CS = a (\log CS)^2 + b' \log CS$$

Sustituyendo queda:

$$42.56497979 = a (19.64583801) + 13 b'$$

$$64.40536909 = a(30.57864216) + b'(19.64583801)$$

Resolviendo el sistema;

$$a = 0.09038004 \quad b' = 3.137645242 \quad b = 1372.92$$

Por lo tanto la ecuación de regresión es:

$$PVS = 1372.92 CS^{0.09038004}$$

Cálculo del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{a \log PVS \log CS + \log b \log PVS - \log \overline{PVS} \log \overline{PVS}}{(\log PVSi)^2 - \log \overline{PVS} \log \overline{PVS}}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{(0.09038004)(64.4053636909) + (3.137645242)(42.56497979) - (3.274229215)(42.56497979)}{139.3748941 - 139.3675004}$$

$$r^2 = \frac{139.3747661 - 139.3675004}{139.3748941 - 139.3675004} = \frac{0.00726579}{0.00739375} = 0.982693491$$

$$r = 0.991$$

#### ERROR DE PROYECCION (PVS-CS)

Como sabemos el coeficiente de correlación en función del peso volumétrico seco - es igual al coeficiente de correlación en función de la Compresión Simple.

$$r_{CS,PVS} = r_{PVS,CS}$$

Esta ecuación nos permite determinar el error de proyección en unidades de PVS, - así como también en unidades de CS. Esto es de gran utilidad ya que nos interesa conocer la variabilidad de los resultados de Compresión Simple y poder establecer cierto grado de confiabilidad en la correlación de (PVS-CS), para aplicar la ecuación de regresión en forma práctica sin correr riesgos significativos.

#### Cuantificación del error de proyección

En Unidades de CS			En Unidades de PVS		
CSi	CSc	(CSi-CSc) <sup>2</sup>	PVSi	PVSc	(PVSi-PVSc) <sup>2</sup>
75.30	87.19	140.19	2056	2029	729
75.08	86.72	135.49	2055	2028	729
53.60	50.79	7.90	1958	1968	100
52.80	47.99	23.12	1948	1965	289
52.44	47.72	22.28	1947	1964	289
51.16	44.31	46.92	1934	1959	625
25.53	25.23	0.09	1838	1840	4
24.41	25.08	0.44	1837	1833	16
24.30	24.48	0.03	1833	1832	1
23.96	24.18	0.05	1831	1830	1
14.79	15.03	0.06	1754	1751	9
14.01	14.75	0.55	1751	1743	64
13.70	13.67	0.00	1739	1739	0

$$\sum (CSi - CSc)^2 = 377.12$$

$$\sum (PVSi - PVSc)^2 = 2856$$

$$\frac{\sum (CSi - CSc)^2}{n} = 29.01$$

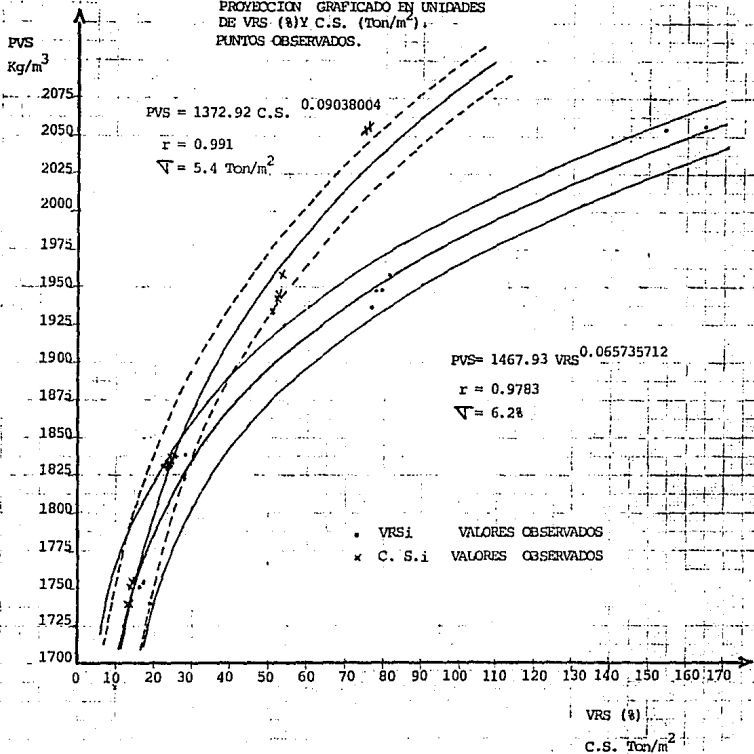
$$\frac{\sum (PVSi - PVSc)^2}{n} = 219.69$$

$$\sqrt{\nabla CS} = 5.4 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sqrt{\nabla PVS} = 14.82 \text{ Kg/m}^3$$

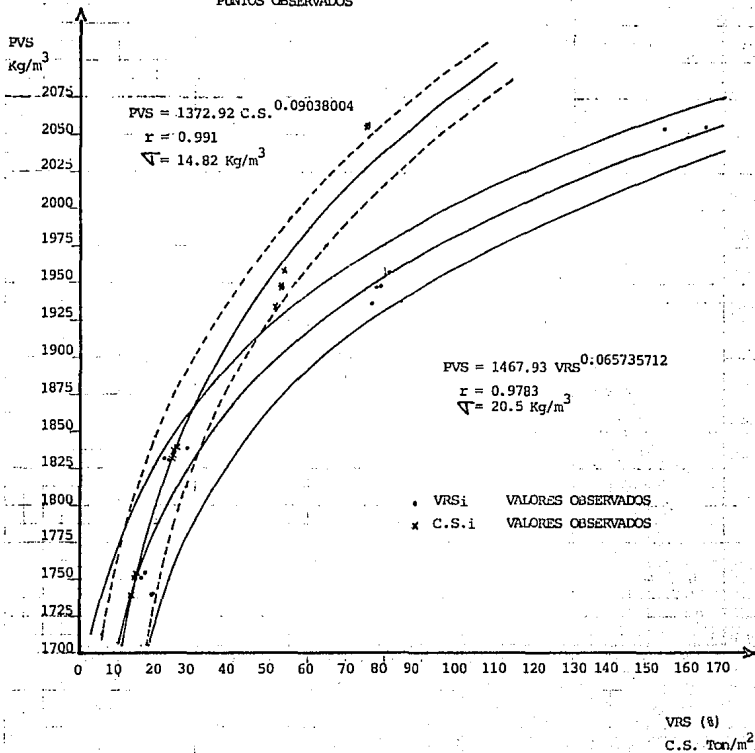
## MATERIAL: GRAVA-CENTRALADA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERROR DE  
PROYECCION GRAFICADO EN UNIDADES  
DE VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>).  
PUNTOS OBSERVADOS.



MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE (PVS-VRS)  
(PVS-C.S.) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE PVS ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).  
PUNTOS OBSERVADOS



## ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACION DE (CS-VRS)

Sin perder de vista el objetivo que es correlacionar datos de (CS-VRS) se hizo lo siguiente:

1°. Para lograr dicho objetivo el PVS de las correlaciones de (PVS-CS), (PVS-VRS), sirven como elemento pivote, ya que los PVS deben ser los mismos para este material, en ambas pruebas, de esta manera podemos igualar las ecuaciones de regresión y poner a la C.S. en función de VRS y el VRS en función de la Compresión Simple:

$$PVS = 1372.92 CS^{0.09038004}$$

$$PVS = 1467.93 VRS^{0.065735712}$$

Igualando estas ecuaciones:

$$1372.92 CS^{0.09038004} = 1467.93 VRS^{0.065735712}$$

Despejando C. S. se tiene:

$$CS = 2.09668138 VRS^{0.727325546}$$

Despejando VRS se tiene:

$$VRS = 0.361347459 CS^{1.374900146}$$

2°.- Con apoyo de las gráficas de las ecuaciones de regresión de (PVS-VRS), (PVS-CS) y los datos observados, podemos proyectar para cada valor real de CS un valor de VRS que debería tomar la otra prueba. Es decir, con la proyección se logra encontrar el valor que correspondería a la otra prueba, como si se ensayaran dos especímenes idénticos en peso volumétrico y humedad o que en un mismo espécimen fuese posible ejecutar las dos pruebas de Compresión Simple y VRS.

3°.- Hacemos una tabla para proyectar valores de CS ó VRS, en la que aparecen datos de PVS obtenido, VRS observado, CS observado, VRS calculado, CS calculada ó VRS proyectado, según sea la prueba a proyectar, como más adelante se aprecia.

También sabemos que se trata de una correlación directa, en la que a todo  $\Delta$  PVS corresponden  $\Delta$  CS e  $\Delta$  VRS de acuerdo a su ecuación de regresión correspondiente. Con base en lo anterior concluimos que al correlacionar (CS-VRS), para todo incremento ( $\Delta$  VRS) corresponde un incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS). Tales incrementos los podemos calcular de la siguiente forma:

Cálculo del incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS)

a) Es necesario encontrar el VRS calculado, obteniéndose por medio de la siguiente ecuación:

$$VRS = \frac{15.21243126}{1467.93} (PVS)$$

Obtenida de despejar el VRS de la ecuación de regresión de (PVS-VRS); en esta fórmula se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas, obteniéndose consecuentemente - el VRS calculado.

b) Entre el VRS calculado y el VRS observado, encontramos una diferencia a la que llamamos incremento de Valor Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS), este incremento nos sirve para darle un sentido interpretativo al incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS) que se utilizará para calcular el valor de Compresión Simple proyectada (CSp).

c) Interpretación de los signos  $^+ \Delta$  VRS,  $^+ \Delta$  CS.

Será negativo ( $- \Delta$  VRS) cuando el punto observado (PVS-VRS). El valor de Compresión Simple proyectada (CSp) será igual al valor de Compresión Simple calculada -- (CSc), menos el incremento de Compresión Simple ( $- \Delta$  CS), por lo tanto el valor proyectado (CSp) estará a la izquierda de la ecuación de regresión (PVS-CS).

Si el punto observado (VRS,PVS) se encuentra a la derecha de la ecuación de regresión (PVS-VRS), será positivo el incremento ( $+ \Delta$  VRS), por lo consiguiente será positivo ( $+ \Delta$  CS) y el valor de Compresión Simple proyectada (CSp) será igual a la -- (CSc) más el incremento ( $+ \Delta$  CS). Este valor proyectado como consecuencia estará a la derecha de la gráfica de la ecuación de regresión (PVS-CS).

El mismo criterio de la convención de signos se aplica para proyectar valores de VRS.

Lo anteriormente expuesto se puede simplificar mediante las siguientes fórmulas:

S I

$$\text{VRSi} < \text{VRSc}, \therefore \Delta \text{VRS es negativo}$$

$$\text{VRSi} > \text{VRSc}, \therefore \Delta \text{VRS es positivo}$$

$$\text{CSi} < \text{CSc}, \therefore \Delta \text{CS es negativo}$$

$$\text{CSi} > \text{CSc}, \therefore \Delta \text{CS es positivo}$$

Estableciendo las ecuaciones quedan:

$$- \Delta \text{ VRS, CSp} = \text{CSc} - \Delta \text{ CS}$$

$$+ \Delta \text{ VRS, CSp} = \text{CSc} + \Delta \text{ CS}$$

$$- \Delta \text{ CS, VRSp} = \text{VRSc} - \Delta \text{ VRS}$$

$$+ \Delta \text{ CS, VRSp} = \text{VRSc} + \Delta \text{ VRS}$$

Al aplicar este criterio a la proyección de datos, éstos tendrán magnitudes y variaciones semejantes a la de los datos observados en las pruebas, como se observa en las gráficas.

#### CALCULO DEL INCREMENTO DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE ( $\Delta$ VRS)

a).- Primero es necesario encontrar los valores de Compresión Simple calculada --



(CSc), utilizando la siguiente ecuación:

$$CS = \left( \frac{PVS}{1372.92} \right) 11.06438988$$

Esta fórmula se obtiene de despejar Compresión Simple de la ecuación de regresión de (PVS-CS). En esta fórmula se sustituyen los PVS obtenidos en las pruebas, encontrándose consecuentemente los valores de Compresión Simple calculada (CSc).

b) Al hacer una resta entre Compresión Simple observada y calculada, encontramos una diferencia a la que llamamos incremento de Compresión Simple ( $\Delta$  CS). Este incremento lo utilizamos para darle un sentido interpretativo al incremento de Valor - Relativo de Soporte ( $\Delta$  VRS), que se utiliza en el cálculo de VRS proyectado.

Esto se realiza de acuerdo a la convención de signos anteriormente expuesta.

## 4°- Tablas de Proyección

Proyección de VRS en base a observaciones de C.S.

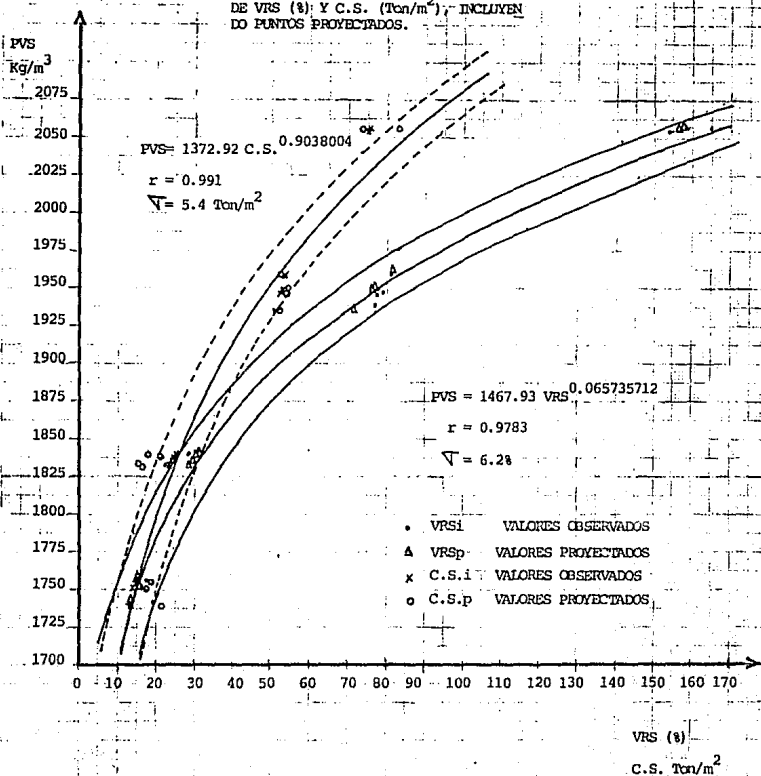
FVS Obtenido	CS Observado	CS Calculado	$\Delta$ CS	VRS <sub>c</sub> Calculado	$\Delta$ VRS	VRS Proyectado
2056	75.35	87.19	- 11.84	168.2	- 10.80	157.4
2055	75.08	86.72	- 11.64	166.9	- 10.50	156.4
1958	53.60	50.79	+ 2.81	80.0	+ 1.50	81.5
1948	52.80	47.99	+ 4.81	74.0	+ 3.20	77.2
1947	52.44	47.72	+ 4.72	73.4	+ 3.00	76.4
1934	51.16	44.31	+ 6.85	66.3	+ 5.10	71.4
1838	25.53	25.23	+ 0.30	30.6	+ 0.10	30.7
1837	24.41	25.08	- 0.67	30.3	- 0.20	30.1
1833	24.30	24.48	- 0.18	29.3	- 0.04	29.3
1831	23.96	24.18	- 0.22	28.8	- 0.04	28.8
1754	14.79	15.03	- 0.24	15.0	- 0.04	15.0
1751	14.01	14.75	- 0.74	14.6	- 0.30	14.3
1739	13.70	13.67	+ 0.03	13.2	0.00	13.2

Proyección de CS en base a observaciones de VRS

FVS Observado	VRS <sub>i</sub> Observado	VRS <sub>c</sub> Calculado	$\Delta$ VRS	CSc Calculado	$\Delta$ CS	CSp Proyectado
2056	165.44	168.21	- 2.77	87.2	- 4.4	82.8
2055	154.41	166.97	-12.56	86.7	-13.2	73.5
1958	80.88	80.02	+ 0.86	50.8	+ 1.9	52.7
1948	78.68	74.02	+ 4.66	48.0	+ 6.5	54.5
1947	77.94	73.45	+ 4.49	47.7	+ 6.6	54.0
1934	77.21	66.33	+10.88	44.3	+11.9	56.2
1838	25.00	30.57	- 5.57	25.2	- 7.3	17.9
1837	27.94	30.32	- 2.38	25.1	- 4.0	21.1
1833	22.06	29.33	- 7.27	24.5	- 8.8	15.7
1831	22.79	28.85	- 6.06	24.2	- 7.7	16.5
1754	17.28	15.01	+ 2.27	15.0	+ 3.8	18.8
1751	16.18	14.62	+ 1.56	14.8	+ 3.0	17.8
1739	19.12	13.17	+ 5.95	13.7	+ 7.6	21.3

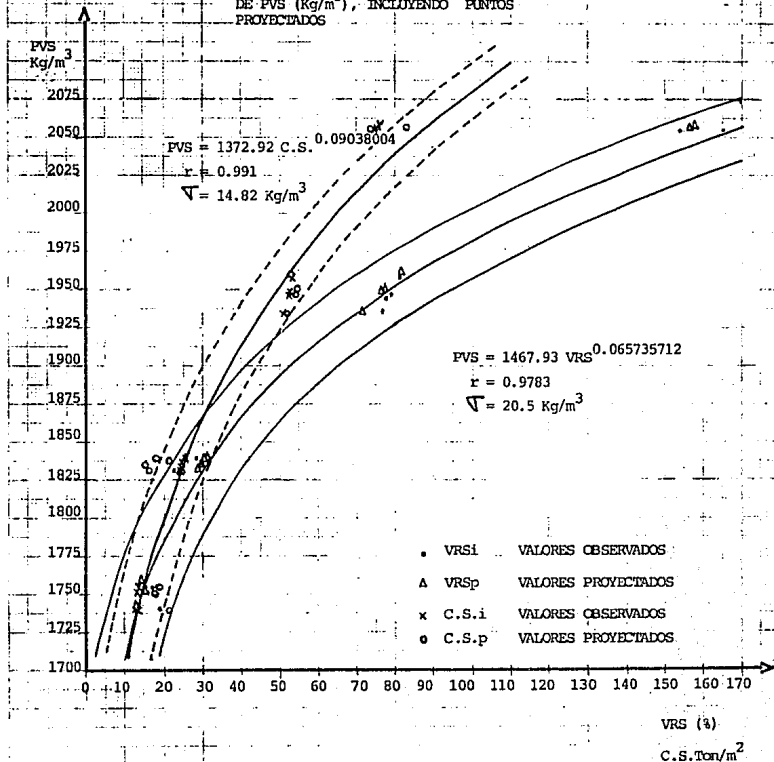
## MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERROR DE  
PROYECCION GRAFICADO EN UNIDADES  
DE VRS (%) Y C.S. (Ton/m<sup>2</sup>); INCLUYENDO  
LOS PUNTOS PROYECTADOS.



MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA

GRAFICA DE LA EC. DE REGRESION DE  
(PVS-VRS), (PVS-C.S.) Y ERROR DE  
PROYECCION GRAFICADO EN UNIDADES  
DE PVS ( $\text{Kg/m}^3$ ), INCLUYENDO PUNTOS  
PROYECCADOS



## 5º- ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION (CS-VRS)

Ordenando las parejas de datos (VRS,CS) en forma decreciente constituidas por un dato observado y otro proyectado, procedemos a graficar dichos puntos -- con el fin de identificar a qué función matemática se asemeja.

En este caso se aprecia que toma una forma parabólica, por lo que se -- procedió a calcular la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación.

El sistema de ecuaciones a aplicar es:

$$\sum CS = a \sum VRS^2 + b \sum VRS + nc$$

$$\sum (CS) (VRS) = a \sum VRS^3 + b \sum VRS^2 + c \sum VRS$$

$$\sum (CS) (VRS)^2 = a \sum VRS^4 + b \sum VRS^3 + c \sum VRS^2$$

Sustituyendo los datos de la tabla de cálculos en el sistema, se tiene:

$$1003.5 = a(156382.7) + b(1567.1) + 26 c$$

$$88161.85 = a (19882544.6) + b (156382.7) + 1567.1 c$$

$$10'468,703.8 = a (2,827'154,335.0) + b (19'882,544.6) + (156,382.7)c$$

Resolviendo el sistema se encontró:

$$a = -0.002747104 \quad b = 0.911109296 \quad c = 0.191040892$$

Cálculo del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{a \sum (CS) (VRS)^2 + b \sum (CS) (VRS) + c \sum (CS) - n \overline{CS}^2}{\sum (CS)^2 - n \overline{CS}^2}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{-0.002747104(10468703.8) + 0.911109296(88161.85) + 0.191040892(1003.5) - 38731.24038}{51842.95 - 38731.24038}$$

$$r^2 = \frac{13026.93216}{13111.70962} = 0.993534217$$

$$r = 0.996761866$$

Como sabemos este coeficiente de correlación sería igual a uno, si encontráramos una ecuación ideal, por otro lado las pequeñas diferencias que podemos encontrar de  $CS_i$  con  $CS_c$  carecen de sentido desde el punto de vista de variabilidad que experimentaron las pruebas, por tal motivo no es práctico determinar el error de proyección para esta ecuación de regresión (CS-VRS).

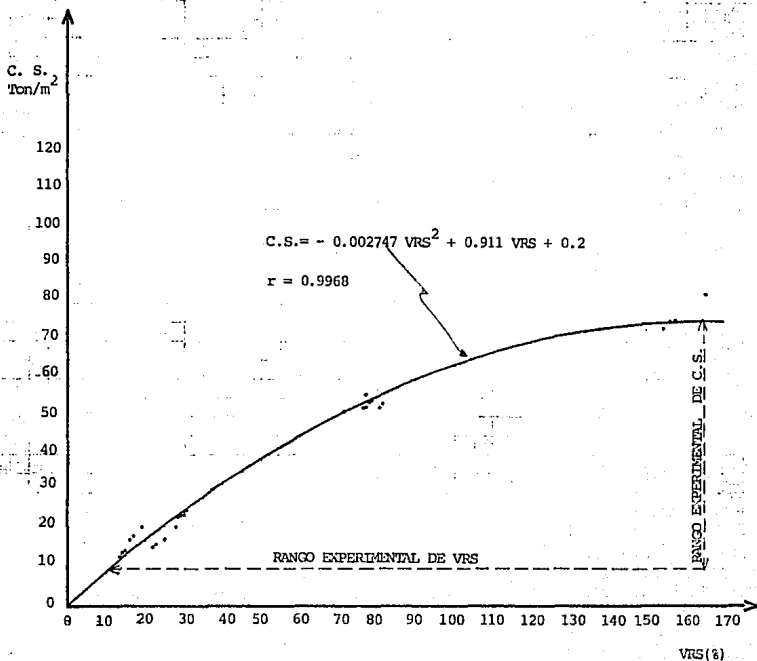
En esta gráfica de la ecuación de regresión sólo se representa el rango experimental de cada prueba, con el fin de poder utilizar esta correlación en forma práctica.

Tabla de Cálculos Función Parabólica

Correlación directa (CS-VRS) datos proyectados

CS	(CS) <sup>2</sup>	VRS	(CS) (VRS)	(CS) (VRS) <sup>2</sup>	(VRS) <sup>2</sup>	(VRS) <sup>4</sup>	(VRS) <sup>3</sup>
82.8	6855.84	165.4	13695.12	2'265,172.8	27357.2	748'414,203.3	4'524,874.3
75.4	5685.16	157.4	11867.96	1'868,016.9	24774.8	613'788,733.1	3'899,547.2
75.1	5640.01	156.4	11745.64	1'837,018.1	24460.9	598'338,564.1	3'825,694.1
73.5	5402.25	154.4	11348.40	1'752,192.9	23839.4	568'315,085.2	3'680,797.2
53.6	2872.96	81.5	4368.40	356,024.6	6642.3	44'119,485.1	541,343.4
52.7	2777.29	80.9	4263.43	344,911.5	6544.8	42'834,537.9	529,475.1
54.5	2970.25	78.7	4289.15	337,556.1	6193.7	38'361,795.8	487,443.4
54.0	2916.00	77.9	4206.60	327,694.1	6068.4	36'825,599.9	472,729.1
56.2	3158.44	77.2	4338.64	334,943.0	6037.3	35'519,692.8	460,099.6
52.8	2787.84	77.2	4076.16	314,679.6	6037.3	35'519,692.8	460,099.6
52.4	2745.76	76.4	4003.36	305,856.7	5836.9	34'070,102.0	445,943.7
51.2	2621.44	71.4	3655.68	267,133.1	5097.9	25'989,196.2	363,994.3
25.5	650.25	30.7	782.85	24,033.5	942.5	880,287.4	28,934.4
24.4	595.36	30.1	734.44	22,106.6	906.0	820,854.1	27,270.9
24.3	590.49	29.3	711.99	20,861.3	858.5	737,005.1	25,153.8
24.0	576.00	28.8	691.20	19,906.6	829.4	687,970.7	23,887.9
21.1	445.21	27.9	588.69	16,424.5	778.4	605,922.1	21,717.6
17.9	320.41	25.0	447.50	11,187.5	625.0	390,625.0	15,625.0
16.5	272.25	22.8	376.20	8,577.4	519.8	270,233.6	11,852.4
15.7	246.49	22.1	346.97	7,668.0	488.4	238,544.3	10,793.9
21.3	453.69	19.1	406.83	7,770.5	364.8	135,086.3	6,967.9
18.8	353.44	17.3	325.24	5,626.7	299.3	89,574.5	5,177.7
17.8	316.84	16.2	288.36	4,671.4	262.4	68,874.8	4,251.5
14.8	219.04	15.0	222.00	3,330.0	225.0	50,625.0	3,375.0
14.0	196.00	14.3	200.20	2,862.9	204.5	40,816.2	2,924.2
13.2	174.24	13.7	180.84	2,477.5	187.7	35,227.5	2,571.4
$\Sigma$ 1003.5	51842.95	1567.1	88161.85	10'468,703.8	156382.7	2827'154,335.0	19'882,544.6

MATERIAL: GRAVA - CONTROLADA  
 GRAFICA DE CORRELACION PARABOLICA DIRECTA  
 ( C.S. - VRS )  
 CON VALORES PROYECTADOS





## 6°.- ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

Material: Grava Controlada

Con base a observaciones de CSI, VRSi

De acuerdo a las combinaciones particulares que se presentaron en la elaboración -- de los especímenes de prueba para este material, analizadas en el capítulo anterior, -- se estableció un control de las variables involucradas, de tal forma que el grado de -- compactación deseado se lograra cuando el material compactado quedara enrasando el molde porter.

De un mismo material homogeneizado con una cantidad de agua definida con anterioridad, se elaboraron dos especímenes enrasados de una manera idéntica, a los cuales se -- aplicó a uno la prueba de Compresión Simple y al otro la prueba de VRS.

Con este procedimiento hipotéticamente los especímenes tienen la misma humedad y el mismo peso volumétrico seco. En base a esto, nos permitimos correlacionar en forma directa los resultados obtenidos.

Tabla de datos obtenidos en las pruebas

PVS	CS	VRS	Humedad	G. S.
2056	75.35	165.44	8.70	100.78
2055	75.08	154.41	8.70	100.74
1958	53.60	80.88	9.30	95.98
1948	52.80	78.68	9.30	95.49
1947	52.44	77.94	9.30	95.44
1934	51.16	77.21	9.30	94.80
1838	25.53	25.00	9.90	90.10
1837	24.41	27.94	9.90	90.05
1833	24.30	22.06	9.90	89.85
1831	23.96	22.79	9.90	89.75
1754	14.79	17.28	10.50	85.98
1751	14.01	16.18	10.50	85.83
1739	13.70	19.12	10.50	85.15

Tabla de Cálculos función Parabólica

CS	VRS	(CS) (VRS)	(CS) (VRS) <sup>2</sup>	VRS <sup>2</sup>	VRS <sup>3</sup>	VRS <sup>4</sup>	CS <sup>2</sup>
75.35	165.44	12465.9	2'052,359.2	27370.4	4'528,157.9	749'138,445.8	5677.62
75.08	154.41	11593.1	1'790,091.0	23842.4	3'681,512.4	568'462,331.4	5637.01
53.60	80.88	4335.2	350,628.4	6541.6	529,082.5	42'792,195.6	2872.96
52.80	78.68	4154.3	326,860.6	6190.5	487,071.9	38'322,815.2	2787.84
52.44	77.94	4087.2	318,554.3	6074.6	473,457.7	36'901,294.9	2749.95
51.16	77.21	3950.1	304,984.4	5961.4	460,278.5	35'538,100.4	2617.35
25.53	25.00	638.3	15,956.3	625.0	15,625.0	390,625.0	651.78
24.41	27.94	682.0	19,055.5	780.6	21,811.2	609,404.4	595.85
24.30	22.06	536.1	11,825.4	486.6	10,735.4	236,822.0	590.49
23.96	22.79	546.0	12,444.4	519.4	11,836.8	269,759.8	574.08
14.79	17.28	255.6	4,416.3	298.6	5,159.8	89,161.0	218.74
14.01	16.18	226.7	3,667.7	261.8	4,235.8	68,535.3	196.28
13.70	19.12	261.9	5,008.4	365.6	6,989.8	133,644.6	187.69
<b>Σ 501.13</b>	<b>784.93</b>	<b>43,732.4</b>	<b>5'225,851.9</b>	<b>79,318.5</b>	<b>10'235,952.7</b>	<b>1472'953,135.0</b>	<b>25357.64</b>

Se graficaron los puntos observados, apreciando que toman forma semejante a una parábola; por tal motivo se procedió a calcular la ecuación de regresión y su respectivo coeficiente de correlación.

La ecuación matemática encontrada presenta muy buena adaptación a los puntos observados y un coeficiente de correlación muy cercano a uno, por lo tanto se considera que esta ecuación representa muy bien dicho fenómeno.

#### Cálculo de la ecuación de regresión

El sistema de ecuaciones a aplicar es:

$$\begin{aligned}\sum CS &= a \sum VRS^2 + b \sum VRS + cn \\ \sum (CS) (VRS) &= a \sum VRS^3 + b \sum VRS^2 + c \sum VRS \\ \sum (CS) (VRS)^2 &= a \sum VRS^4 + b \sum VRS^3 + c \sum VRS^2\end{aligned}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la tabla de cálculos queda:

$$\begin{aligned}501.13 &= a (79,318.5) + b (784.93) + 13 c \\ 43,732.4 &= a (10'235,952.7) + b (79,318.5) + (784.93) c \\ 5'225,851.9 &= a (1,472'953,135) + b (10'235,952.7) + (79318.5) c\end{aligned}$$

Resolviendo el sistema, resulta que:

$$a = 0.002187923 \quad b = 0.795352366 \quad c = 3.875152705$$

La ecuación resulta:

$$CS = - 0.002187923 VRS^2 + 0.795352366 VRS + 3.875$$

#### Cálculo del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{a \sum (CS) (VRS)^2 + b \sum (CS) (VRS) + c \sum CS - n \overline{CS}^2}{\sum (CS)^2 - n \overline{CS}^2}$$

Sustituyendo:

$$r^2 = \frac{(-0.0021879923) (5,225,851.9) + 0.795352366 (43,732.4) + (3.875152705) (501.13) - 19317.79053}{25,357.64 - 19317.79053}$$

$$r^2 = \frac{5973.070989}{6039.84947} = 0.988943684$$

$$r = 0.994456477$$

Despejando VRS de la fórmula se tiene:

$$VRS = \frac{363.47 - (139197.7202 - 1828.217904 CS)^{\frac{1}{2}}}{2}$$

#### ERROR DE PROYECCION

En este caso vamos a poder analizar de manera directa las variaciones que presentan las pruebas de Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte.

Error en Unidades de CS			Error en Unidades de VRS		
CSi	CSc	(CSi-CSc) <sup>2</sup>	VRSi	VRSc	(VRSi-VRSc) <sup>2</sup>
75.35	75.51	0.03	165.44	162.75	7.23
75.08	74.37	0.50	154.41	159.74	28.41
53.60	53.86	0.07	80.88	80.24	0.41
52.80	52.88	0.01	78.68	78.45	0.05
52.44	52.55	0.01	77.94	77.66	0.08
51.16	52.21	1.10	77.21	74.89	5.40
25.53	22.38	9.92	25.00	29.65	21.59
24.41	24.38	0.01	27.94	27.97	0.00
24.30	21.46	8.06	22.06	27.81	33.06
23.96	20.86	9.61	22.79	27.31	20.39
14.79	16.96	4.71	17.28	14.28	9.00
14.01	16.17	4.67	16.18	13.22	8.74
13.70	18.28	20.98	19.12	12.80	39.90
<hr/>			<hr/>		
$\Sigma (CSi-CSc)^2 = 59.68$			$\Sigma (VRSi-VRSc)^2 = 174.26$		
$\frac{\Sigma (CSi-CSc)^2}{n} = 4.59$			$\frac{\Sigma (VRSi-VRSc)^2}{n} = 13.40$		

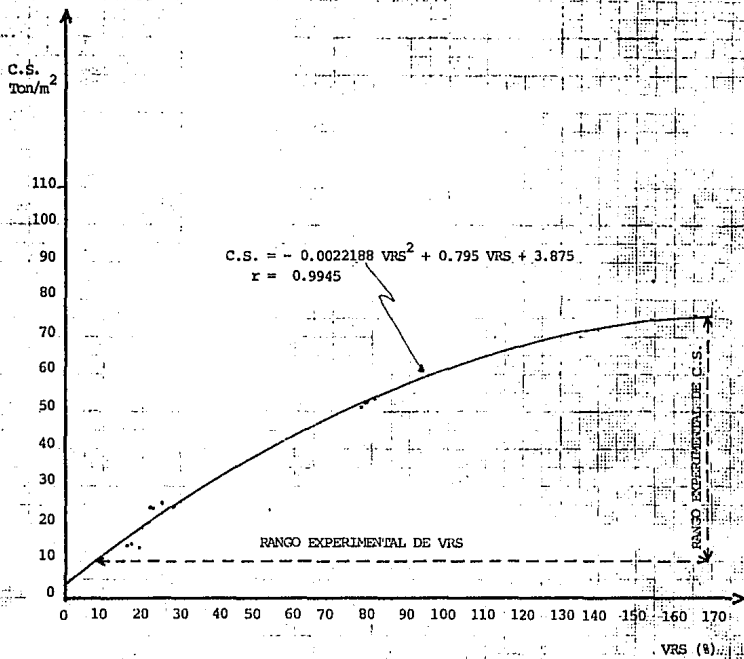
$$\sigma_{CS} = 2.14 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_{VRS} = 3.66 \%$$

MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA

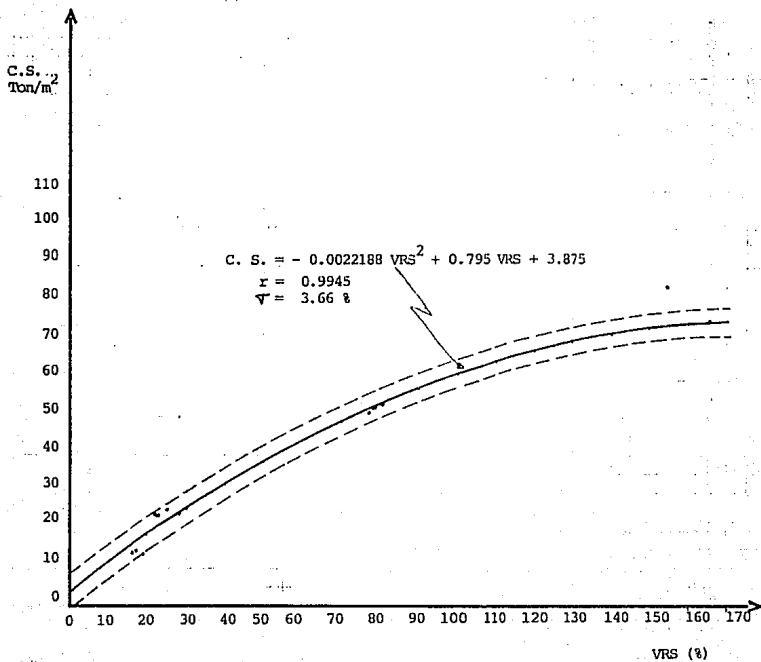
GRAFICA DE CORRELACION PARABOLICA DIRECTA

(C. S.-VRS)



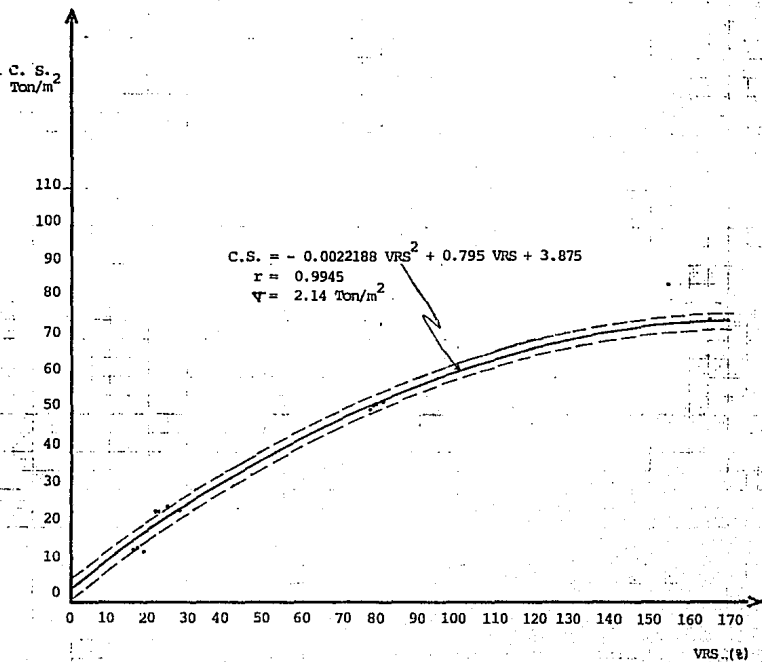
MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA (VALORES OBSERVADOS)

GRAFICA DE CORRELACION PARABOLICA DIRECTA  
( C.S.-VRS ) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE VRS (%).



MATERIAL: GRAVA-CONTROLADA (VALORES OBSERVADOS)

GRAFICA DE CORRELACION DIRECTA PARABOLICA  
(C.S.-VRS) Y ERROR DE PROYECCION GRAFICADO  
EN UNIDADES DE C.S. (Ton/m<sup>2</sup>)



## CAPITULO VI

## CONCLUSIONES

Después de llegar al término de este trabajo y analizar los capítulos anteriores, podemos dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados al inicio de este trabajo, así como a los problemas que se presentaron en el desarrollo del mismo.

VI.1.- PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTARON EN EL DESARROLLO DE ESTOS OBJETIVOS.

Problema No. 1.- Obtener probetas en materiales friccionantes.

Problema No. 2.- Falta de cumplimiento de la relación de esbeltez.

Problema No. 3.- Incongruencia en resultados obtenidos en pruebas de Valor Relativo de Soporte, al hacer las pruebas Porter modificada en material de Grava controlada, por tener absorción prácticamente nula, el agregado grueso.

VI.2.- Solución a los problemas presentados durante el desarrollo de los objetivos.

Se realizó de la siguiente manera:

Para el problema No. 1.- Se adaptó un molde Porter en forma de medias cañas, resolviendo satisfactoriamente dicho problema, debido a que durante la extracción de especímenes de pruebas de los moldes Porter por medio de gato hidráulico se observó que había alteración del espécimen. Además para evitar adherencia y pérdida de humedad -- del material durante las pruebas como se verificó, se utilizó una hoja de papel para cubrir las paredes del molde (base). Cabe aclarar que se realizaron en este molde aproximadamente 300 pruebas, en las cuales funcionó satisfactoriamente.

Para el problema No. 2.- Para investigar la diferencia de esfuerzo último entre especímenes que no cumplen y especímenes que sí cumplen con la relación de esbeltez establecida para pruebas de Compresión Simple, se realizó lo siguiente: con el material Limo-arenoso, se ejecutaron pruebas Porter estándar sin saturar, obteniéndose probetas completas para su ensaye a Compresión Simple, también se obtuvieron por medio de labrado, probetas que cumplieran con la relación de esbeltez de  $2 \leq Re \leq 3$ .

Los resultados obtenidos de estos especímenes ensayados a Compresión Simple, con una relación de esbeltez de 0.85 resultaron de 112.1 Ton/m<sup>2</sup> en promedio y los resultados obtenidos de los especímenes ensayados a Compresión Simple, con una relación de esbeltez de 2, resultaron de 82.55 Ton/m<sup>2</sup> en promedio. Por lo anterior se deduce que el esfuerzo último que soportan los especímenes que no cumplen con la relación de esbeltez es 26% mayor, que el esfuerzo que soportan los especímenes que sí cumplen con dicha relación de esbeltez.



que pudiera ser atomillable, de esta forma los especímenes de prueba se puedan descimbrar, sin que éstos sufran deformaciones u otro tipo de daños considerables.

Por otro lado se observó que el molde se puede mejorar haciéndolo más hermético, -- con traslape de biceles y diseñarlo para que los especímenes cumplan con la relación -- de esbeltez de  $2 \leq Re \leq 3$  y satisfagan así los requisitos establecidos en la prueba -- de Compresión Simple.

#### O B J E T I V O No. 2

Correlacionar resultados obtenidos en pruebas de Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte, obtenidos en especímenes reproducidos con un peso volumétrico seco del orden del 85 al 100% de grado de compactación, utilizando para este fin, el procedimiento de la prueba Porter modificada, aplicada a cuatro materiales diferentes que son: arcilla-arenosa, arena-limosa, arena-arcillosa y grava controlada.

#### Conclusión para objetivo No. 2.

Se puede concluir para el objetivo No. 2, que es posible correlacionar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en cada uno de los materiales ensayados en este trabajo, con apoyo de los análisis estadísticos efectuados con los resultados de las pruebas de Compresión Simple y Valor Relativo de Soporte aplicadas a los materiales estudiados. Se observó que las expresiones matemáticas encontradas para cada uno de ellos representan al fenómeno prácticamente de una manera ideal, hecho que se corrobora con su respectivo coeficiente de correlación, el cual se acerca prácticamente a uno.

Existe apoyo suficiente para utilizar cada una de estas expresiones matemáticas como funciones lineales, en las que cualquiera de las dos variables se puede tomar como dependiente y la otra como independiente.

Al final de este capítulo se anexa una gráfica con su función matemática que representa dicha relación para cada uno de los materiales analizados en este trabajo.

VI.4.- Uno de los aspectos más sobresalientes en esta Tesis, es el hecho de poder correlacionar Pruebas de Compresión Simple con Valor Relativo de Soporte, en materiales friccionantes.

Por otro lado se presenta la interesante aplicación de la prueba de Compresión Simple, como una prueba que se puede utilizar en lugar de la prueba de Valor Relativo de Soporte.

Además podemos concluir que la prueba de Compresión Simple presenta algunas ventajas con respecto a la prueba de Valor Relativo de Soporte, como a continuación se men

cionan.

VI.5.- Ventajas de la prueba de Compresión Simple sobre la prueba de Valor Relativo de Soporte.

- 1.- Se obtienen resultados en unidades de esfuerzo, los cuales nos dan en forma directa la resistencia del suelo. Siendo más significativos en función de la necesidad de carga para la cual estudiamos dicho suelo.
- 2.- Otra ventaja es que se puede determinar el módulo de elasticidad del suelo, para un grado de compactación especificado, determinando con dicho módulo la deformabilidad del suelo. Con esto se puede predecir el posible comportamiento de la estructura de una obra de tierra, durante el proceso de construcción y vida útil de la misma.
- 3.- El módulo de elasticidad posiblemente se puede introducir en los métodos de diseño de pavimentos, cimentaciones y obras de tierra en general. Con el fin de obtener información de cada uno de los estratos del suelo que intervienen significativamente en diseño de estas obras, en donde los módulos obtenidos de la prueba de Compresión Simple servirán como base para diseño.
- 4.- De acuerdo a las observaciones realizadas en la ejecución de las pruebas, se verificó que el tiempo de ejecución en pruebas de Valor Relativo de Soporte y Compresión Simple no difiere significativamente.
- 5.- El tiempo de ejecución de una prueba de Compresión Simple normal, es sensiblemente el mismo que se utiliza para realizar una prueba de Compresión Simple de este tipo.
- 6.- El equipo que se utiliza para realizar esta prueba de Compresión Simple es sensiblemente el mismo que se utiliza para una prueba de Compresión Simple normal, con algunas variantes en cuanto al molde, pudiéndose utilizar la misma prensa que se utiliza para una prueba de VRS para aplicar la carga al espécimen. Por otro lado, la prensa utilizada en prueba Porter se usa para compactar el especimen de acuerdo al grado de compactación deseado. Se observó que no hay inconveniente en utilizar el mismo equipo, sin que sea necesario hacer nuevas inversiones de equipo nuevo ó sofisticado.

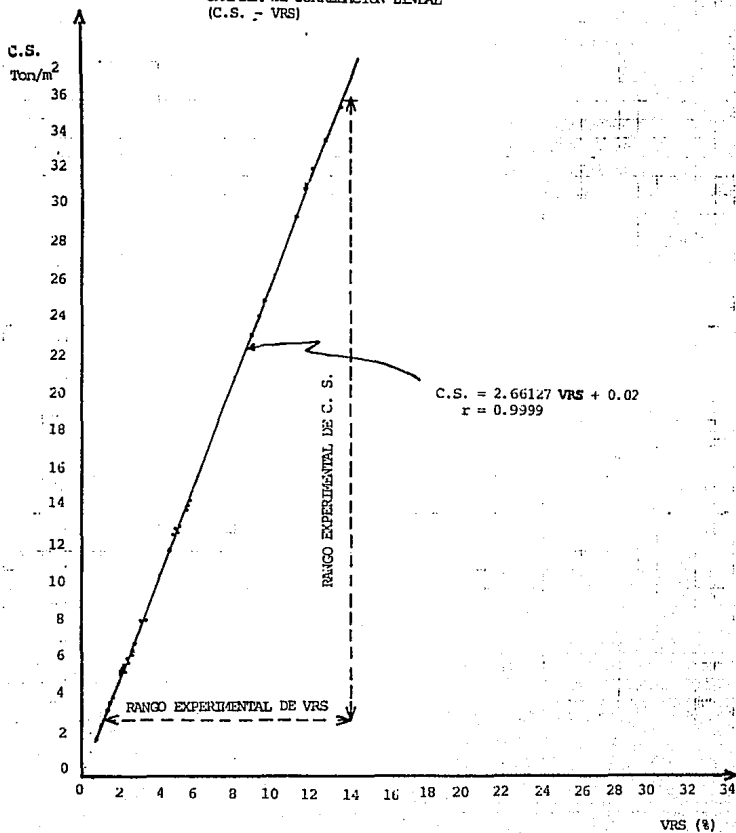
VI.6.- Desventajas de la prueba de Compresión Simple con respecto a la prueba de Valor Relativo de Soporte.

- 1.- Uno de los principales inconvenientes de esta prueba es la falta de experiencia

de los laboratoristas en la ejecución de la prueba y la interpretación de los resultados. Siendo necesario e indispensable la supervisión por parte de un ingeniero o una persona calificada, con el fin de evitar serios errores en la realización de estas pruebas.

- 2.- Otro de los obstáculos para la aceptación de esta prueba en lugar de la prueba de VRS, es el rechazo que tenemos los individuos para el cambio. El cual se irá disipando a medida que se obtenga la precisión en dicha prueba, mediante la práctica constante y resultados satisfactorios de la misma.

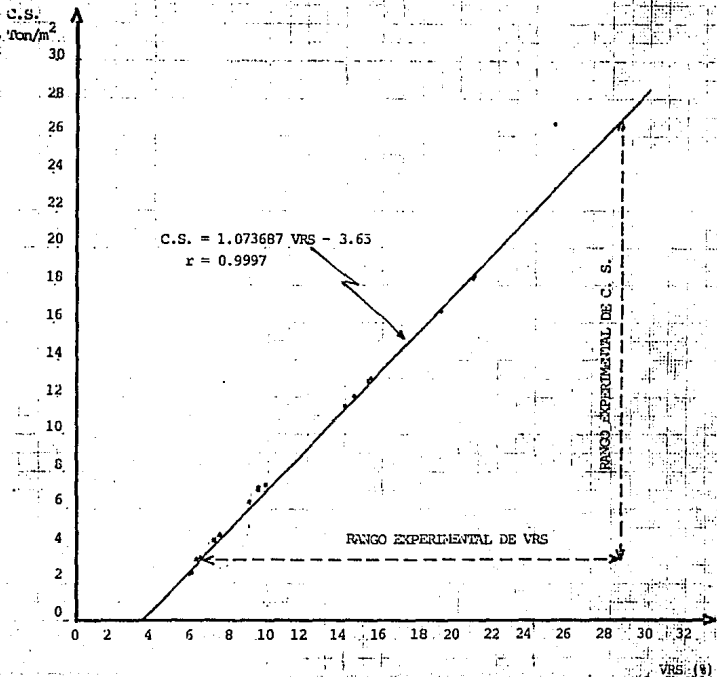
MATERIAL: ARCILLA-ARENOSA DE TEXCOCO

GRAFICA DE CORRELACION LINEAL  
(C.S. - VRS)

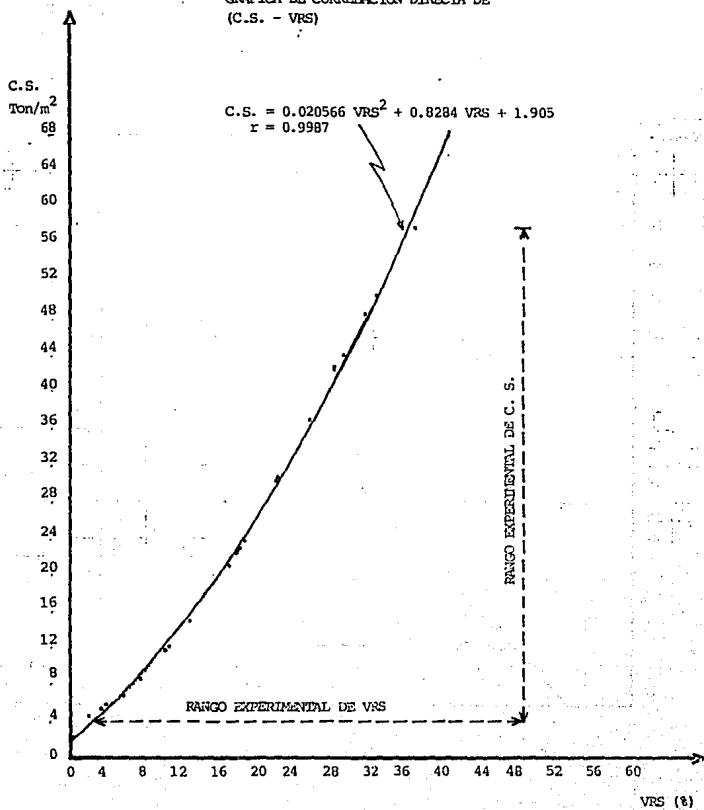
MATERIAL: ARINA-LIMOSA

GRAFICA DE CORRELACION LINEAL

(C.S. - VRS)



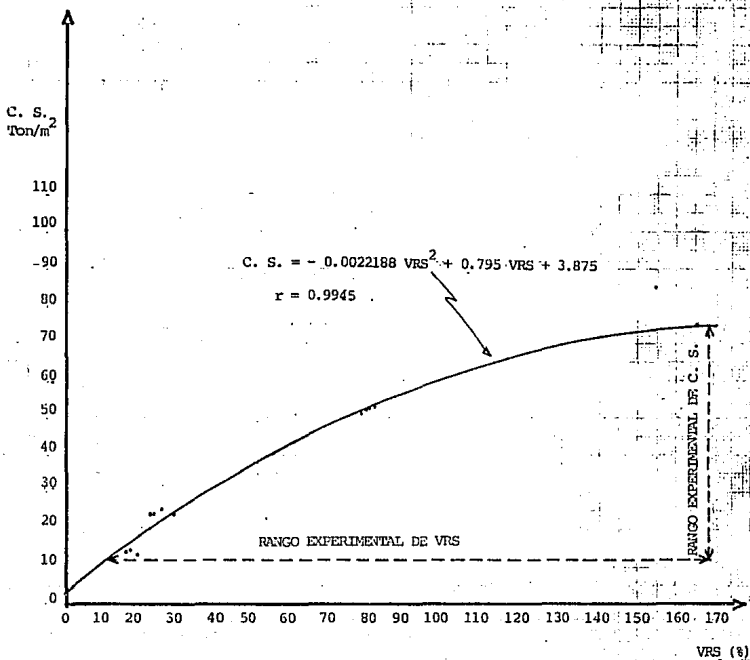
MATERIAL: ARENA-ARCILLOSA, BANCO LA PALMA

GRAFICA DE CORRELACION DIRECTA DE  
(C.S. - VRS)

MATERIAL: GRAVA - CONTROLADA

GRAFICA DE CORRELACION PARABOLICA DIRECTA

( C.S. - VRS )

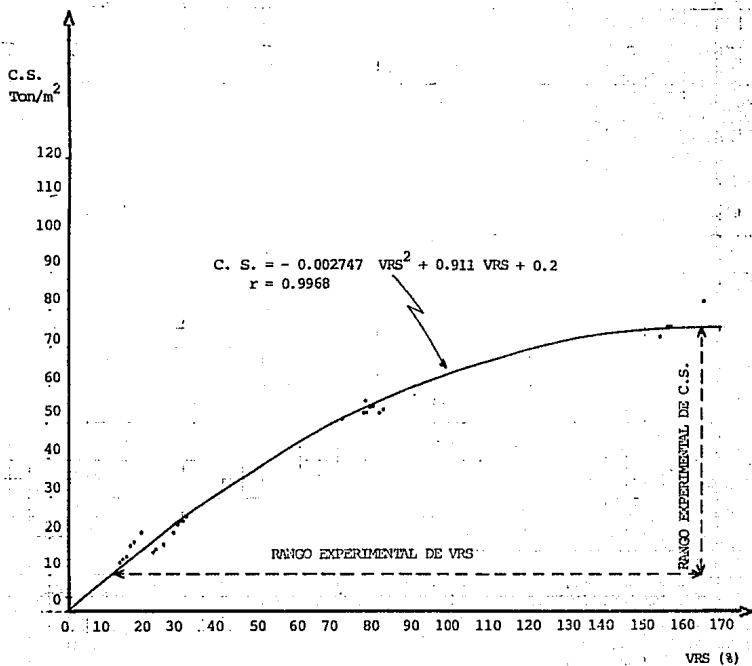


MATERIAL: GRAVA CONTROLADA

GRAFICA DE CORRELACION PARABOLICA DIRECTA

(C.S. - VRS)

CON VALORES PROYECTADOS





## B I B L I O G R A F I A

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - COMPORTAMIENTO DE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES  
SANTIAGO CORRO C. - INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. ENERO DE 1970.  
PUBLICACION 240.

ESTADISTICA BASICA PARA PLANIFICACION - ARTURO NUÑEZ DEL PRADO BENAVENTE.  
MEXICO 1990.

ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES - FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.  
MEXICO 1986.

INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS.  
SANTIAGO CORRO C., ROBERTO MAGALLANES, GUILLERMO PRADO.  
INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. - NOVIEMBRE DE 1981.  
PUBLICACION NUM. 444.

INTRODUCCION A LA ESTADISTICA DESCRIPTIVA - OCTAVIO A. RASCON CH.  
VOLUMENES I Y II. MEXICO 1977.

INVESTIGACIONES EN DESARROLLO SOBRE EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.  
SANTIAGO CORRO C.- INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. - JUNIO DE 1967.  
PUBLICACION NUM. 136.

MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL - JOSEPH E. BOWLES.  
BOGOTA COLOMBIA 1980.

MECANICA DE SUELOS TOMO I - JUAREZ BADILLO Y RICO RODRIGUEZ.  
FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS. MEXICO 1984.

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS - CARRETERAS  
Y AEROPISTAS - SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS ( S.C.T. MATERIALES PARA TERRACE-  
RIAS ). MEXICO 1986.