

## Estudio sobre la influencia de la compactación en pavimentos asfálticos

Pág. 83-96

### **Juan Patillo B.**

Profesor Tecnología del Asfalto, Departamento de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

### **Mauricio Conejero G.**

Licenciado en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Construcción, Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

### **Santiago Saitua D.**

Licenciado en Ciencias de la Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Construcción, Universidad Católica de Chile, Casilla 6177, Santiago, Chile.

**RESUMEN:** El presente trabajo se originó con el objeto de establecer un criterio para la fijación del porcentaje de compactación que debe exigirse a una mezcla asfáltica, con relación a su densidad de diseño Marshall, al ser colocada y compactada en una carretera. Actualmente, no hay una clara definición del valor mismo de densidad que debe exigirse a un constructor, para que la mezcla colocada y compactada en la carretera refleje en forma fiel, el criterio usado para el diseño de dicha mezcla y consecuentemente que la estabilidad obtenida esté dentro de los límites exigidos por el proyectista. El trabajo entrega como conclusión final que hay una fuerte baja en la estabilidad, al aceptar valores de la densidad de la mezcla inferiores a la obtenida por el Método Marshall para tránsito pesado. Es posible que, dado a que el ensayo Marshall tiene ya más de 30 años de vigencia, sea necesario exigir porcentajes más cercanos por sobre el 100% de su densidad, por cuanto esta densificación es muy fácil de obtener con los equipos actuales, conservando los otros parámetros Marshall dentro de lo exigido por este método. Para ejecutar la presente investigación se usó el sistema de trabajo personal dirigido que tiene esta Universidad en el cual participan los alumnos del último curso y el profesor guía de dicho curso.

## **I. INTRODUCCION**

El presente trabajo muestra la influencia que tiene en la estabilidad de una mezcla asfáltica para carpeta de rodado, especificar y/o aceptar compactaciones menores de aquella que representa la densidad de la mezcla, obtenida en el ensayo Marshall, usado en el diseño de dicha mezcla. Para efectuar lo anterior, se procedió a realizar un análisis experimental de las variaciones de los diferentes parámetros relevantes de una mezcla asfáltica para carpeta de rodadura: estabilidad, fluencia, porcentaje de huecos en agregados pétreos (VMA), porcentaje de huecos en la mezcla y densidad, obtenidos mediante el ensayo Marshall (1) al variar el número de golpes de compactación y manteniendo constante el porcentaje óptimo de asfalto obtenido de la dosificación.

Para el diseño de la mezcla asfáltica se usaron patrones mínimos que son los especificados usualmente para tránsito pesado en Chile, los que se indican en la Tabla N° 1.

**Tabla N°1 Especificaciones para la mezcla de concreto asfáltico utilizada**

	Mínima	Máxima
Estabilidad (N)	<b>5800</b>	
Fluencia (mm)	<b>2,03</b>	<b>4,06</b>
Porcentaje huecos en la mezcla	<b>3</b>	<b>5</b>
Número de golpes compactación para la dosificación		<b>75</b>
V.M.A. (%)		<b>14</b>

## II. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

### 2.1 Materiales asfálticos

Se utilizó cemento asfáltico de penetración 60/70, con las características presentadas en Tabla N°2.

**Tabla N°2 Características del cemento asfáltico utilizado**

Propiedad	Valor
Densidad	1,013 kg/dm <sup>3</sup>
Ductilidad	> 100 cm
Penetración a 25° C	62,3 (mm/10)
Penetración a 40°C	217 (mm/10)

Mediante las penetraciones a 20°C y 40°C, se obtuvo, con la ayuda del abaco de Heukelom (2), las temperaturas de mezclado y compactación, que fueron de 160°C y 130°C respectivamente.

## 2.2 Áridos

Los áridos utilizados provienen del manto ripioso existente en la zona de Santiago, los cuales fueron chancados por la planta procesadora "ARRIP", hasta obtener un 70% de partículas con 2 o más caras fracturadas y posteriormente acopiados en la planta de mezclas asfálticas "COMERCO Ltda." en dos acopios con tamaños máximos de 3/4" y 1/2" respectivamente.

Con el objeto de obtener un material que presentara un 100% con dos o más caras fracturadas, se procedió a una selección manual, eliminando dentro de cada fracción a utilizar, las partículas que no cumplían este requisito.

Para las exigencias granulométricas, se especificó la banda para carpeta de rodado CBTM 20 mm B (3). La granulometría para el árido usado fue reconstituido malla a malla hasta la malla 2,38 mm (malla N°8), de modo de obtener un material centrado en la banda.

La componente gruesa de áridos, grava y gravilla, se obtuvo de los acopios de materiales de tamaño máximo 3/4" y 1/2", que presentan las características indicadas en la Tabla N°3.

**Tabla N° 3 Características de los áridos en acopio (1 y 3)**

Propiedad	Tamaño máximo 3/4"	Tamaño máximo 1/2"
Índice cubicidad (%)	27,12	26,40
Porcentaje rodado	37,77	17,48
Porcentaje chancado	62,23	85,52
Porcentaje lascas	15,63	12,86
Desgaste de los Angeles (%)	17	18
Adherencia porcentaje	+95	+95

Bajo malla 2.38 (mm) (N°8), se tomó el material en las condiciones en que se encontraba en los acopios y fué necesario usar 3 materiales distintos para lograr la granulometría deseada. Las granulometrías de los materiales finos referida a malla 2.38 mm (N°8), la banda exigida y la dosificación se muestran en la Figura N° 1.

Los pesos específicos de los áridos y la granulometría utilizada en la experiencia se muestran en las Tablas N° 4 y N°5.

Finalmente, la granulometría utilizada, indicando los porcentajes de los distintos materiales componentes de ella, se muestran graficados en la Figura N°2.

**Tabla N°4 Granulometría utilizada en la experiencia**

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa
19,050	100,0
12,700	92,5
9,525	80,0
4,760	60,0
2,380	42,5
0,590	23,1
0,297	17,6
0,149	11,7
0,074	6,6

**Tabla N° 5 Pesos específicos de los áridos**

	Agregado grueso	Agregado fino	Mezcla
Peso específico Bulk	2,69	2,59	2,63
Peso específico Efectivo	2,71	2,66	2,68

### III. CONFECCION DE LAS PROBETAS T RESULTADOS BTENIDOS

#### 3.1 Cálculo de la dosificación a usar en la experiencia

Previo a la realización de la experiencia propiamente tal, se procedió a dosificar la mezcla, para la determinación del porcentaje óptimo del asfalto. Para determinar la dosificación correspondiente se confeccionaron cuatro series de probetas con distintos porcentajes de asfalto.

En la Tabla N°6 se muestran las series de probetas confeccionadas, el cálculo de los parámetros involucrados y los valores de los parámetros Marshall obtenidos del ensayo correspondiente. Con estos valores se graficaron las cinco relaciones que entrega este ensaye, como se muestran en la Figura N°3.

Del estudio de estas cinco curvas, se puede concluir que el porcentaje óptimo de asfalto que cumple con los requisitos establecidos en la Tabla N°1, es (en peso del agregado seco).

### 3.2 Desarrollo de la experiencia

La experiencia consistió en medir los parámetros Marshall en una serie de probetas confeccionadas variando, el número de golpes usados en su compactación, de un máximo de 75 golpes hasta un mínimo de 30 golpes por cara. Con esta variación del número de golpes se cubre las densificaciones requeridas para todos los tránsitos que son utilizados por el Método Marshall (3). La probetas fueron fabricadas con los materiales pétreos y asfálticos descritos en la sección II y usando el porcentaje de asfalto óptimo previamente determinado (5%).

En la Tabla N°7 se indican las características de estas probetas y los resultados de su ensaye Marshall. En la Figura N°4 se muestra la variación de los distintos parámetros Marshall con relación al número de golpes usados en su confección.

Por último, en la Figura N°5 se ha graficado la variación de la estabilidad en porcentaje de la estabilidad máxima, con relación al porcentaje de la densidad máxima. Se ha ajustado una recta con las siguientes características:

$$\% \text{ estabilidad} = 15.79205 (\% \text{ densidad } 75 \text{ golpes}) - 1481.86057$$

$$\text{coeficiente correlación} = 0,955$$

Probeta (N°) % asfalto altura (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	5.0	5.0		5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5
	58.7	58.0		58.4	57.3	58.0	56.6	58.1	56.5	57.0	56.0	56.4
D E N S I O A 0 peso en aire (gr) peso en agua (gr) peso sat. sup. seca (gr) densidad (km/dm3) densidad media (kq/dm3)												
	2.369	2.381		2.401	2.402	2.392	2.472	2.396	2.417	2.424	2.414	2.424
		2.375			2.398			2.428			2.421	
H U E C O S % asfalto efectivo P.E. max. mezcla % h. mezcla vMA		4.32			4.82			5.32			5.83	
		2.49			2.47			2.45			2.44	
		4.44			2.85			0.96			0.59	
		14.00			13.57			12.91			13.57	
M A R S H A L L fluidez (mm) fluidez media (mm) dial estabilidad (KN) est. corregida (KN) est. media (KN)	2.40	2.41		3.16	3.71	3.98	3.58	3.81	4.02	4.75	4.65	4.21
		2.41			3.62			3.80			4.54	
									*			
	12.54	11.65		12.70	12.65	13.00	12.79	10.86	11.51	11.12	11.47	11.30
	14.33	13.57		14.64	15.02	15.15	15.51	12.62	14.00	13.32	13.91	13.79
		13.95			14.94			14.04				13.67
PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION												
	grueso	fino	mezcla									
P.E.B.	2.69	2.59	2.63			P.E. asfalto		1.01				
P.E.E.	2.71	2.66	2.68			absorción (%)		0.72				

**TABLA N°6 ANALISIS MARSHALL.**

**DOSIFICACION CARPETA DE RODADURA**

Probeta (N°)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
núm. de golpes	75	75	70	70	70	68	68	68	65	65	65	60	60	55
altura (mm)	58.7	58.0	58.2	57.8	58.1	58.9	58.3	57.9	59.5	57.9	58.1	58.5	59.3	59.1
<b>DENSIDAD</b>														
peso en aire (gr)														
peso en agua (gr)														
peso sat. sup. seca (gr)														
densidad (km/dm3)	2.369	2.381	2.356	2.381	2.365	2.369	2.379	2.384	2.357	2.371	2.373	2.356	2.353	2.353
densidad media (kq/dm3)	2.375			2.367			2.377			2.367		2.355		2.355
<b>H U E C O S</b>														
% asfalto efectivo	4.32			4.32			4.32			4.32		4.32		4.32
P.E. máx. mezcla	2.49			2.49			2.49			2.49		2.49		8.49
% h. mezcla	4.44			4.76			4.36			4.76		5.24		5.24
VMA	14.00			14.3			13.9			14.3		14.7		14.7
<b>M A R S H A L L</b>														
fluidez (mm)	2.40	2.41	2.68	2.95	2.78	2.47	2.52	2.65	2.30	2.63	2.69	2.93	1.71	2.21
fluidez media (mm)	2.41			2.80			2.55			2.54		8.32		2.09
Dial														
estabilidad (KN)	12.54	11.65	10.05	12.21	12.33	10.35	11.88	11.33	9.35	10.42	12.88	10.77	10.42	10.23
est.corregida (KN)	14.33	13.57	11.65	14.30	14.33	11.77	13.73	13.23	10.45	12.27	14.97	12.37	11.71	11.57
est. media (KN)	13.95			13.43			12.91			12.53		12.04		11.59
<b>Prooeta (N«°)</b>	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
núm. de golpes	55	50	50	50	45	45	45	40	40	35	35	35	30	30
altura (mm)	58.9	59.6	59.2	59.7	59.8	60.0	59.5	60.8	60.7	60.8	59.7	59.3	60.4	60.0
<b>D E N S I D A D</b>														
peso en aire (gr)														
peso en agua (gr)														
peso sat. sup. seca (gr)														
densidad (km/dm3)	2.356	2.347	2.336	2.351	2.331	2.351	2.332	2.323	2.305	2.314	2.321	2.324	2.326	2.328
densidad media (kg/dm3)			2.345			2.338		2.314			2.320		2.327	
<b>H U E C O S</b>														
% asfalto efectivo			4.32			4.32		4.32			4.32		4.32	
P.E. máx. mezcla			2.49			2.49		2.49			2.49		2.49	
% h. mezcla			5.64			5.92		6.89			6.65		6.37	
VMA			15.08			15.3		16.20			16		15.7	
<b>M A R S H A L L</b>														
fluidez (mm)	1.97	2.67	3.20	2.77	3.19	2.22	2.20	2.47	2.47	2.62	2.78	1.81	2.98	2.70
fluidez media (mm)						2.541		2.47			2.40		2.84	
Dial			2.88											
estabilidad (KN)	10.21	11.63	9.81	9.72	9.05	9.56	8.57	7.89	7.13	7.63	8.62	7.13	6.31	8.36
est corregida (KN)	11.61	12.97	11.07	10.81	10.04	10.54	9.58	8.51	7.71	8.23	9.59	8.01	6.88	8.89
est media (KN)			11.62			10.50		8.11			8.61		7.89	

**TABLA N° 7 ANALISIS MARSHALL - RESULTADOS PARA LOS DISTINTOS NUMERO DE GOLPES**

#### IV. CONCLUSIONES T COMENTARIOS

La investigación realizada muestra las variaciones que experimentan los distintos parámetros Marshall, al variar, para una misma mezcla asfáltica, su grado de compactación. Disminuciones en su densidad muestran que la estabilidad tiene una alta susceptibilidad con relación a la compactación, presentando importantes pérdidas frente a pequeñas variaciones de ella.

Es muy significativo hacer notar que, para un 98% de la densidad máxima obtenida con 75 golpes (porcentaje que es aceptado en algunas especificaciones técnicas), la estabilidad para la mezcla en estudio, descendió en un **34%**. Este resultado se muestra en forma gráfica en la Figura N°4.

Como puede apreciarse, las probetas fueron confeccionadas con un porcentaje de asfalto fijo, lo que evidencia que la pérdida de estabilidad, en el presente estudio, no representa aumentos en su durabilidad. Además, podemos esperar un comportamiento deficiente bajo tránsito pesado, ya que al aumentar el porcentaje de huecos a un 6.33%, la mezcla sufrirá futuras compactaciones que se evidenciarán en ahuellamientos de ella.

Finalmente, se hace aconsejable profundizar el tema, abordando además las otras capas asfálticas componentes de un pavimento flexible, como son capas intermedias y bases asfálticas.

Además, sería recomendable hacer estas experiencias con un mayor número de probetas, debido a la fuerte dispersión que se presenta en la confección y ensaye de ellas.

Por último, sería de conveniencia verificar como son afectadas las mezclas asfálticas cuyos áridos están en los límites permisibles en las bandas granulométricas, dado a que el presente trabajo consideró su curva ideal centrada en la banda especificada.

#### REFERENCIAS

1. ASTM, "Standard Test Method for Resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus", D15 - 59, Filadelfia, Pensilvania, 1976.
- 2 Heukelom, W., "An improved method of characterizing asphaltic bitumens with the aid of their mechanical properties", Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologist, Houston, Texas, Febrero 1973, 1-19.
3. Ministerio de Obras Públicas, "Manual de Carreteras, Volumen 5, Especificaciones de Construcción", Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Santiago, Chile, 1975.

## BIBLIOGRAFIA

4. Pattillo, J., "Introducción a la Tecnología de los Pavimentos Asfálticos", Instituto Chileno del Asfalto, Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 1985
5. Salgado, J. y Fuentes, C., "Curso Laboratorista Vial - Volumen II: Asfalto". Ministerio de Obras Públicas, Laboratorio Nacional de Vialidad, Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 1985
6. The Asphalt Institute, "Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types", Manual Series N°2 (MS-2), The Asphalt Institute, Maryland, USA, 1984.

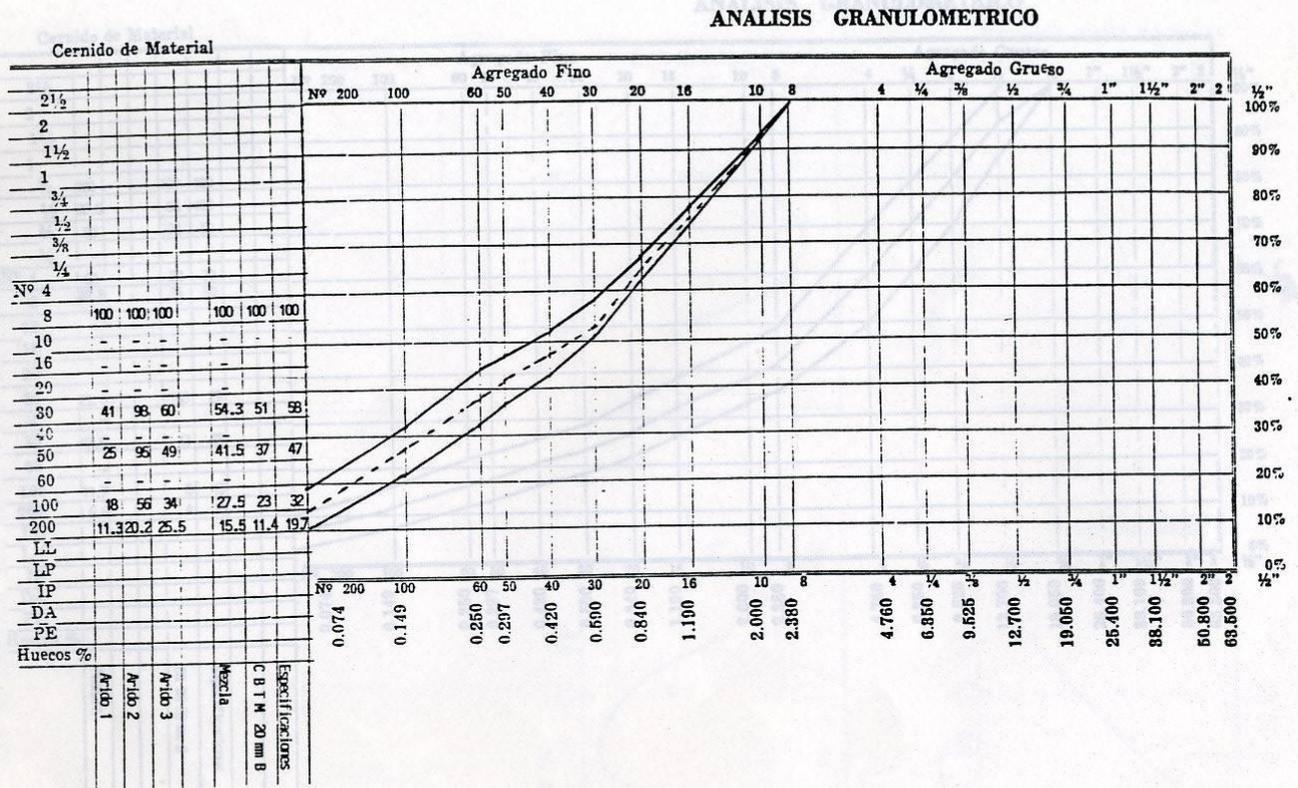


FIGURA N° 1 ANALISIS GRANULOMETRICO ARIDOS BAJO MALLA 2.38 mm

FIGURA 1 ANALISIS GRANULOMETRICO ARIDOS BAJO MALLA 2.38 mm



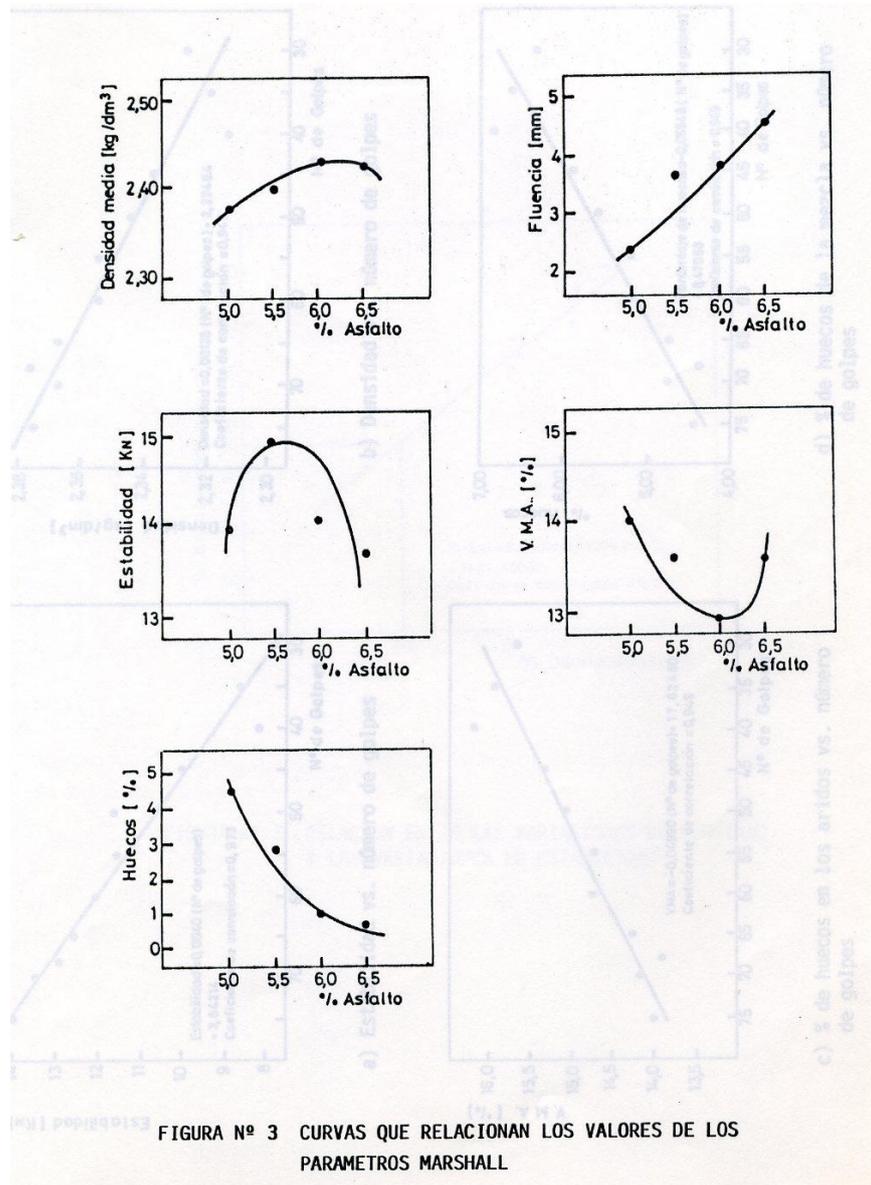


FIGURA 3 CURVAS QUE RELACIONAN LOS VALORES DE LOS PARAMETROS MARSHALL

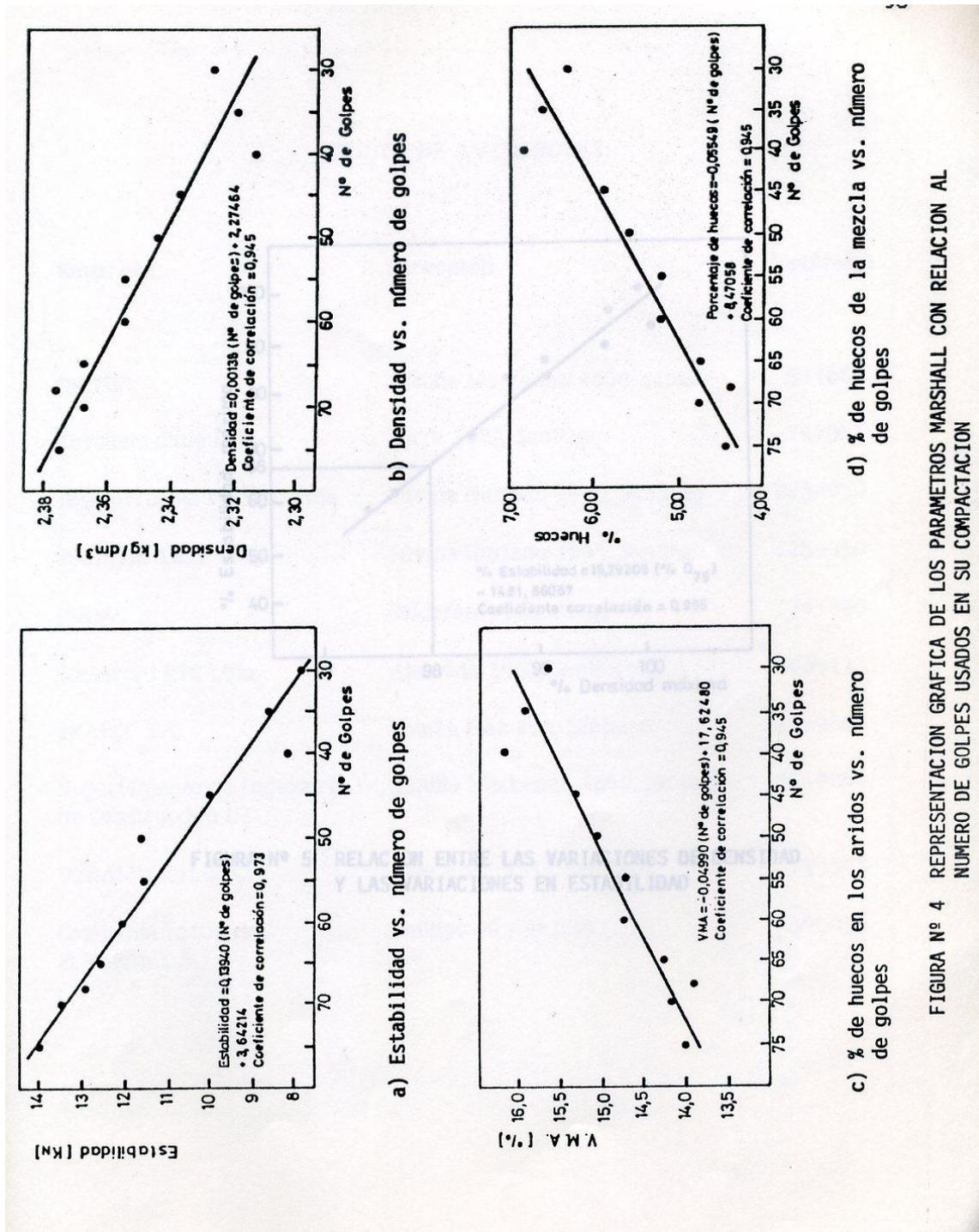


FIGURA N° 4 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS PARAMETROS MARSHALL CON RELACION AL NUMERO DE GOLPES USADOS EN SU COMPACTACION

FIGURA 4 REPRESENTACION GRAFICA DE LOS PARAMETROS MARSHALL CON RELACION AL NUMERO DE GOLPES USADOS EN SU COMPACTACION

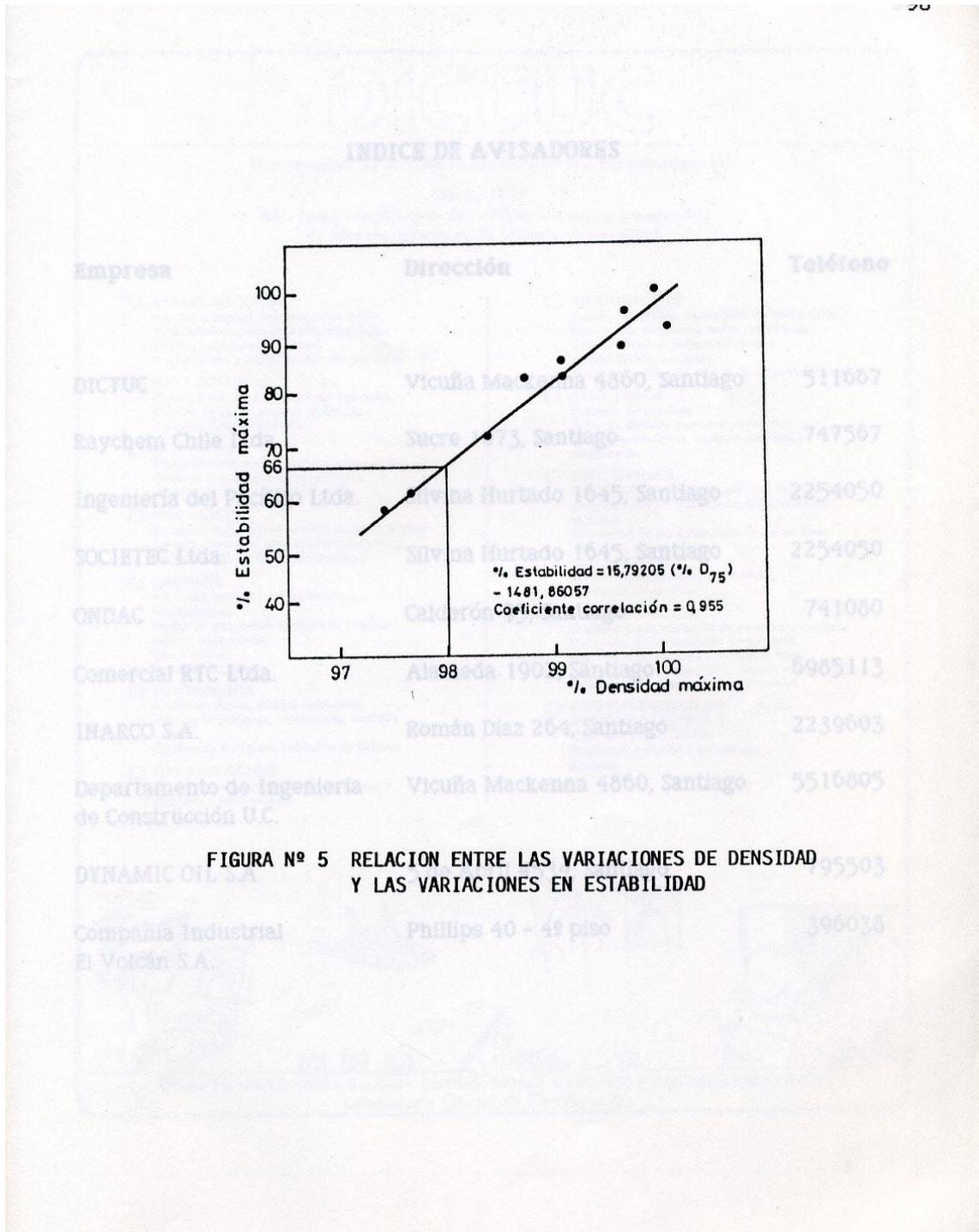


FIGURA 5 RELACION ENTRE LAS VARIACIONES DE DENSIDAD Y LAS VARIACIONES EN ESTABILIDAD