

# LEMIT

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS DE LA  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

LA PLATA — ARGENTINA

3-1970

# LEMIT

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS DE LA  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES  
LA PLATA - ARGENTINA

3-1970

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

*Ministro, Ing. Héctor A. Pérez Pesce*

*Subsecretario de Obras Públicas, Ing. Rodolfo A. Montalvo*

*Subsecretario de Urbanismo y Vivienda, Arq. Godofredo A. Cesio*

*Subsecretario de Programación, Ing. Pedro A. Gortari*

L E M I T'

*Director, Dr. Pedro J. Carriquiriborde*

*Jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Mecánica e Hidráulica  
Ing. Mecánico y Electricista Américo O. Boero*

*Jefe del Departamento de Ingeniería Civil y Tecnología de la Construcción  
Ing. Civil Alberto S. C. Fava*

*Jefe del Departamento Tecnología Aplicada y Plantas Experimentales  
Dr. en Química Luis A. Mennucci*

*Jefe del Departamento Análisis y Ensayos de Materiales  
Dr. en Química Vicente J. D. Rascio*

*Dirección de la Revista: Dr. Vicente J. D. Rascio*

*Diagramación: Sra. Elba D. Ardenghi de Lacabe*

*Impresión: Talleres Gráficos del M. O. P.*

*L. E. M. I. T.*

*52, entre 121 y 122*

*LA PLATA - ARGENTINA*

---

I N D I C E

---

- pág. 1 ESTUDIO DE ALGUNAS VARIABLES EN LA DENSIFICACION DE ARCILLAS REFRACTARIAS NACIONALES  
Dr. Angel Rossini  
Dr. Luis A. Mennucci  
Tco. Qco. Roberto Figueras
- pág. 19 CAUSAS Y PREVENCION DEL DETERIORO DE LA MADERA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA  
Dr. Luis A. Borlando
- pág. 35 ANALISIS ESPECTROQUIMICO DEL PLOMO EMPLEADO EN INSTALACIONES DE OBRAS SANITARIAS  
Dr. Justo P. Sosa  
Qco. Néstor Russo
- pág. 59 CONCRETOS ASFALTICOS ELABORADOS CON EMULSIONES BITUMINOSAS. PROYECTO Y TECNICAS CONSTRUCTIVAS  
Ing. Duilio D. Massaccesi  
Ing. Oscar L. Ciafardo
- pág. 103 COMPORTAMIENTO EN SERVICIO Y EN ENSAYO DE LABORATORIO DE PINTURAS PARA DEMARCACION DE FRANJAS DIVISORIAS DE TRANSITO  
Dr. Walter O. Bruzzoni  
Dr. Vicente J. D. Rascio  
Tco. Qco. Jorge O. Tricerri

APENDICE

Resúmenes de los trabajos

**ESTUDIO DE ALGUNAS VARIABLES EN LA  
DENSIFICACION DE ARCILLAS REFRACTARIAS NACIONALES**

**Dr. Angel Rossini  
Dr. Luis A. Mennucci  
Tco.Qco.Roberto Figueras**

**Serie II, nº 163**

---

## INTRODUCCION

---

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de algunas de las principales arcillas refractarias nacionales, actualmente en explotación, procedentes de zonas diferentes del país y utilizadas en la elaboración de refractarios sílico-aluminosos, frente a variables tecnológicas que tienen influencia en su densificación. La composición química y mineralógica, los valores de C.P.E., plasticidad y los dilatógramas de las mismas se exponen en un trabajo anterior (1).

El conocimiento de este comportamiento conducirá, sin lugar a dudas, a un procesamiento tecnológico más adecuado de cada una de ellas, para la obtención de refractarios mejor densificados.

La tendencia actual para ciertos usos industriales (metalurgia, siderurgia, cemento portland, etc.), es elaborar refractarios sílico-aluminosos, que además de reunir características de buena refractariedad, resistencia al choque térmico y estabilidad volumétrica en el recalentamiento a temperaturas de servicio, tengan baja porosidad aparente y alta resistencia mecánica. Estas dos últimas características tienen notable incidencia en el comportamiento del revestimiento refractario a la erosión por sólidos o líquidos en movimiento y a la corrosión química por sustancias líquidas en contacto a altas temperaturas.

La arcilla refractaria, materia prima que interviene en toda mezcla destinada a la elaboración de refractarios sílico-aluminosos, ya sea en forma de polvo impalpable como ligante plástico (etapa de moldeo) o ligante cerámico (etapa de cocción) o bien, previamente calcinada como chamote con adecuada distribución granulométrica para constituir el esqueleto del refractario, juega un papel importante para conseguir algunas de las características enunciadas anteriormente.

Importa conocer en cada una de ellas, el comportamiento frente a variables tecnológicas que afectan su densificación, tales como granulometría (finura), humedad de moldeo, presión de moldeo y temperatura de cochura.

La finura de las arcillas estudiadas se fija en una granulometría fina (pasa malla del tamiz ASTM n° 70), para que pueda desarrollar su acción ligante, tanto en la etapa de moldeo, como en la de cocción del material moldeado.

En los procesos de moldeo por prensado en semi-seco de materiales refractarios, el contenido de agua en la mezcla generalmente oscila entre 5 y 12 % p/p; ello depende de características físicas y químicas de las arcillas y chamotes y, de la relación de los mismos en la mezcla. En el presente estudio el contenido de humedad se varía entre 5 y 10 % p/p, uniformemente distribuida mediante adecuado mezclado.

La presión de moldeo se varía entre 50 y 500 kg/cm<sup>2</sup>, presiones que son las corrientemente empleadas en operaciones de fábrica en el prensado de ladrillos refractarios sílico-aluminosos.

Para poder establecer las temperaturas óptimas de cocción de cada arcilla o de sus mezclas, importa conocer el comportamiento térmico mediante la dilatometría a alta temperatura. En el presente trabajo, la variable temperatura de cochura para cada arcilla, se fija en el rango de temperatura de franca densificación, datos obtenidos de los dilatogramas informados en un trabajo anterior de los autores (1).

---

## PARTE EXPERIMENTAL

---

### Técnica de trabajo

Las arcillas estudiadas, tal cual se reciben, se secan en estufa a 105°C-110°C hasta peso constante y luego se someten a molienda hasta que pase totalmente por tamiz ASTM n° 70. En la Tabla I, se muestra, los valores del análisis por tamizado (vía seca) de dos arcillas, una de textura dura

T A B L A I

ANALISIS GRANULOMETRICO

Muestra	Arcilla blanda		Arcilla dura	
	Pasa %	Retenido %	Pasa %	Retenido %
Tamiz ASTM n° 100.....	98,6	1,3	93,7	6,2
Tamiz ASTM n° 200.....	76,4	23,6	63,7	36,2
Tamiz ASTM n° 325.....	17,0	82,9	11,7	88,2

(tipo "Flint-Clay") y la otra blanda, molidas en molinos a martillos hasta que pase totalmente la malla del tamiz ASTM n° 70. Esta granulometría muestra, en ambos casos, un alto porcentaje de partículas cuyo tamaño medio oscila entre 149 y 74 micrones, finura que es la corrientemente utilizada en operaciones de fábrica, para la arcilla molida "fina".

Las arcillas se humedecen con la cantidad de agua indicada en cada caso y previa homogeneización se prensan a presiones variables, series de probetas de 2,5 cm de alto por 2,5 cm de diámetro. Luego de medidas y pesadas se secan en estufa a 105°C-110°C hasta peso constante. Finalmente se someten a cochura a las temperaturas indicadas en cada caso, durante 45 minutos en un horno de placa giratoria para asegurar uniformidad de temperatura en todas las probetas.

Todas las medidas se hacen al 0,1 mm y las pesadas al 0,001 de gramo. Las temperaturas de cocción se miden con pirómetro óptico previamente calibrado.

Como medida relativa de densificación de las arcillas prensadas en crudo, se toma la densidad aparente (D.A.), determinada por pesada y dimensiones de las probetas. Como medida relativa de la densificación de las arcillas previamente calcinadas a determinada temperatura, se toma la porosidad de poros abiertos (porosidad aparente), obtenida según método aconsejado en la norma IRAM 12 510.

### Resultados obtenidos

En la primera parte del trabajo se estudia, para cada arcilla, la influencia de la presión de moldeo, la que se varía entre 50 y 500 kg/cm<sup>2</sup>, manteniendo constante las restantes variables (finura y humedad de moldeo de la arcilla).

Obtenido el valor más adecuado de presión, es decir la que corresponde a la máxima densidad aparente en crudo de la mezcla: arcilla-con 6 % de humedad; se estudia luego la influencia de la variable humedad entre 5 y 10 % p/p a presión constante de 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Estos resultados se muestran en la Figura 1. Las curvas de líneas llenas corresponden, para cada arcilla que se iden-

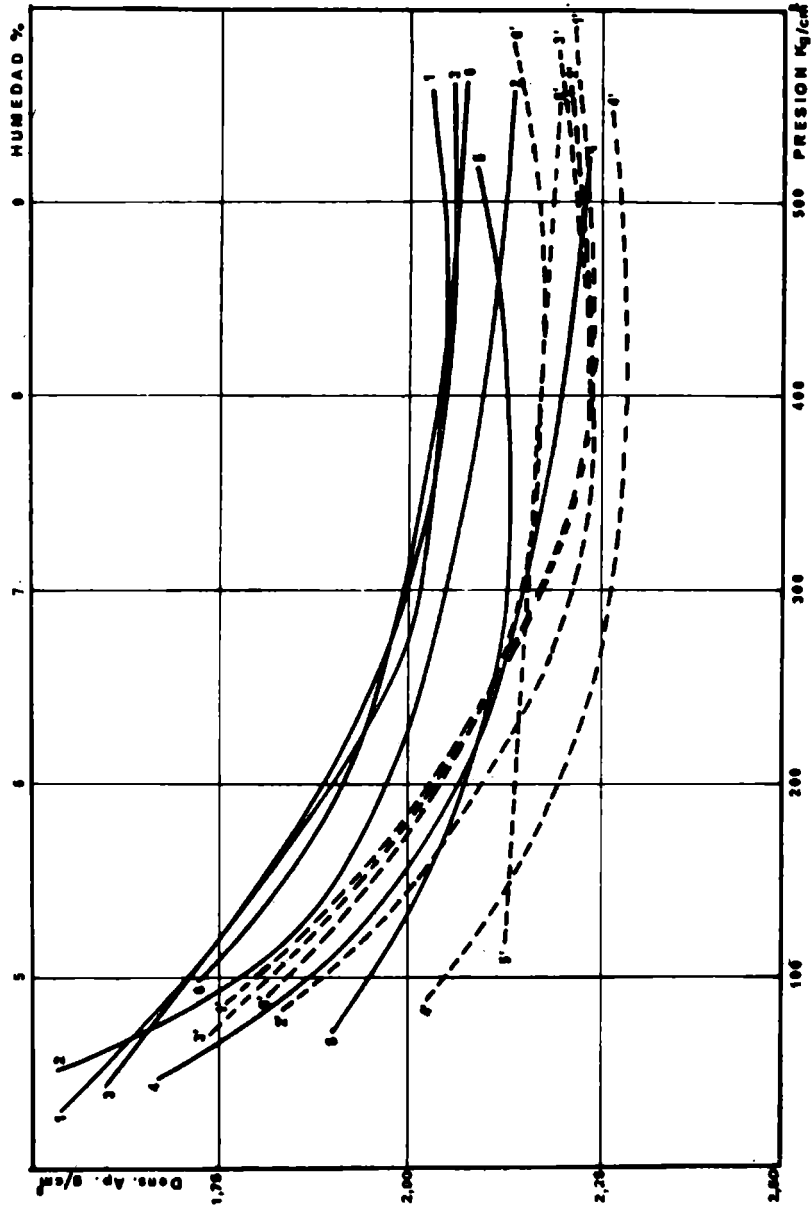


Fig. 1 - Variación de la densidad aparente en función de la presión de moldeo y del contenido de humedad de la arcilla

tífica con números, a la variación de la D.A. a humedad de moldeo constante de 6 % y presión de moldeo variable entre 50 y 500 kg/cm<sup>2</sup>. Las curvas de líneas punteadas, corresponden a la variación de la D.A. a presión de moldeo constante de 400 kg/cm<sup>2</sup> y humedad de moldeo variable entre 5 y 10 %.

La influencia de la presión y humedad de moldeo sobre la porosidad de las probetas de arcillas calcinadas a las temperaturas de franca densificación indicadas en sus correspondientes dilatogramas (1), se muestran en la Fig. 2. Las curvas de líneas llenas y líneas punteadas, tienen el mismo significado que en la Fig. 1.

Finalmente con los valores óptimos de presión y humedad de moldeo, para cada arcilla, se estudia la influencia de la temperatura de cocción, resultados que se muestran en la Fig. 3.

#### Consideraciones sobre los resultados obtenidos

Las arcillas con alto contenido en caolinita, como son las n° 1, 2 y 3, Arcilla Amaná (Pcia. de La Rioja), Arcilla Sonia (Pcia. de La Rioja) y Arcilla Claraz (Pcia. de Bs. As.) respectivamente, poseen un comportamiento semejante frente a humedad de moldeo constante de 6 % y presiones de moldeo variables entre 50 y 500 kg/cm<sup>2</sup> (curvas 1-1, 2-2 y 3-3 respectivamente, Fig. 1), alcanzándose el máximo valor de D.A. a presiones de 400 kg/cm<sup>2</sup>. A partir de este último valor, el incremento es poco notable (línea prácticamente horizontal) cuando se aumenta la presión hasta los 550 kg/cm<sup>2</sup>, observándose una tendencia a una ligera disminución de la D.A. en las arcillas n° 1 y n° 3, debido probablemente a fenómenos de exfoliación, producidos por el aire contenido en la mezcla arcilla-agua.

El comportamiento de las mismas arcillas con presión de moldeo constante de 400 kg/cm<sup>2</sup> y humedad de moldeo variable entre 5 y 10 % p/p es más significativo que en el caso anterior por cuanto los valores de D.A. alcanzados son mayores, para contenidos de agua en la mezcla de 8 %. En todas se observa una tendencia a disminuir la D.A. cuando el contenido de agua supera el 8 % (Curvas 1'-1', 2'-2' y 3'-3',

Fig. 1).

Como conclusión de esta serie de experiencias, se deduce que el contenido óptimo de humedad y presión de moldeo es de 8 % y 400 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, ya que se obtienen los máximos valores de D.A. en crudo.

La arcilla n° 4, Barker (Pcia. de Bs. As.), a pesar de tener una composición mineralógica diferente a las anteriores, posee, frente a las variables mencionadas, el mismo comportamiento, con la diferencia de que en iguales condiciones de moldeo (8 % de humedad y 400 kg/cm<sup>2</sup>) se alcanzan valores de D.A. en crudo mayores (curvas 4-4 y 4'-4', Fig. 1).

En la arcilla n° 5, Norquincó (Pcia. de Río Negro), que contiene caolinita, regulares cantidades de haloisita y menores de muscovita, se obtienen los máximos valores de D.A. en crudo cuando se moldea con un contenido de agua en la mezcla de 6 % p/p y presión de moldeo de 300 kg/cm<sup>2</sup>, observándose que a partir de este último valor, la D.A. tiende a disminuir como consecuencia probablemente de fenómenos de exfoliación provocados por el contenido de aire en la mezcla (curva 5-5 de la Fig. 1).

En esta arcilla tiene poca influencia el aumento del contenido de agua de moldeo a presión constante de 400 kg/cm<sup>2</sup>. La curva 5-5 es prácticamente una línea recta con tendencia a un ligero aumento de la D.A. a medida que se incrementa el contenido de agua.

Finalmente, la arcilla n° 6 (plástica de la Pcia. de Neuquén), que contiene caolinita, illita-montmorillonita, materia orgánica, cuarzo, impurezas de feldespato y material no cristalizado de grano fino, tiene un comportamiento similar a las arcillas de alto contenido en caolinita, obteniéndose los máximos valores de D.A. cuando se moldea con 6 % de humedad y presiones superiores a los 500 kg/cm<sup>2</sup> (curva 6-6 de la Fig. 1. Por el contrario, el aumento de humedad desde 8 % hasta 10 % p/p y presión constante de 400 kg/cm<sup>2</sup>, tiene tendencia a disminuir ligeramente la D.A. (curva 6'-6' de la Fig. 1)

La D.A. en crudo de los materiales refractarios moldeados por prensado en semi-seco, guarda una relación inversa

T A B L A II

ARCILLA	Presión 400 kg/cm <sup>2</sup>				Humedad $\delta$ % p/p	
	Humedad (%)	D.A. en crudo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad aparente (%)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	D.A. en grudo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad aparente (%)
N° 1 AMANA	5,0	1,75	22,0	50	1,59	34,0
	5,5	1,92	18,5	100	1,75	30,5
	6,0	2,02	15,5	150	1,81	26,5
	6,5	2,11	13,0	200	1,91	22,5
	7,0	2,17	10,5	250	1,97	19,0
	7,5	2,22	9,0	300	2,01	16,8
	8,0	2,24	7,5	350	2,02	16,0
	8,5	2,23	7,4	400	2,04	15,6
	9,0	2,22	7,4	450	2,05	15,5
	9,5	2,20	7,4	500	2,06	15,5
N° 2 SONIA	5,0	1,88	23,4	50	1,52	36,4
	5,5	2,01	20,8	100	1,78	31,4
	6,0	2,10	18,6	150	1,91	27,4
	6,5	2,16	17,0	200	1,97	24,2
	7,0	2,21	15,0	250	2,02	22,0
	7,5	2,24	14,0	300	2,05	20,7
	8,0	2,24	13,4	350	2,07	19,8
	8,5	2,23	13,4	400	2,10	18,8
	9,0	2,23	13,4	450	2,11	18,0
	9,5	2,22	13,6	500	2,12	17,0
N° 3 CLARAZ	5,0	1,82	22,4	50	1,61	36,8
	5,5	1,96	20,6	100	1,71	32,6
	6,0	2,03	18,8	150	1,81	29,0
	6,5	2,12	17,8	200	1,89	25,4
	7,0	2,18	16,8	250	1,96	23,8
	7,5	2,22	16,0	300	2,01	22,3
	8,0	2,26	15,4	350	2,03	20,8
	8,5	2,23	15,0	400	2,04	19,4
	9,0	2,22	14,4	450	2,05	19,0
	9,5	2,21	14,0	500	2,06	18,6

	6,0	2,20	2,2	50	1,66	4,4
	6,5	2,24	3,4	100	1,87	2,7
	7,0	2,26	4,2	150	1,96	2,0
	7,5	2,29	4,6	200	2,06	1,8
	8,0	2,29	5,0	250	2,12	1,8
	8,5	2,28	5,2	300	2,15	2,0
	9,0	2,27	5,6	350	2,18	2,2
	9,5	2,26	6,0	400	2,20	2,4
	-	-	-	450	2,22	2,6
	-	-	-	500	2,23	2,8
<hr/>						
	5,0	2,13	20,4	100	1,95	25,0
	5,5	2,15	20,0	150	2,02	22,6
	6,0	2,16	19,6	200	2,08	20,6
	6,5	2,17	19,5	250	2,10	19,0
	7,0	2,18	19,3	300	2,12	18,4
	7,5	2,19	19,0	350	2,13	18,0
	8,0	2,20	18,8	400	2,14	18,4
	8,5	2,20	18,4	450	2,14	18,8
	9,0	2,21	18,2	500	2,12	19,6
	-	-	-	550	2,10	20,6
<hr/>						
	5,0	1,85	-	50	-	20,8
	5,5	1,96	-	100	1,72	16,0
	6,0	2,05	5,4	150	1,83	12,0
	6,5	2,12	8,4	200	1,92	9,0
	7,0	2,18	11,0	250	1,96	7,0
	7,5	2,18	12,0	300	2,00	6,0
	8,0	2,18	12,6	350	2,04	5,4
	8,5	2,17	12,0	400	2,05	5,0
	9,0	2,16	11,0	450	2,06	4,6
	9,5	2,15	9,0	500	2,07	4,4
	-	-	-	550	2,08	4,2

Nota.- Temperaturas de cohurst: Arcilla Nº 1, 1450°C  
 Arcilla Nº 2, 1350°C  
 Arcilla Nº 3, 1500°C  
 Arcilla Nº 4, 1300°C  
 Arcilla Nº 5, 1250°C  
 Arcilla Nº 6, 1400°C

con la porosidad aparente, siempre y cuando no se originen reacciones expansivas por acción de la temperatura de cocción. Es por ello que en operaciones de fábrica esta característica es frecuentemente controlada.

En la Fig. 2, se muestran las variaciones de la porosidad aparente en función del contenido de agua de moldeo a presión constante de  $400 \text{ kg/cm}^2$  (curvas de líneas punteadas) y, presión de moldeo variable con contenido de agua en la mezcla constante de 6 % (curvas de líneas llenas), para cada arcilla sometida a diferentes temperaturas de cocción. Temperaturas dadas por los respectivos dilatogramas en la zona de franca densificación.

Las arcillas caoliníticas (n° 1, n° 2 y n° 3) poseen un comportamiento semejante, a presiones de moldeo variable y humedad constante, observándose que los valores de porosidad aparente varían entre aproximadamente 32 %, para una presión de moldeo de  $100 \text{ kg/cm}^2$  y 18 y 20 % aproximadamente para una presión de moldeo de 400 a  $500 \text{ kg/cm}^2$ . Es más notoria la disminución de la porosidad en la muestra n° 1 que en la n° 2, debido a una mayor temperatura de cocción (1  $450^\circ\text{C}$  y 1  $350^\circ\text{C}$  respectivamente), al contenido de feldespato y a la menor cantidad de cuarzo que posee, lo cual aumenta el contenido de fase vítrea (mayor intensidad del proceso de sinterización). En cambio en la muestra n° 3, a pesar de una mayor temperatura de cocción (1  $500^\circ\text{C}$ ), los valores de porosidad son más grandes, debido a la acción expansiva del cuarzo que lo posee en mayor cantidad. (curvas 1-1, 2-2 y 3-3 respectivamente, Fig. 2).

Igual comportamiento poseen frente a valores de humedad de moldeo variable y presión constante, siendo más intensa la disminución de la porosidad por efecto de la humedad de moldeo (curvas 1'-1', 2'-2' y 3'-3', Fig. 2).

En la arcilla n° 4, la variación de la presión de moldeo no influye mayormente sobre la porosidad debido a que la densificación es gobernada exclusivamente por la capacidad de sinterizado que posee esta arcilla (regular contenido en óxido de sodio y de óxido de potasio) y como consecuencia tiene mayor influencia la presencia de fases líquidas sobre el aumento de la presión de moldeo. La curva 4-4 muestra que la

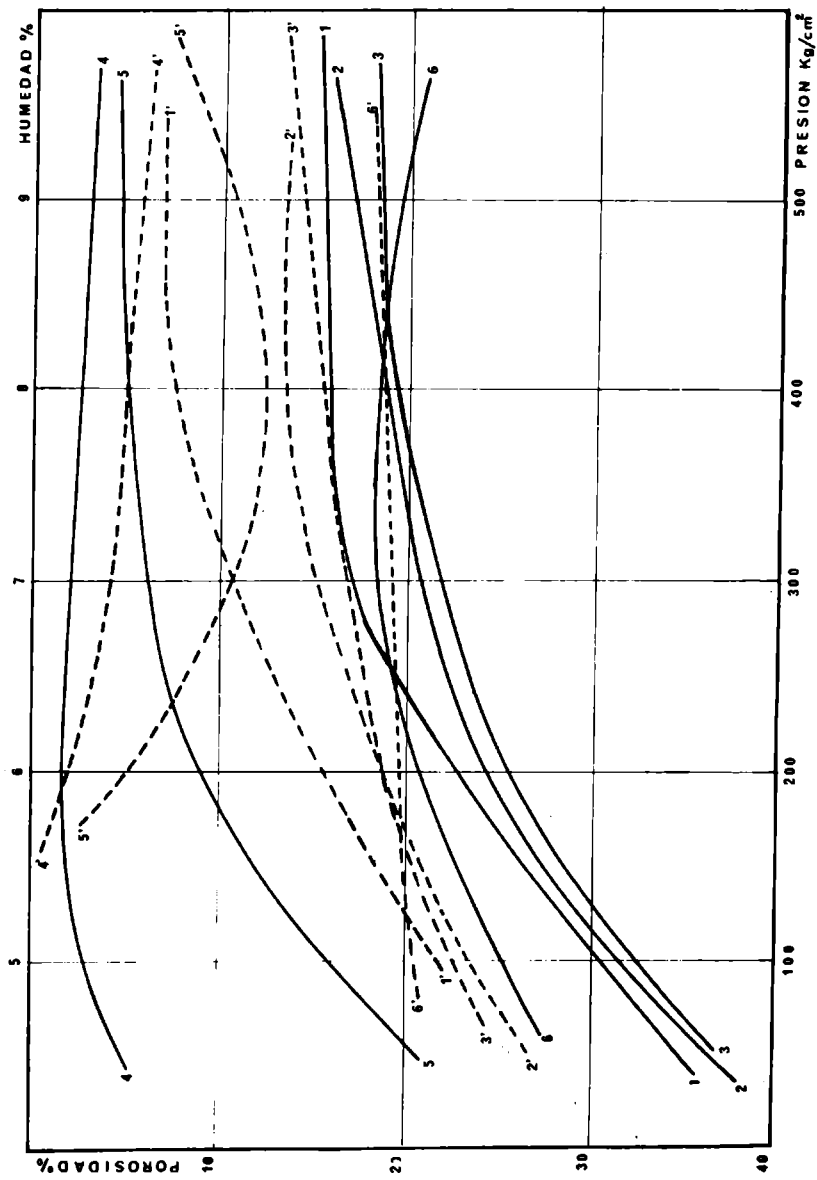


Fig. 2 - Variación de la porosidad aparente en función de la presión de moldeo y del contenido de humedad de la arcilla

porosidad disminuye cuando se moldea entre 50 y 200 kg/cm<sup>2</sup> y 6 % de humedad en la mezcla, para luego aumentar ligeramente debido probablemente a fenómenos de exfoliación del material cuando se calcina a 1 300°C.

El aumento del contenido de agua de moldeo para presiones constantes, produce un ligero aumento de la porosidad debido probablemente al contenido de especies mineralógicas del grupo de las micas, que posee la arcilla (muscovita, illita, pirofilita), las cuales producen hinchamiento en el material cuando se calcinan en determinado rango de temperatura (curva 4'-4', Fig. 2).

En la arcilla n° 5, las variaciones del contenido de agua de moldeo entre 5 y 9,5 % para una presión de moldeo constante de 400 kg/cm<sup>2</sup>, no producen disminución significativa de la porosidad aparente del material (20,4 a 18,5 %) cuando se calcina entre 1 250°C y 1 300°C (curvas 6'-6', Fig. 2). En cambio las variaciones de presión de moldeo entre 100 y 550 kg/cm<sup>2</sup>, con un contenido de agua de moldeo de 6 %, disminuye la porosidad a un mínimo de 18 % a una presión de 350 kg/cm<sup>2</sup>, para luego aumentar ligeramente hasta 20,6 % a una presión de aproximadamente 550 kg/cm<sup>2</sup> (curva 6-6, Fig. 2).

Esta arcilla que mediante A.T.D. y D.R.X. se identifica como constituida por caolinita-haloisita y menores cantidades de muscovita, no es influenciada por las variables estudiadas, diferenciándose de las restantes arcillas.

El comportamiento de la arcilla plástica n° 6 a las variaciones del contenido de agua de moldeo entre 5 y 10 %, para presiones constantes de 400 kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de cocción de 1 400°C, es diferente al de las restantes arcillas, ya que origina una curva con un máximo de porosidad aparente cuando la mezcla contiene 8 % de humedad (curva 5'-5', Fig. 2). En cambio las variaciones de presión de moldeo para contenidos de agua de moldeo constante de 6 %, produce una disminución progresiva de la porosidad a medida que se aumenta la presión de moldeo (curva 5-5, Fig. 2).

En la Fig. 3 se muestran, para cada arcilla, la influencia de la temperatura de cocción en condiciones óptimas de moldeo (8 % de humedad y 400 kg/cm<sup>2</sup>).

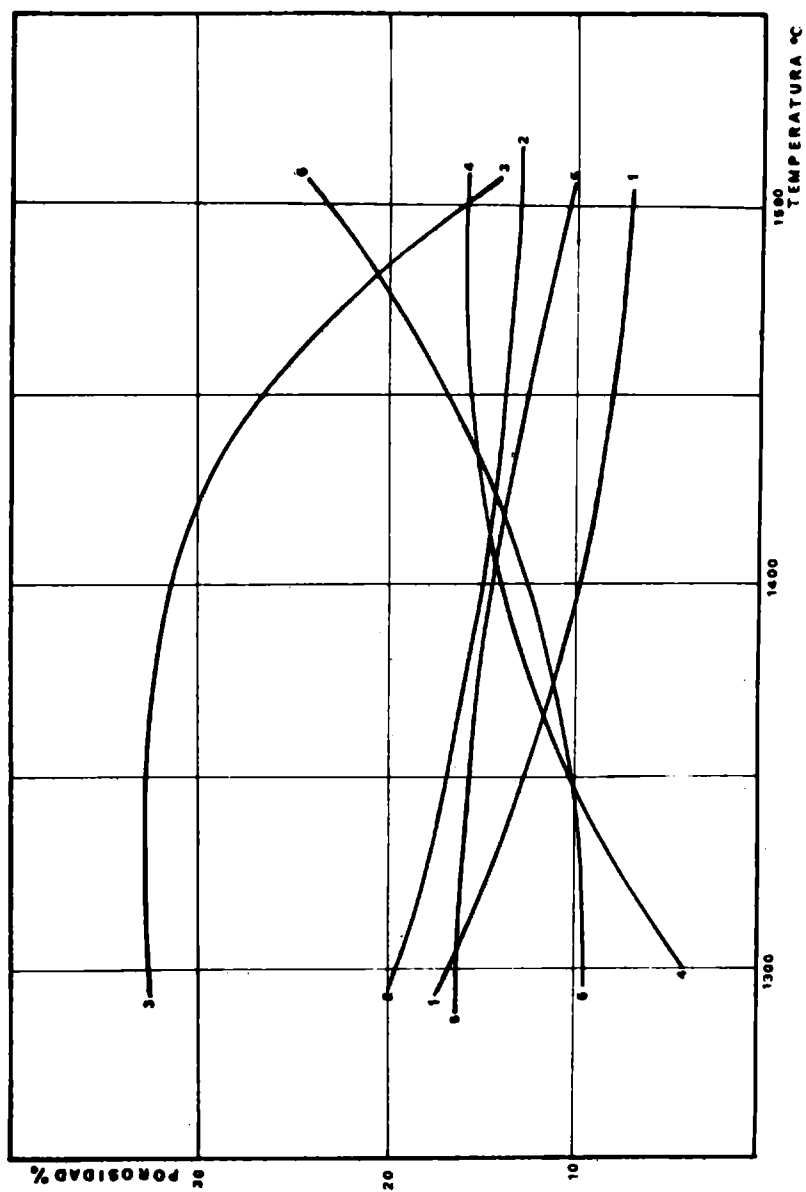


Fig. 3 - Variación de la porosidad aparente en función de la temperatura de cochura de la arcilla

En todas las arcillas refractarias con C.P.E. no inferior al  $31\frac{1}{2}$  (1 699°C) y cuyo componente mineralógico predominante es la caolinita (muestras n° 1, n° 2, n° 3 y n° 5), para obtener máxima densificación (menor porosidad aparente) es necesario calcinar a temperaturas del orden de los 1 500°C. A esta temperatura de cochura, el material moldeado presenta valores de porosidad aparente que oscilan entre 6,8 % (muestra n° 1) y 15,8 % (muestra n° 3) (curvas 1-1, 2-2, 3-3 y 5-5, Fig. 3). En las arcillas n° 4 y n° 6, que además de caolinita contienen muscovita-illita, pirofilita y/o montmorillonita en variadas proporciones, se producen aumentos de la porosidad aparente por acción expansiva, como se ha mostrado en la dilatometría a alta temperatura. En estos materiales para conseguir máxima densificación es necesario calcinar a temperaturas por debajo del rango de expansión de 1 250 a 1 300°C (curvas 4-4 y 6-6, Fig. 3).

Las arcillas caoliníticas impurificadas con cuarzo, densifican tanto menos cuanto mayor es el contenido de este mineral, pues durante la cocción a temperaturas superiores a 1 300°C, el cuarzo se transforma en cristobalita con una disminución del peso específico de la sílice, de 2,65 a 2,32 g/cm<sup>3</sup>, lo que involucra un aumento de volumen del 14,4 % (Fig. 3, curva 3-3, correspondiente a la arcilla n° 3 "Claraz").

En la Tabla II se exponen, para ambas condiciones de moldeo, los resultados obtenidos experimentalmente y deducidos de las curvas de las Fig. 1 y 2, para relacionar la densidad aparente en crudo, con la porosidad aparente de cada arcilla, sometidas a las temperaturas de cochura indicadas por sus respectivos dilatogramas. Del análisis de los mismos se puede deducir, para cada arcilla, cual de las dos condiciones es la más aconsejable para conseguir la máxima D.A. con mínima porosidad aparente.

---

#### CONSIDERACIONES FINALES

---

Esta primera parte es complementaria de estudios que

se encuentran en ejecución sobre las mismas arcillas y referente a determinar en cada una de ellas:

- a) La refractariedad bajo carga según norma de ensayo DIM 1 064, característica ésta de importancia por cuanto revela la capacidad soporte de la arcilla en función de la temperatura de cochura.
- b) Estudio de mezclas refractarias constituídas con arcillas y chamote de las mismas, enriquecidas con minerales aluminosos para obtener refractarios con cono pirométrico equivalente entre 32 y 33, bien densificados (baja porosidad aparente) y estudiar en ellos sus características físicas y su comportamiento a la erosión y corrosión química.
- c) Interpretación de resultados para establecer las características químicas y físicas más importantes que gobiernan el mejor comportamiento a la erosión y corrosión química.

---

## CONCLUSIONES

---

- 1) El comportamiento algo diferente en las arcillas estudiadas, frente a las variables humedad de moldeo, presión de moldeo y temperatura de cochura, debe atribuirse a la composición químico-mineralógica, formas cristalinas de las especies que las constituyen y tamaño natural de las partículas arcillosas.
- 2) Para las arcillas estudiadas, a pesar de su composición química -mineralógica diferente, los valores óptimos de humedad y presión de moldeo para obtener la máxima densidad aparente en crudo, son  $8 \pm 0,5 \%$  y  $400 \pm 50 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- 3) En las arcillas del tipo caolinítico estudiadas, el sistema de moldeo a presión constante y humedad variable es más efectivo que el de humedad constante y presión variable para conseguir una mayor densificación.
- 4) En las arcillas con alto contenido en caolinita o caolini-

ta-haloisita, la densificación aumenta cuando se someten a temperaturas de cocción no inferior a 1 450°C.

5) En la arcilla constituída por caolinita-haloisita estudiada, la densificación es poco afectada por las variables presión y humedad de moldeo.

6) En las arcillas constituídas principalmente por illita, muscovita, pirofilita y/o montmorillonita en variadas proporciones y menores cantidades de caolinita, la densificación es gobernada exclusivamente por la temperatura de cocción y no por las variables presión y humedad de moldeo. Generalmente vitrifican a baja temperatura y expanden por encima de los 1 300°C.

7) En las arcillas con alto contenido en caolinita o caolinita-haloisita, a una máxima D.A. en crudo le corresponde una menor porosidad aparente cuando se someten a temperatura de cochura comprendida dentro del rango de franca densificación.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

- (1) Rossini A., Mennucci L. A. y Figueras R. - Dilatometría de arcillas refractarias nacionales. LEMIT, 3-1969 (Serie II, nº 141), p. 31.
- (2) Meckenzie, R. C. - The Diferencial Thermal Investigation of Clays. Mineralogical Society, London (1957).
- (3) Norton F. H. - Elements of Ceramics. Addison-Wesley Publishing Co. Reading, Massachusetts, (1952).
- (4) Kingery, W. D. - Introductions to Ceramics, John Wiley & Sons, Inc., New York (1960).
- (5) Kingery, W. D. - Ceramics Fabrication Processes. Technology Press, Cambridge, Massachusetts, and John Wiley & Sons, New York (1958).

**CAUSAS Y PREVENCIÓN DEL DETERIORO DE  
LA MADERA DE TORRES DE ENFRÍAMIENTO DE AGUA**

**Dr. Luis A. Borlando**

**Serie II, nº 164**

---

## INTRODUCCION

---

En las operaciones industriales de transferencia de calor que se realiza mediante agua de enfriamiento, ésta cumple un ciclo cerrado y fluye a través de los equipos de intercambio absorbiendo calor con el consiguiente aumento de su temperatura.

El enfriamiento de esta agua circulante se lleva a cabo en la mayoría de las plantas mediante el uso de torres de refrigeración, ya sean de tiro natural o provistas de ventiladores para forzar mecánicamente la circulación del aire a través de su estructura.

La madera es el material que se usa comunmente para construir estas torres en razón de su durabilidad, fácil trabajabilidad, elasticidad, liviandad, disponibilidad y costo. Químicamente considerada, está compuesta por aproximadamente 50 % de su peso de hidratos de carbono, principalmente celulosa, 30 % de lignina y extractivos variados, entre los que se encuentran justamente los compuestos químicos responsables de su mayor o menor resistencia natural al ataque de los agentes biológicos capaces de destruirla: hongos y bacterias en el uso que estamos considerando. Esta propiedad se denomina corrientemente durabilidad natural y es característica de algunas especies solamente.

Sin agresión de origen biológico y sin estar directamente expuesta a la intemperie, se comporta como un material provisto de notable estabilidad química.

En tales torres de enfriamiento la madera está sometida a condiciones de humedad muy variadas en una atmósfera de aire caliente y húmedo. En algunas secciones de las mismas se encuentra constantemente bañada por la corriente de agua circulante; en otras está permanentemente bañada por niebla o sometida a salpicaduras o alternativamente sumergida en agua.

Todas éstas son condiciones de servicio muy severas y que, a pesar de la estabilidad y de la durabilidad características de varias especies, son muy propicias para provocar su deterioro prematuro si no se le aplican tratamientos de preservación adecuados y no se practica el acondicionamiento del agua que circula.

Cuando las torres contienen madera deteriorada disminuye su eficiencia y entonces se pierden productos valiosos y aumenta el consumo de energía de la instalación. Para mantenerlas en óptimo estado de funcionamiento se hacen necesarias frecuentes y costosas reparaciones cuya inconveniencia es mayor por el hecho que las plantas de procesamiento funcionan normalmente en operación continua (fig. 1).

La madera en las torres de enfriamiento está fundamentalmente sujeta a la acción destructiva de dos tipos de agentes: químicos y biológicos, existiendo en la gran mayoría de los casos la concurrencia de ambos procesos.

---

#### ATAQUE QUIMICO Y ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

---

El ataque químico consiste en el lavado preferencial de algunos de sus componentes: celulosa, lignina o extractivos, motivado por su reacción con determinadas sustancias químicas presentes en el agua circulante; la corriente de agua provoca también la simple solubilización de las mismas.

Tal ataque se traduce principalmente en el proceso de delignificación de la madera. La lignina constituye en la madera un verdadero cemento que liga las fibras de celulosa y que si desaparece deja a éstas expuestas al arrastre por la corriente de agua.

Además, tal remoción de la lignina está generalmente acompañada por la extracción de taninos u otros extractivos que confieren a la madera determinadas características tecnológicas y de durabilidad.

Este tipo de ataque se caracteriza por un blanqueamiento de la superficie de la madera, que contiene también abundantes matas de fibras sueltas y trae como consecuencia la disminución del espesor y el debilitamiento de la pieza considerada (fig. 2).

Dado que el recurso común que usa la industria para evitar en el agua que circula en las torres el desarrollo de algas o la excesiva producción de limo consiste en la cloración de la misma, el cloro existente en ella es capaz de atacar a la lignina de la madera, con formación de clorolignina, notablemente más soluble que la lignina misma. Asimismo, reacciona también con algunos extractivos tóxicos de la madera y de esta manera promueve el comienzo y acelera luego el posterior ataque biológico de la misma. El ataque de la lignina es debido en otros casos a la presencia en el agua de cantidades excesivas de carbonatos y bicarbonatos alcalinos, provenientes generalmente de los procesos de ablandamiento a que aquélla es sometida.

Además, la degradación química de la madera de la torre puede suceder también en condiciones de acidez y en tal caso resulta principalmente atacada la celulosa. A pH inferior a 5,0 ya resulta apreciable este tipo de ataque.

La prevención del ataque químico debe realizarse mediante el cuidadoso control del pH, alcalinidad total y contenido de cloro en el agua que circula a través de la torre. En cuanto al pH, se recomienda mantenerlo permanentemente entre los valores 6,0 y 7,0 y el contenido de cloro residual deberá ser siempre inferior a 1 ppm, cantidad que es suficiente para el control del limo y de las algas sin que se provoque apreciable ataque de la madera. Otro recurso es el uso de algicidas no oxidantes como es el pentaclorofenato de sodio o los derivados de amonio cuaternario. El contenido de carbonato y bicarbonato deberá ser inferior a 200 ppm (calculado como  $\text{CaCO}_3$ ).

---

## ATAQUE DE ORIGEN BIOLÓGICO

---

Otro problema diferente del mencionado ataque químico y también más grave porque no se previene con sólo mantener determinadas características químicas en el agua circulante es el ataque biológico de la madera, provocado por microorganismos, predominantemente hongos, que utilizan los constituyentes de la misma para su alimentación. Los hongos son vegetales de naturaleza filamentosos que no contienen clorofila, no pudiendo por tanto sintetizar su alimento, debiendo obtenerlo a partir de la materia orgánica de la madera. Se reproducen por esporos, microscópicos y muy numerosos, que son llevados por el aire haciendo posible la contaminación en cualquier sitio. Germinan cuando se encuentran en condiciones adecuadas de humedad, temperatura y aereación.

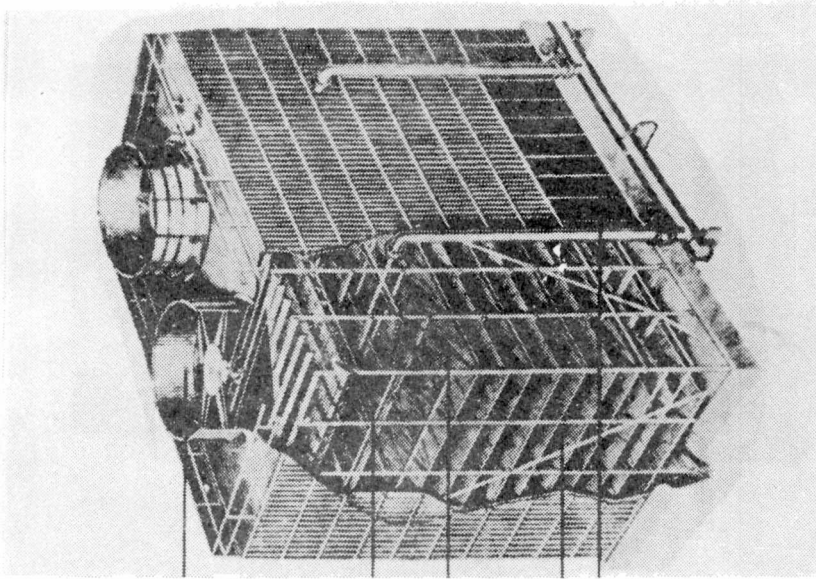
En el caso de las maderas de las torres de enfriamiento de agua, es común considerar el ataque biológico superficial y el ataque biológico interno de la misma.

El primero de ellos predomina en las secciones permanentemente bajo agua, tales como las tablillas del relleno, e iniciándose en la superficie de las mismas progresa hacia su interior a razón de aproximadamente 0,1 mm por año.

Se lo llama putrefacción blanda (soft - rot) y los organismos responsables de la misma son hongos inferiores de los tipos "ascomycetes" y "hongos imperfectos" que degradan preferentemente la celulosa dejando casi intacta a la lignina, (*Chaetomiun globosum*, *Graphium*, *Phoma* sp., etc.).

Si bien los hongos xilófagos son organismos aerobios y en estas localizaciones dentro de la torre, la madera se encuentra saturada de agua y por tanto sin oxígeno libre en sus cavidades, el agua circulante está bien aereada y el oxígeno que ella contiene es suficiente para el desarrollo de estos organismos celulolíticos que progresan entonces sólo en las porciones superficiales de la misma.

La madera así atacada se ablanda notablemente y se oscurece adquiriendo además un aspecto muy característico que



1  
2  
3  
4

Fig. 1.- Torre de enfriamiento de  
agua: 1 ventilador; 2 eliminador;  
3 relleno; 4 lumbreras.

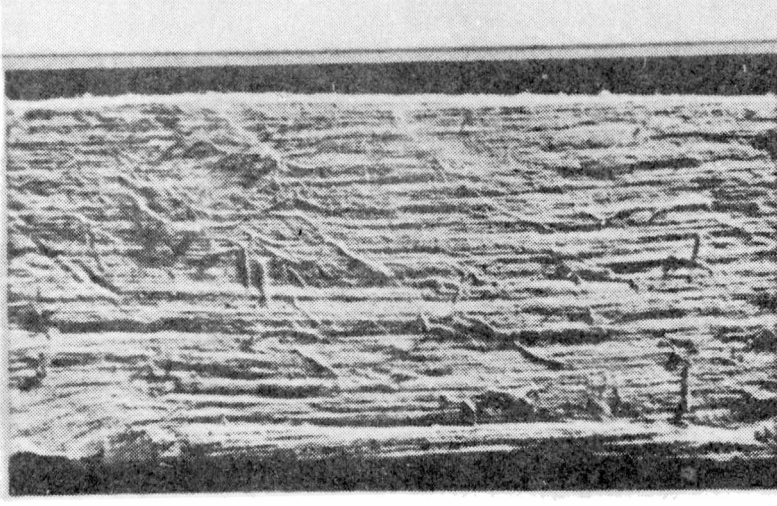


Fig. 2.- Delignificación de la  
madera

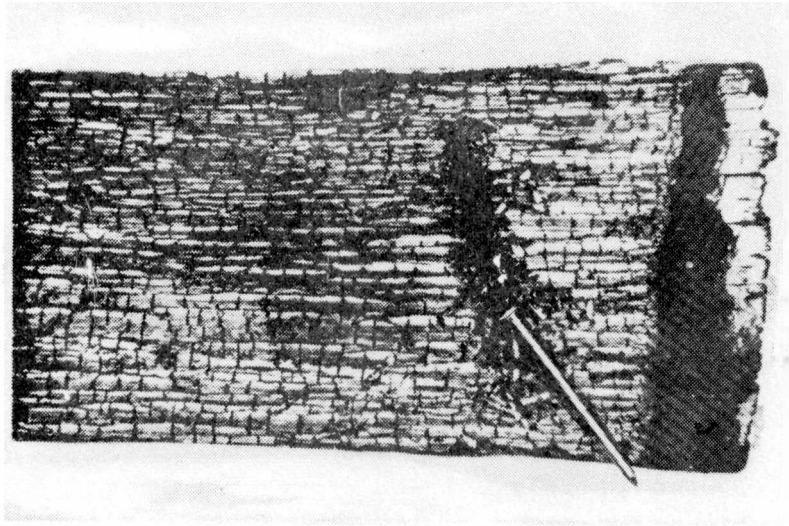


Fig. 3 - Ataque biológico superficial  
(Soft-rot)

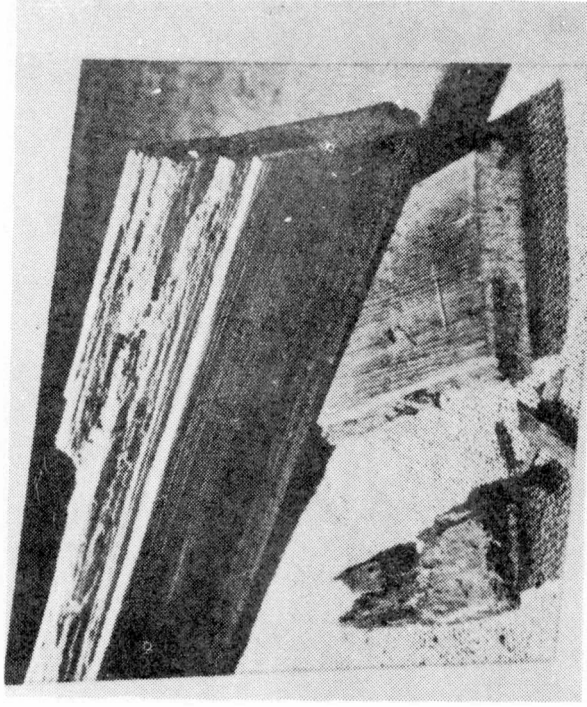


Fig. 4 - Ataque biológico interno

la asemeja a la madera carbonizada, ya que numerosas grietas pequeñas en ambos sentidos normales provocan una especie de cuadriculado de su superficie (fig. 3). Las células degradadas resultan fácilmente arrastradas por la corriente de agua y el ataque biológico superficial se hace evidente, además del aspecto mencionado, por la pérdida de espesor y ablandamiento de la madera con la consiguiente pérdida de resistencia mecánica.

El segundo tipo de ataque biológico o sea el interno, consiste también en la degradación selectiva de la celulosa o de la lignina de la madera, causada en este caso por los hongos de la clase Basidiomycetes, que son los principales responsables de la pudrición de la madera en todos los otros tipos de servicios de la misma en el exterior: postes para líneas aéreas de energía y para alambrados, durmientes ferroviarios, etc.

Este otro ataque biológico aparece restringido a la madera de aquellas secciones de la torre que no están constantemente bajo agua pero sí ocasionalmente, o que su contenido de humedad adquiera valores comprendidos entre 20 % y 30 %. Tal es el caso de las partes estructurales de la torre y del manto externo.

Es característico su progreso, generalmente desde el interior hacia afuera de la pieza afectada y por lo tanto no resulta fácil evidenciarlo en sus estados iniciales, no provocando tampoco pérdida de espesor en la misma. Sin embargo, al final se hace evidente por la completa degradación de la madera (*Poria nigrescens*, *Poria oleraceae*, etc.).

Un modo práctico de comprobar este ataque, sobre todo en sus estados iniciales, consiste en probar la dureza de la madera con un instrumento punzante (fig. 4).

---

#### CONTROL DEL ATAQUE BIOLÓGICO

---

Cualquiera de los dos tipos de ataque biológico descrip-

tos es causado, como dijimos, por organismos vivientes que utilizan los constituyentes de la madera como alimento y puede suponerse entonces que podrán controlarse manteniendo en el interior de la madera compuestos químicos que resulten tóxicos para los mismos, sean éstos sus propios extractivos naturales o determinados preservadores químicos.

Estos preservadores se incorporan a la madera previamente a su colocación en las torres mediante procesos de impregnación a presión, o tratando la madera ya colocada en su lugar en la torre, circulando soluciones preservadoras en secciones de la misma retiradas de servicio (procesos por difusión).

También en ciertos casos se procede incorporando fungicidas a intervalos en el agua circulante, de manera similar a la aplicación de agentes para el control de las algas o del limo.

En consecuencia, aquellas condiciones del agua que no favorezcan la extracción de los preservadores naturales o artificiales de la madera, serán las más convenientes para reducir al mínimo los riesgos del ataque biológico. Nuevamente aparece aquí la necesidad del control químico del agua que circula en la torre dada la gran influencia de su composición sobre las diferentes formas de ataque de la madera.

En relación con la temperatura, los hongos causantes del ataque biológico superficial y algunos de los que degradan internamente a la madera requieren temperaturas de aproximadamente 34°C; los restantes tienen su óptimo desarrollo alrededor de 28°C.

Con relación al pH se encuentran en condiciones óptimas para su desarrollo a pH 6,0, aunque los hongos causantes de la pudrición blanda superficial no sufren inhibición en su desarrollo aún con valores de pH vecinos a 9,0.

Referente a tolerancias para los preservadores químicos, el grupo de hongos que provocan el deterioro superficial resulta más resistente que los basidiomycetes a los fluoruros, arseniatos, cromatos, sales de cobre y de cinc,

aceite de creosota y clorofenoles, hecho importante que debe ser tenido en cuenta en el tratamiento de madera para torres de refrigeración de agua.

---

#### CONSIDERACIONES FINALES

---

Hasta hace pocos años se consideraba que el tratamiento preservador de maderas para torres de refrigeración estaba en una etapa experimental y no se justificaba plenamente tal tratamiento, dado que se dudaba de su efectividad para el control del ataque biológico en las condiciones imperantes en las mencionadas instalaciones.

Sin embargo, actualmente la práctica aconsejada es la de preservar por impregnación a presión la madera usada en la construcción de torres nuevas o la utilizada para reemplazar a la madera deteriorada en las ya existentes. En todos los casos las retenciones aconsejadas resultan superiores a las reguladas en maderas preservadas para otros fines.

En la elección de las maderas para construir torres de enfriamiento deben considerarse especies de adecuada resistencia, disponibilidad en el área de erección y características de penetrabilidad que permitan lograr valores establecidos de penetración y retención de preservadores.

Aquellos países que han logrado ya una amplia experiencia referente al comportamiento de maderas para este uso, han seleccionado unas pocas especies por sus excelentes características: redwood, Douglas fir, yellow pine, western red cedar, yellow cedar, etc. En nuestro medio se menciona a la madera de alerce como de buen resultado.

Aparte del tratamiento preservador, las condiciones muy particulares de exposición a que se encuentra sometida la madera en una torre, hacen que el factor especie adquiera mucha importancia, en especial en relación con el ataque químico y el ataque biológico superficial.

Con relación a la eficacia de los preservadores, en

Estados Unidos consideran en primer lugar al aceite de creosota y a los preservadores compuestos solubles en agua que contienen cobre, aunque el uso de éstos data de aproximadamente 15 años atrás y sería todavía necesaria mayor experiencia para valorar definitivamente la protección que confieren a la madera de las torres.

La especificación del Cooling Tower Institute de Estados Unidos, referente al tratamiento preservador a presión para madera de torres de enfriamiento de agua (1959), indica los siguientes preservadores y sus correspondientes valores mínimos de retención ( $\text{kg/m}^3$ ):

Preservador	Madera de espesor inferior a 5 cm	Maderas de más de 5 cm de espesor
Creosota .....	224	160
ACC (acid copper chromate).....	16,0	8,0
CCA (chromated copper arsenate).....	16,0	8,0
ACA (amoniacal copper arsenite).....	10,0	8,0

Los valores de penetración que establece son los siguientes:

Albura: 100 %  
Duramen: mínimo 10 mm

Las especies de madera consideradas en dicha especificación son las que se mencionan a continuación:

Redwood (Sequoia sempervirens)  
Coast Type Douglas Fir (Pseudotsuga taxifolia)  
Southern Yellow Pine (varias especies)

Las especificaciones de la British Standard Institution permiten impregnar maderas para torres de enfriamiento con los siguientes preservadores: aceite de creosota, compuestos solubles en agua del tipo cobre-cromo y cobre-cromo-arsénico y con pentaclorofenol (este último sólo para piezas estructurales). Las retenciones aconsejadas son casi análogas a las ya mencionadas del C.T.I.

En Canadá, seleccionan por su excelente durabilidad las maderas de redwood y Western red cedar (*Thuja plicata*) y en menor extensión Douglas fir, Yellow cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*) y Southern pines.

Finalmente, está generalmente aceptado en la actualidad que el deterioro de la madera en las torres de enfriamiento por la acción de hongos y bacterias es de mayor importancia que el ocasionado por el ataque químico de la misma. Este último es ya un problema casi superado mediante el cuidadoso control de la composición química del agua circulante. El acondicionamiento del agua es también una barrera muy efectiva contra el ataque biológico superficial.

También es necesario conocer cuáles son las especies de madera que presentan buen comportamiento en torres que operen en condiciones normales.

En cuanto al control del ataque biológico la práctica actual es, como ya dijimos, la de preservar mediante impregnación a presión las maderas para torres nuevas y las maderas de recambio, utilizándose también con buenos resultados diversos tratamientos "in situ". Un alto contenido de cromatos en el agua circulante resulta además una buena defensa contra el ataque biológico superficial.

**ANALISIS ESPECTROQUIMICO DEL PLOMO EMPLEADO  
EN INSTALACIONES DE OBRAS SANITARIAS**

**Dr. Justo P. Sosa  
Qco. Néstor Russo**

**Serie II, nº 165**

---

## INTRODUCCION

---

El análisis químico del plomo es un problema que con frecuencia se presenta en el LFMIT, generalmente bajo la forma de caños empleados en instalaciones de obras sanitarias.

Para resolver la composición química de este material por las vías clásicas del análisis químico, ya sea aplicando las técnicas que figuran en las normas IRAM (1) o en las de A.S.T.M. (2), se requieren varios días de trabajo. Además, por las dificultades que provienen en algunos casos de los métodos de separaciones que operan con grandes cantidades de muestra y por consiguiente expuestos a fenómenos de coprecipitación, se plantea a veces cierta incertidumbre en la información de algunos resultados. Todo ello hace que se justifique la búsqueda de técnicas más rápidas y suficientemente exactas. En ese sentido el análisis espectroquímico cumple con esos requerimientos.

Nuestros objetivos son dos:

- 1) Preparar, mediante fusión adecuada muestras de composición conocida para ser empleadas como muestras estándares.
- 2) Buscar las condiciones experimentales más satisfactorias con el equipo de trabajo disponible, con un margen de seguridad razonable, compatible con las exigencias del material.

---

## NORMAS Y ESPECIFICACIONES

---

La norma IRAM 2 515 establece la composición química de caños de plomo para instalaciones de obras sanitarias;

Pb (determinado por diferencia) mín.	99,70 %
Sb..... máx.	0,20 %
Zn..... máx.	0,01 %
Cu..... máx.	0,18 %
Sn..... máx.	0,15 %
Bi..... máx.	0,05 %

Cualquiera de las impurezas podrá superar en un 20 % el valor prescrito, siempre que el total de ellos no exceda de 0,30 %.

Las especificaciones de Obras Sanitarias de la Nación dan, como única exigencia, que el plomo tenga un grado de pureza mínimo de 99,9 %.

Entre las normas extranjeras, la British Standards (3) establece tres composiciones químicas para caños de plomo de diferentes aplicaciones. Para conducir agua fría o agua caliente establece la clase I:

Pb no menos de.....	99,80 %
Sb no más de.....	0,02 %
Zn no más de.....	0,005 %
Cu no más de.....	0,03 %
Bi no más de.....	0,05 %
Sn no más de.....	0,075 %

Total de otros elementos, no incluyendo los citados, no más de 0,02 %.

El A.S.T.M. no tiene especificaciones para caños de plomo pero sí establece para plomo en lingotes, cuatro calidades.

Las reparticiones oficiales provinciales, exigen a los proveedores el cumplimiento de las normas IRAM.

---

#### MUESTRAS PATRONES

---

Los métodos de análisis espectroquímicos no son absolutos sino relativos. De ahí la importancia de disponer de muestras patrones cuya composición química sea semejante a la de

las muestras problema, para poder construir las curvas de trabajo. Nosotros disponemos de las muestras patrones denominadas plomo químico, de la firma Kirk (4) cuyo tenor en impurezas es muy bajo. Los límites superior e inferior de concentración son los siguientes,

Cu %	de 0,096	a	0,021
Sb %	de 0,021	a	0,0009
Bi %	de 0,080	a	0,014
Ag %	de 0,0063	a	0,0018
Sn %	de 0,023	a	0,0001
As %	de 0,030	a	0,0002

Con el fin de cubrir un intervalo de concentración más amplio y disponer de muestras en cuya composición intervenga el cinc, hemos preparado por fusión, probetas de plomo cuya composición química ha sido establecida por vía del análisis químico, empleando técnicas del A.S.T.M. (2). Su homogeneidad fue verificada previamente mediante el análisis espectroquímico. Para la preparación de estas muestras hemos empleado plomo de alta pureza, cuya única impureza significativa y determinada espectrográficamente era el bismuto (0,015 %). Este plomo fue mezclado por fusión con aleaciones madres de composiciones conocidas: plomo-estaño, plomo-antimonio, plomo-arsénico, estaño-cobre. El cinc y bismuto fueron agregados en estado elemental. Las aleaciones fundidas en crisol de carburundum (para 2 kg) protegidas con grafito en polvo, fueron coladas en un molde cilíndrico de 5 cm de diámetro y 4 cm de altura. De ambas caras, superior e inferior, se desbastó al torno 2 mm de espesor, lo que fue desechado. Luego se extrajeron virutas de ambas caras para el análisis químico, hasta reducir el espesor de la probeta a 1 cm.

Las muestras preparadas tienen los siguientes límites de concentración:

Cu %	de 0,11	a	0,004
Sb %	de 0,25	a	0,03
Bi %	de 0,057	a	0,015
Sn %	de 0,23	a	0,03
As %	de 0,05	a	0,005
Zn %	de 0,30	a	0,005

---

## PARTE EXPERIMENTAL

---

### Equipo

- a) Espectrógrafo Z-3 de Jobin-Yvon, prisma de cuarzo (Cornu) de distancia focal 1 900 mm.
- b) Fuente de excitación "G.M.60" de la firma Durr (francés) formado por: generador de chispa; arco interrumpido unidireccional para 50 y 100 c.p.s.; y arco de corriente continua.
- c) Densitómetro Jarrell-Ash, mod. 21-051.

### Flección de la excitación

Sabemos que la excitación por arco de corriente continua ofrece la ventaja de su gran sensibilidad, lo que permite detectar elementos que se encuentran en muy baja concentración. Al mismo tiempo presenta inconvenientes debido a su pobre reproducibilidad como consecuencia de la tendencia que tiene el arco a fijarse en uno o en algunos puntos determinados del electrodo con la consiguiente volatilización de los elementos, según sus puntos de ebullición (pueden subsanarse estas dificultades mediante el empleo de dispositivos apropiados) (5, 6, 7).

La excitación por chispa está desprovista de estos inconvenientes, siendo su característica principal la reproducibilidad. Sin embargo el límite de detección de los elementos está muy por debajo de lo que permite alcanzar el arco de C.C.

Hemos elegido la excitación por chispa entre electrodos formados por un disco plano de plomo y contra electrodo de grafito para la determinación de la mayoría de los elementos, debido a la ventaja ya señalada y por su fácil aplicación en cuanto a preparación de muestra se refiere. En ese sentido hemos tomado como base de nuestro trabajo la técnica de A.S.T.M. (8). Sin embargo, como se verá más adelante, y como consecuencia de las limitaciones de nuestro equipo, no podemos resolver íntegramente la composición química del plomo por vía de la

excitación con chispa en la determinación de arsénico y cinc, cuando estos elementos se encuentran en concentraciones inferiores a 0,01 %. Por ello recurrimos también al uso del arco de c.c.

---

#### FNSAYOS PRELIMINARES

---

A fin de establecer los valores de capacidad, inductancia y tiempo de excitación más apropiados, hemos realizado los siguientes ensayos bajo estas condiciones:

Descarga: chispa, tensión máxima de salida 21 kv, descarga por ciclo 2.

Capacidad: 1 500 cm (0,0016  $\mu$  F), 3 000, 4 500, 6 000, 7 500 y 9 000 cm (0,01  $\mu$  F).

Inductancia: 0, 80, 320 y 800  $\mu$  H.

Tiempo de pre-exposición: 0 segundos.

Tiempo de exposición: 30 segundos.

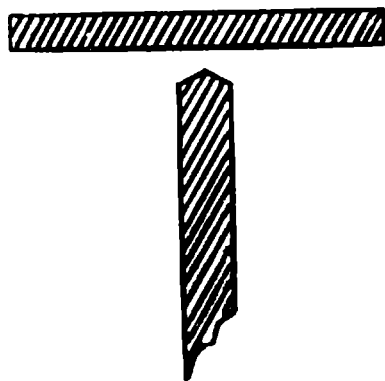
Ranura: 30  $\mu$

Abertura entre electrodos: 2 mm (fig. 1).

Intervalo espectral: 2 280-3 500 A.

Estudiando los espectros obtenidos a diferentes capacidades e inductancias, observamos (fig. 2 a 7) que las intensidades de las líneas aumentan, como es lógico de esperar, con aumentos de la capacidad y de la inductancia, aunque para 800  $\mu$  H de inductancia hay una caída con respecto al valor anterior (320  $\mu$  H) que se acentúa trabajando con capacidades menores. En la fig. 8 se representan los valores de intensidad en función de la capacidad a inductancia constante (320  $\mu$  H

Seleccionamos como parámetros los valores de 9 000 cm y 320  $\mu$  H de capacidad e inductancia respectivamente, por considerarlos los más efectivos para nuestro equipo de trabajo, dentro de la excitación con chispa.



Electrodo superior; muestra de Pb

Electrodo inferior, grafito C-2

Fig. 1.- Disposición de electrodos para la realización del ensayo

Para establecer el tiempo de exposición adecuado se hizo un estudio de los espectros obtenidos mediante la técnica del "Moving plate" en tres muestras de composición diferentes:

Elemento	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3
Sb %	0,021	0,25	0,12
Cu %	0,021	0,11	0,03
Bi %	0,080	0,057	0,037
As %	0,006		
Sn %	0,023	0,23	0,11
As %	0,030	0,05	0,03
Zn %	0,000	0,01	0,34

El comportamiento para cada elemento es el mismo en las tres muestras ensayadas, no siendo afectado por la variación de la composición, dentro de los límites ensayados. En la fig. 9 se ilustran las curvas obtenidas de intensidad en función del tiempo para cada elemento, correspondientes a una de las muestras ensayadas. Puede observarse que la máxima intensidad se alcanza a los 20 segundos. Elegimos para nuestro trabajo 50 segundos de exposición, porque con este tiempo y el empleo de un filtro a escalones de tres densidades ópticas diferentes podemos hacer las lecturas densitométricas de las líneas seleccionadas, dentro de un amplio margen de valores, sin que el efecto de fondo de placa se haga muy evidente.

---

#### ANALISIS DE MUESTRAS PATRONES Y PROBLEMAS

---

Las probetas problema, que se presentan generalmente en forma de caños, se cortaron en trozos de aproximadamente 5 cm de largo. Se aplastaron en la morsa y finalmente fue desbastada al torno una de las caras, hasta obtener una superficie pulida.

Se efectuaron cinco determinaciones para cada muestra patrón y tres para las problema.

#### Excitación, exposición y procesado de la emulsión

Descarga: chispa  
Capacidad: 9 000 cm  
Inductancia: 320  $\mu$ H  
Abertura entre electrodos: 2 mm  
Ranura: 30  $\mu$   
Tiempo de pre-exposición: cero segundo  
Tiempo de exposición: 50 segundos  
Electrodo superior: muestra de plomo (fig. 1)  
Electrodo inferior: de grafito C-2  
Filtro de tres escalones  
Región del espectro impresionado: 3 500 - 2 300 Å  
Emulsión espectrográfica: placa S.A.1 (Eastman-Kodak)

Calibrada con sector de relación 1,585 y fuente de luz de arco de glóbulo de hierro; método de dos escalones (9).  
 Revelado: 4 min en D-19 a 20 C (10)  
 Baño de paro: 10-30 segundos en 5B-5a  
 Fijado: 10 minutos en F-5  
 Lavado: en agua corriente, 40 minutos; enjuague con agua destilada.  
 Secado: con aire caliente a no más de 30°C.

### Fotometría

Se hacen las lecturas de transmitancia (T) de las líneas seleccionadas para cada elemento, en los cinco espectros correspondiente a cada muestra patrón, eligiendo el escalón más adecuado. Estos valores son transformados en densidades ópticas (D) y luego referidos a la curva de calibración de la emulsión a fin de obtener los valores de intensidades.

Para cada elemento se dibuja la curva de trabajo que resulta de representar el valor promedio obtenido de la relación de intensidades del elemento en cuestión y de la línea del plomo (tomada como estandar interno) en función del logaritmo de la concentración (fig. 10 a 16).

<u>Líneas seleccionadas</u>	<u>Estandar interno</u>
Sn 2 839,98	Pb 3 220,54
Bi 3 067,71	Pb 3 220,54
Cu 3 273,96	Pb 3 220,54
Ag 3 280,68	Pb 3 220,54
Zn 3 282,33	Pb 3 220,54
As 2 780,19	Pb 3 220,54
Sb 2 598,06	Pb 2 332,42

### Determinación de arsénico y cinc. Excitación con arco de c.c.

Como ya se expresó, cuando la concentración de estos elementos es inferior a 0,01 %, no alcanzamos a visualizar, con

T.A.B.L.A I

Elemento	Método	Muestra A		Muestra B		Muestra C		Muestra D		Muestra E		Muestra F		Muestra G		V	
		ψ	μ	ψ	μ	ψ	μ	ψ	μ	ψ	μ	ψ	μ	ψ	μ	Min.	Max.
Sn	Q	0,156	0,152	0,152	0,152	0,020	0,066	0,008	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	6,6	23,4
	E	0,174	0,160	0,160	0,160	0,021	0,079	0,011	0,008	0,011	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	4,6	18,5
Sb	Q	0,075	0,066	0,066	0,066	0,085	0,110	0,086	0,070	0,086	0,070	0,070	0,035	0,035	0,035	5,9	14,3
	E	0,080	0,080	0,080	0,080	0,105	0,120	0,090	0,070	0,090	0,070	0,070	0,040	0,040	0,040	6,2	12,0
As	Q	0,017	0,028	0,028	0,028	0,007	0,056	0,026	0,015	0,026	0,015	0,015	0,008	0,008	0,008	7,5	20,0
	E	0,020	0,022	0,022	0,022	0,005	0,050	0,030	0,020	0,030	0,020	0,020	0,005	0,005	0,005	8,5	30,5
Bi	Q	0,022	0,018	0,018	0,018	0,015	0,038	0,030	0,017	0,030	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018	3,0	c,0
	E	0,020	0,020	0,020	0,020	0,017	0,035	0,028	0,015	0,028	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	5,3	10,5
Cu	Q	0,08	0,10	0,10	0,10	0,13	0,10	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	7,8	25,0
	E	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	8,3	16,0
Zn	Q	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	20,0	25,0
	E	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	6,0	37,5

Q: Químico  
 E: Espectrográfico  
 \* : Excitación por arco de corriente continua

nuestro equipo de trabajo y por la vía de la excitación con chispa, sus líneas más sensibles. Por lo tanto recurrimos a la excitación con arco de c.c.

Se coloca en la cavidad del electrodo de grafito una cantidad de muestra, cortada recientemente con un alicate, y cuyo peso sea de  $100 \pm 5$  mg.

### Procedimiento

Descarga: arco de c.c.

Intensidad: 7 A

Abertura entre electrodos: 2 mm

Ranura:  $30 \mu$

Tiempo de excitación: 30 s

Electrodos: inferior, como ánodo P-1 (11)

superior, como cátodo C-6

Filtro de tres escalones

Región del espectro impresionado: 3 500 - 2 500 Å

Emulsión espectrográfica: película S.A.1 (Eastman Kodak) calibrada por el mismo método que para placas

Revelado: 5 min en D-19 a 20°C

Baño de paro: 10-30 s en 5B - 5a

Fijado: 10 min en F-5

Lavado y secado igual que para las placas

Fotometría: se ha seguido el mismo procedimiento aplicado anteriormente. Es de hacer notar que no hemos podido utilizar las líneas de plomo que corrientemente se seleccionan como estándar interno, aún con el empleo de filtro de tres escalones que disponemos, por ser muy intensas.

Línea seleccionada	Estandar interno
A	A
As 2 780,19	Pb 2 657,10
Zn 3 345,02	Pb 2 657,10

Ver curvas de trabajo, fig. 17 y 18.

---

RESULTADOS COMPARATIVOS CON LOS OBTENIDOS POR VIA QUIMICA

---

A fin de probar el grado de precisión del método espectrográfico ensayado, hemos analizado algunas muestras por los métodos químicos, siguiendo las técnicas de A.S.T.M. (2) para la determinación de estaño, antimonio, arsénico y bismuto; para el cobre y cinc hemos aplicado la técnica polarográfica (12).

La tabla I contiene los valores obtenidos por los métodos citados, y la precisión expresada como coeficiente de variación  $V$  para cada elemento. En cada caso el valor informado corresponde al valor medio de tres determinaciones.

La precisión del análisis espectrográfico expresado como  $V$ , en una de las muestras estandar de que disponemos, y sobre la base de 10 determinaciones es la siguiente:

Elemento	%	$V$
Cu	0,055	7,8
Bi	0,040	8,3
Sb	0,0089	17,5
Sn	0,0048	16,8
Ag	0,0033	1,2
As	0,013	20,0

$V$  : calculado con la siguiente fórmula

$$V = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum d^2}{n - 1}}$$

$V$  coeficiente de variación

$\bar{x}$  concentración media

$d$  diferencia de la determinación con el valor medio

$n$  número de determinaciones

---

## CONCLUSIONES

---

- 1) Se dan los valores de los parámetros eléctricos más eficientes para nuestra fuente de excitación.
- 2) Se han preparado muestras patrones de plomo dentro de los límites de composición exigidos por las normas IRAM, y ello nos ha permitido obtener las curvas de trabajo para cada elemento.
- 3) Si bien la precisión obtenida por vía espectrográfica es en algunos casos, inferior a la lograda por vía química, está dentro de los límites tolerables con las exigencias de las especificaciones del material.
- 4) Es indudable que se obtiene una ganancia considerable de tiempo en la información de los resultados, factor importante cuando se trata de materiales pertenecientes a obras públicas en ejecución y que requieren un contralor continuo y rápido.
- 5) Puede calcularse en una jornada de trabajo el tiempo necesario para la realización del análisis de 20 muestras.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

- (1) Instituto Arg. de Racionalización de Materiales. Norma IRAM 2 515. Caños de plomo. (1949).
- (2) A.S.T.M. Standards Chemical Analysis of Metals. Designation E 37-56 (1964).
- (3) British Standards Specifications. Lead pipes for other chemical purposes. B.S. 602 (1956).
- (4) Spectrochemical Standards. Morris P. Kirk & Son, Inc. Los Angeles, California. Boletín, Ed. (1960).

- (5) W. Gerlach and W. Gerlach, "Die chemische Emissionsspektralanalyse" II, L. Voss, Leipzig, (1933). Cit. "Principles and Practice of Spectrochemical Analysis", N. Nachtrieb, pág. 193. McGraw-Hill, New York. (1950)
- (6) A. T. Myers and B.C. Brunstetter, Anal. Chem. 19, 71 (1947).
- (7) F.K. Jaycox and A. F. Rühle, "Proc. Seventh Summer Conference on Spectroscopy" (M.I.T.). The Technology Press, 1940. Cit. "Principles and Practice of Spectrochemical Analysis" N. Nachtrieb, pág. 193, McGraw - Hill, New York (1950).
- (8) A.S.T.M. Methods for Emission Spectrochemical Analysis. Designation E 117-59 T (1964).
- (9) Ibid. E 116-59 T.
- (10) Ibid. E 115-59 T.
- (11) Ibid. E 130-63 T.
- (12) J. M. Kolthoff - J. Lingane. Polarography, Vol.II. 604, 2nd. ed. Interscience, New York, (1952).

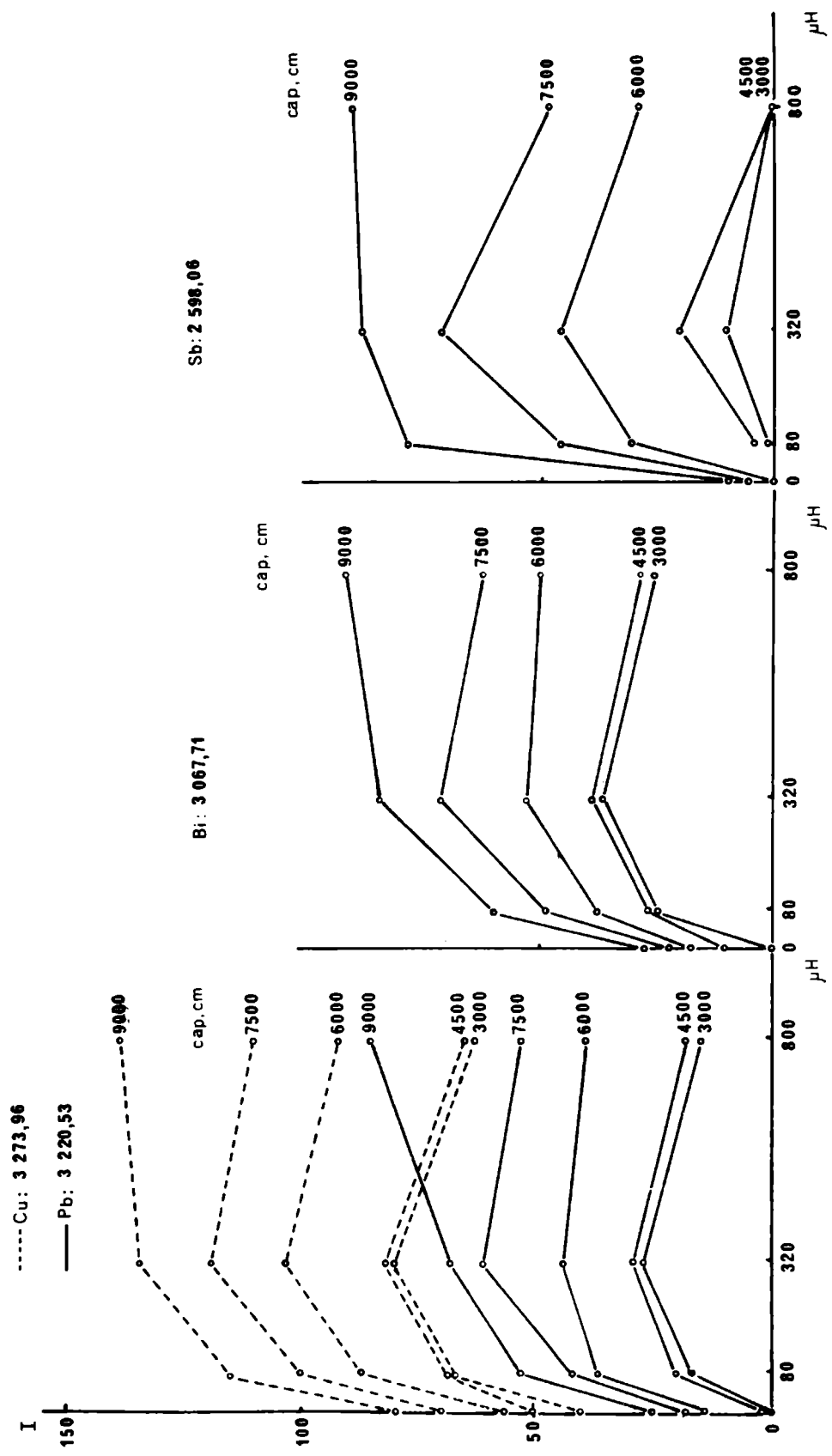


Fig. 4

Fig. 3

Fig. 2

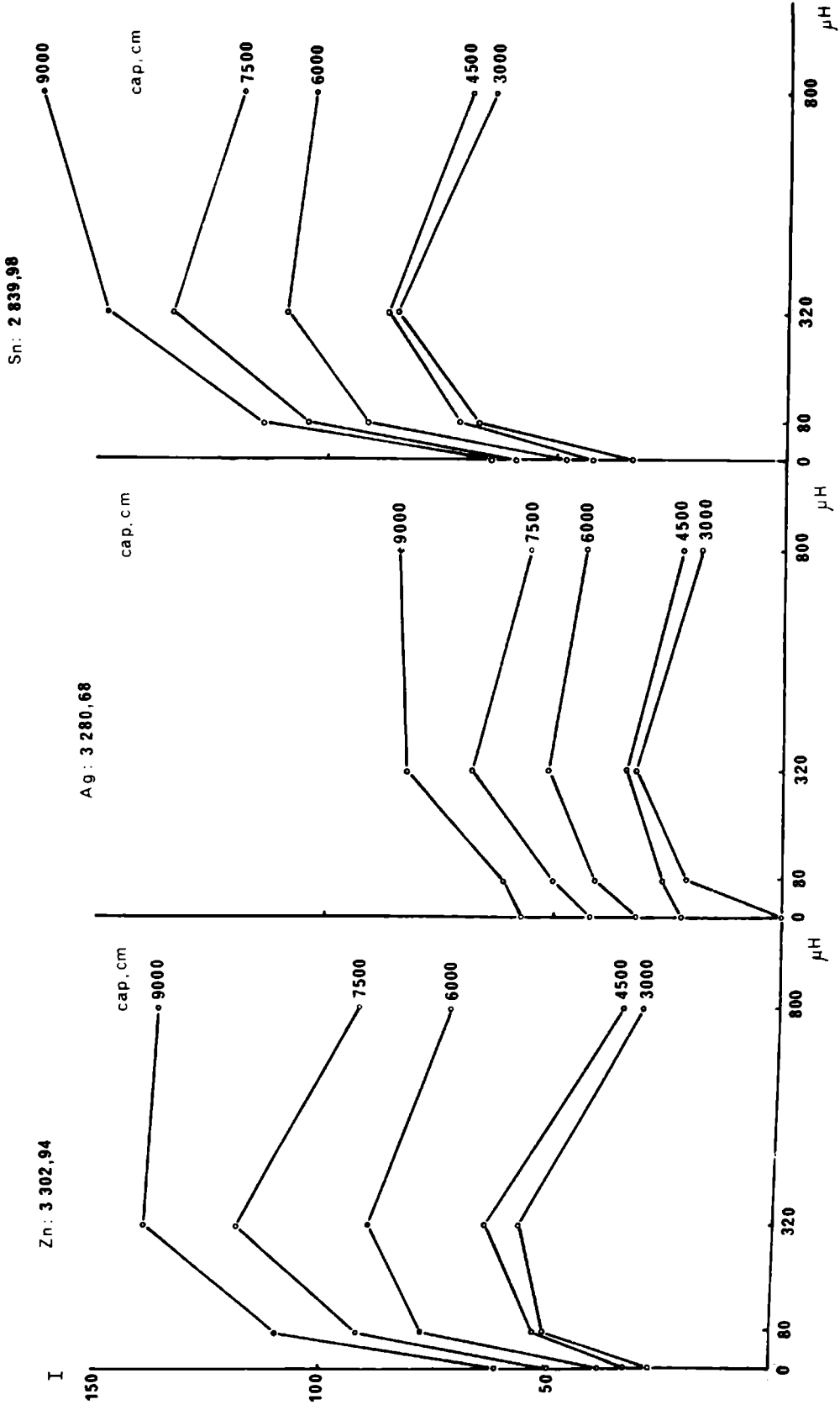


Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

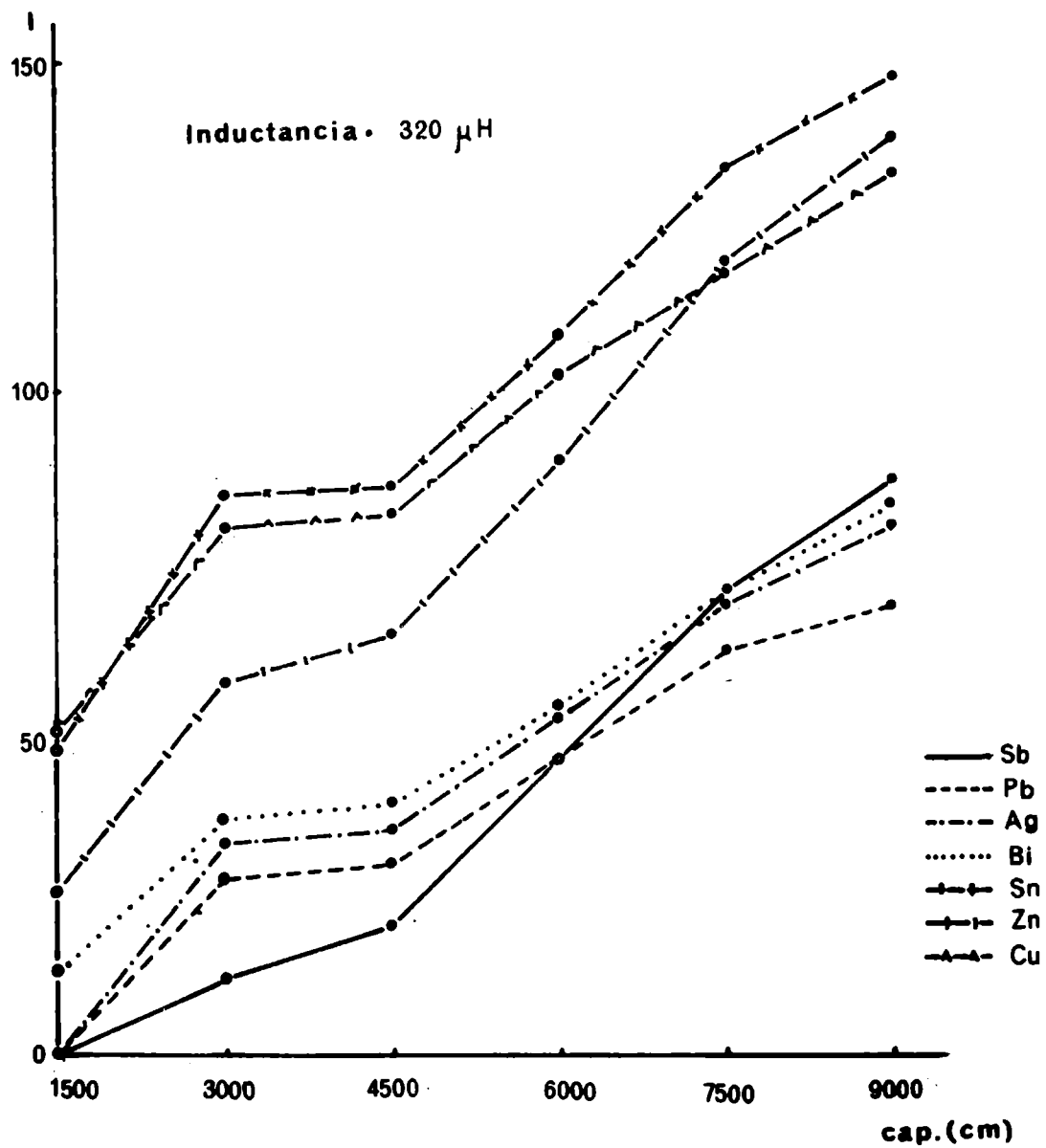


Fig. 8

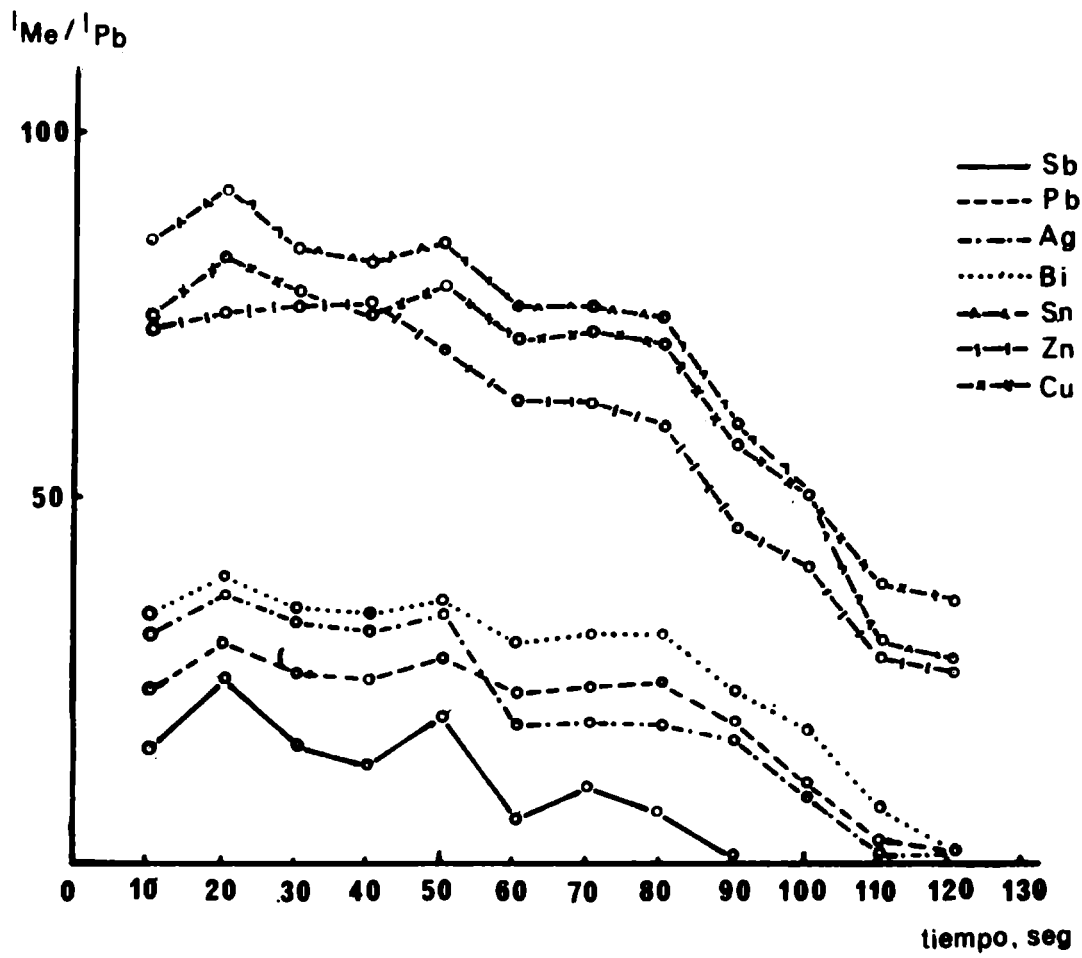
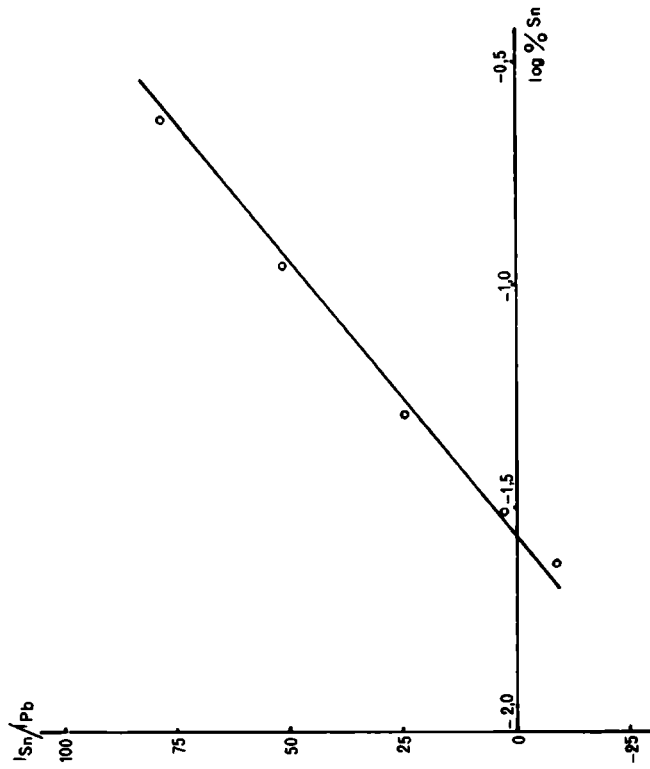


Fig. 9

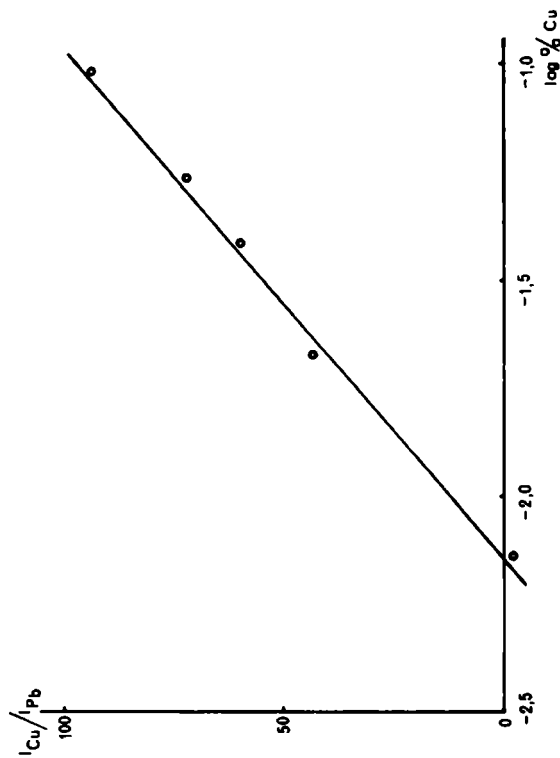
Sn: 2 839,96 A  
Pb: 3 220,54 A



M. patrón	%	log %	$I_{Sn}/I_{Pb}$
1 L	0,23	-0,64	79
2 L	0,11	-0,96	51
3 L	0,05	-1,30	24
4 L	0,03	-1,52	3
K 119	0,02	-1,64	-10

Fig. 11

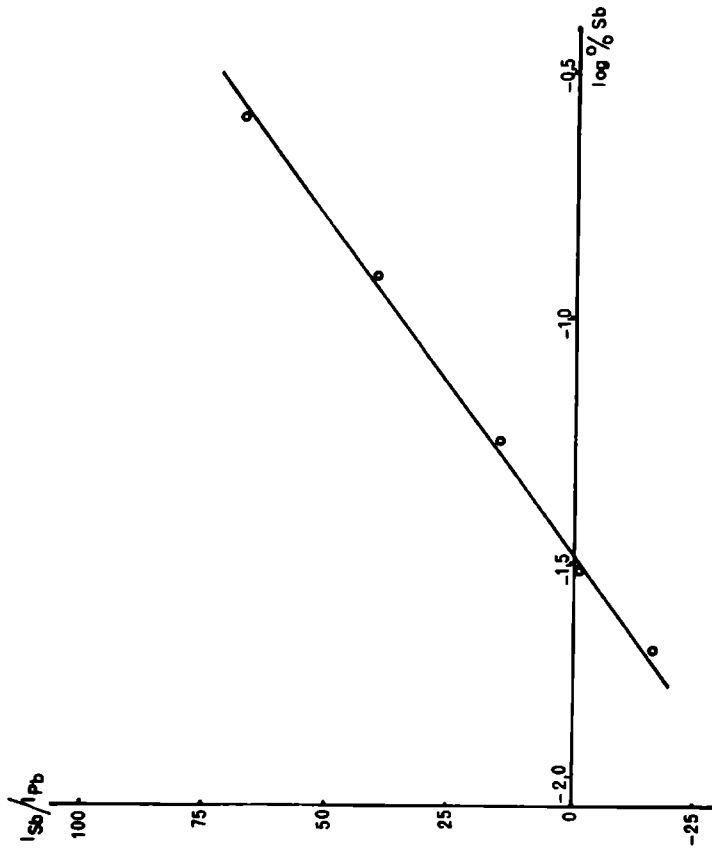
Cu: 3 273,96 A  
Pb: 3 220,54 A



M. patrón	%	log %	$I_{Cu}/I_{Pb}$
K 117	0,096	-1,02	93
K 118	0,055	-1,26	71
K 1115	0,037	-1,43	60
K 119	0,021	-1,68	43
K 1114	0,007	-2,14	-3

Fig. 10

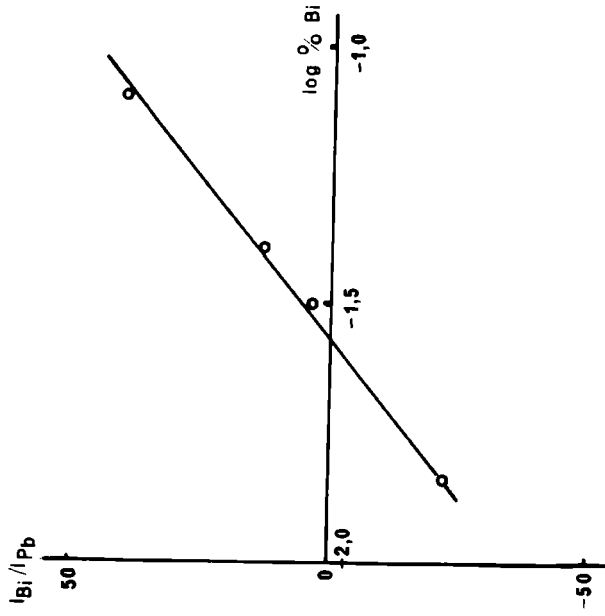
Sb: 2 598,06 A  
Pb: 2 332,42 A



M. patrón	%	log %	$I_{Sb}/I_{Pb}$
1 L	0,25	- 0,60	67
2 L	0,12	- 0,92	40
3 L	0,05	- 1,26	15
4 L	0,03	- 1,52	- 1
K 119	0,02	- 1,68	- 17

Fig. 12

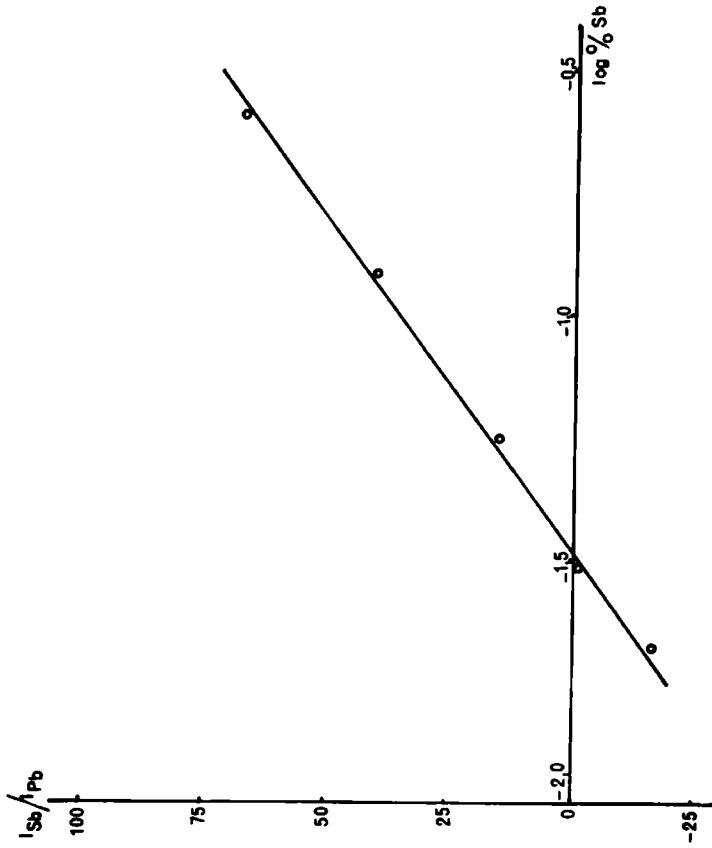
Bi: 3 067,71 A  
Pb: 3 220,54 A



M. patrón	%	log %	$I_{Bi}/I_{Pb}$
K 117	0,014	- 1,85	- 22
K 114	0,031	- 1,51	3
K 115	0,031	- 1,51	4
K 118	0,040	- 1,40	12
K 119	0,080	- 1,10	39

Fig. 13

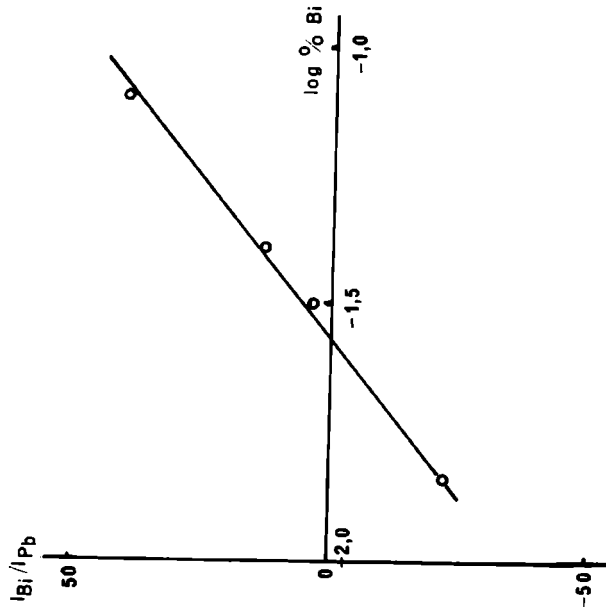
Sb: 2 598,06 A  
 Pb: 2 332,42 A



M. patrón	%	log %	$I_{Sb}/I_{Pb}$
1 L	0,25	-0,60	67
2 L	0,12	-0,92	40
3 L	0,05	-1,26	15
4 L	0,03	-1,52	1
K 119	0,02	-1,68	17

Fig. 12

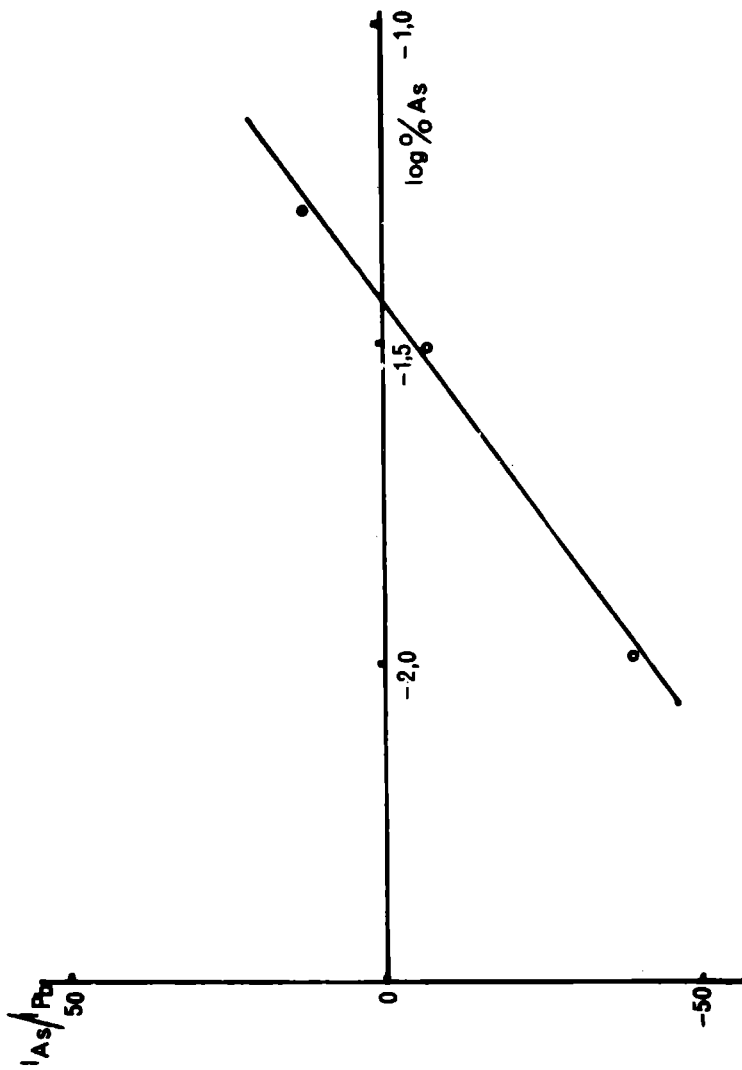
Bi: 3 067,71 A  
 Pb: 3 220,54 A



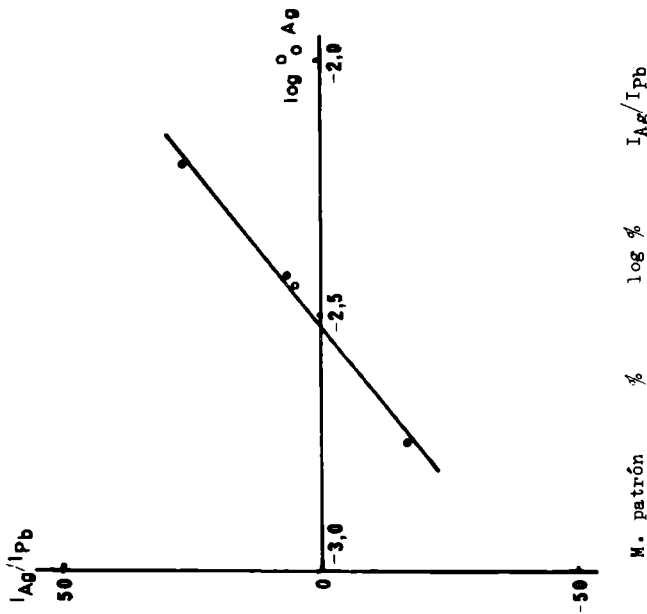
M. patrón	%	log %	$I_{Bi}/I_{Pb}$
K 117	0,014	-1,85	22
K 114	0,031	-1,51	3
K 115	0,031	-1,51	4
K 118	0,040	-1,40	12
K 119	0,080	-1,10	39

Fig. 13

As: 2 780,19 A  
 Pb: 3 220,54 A



Ag: 3 280,68 A  
 Pb: 3 220,54 A

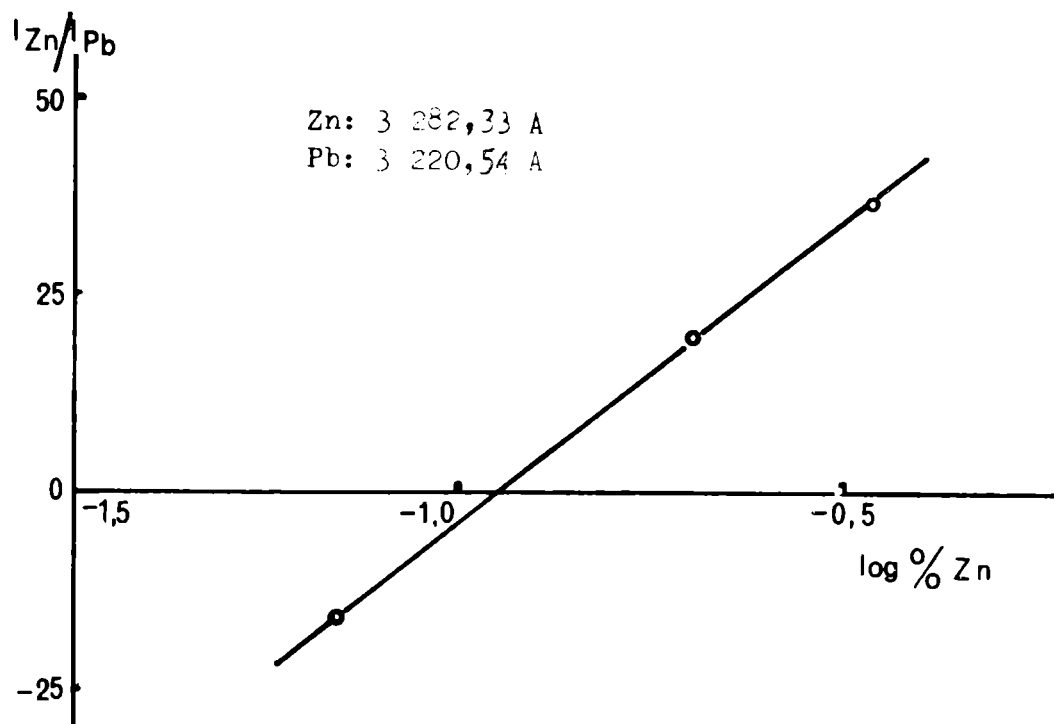


M. patrón	%	log %	$I_{Ag}/I_{Pb}$
K 117	0,0018	- 2,75	- 18
K 118	0,0033	- 2,48	3
K 1114	0,0037	- 2,43	5
K 1115	0,0038	- 2,42	6,5
K 1119	0,0063	- 2,20	26

Fig. 14

M. patrón	%	log %	$I_{As}/I_{Pb}$
1 L	0,05	- 1,30	12
K 119	0,03	- 1,52	- 8
3 L	0,01	- 2,00	- 40

Fig. 15

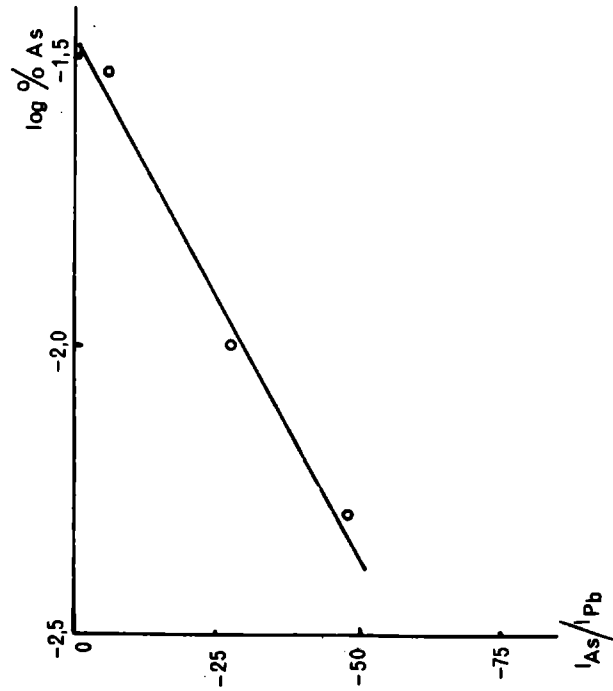


M. patrón	%	log %	$I_{Zn}/I_{Pb}$
2 L	0,34	- 0,47	37,5
3 L	0,20	- 0,70	20,0
4 L	0,07	- 1,16	- 15,5

Fig. 16

58

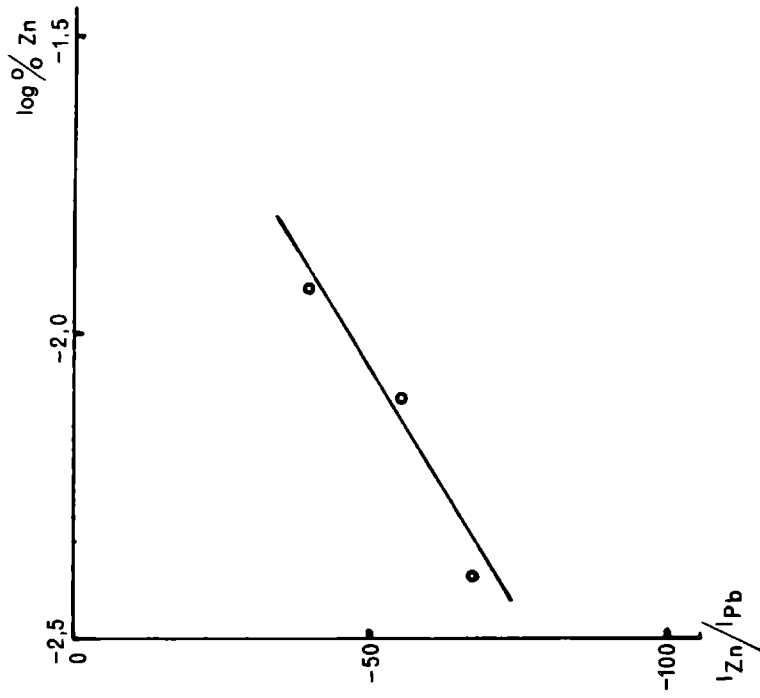
As: 2 780,19 A  
Pb: 2 657,10 A



M. patrón	%	log %	$I'_{As}/I'_{Pb}$
K 119	0,030	-1,52	- 5
K 118	0,013	-1,89	- 26
4 L	0,005	-2,30	- 47

Fig. 17

Zn: 3 345,02 A  
Pb: 2 657,10 A



M. patrón	%	log %	$I'_{Zn}/I'_{Pb}$
1 L	0,012	-1,92	- 40
2 L	0,008	-2,10	- 55
3 L	0,004	-2,40	- 68

Fig. 18

**CONCRETOS ASFALTICOS ELABORADOS CON  
EMULSIONES BITUMINOSAS**

**PROYECTO Y TECNICAS CONSTRUCTIVAS**

**Ing. Duilio D. Massaccesi**

**Ing. Oscar L. Ciafardo**

**Serie II, nº 166**

---

## GENERALIDADES

---

El presente trabajo tiene por finalidad contribuir a satisfacer la palpable necesidad de contar con un método práctico y efectivo para dosificar una mezcla con emulsión asfáltica, de elaboración y distribución a temperatura ambiente. Se ha tratado en lo posible, de llenar las indeterminaciones que existen en la actualidad en la ejecución de este tipo de mezcla, en lo que respecta a la granulometría de áridos conveniente, influencia de la humedad de mezclado, porcentaje óptimo de ligante, forma de moldeo de las probetas de proyecto, momento oportuno de compactación de las mismas, y determinación de los ensayos más apropiados para medir su calidad. Asimismo se da una descripción de la forma conveniente de trabajar en obra con estas mezclas frías.

Las ventajas constructivas y económicas de mezclas asfálticas de este tipo son bien conocidas, basta tener en cuenta que para su elaboración no es necesario disponer de costosos equipos para el calentamiento y secado de los agregados, ya que la baja viscosidad del ligante y la presencia de humedad permiten un perfecto recubrimiento de los agregados a temperatura ambiente prácticamente en cualquier época del año.

El medio ligante en el tipo de mezcla que estudiaremos, corrientemente conocida como "Concreto asfáltico en frío" es una emulsión asfáltica aniónica tipo superestable; la importancia de las emulsiones asfálticas en la práctica de las construcciones viales, radica en sus propiedades, las cuales permiten lograr varios objetivos fundamentales, a saber:

- a) Practicidad en su transporte y manejo.
- b) Facilidad de empleo, ya que llega a la obra lista para ser usada.
- c) Trabajabilidad de las mezclas con ellas ejecutadas, en

una escala amplia de temperaturas ambientes.

d) Facilidad de mezclado con agregados fríos y húmedos.

Esta última propiedad, unida a la sencillez del equipo requerido, es tal vez la que posibilita la construcción de caminos de bajo costo.

Tanto la densificación como la resistencia de una superficie de rodamiento ejecutada con una mezcla de este tipo, varían respecto a las que se obtienen con mezclas en caliente.

En las carpetas ejecutadas en caliente pueden lograrse luego del cilindrado, en forma más o menos inmediata, estabildades y densidades bastantes aproximadas a las que puede llegar a adquirir la mezcla en última instancia; en cambio en las carpetas realizadas y colocadas en frío, el proceso es algo diferente, ya que también, como en el caso anterior, se va produciendo una compactación progresiva bajo los efectos del tránsito, pero al mismo tiempo, en forma sincronizada se van desarrollando las propiedades cohesivas del ligante.

El uso de emulsiones asfálticas, condiciona también la adopción de granulometrías de materiales inertes, algo diferentes a las empleadas en los concretos asfálticos elaborados en caliente, ya que deben permitir la evaporación del agua y el consiguiente curado del ligante.

Como consecuencia surge una de las condiciones fundamentales del concreto asfáltico en frío, y es que debe poseer inicialmente un porcentaje suficientemente alto de vacíos comunicados con el exterior, a fin de que se desarrolle satisfactoriamente el secado de la mezcla.

Antes de entrar en el tema que nos ocupa, o sea la dosificación de la mezcla en sí, debemos dejar perfectamente definidos ciertos aspectos previos, relativos a los materiales que intervienen en dicha dosificación.

---

## AGREGADOS PETREOS

---

### 1. Granulometría

Como ya hemos mencionado, las granulometrías recomendables de los materiales inertes que componen estas mezclas con emulsión, difieren algo de las que generalmente se especifican para mezclas en caliente, puesto que deben permitir la total eliminación de la humedad, para lo cual es necesario que posean un porcentaje más o menos elevado de vacíos.

En general la zona óptima dentro de la cual puede fluctuar la curva granulométrica en las mezclas con emulsión, varía de acuerdo al criterio de los distintos investigadores.

Las normas DIN 1966-U-65 expresan que una mezcla de inertes puede considerarse satisfactoria cuando cumple con la condición de que los vacíos referidos al volumen total de áridos vibrados, sean del orden del 24 % al 28 %.

Una mezcla de inertes que responda a estos valores se logra en general con una cantidad de grueso relativamente alta y poca cantidad de agregado pétreo fino.

Las especificaciones técnicas alemanas T.V. Bit. 5/57 (1) recomiendan para mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos líquidos, los límites granulométricos que se indican en trazo lleno en la figura 1, (a), (b) y (c).

Las curvas límites inferiores y superiores de los tres gráficos establecen respectivamente, zonas bastante amplias, expresando las normas mencionadas que a medida que las granulometrías se acercan a las respectivas curvas superiores, las mezclas de áridos tienden a los mínimos vacíos y por consiguiente son menos aptas para el uso con ligantes líquidos, que las que se encuentran más centradas o tendiendo a los límites inferiores.

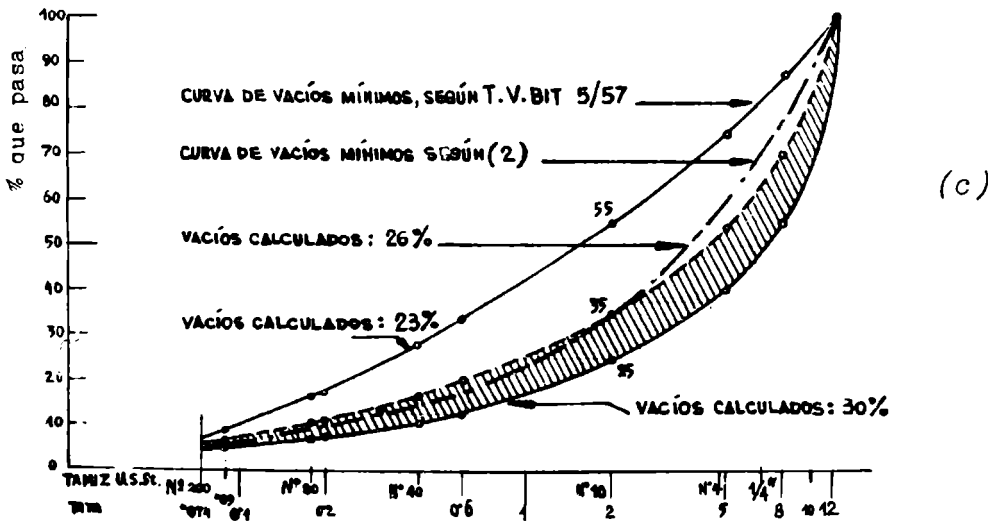
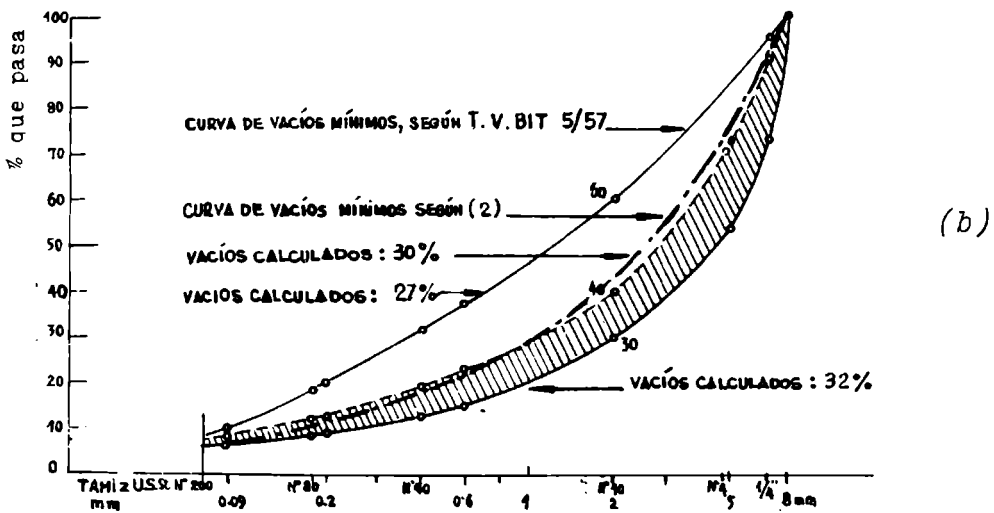
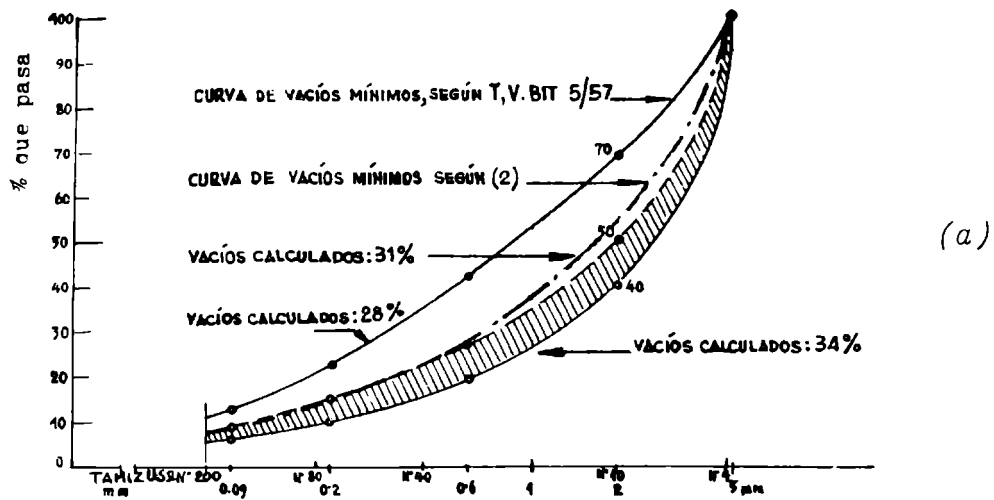


Fig. 1.- Límites granulométricos aconsejados por especificaciones alemanas para mezclas elaboradas con asfaltos líquidos

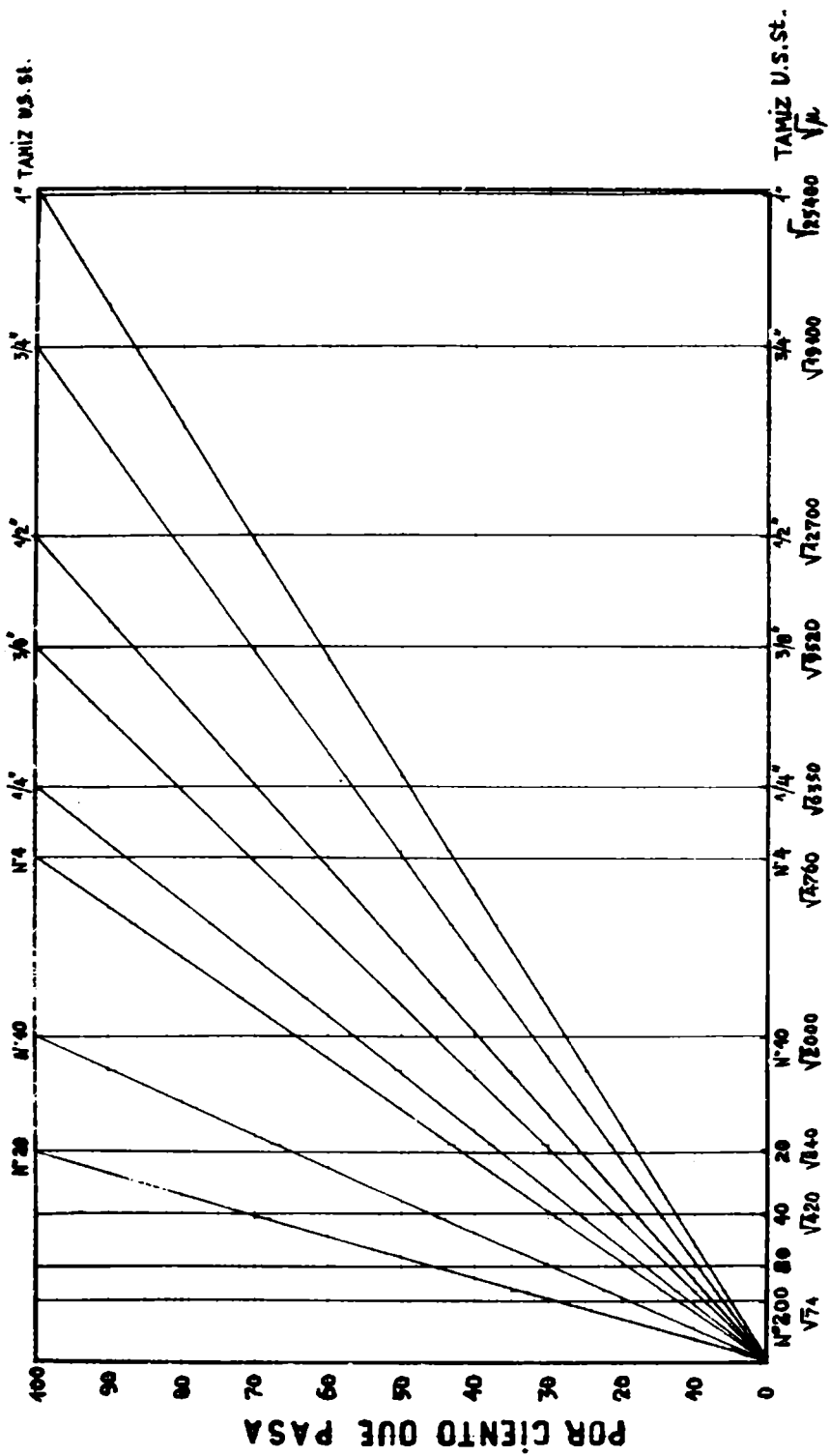


Fig. 2.- Curvas granulométricas de mínimos vacíos, según Temme (2)

Sin embargo el Dr. Th. Temme en su libro: "Gestein im Strassenbau" (1963) (Aridos en la construcción de caminos), manifiesta que las curvas granulométricas de **mínimos vacíos** responden a "rectas" (fig. 2), cuya escala de abscisas es  $\sqrt{d}$  (siendo  $d$  la abertura de tamiz), lo cual equivale en la escala semilogarítmica a curvas como las indicadas en la fig. 1.

Hemos tenido la inquietud de determinar los porcentajes de vacíos (vibrado) que poseen las curvas granulométricas de la fig. 1, en un determinado agregado (granito triturado), y hemos obtenido los siguientes resultados que ratifican las consideraciones que hace la norma T.V. Bit. 5/57:

Porcentaje de vacíos de las mezclas de áridos:	(a)	(b)	(c)
Curva Superior.....	28	27	23
Curva Media.....	31	30	26
Curva inferior.....	34	32	30

La práctica demostró (1) que cuando el material "que pasa el tamiz n° 10" es, en la fig. 1, mayor del 70 %, 60 % y 55 % en peso respectivamente, las carpetas en frío no son estables, existiendo una marcada tendencia a la deformación.

Resumiendo, para el tipo de carpeta de rodamiento estudia, T.V. Bit. 5/57 aconseja encuadrar las granulometrías de los áridos dentro de las zonas rayadas, dependiendo el apartamiento admisible, de la clase de piedra y del ligante a utilizar.

La graduación definitiva de los inertes se alcanzaría después de la reducción del material, producida por el tránsito. El tiempo en el cual se produce la degradación de la piedra dentro de la carpeta dependerá de la dureza del agregado utilizado (1).

En el caso de agregados menos duros, se producirá en plazos excesivamente cortos y en estos casos para evitarlo podría ser útil incrementar el porcentaje de arena, la cual debido a su mejor escalonamiento granulométrico produce una distribución más favorable de las cargas en la carpeta.

La experiencia demuestra que en primera instancia es recomendable el uso de arenas de trituración, las cuales son menos sensibles a un exceso de ligante y se oponen, debido a su mayor friccionalidad, a una densificación demasiado rápida de la carpeta bajo los efectos del tránsito.

Las instrucciones T.V. Bit. 5/57 contemplan la incorporación de hasta 1/4 parte de arena natural, pero se recomienda su uso solamente en casos excepcionales como por ejemplo en un pavimento urbano poco transitado, a fin de favorecer su compactación.

Otros investigadores, los ingenieros C. L. McKesson y D. E. Stevens sugieren para capas superficiales ejecutadas con asfaltos líquidos, los siguientes límites granulométricos:

Pasa tamiz	$\frac{1}{2}$ "	.....	100 %
Pasa tamiz n°	4	.....	85 - 100 %
Pasa tamiz n°	10	.....	40 - 60 %
Pasa tamiz n°	40	.....	15 - 35 %
Pasa tamiz n°	80	.....	10 - 20 %
Pasa tamiz n°	200	.....	4 - 10 %

Manifiestan también que se ha ejecutado con buenos resultados, en Massachusetts una mezcla fina tipo concreto asfáltico, constituida con la granulometría de inertes que se detalla a continuación:

Pasa tamiz	$\frac{3}{4}$ "	.....	90 - 100 %
Pasa tamiz	$\frac{1}{4}$ "	.....	60 - 85 %
Pasa tamiz n°	10	.....	45 - 60 %
Pasa tamiz n°	80	.....	10 - 20 %
Pasa tamiz n°	200	.....	4 - 10 %

Luego del estudio detenido de un cierto número de especificaciones, llegamos a la conclusión de que la mayoría coin-

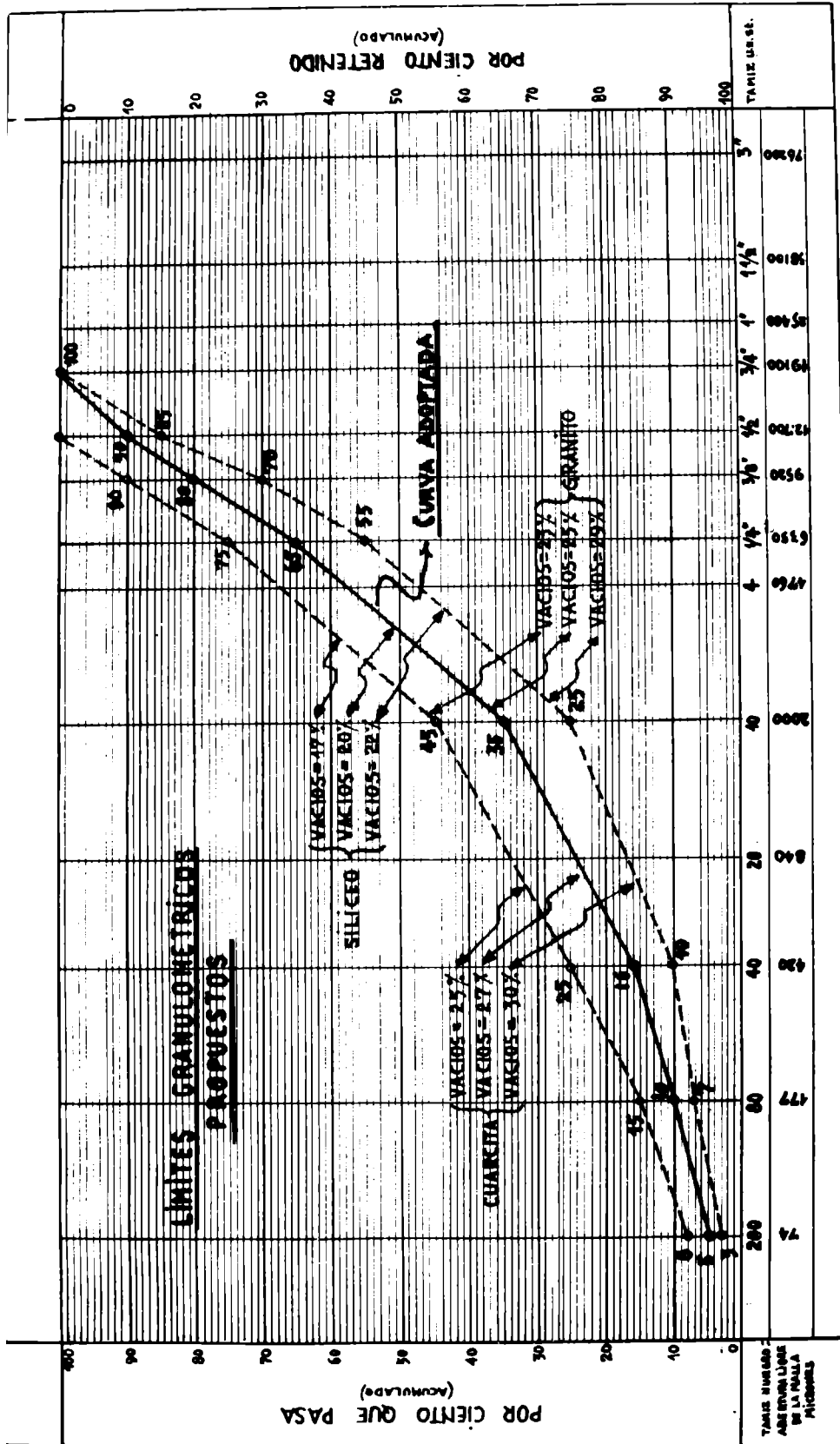


Fig. 3.- Granulometrías recomendables para materiales inertes locales que integren mezclas con emulsión superestable (EBL2)

cide en que la condición fundamental que debe poseer un concreto asfáltico en frío, es permitir el secado de la mezcla posteriormente a su compactación, lo cual está íntimamente relacionado con el porcentaje de vacíos del agregado mineral. Vinculando las conclusiones anteriores con suficiente cantidad de ensayos realizados en laboratorio y en obra, hemos juzgado conveniente establecer, para nuestros materiales corrientes empleados en la ejecución de pavimentos, las siguientes sugerencias en lo que respecta a su graduación para carpeta en frío:

	Límites aconsejados
Pasa tamiz 3/4" .....	100 %
Pasa tamiz 1/2" .....	85 - 100 %
Pasa tamiz 3/8" .....	70 - 90 %
Pasa tamiz 1/4" .....	55 - 75 %
Pasa tamiz n° 10 .....	25 - 45 %
Pasa tamiz n° 40 .....	10 - 25 %
Pasa tamiz n° 80 .....	7 - 15 %
Pasa tamiz n° 200 .....	3 - 8 %

Para la realización de nuestro trabajo hemos adoptado una curva granulométrica que se encuentra centrada en la zona aconsejada, y que se representa con línea llena en la fig. 3.

Los vacíos que poseen los áridos vibrados, cuyas granulometrías corresponden a las curvas: límite superior, media y límite inferior, de dicho gráfico, son en los tres tipos de agregados utilizados los siguientes:

<u>Material cuarcítico</u> (triturado)	Vacíos
Granulometría límite inferior:	30 %
Granulometría media (adoptada):	27 %
Granulometría límite superior:	25 %

<u>Material granítico</u> (triturado)	Vacíos
Granulometría límite inferior:	29 %
Granulometría media (adoptada):	25 %
Granulometría límite superior:	23 %

Material silíceo (natural):

Granulometría límite inferior:	22 %
Granulometría media (adoptada):	20 %
Granulometría límite superior:	17 %

Cabe aclarar que cuando se emplean agregados naturales graduados, que poseen en general bajos porcentajes de vacíos, es conveniente trabajar con mezclas cuyas granulometrías estén comprendidas entre la curva media y la inferior de la fig. 3.

Asimismo, las mezclas con agregados de trituración que caen en dicha zona, es conveniente emplearlas en épocas templadas o cálidas, a fin de poder lograr un adecuado cierre de la estructura.

En general la "elaboración" de las mezclas puede realizarse hasta temperaturas mínimas de 3°C aproximadamente sin ningún inconveniente, ello se debe a que el incremento de la viscosidad de la emulsión con la disminución de la temperatura es muy pequeño.

Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando se trata de compactar una mezcla distribuída en obra, que se encuentre en las condiciones adecuadas de curado; en este estado - como se aclara más adelante - la mezcla conserva aproximadamente un 50 % de su contenido inicial de humedad. Si determináramos la viscosidad sobre una emulsión a la que se le ha hecho perder en laboratorio la mitad de su contenido de agua, se observaría un aumento considerable de aquélla, que se iría incrementando a medida que desciende la temperatura; las circunstancias señaladas explican las dificultades que se presentan en la práctica para conseguir una adecuada den-

sificación de la mezcla en épocas de bajas temperaturas.

El problema puede atenuarse parcialmente seleccionando mezclas de inertes que posean granulometrías comprendidas entre la curva media y la superior de la fig. 3, que son las más finas y las que poseen menor porcentaje de vacíos.

Asimismo, conviene recordar que la incorporación de un cierto porcentaje de arena natural favorece la compactación de la mezcla.

## 2 - Características de los materiales empleados

### a) Descripción petrográfica del material granítico

La roca utilizada se clasifica como migmatita granítica encontrándose principalmente en el sistema de Tandil (Olavarría a Balcarce) y zona de Tornquist. El mineral más abundante es el feldespato potásico, sigue en proporción el cuarzo, de superficies límpidas, contornos irregulares y marcada extinción ondulante. La biotita es el tercer componente principal; se presenta en cristales tabulares de color castaño, con clivaje perfecto; además este mismo mineral se encuentra diseminado en pequeñas escamas junto al cuarzo y los feldespatos. Como minerales accesorios se encuentra clorita, apatita y magnetita.

El peso específico de este agregado pétreo granítico es de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

El agregado fino (Pasa Tamiz nº 10) proviene de la molien- da de esta roca granítica y su peso específico es también  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

El ensayo de absorción de agua practicado sobre el agre- gado grueso arrojó el valor 0,25 %.

### b) Descripción petrográfica del material cuarcítico

Esta roca sedimentaria se clasifica como Ortocuarcita y es característica de la zona de Chapadmalal.

Bajo la observación microscópica, presenta cuarzo como mineral más abundante que se encuentra como clastos sobrerredondeados o subangulosos con superficies exentas de altera-

ción; como minerales accesorios se observan escamas de mica, clorita y turmalina; todos estos clastos se encuentran cementados por ópalo y calcedonia, existiendo además una pequeña proporción de matriz arcillosa.

El peso específico de este material es  $2,53 \text{ g/cm}^3$ .

El agregado fino correspondiente, producto de la trituración de la ortocuarcita, posee un peso específico de  $2,64 \text{ g/cm}^3$ .

La absorción de agua es del orden de  $1,7 \%$ .

c) Descripción del material silíceo (natural)

Este material es típico de la zona del río Paraná, consistente en rodados silíceos, de cuarzo, redondeados o subredondeados, calcedonia de formas angulosas e irregulares y finalmente una pequeña proporción de rodados chatos cuya composición petrográfica corresponde a una Metacuarcita.

El peso específico de este agregado es  $2,61 \text{ g/cm}^3$ .

La arena natural utilizada es proveniente del río Paraná y su peso específico es de  $2,63 \text{ g/cm}^3$ .

La absorción de este material es  $0,52 \%$ .

---

EMULSION BITUMINOSA - GENERALIDADES

---

Es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles, una continua constituida por el agua, y otra discontinua formada por pequeños glóbulos de asfalto. Las partículas coloidales de betún asfáltico están dispersas en la fase acuosa que es el medio de suspensión. La viscosidad de la emulsión es la de dicha fase acuosa (aún para temperaturas del orden de  $3^\circ\text{C}$ ).

Debido a que el agua actúa como vehículo, las partículas de betún se disponen uniformemente sobre el agregado pétreo formando una película uniforme.

Existen dos tipos fundamentales de emulsiones, las catiónicas y las aniónicas, cuya diferencia radica en el tipo de agente emulsionante usado en su preparación.

En una emulsión catiónica las partículas de betún transportan una carga positiva que proviene del catión, absorbido del agente emulsionante catiónico, generalmente un compuesto de amonio cuaternario o una amina. En estas emulsiones catiónicas el proceso de ruptura depende principalmente de la absorción del agente emulsionante sobre la superficie del agregado (generalmente cargada negativamente) que conduce a la deposición del betún sobre la misma y permite que el agua se escurra. Por consiguiente un alto contenido de humedad del agregado no las afecta mayormente.

En cambio las emulsiones aniónicas no comienzan a romper hasta que una gran parte del agua se haya evaporado. Cuando el agua se elimina, las partículas de asfalto sufren una fusión y la primitiva película de asfalto y agua coloidal, es reemplazada por una película de asfalto puro que se deposita sobre la piedra.

Un alto contenido de agua sobre la piedra puede por lo tanto diluir la emulsión aniónica y demorar seriamente su rotura.

Es por ello necesario que el agregado pétreo posea la cantidad justa de humedad que permita un correcto mezclado.

También es posible que en algunas circunstancias la emulsión rompa demasiado rápido, trayendo aparejado una distribución no uniforme del ligante en la mezcla.

La norma B.S. 2542 divide las emulsiones en los siguientes tres grandes grupos de acuerdo a la estabilidad:

Clase I: rotura rápida

Clase II: rotura lenta (semiestable)

Clase III: rotura muy lenta (totalmente estable)

Estas variaciones en la estabilidad de la emulsión se consiguen variando la cantidad de estabilizador incorporado

a la misma.

La clase de emulsión elegida para mezclas con agregados húmedos está íntimamente vinculada con la graduación de los mismos, y más aún con la proporción de material fino. Generalmente las de la Clase II (semiestables) son utilizadas con agregados triturados, pero si las mezclas tienen material que pasa el tamiz n° 200 es necesario utilizar emulsiones de la Clase III.

En nuestro trabajo hemos empleado emulsión superestable tipo EBL<sub>2</sub> cuyas características son las siguientes:

Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (s).....	36
Contenido de betún y emulsivo, por 100.....	55
Residuo sobre tamiz n° 20, por 100.....	0,0
Demulsibilidad (50 ml) Cl <sub>2</sub> Ca 0,1 N.....	0,0
Ruptura con cemento, por 100.....	0,0
Mezcla con agua, coagulación apreciable, 2 h.....	Ninguna

#### Sobre residuo bituminoso

Penetración a 25°C.....	135
Ductilidad a 25°C (cm).....	150
Ensayo de Oliensis.....	Negativo

---

#### HUMEDAD DE MEZCLADO

---

Para lograr un correcto recubrimiento de las partículas de los áridos con la emulsión, es necesario que aquellos se encuentren ligeramente humedecidos.

Es sumamente importante la determinación del porcentaje adecuado de la humedad de mezclado, ya que si el material se encuentra demasiado seco, al incorporarle la emulsión, ésta puede roper antes de haberse distribuido uniformemente sobre los áridos; esta rotura ocurre aún incorporando un elevado porcentaje de emulsión asfáltica, si el agregado está pobremente humedecido.

Por otra parte un alto contenido de humedad trae aparejadas toda la serie de dificultades que provoca en la práctica una ruptura demorada; dichos inconvenientes pueden sintetizarse así:

- 1.- Perjuicio económico que provoca la demora del ingreso del equipo de compactación.
- 2.- Riesgo de que una precipitación imprevista produzca el lavado de la mezcla distribuída y sin compactar.
- 3.- Pérdida de parte del ligante debido al exceso de humedad de mezclado

El punto tercero afecta directamente a las características finales de la mezcla, es decir a su estabilidad, densidad, durabilidad, flexibilidad, etc., debido a que el exceso de agua provoca un adelgazamiento de la película de asfalto residual y al mismo tiempo un excesivo escurrimiento, que produce una disminución del porcentaje de betún en la mezcla.

De todos los procedimientos conocidos para la determinación del porcentaje mínimo de humedad de mezclado, el que aparentemente podría resultar más efectivo sería el que se basa en la superficie específica del agregado pétreo. No obstante, en la realidad se observa que juega un papel sumamente importante la absorción propia de cada material, la cual puede hacer variar en forma notable los porcentajes de humedad determinados por el citado método, aún en áridos que posean idénticas granulometrías pero que mineralógicamente sean de diferente naturaleza.

El Dr. Ingeniero Paul Kraemer de la Universidad Técnica de Karlsruhe ha realizado investigaciones sobre el tema y ha determinado coeficientes que aplicados a las fracciones entre tamices próximos, permiten hallar por integración el porcentaje total de humedad que requiere una mezcla de inertes "bajo condiciones preestablecidas". En base a sus investigaciones ha confeccionado la Tabla I.

Hemos hecho un análisis de dicha tabla y experimentado con los tres tipos de materiales a utilizar en este trabajo, es decir granito, cuarcita y agregado natural, llegando a la conclusión que los factores indicados resultan excesivos para estos materiales, por cuanto su aplicación conduce a por-

T A B L A I

<u>Pasa Tamiz</u>	<u>Retenido Tamiz</u>	<u>Cantidad de agua respecto a 100 partes de inertes</u>
	3/4"	4,0
3/4"	1/4"	5,5
1/4"	N° 10	5,7
N° 10	N° 40	7,6
N° 40	N° 80	10,8
N° 80	N° 200	11,4
<u>Fracción que pasa el tamiz N° 200</u>		
0,06	0,02	11,9
0,02	0,006	14,9
0,006	0,002	20,0
0,002	0,001	29,9

centajes de humedad elevados para mojar a los mismos, antes de agregarles la emulsión bituminosa.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que a los efectos de nuestra finalidad no es necesaria una extrema precisión en la determinación de la humedad apropiada para el mezclado, hemos estimado razonable la determinación en forma objetiva de los coeficientes a aplicar a cada una de las fracciones retenidas entre tamices próximos.

Para ello hemos procedido a la separación de dichas fracciones, incorporándole a continuación, a cada una, porcentajes crecientes de humedad hasta lograr la cantidad "mínima", que permitiera una correcta distribución de la emulsión sobre la superficie de los áridos, sin provocar la rotura de la misma.

Los factores hallados son los que se indican en la Tabla II

La diferencia que existió entre los porcentajes de humedad apropiada para los agregados granítico y silíceo fue tan pequeña que se estimó conveniente adjudicarles los mismos coeficientes para su determinación. Se incluyen asimismo en la tabla, los coeficientes requeridos para un filler calcáreo y una cal hidráulica que pasan el 85 % por el Tamiz n° 200.

El correcto comportamiento práctico de todos estos coeficientes, fue comprobado en la ejecución de los pavimentos urbanos de las siguientes localidades de la Provincia de Buenos Aires: 30 de Agosto, Saldungaray, Pellegrini y Tres Arroyos, donde se construyeron capas de rodamiento del tipo de la que estamos estudiando, es decir: concreto asfáltico, ejecutado y aplicado en frío.

En el caso particular de una de estas obras, diremos que antes de consultar al L.E.M.I.T., la Empresa Constructora adoptó en forma provisoria para la realización de la mezcla con agregado pétreo granítico y filler calcáreo, un porcentaje de humedad de aproximadamente 4,5 % referida al peso de áridos secos. - Aclaramos que de acuerdo con nuestra tabla dicho porcentaje resulta excesivo, ya que para los inertes utilizados correspondería aproximadamente el 2,8 % de agua de mezclado.

La excesiva cantidad de agua empleada, si bien hizo que

T A B L A II

Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Cantidad de agua respecto a 100 partes de inertes	
		Silíceo o granítico	Cuarcítico
3/4"	Nº 10	1,5	2,5
Nº 10	Nº 40	1,8	3,0
Nº 40	Nº 80	4,0	7,0
Nº 80	Nº 200	6,5	9,0
Filler calcáreo		20,0	20,0
Cal hidráulica		40,0	40,0

la mezcla fuera "muy trabajable" tornó dificultoso el ingreso del equipo compactador pues había que esperar más de 36 horas para comenzar a pasar el rodillo de 5 toneladas.

Por razones de fuerza mayor, la Empresa tuvo que reemplazar el agregado pétreo granítico por un agregado cuarcítico de idéntica granulometría, manteniendo el porcentaje de agua en 4 %.

La mezcla resultante fue igualmente trabajable, con la ventaja sobre la anterior de que su compactación pudo iniciarse a las pocas horas de distribuída.

La explicación surge inmediatamente: "De acuerdo con nuestros coeficientes (aplicando la Tabla II), el 4 % de humedad es el porcentaje correcto que le corresponde a la mezcla cuando se utilizan agregados cuarcíticos".

En la práctica es conveniente incrementar el porcentaje de humedad determinado en base a la Tabla II, en un 10 % a los efectos de cubrir posibles pérdidas por escurrimiento, evaporación, mojado de las paredes de la hormigonera, del alimentador, etc.

Asimismo debe tenerse presente en el cálculo, la humedad higroscópica que posee el agregado en el momento del trabajo (se recomienda hacer como mínimo 3 determinaciones diarias sobre la pila de acopio).

---

#### PROYECTO DE LA MEZCLA

---

Las buenas características de una mezcla tipo densa ejecutada en frío, con emulsión bituminosa, depende entre otros factores de la correcta composición del sistema agregado-agua-ligante.

Existe en todos los casos un porcentaje óptimo de ligante y agua para el mezclado, que nos permite obtener la máxima densidad aparente de una mezcla compactada, y como consecuencia su mayor estabilidad.

T A B L A III

Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	%	Agregado granítico		Agregado silíceo		Agregado cuarcítico	
			Coef. %	de humedad	Coef. %	de humedad	Coef. %	de humedad
3/4"	Nº 10	65	1,5	0,97	1,5	0,97	2,5	1,62
Nº 10	Nº 40	20	1,8	0,36	1,8	0,36	3,0	0,60
Nº 40	Nº 80	5	4,0	0,20	4,0	0,20	7,0	0,35
Nº 80	Nº 200	5	6,5	0,32	6,5	0,32	9,0	0,45
P. Nº 200 (Filler calcáreo)		5	20,0	1,00	20,0	1,00	20,0	1,00
Total:			2,85		2,85		4,02	

Los problemas que necesitan una definición previa para poder arribar a una correcta dosificación son: 1) granulometría conveniente de áridos; 2) porcentaje óptimo de agua para el mezclado; 3) porcentaje óptimo de ligante; 4) humedad óptima de compactación; 5) carga apropiada de compactación para la preparación de la probeta de laboratorio que nos permitirá formular la mezcla; 6) modo de aplicación de dicha carga; 7) ensayos mecánicos para determinar las características de la mezcla.

El punto 1 ya ha sido considerado en párrafos anteriores, y en base a lo expuesto en los mismos, se ha adoptado una zona de mezclas de inertes que se considera apropiada para el tipo de estructura que estamos estudiando.

Dentro de dicha zona hemos elegido una curva media (Figura 3), cuya composición granulométrica es la que se indica a continuación:

Pasa tamiz 5/4".....	100 %
Pasa tamiz 1/2".....	90 %
Pasa tamiz 3/8".....	80 %
Pasa tamiz 1/4".....	65 %
Pasa tamiz n° 10.....	35 %
Pasa tamiz n° 40.....	15 %
Pasa tamiz n° 80.....	10 %
Pasa tamiz n° 200 (filler calcáreo).	5 %

Se han determinado para esta curva media adoptada, los porcentajes de vacíos que poseen en estado suelto los tres tipos de materiales utilizados. El peso de la unidad de volumen de los mismos se realizó de acuerdo con la norma ASTM C.29/42, con la salvedad de que se imprimió al molde, un enérgico vibrado para facilitar el acomodamiento de las partículas.

Los valores obtenidos luego del ensayo fueron los siguientes:

Material	% de vacíos (vibrado)
Agregado granítico	25
Agregado cuarcítico	27
Agregado silíceo	20

Con respecto al punto 2, la cantidad óptima de humedad de mezclado que corresponde a la granulometría adoptada, ha sido determinada en base a la Tabla II cuya aplicación arroja para cada uno de los áridos, los porcentajes referidos al peso del agregado seco, que da cuenta la Tabla III.

Nos referimos a continuación, simultáneamente a los puntos 3, 4, 5 y 6, ya que los mismos se encuentran íntimamente vinculados entre sí.

Uno de los problemas de nuestra investigación consiste en determinar la carga máxima de compactación que es posible aplicar a la probeta de laboratorio, para lograr la máxima densidad sin que se produzca expulsión del sistema agua-emulsión por la colmatación de los vacíos.

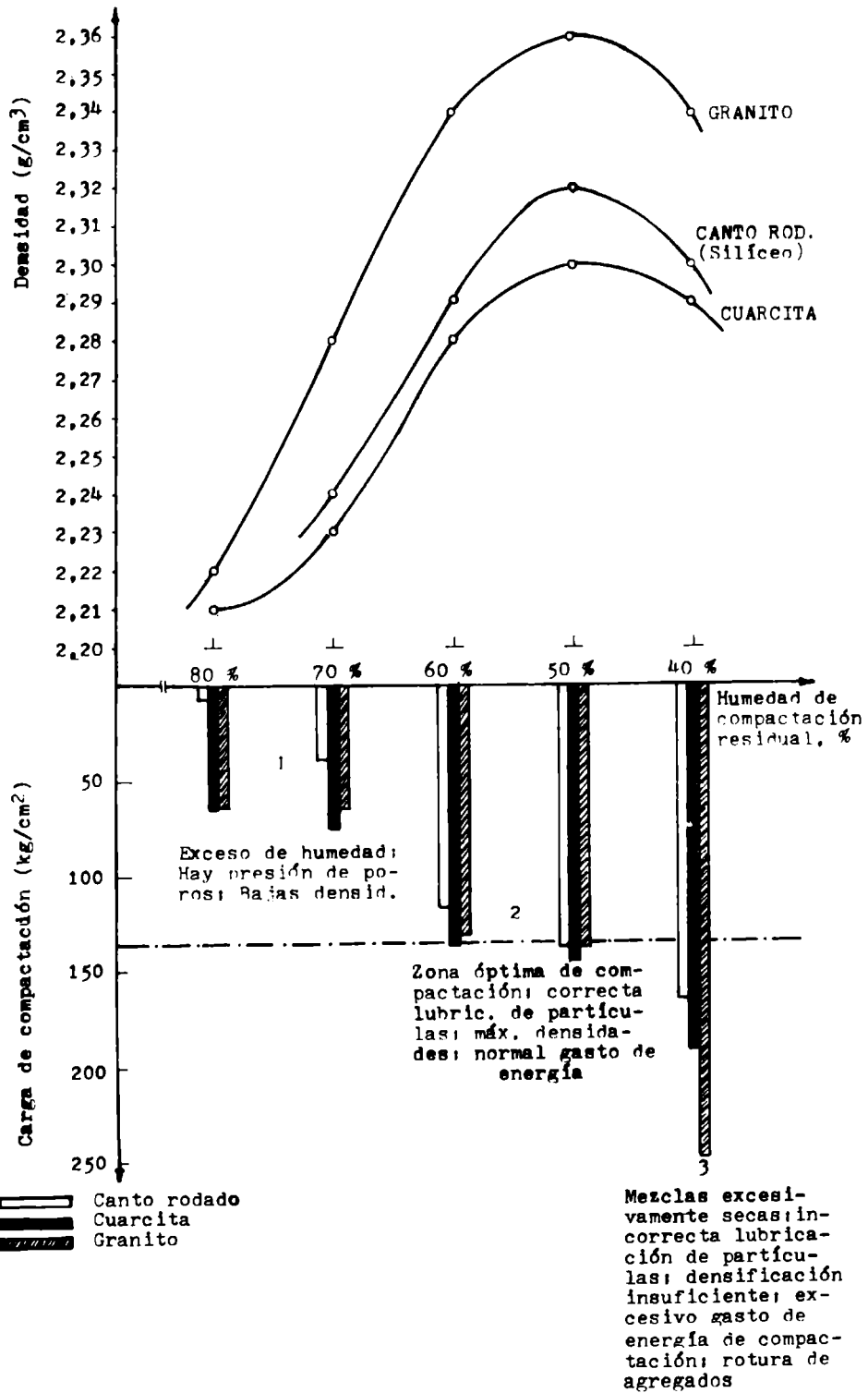
Una compactación prematura de la mezcla, es decir cuando ésta se encuentra aún en estado de excesiva fluidez, podría llegar a provocar, entre otros inconvenientes (como la pérdida del producto bituminoso), una densificación incorrecta debido a la aparición de presiones hidráulicas en el seno de la mezcla.

Por otra parte, si la mezcla se compactase muy seca, no tendría la lubricación conveniente para alcanzar la correcta densidad, ya que el aumento de la viscosidad del ligante y la fricción, dificultarían mucho el logro de la misma, requiriendo cargas considerablemente mayores que las necesarias para conseguir una correcta compactación en circunstancias normales. Ello puede observarse en la fig. 4 donde hemos llevado en ordenadas (hacia arriba) las máximas densidades que fue posible obtener en las mezclas empleadas, con los diferentes porcentajes de humedad residual (anotados en abcisas). Hacia abajo, también en ordenadas se han llevado las cargas de compactación necesarias para alcanzar dichas densidades máximas.

Ejemplo, cuando la mezcla ejecutada con agregado granítico se compactó conservando el 80 % de la humedad total incorporada (agua de mezclado más agua de la emulsión), sólo se consiguió alcanzar una densidad máxima de  $2,22 \text{ g/cm}^3$  y la carga requerida fue de  $63 \text{ kg/cm}^2$ .

A medida que se fue produciendo el secado de las mezclas, se fueron logrando mayores densidades necesitándose correspon-

Fig. 4.- Densidades aparentes variando el porcentaje de humedad residual. Carga de compactación aconsejada



dientemente mayores cargas de compactación.

Las máximas densidades se consiguieron en las respectivas mezclas, compactándolas con humedad residual del orden del 50 %, para lo cual hubo que aplicar cargas, que pueden uniformarse en  $135 \text{ kg/cm}^2$ .

Mayores pérdidas de humedad antes de compactar, no se justifican, pues se logran densidades menores y se requieren cargas mucho más elevadas.

El procedimiento seguido para poner en evidencia la vinculación existente entre la humedad de compactación, la carga, y la densidad fue el siguiente:

Se prepararon mezclas con cada tipo de agregado, empleando los respectivos porcentajes de humedad de mezclado que surgen de la Tabla II. En todos los casos se incorporó el 7,5 % de emulsión bituminosa superestable cuyas características se indicaron anteriormente. Este porcentaje de emulsión fue tomado en forma provisoria y surgió de la aplicación de la fórmula de McKesson para la granulometría adoptada.

Las respectivas probetas se compactaron con las cargas progresivas máximas que admitían, a medida que se iba produciendo la eliminación de la humedad, tratando de lograr en cada estado, la máxima densidad de la mezcla, y registrando la carga con la cual ésta era lograda.

Los resultados promedio fueron consignados en las Tablas IV, V y VI, adjuntas, donde se observa que llega un momento en que las respectivas probetas no se densifican más, aún con incrementos importantes de carga. Las máximas densidades se lograron con un determinado porcentaje residual de humedad y una cierta carga de compactación, valores éstos, que en general podríamos decir que no varían en forma significativa con la naturaleza del agregado.

Del análisis de las citadas tablas o de la figura 4, realizada con los valores de las mismas, se desprende que las condiciones de máxima densidad se consiguen en los tres tipos de materiales, cuando se compactan las correspondientes probetas con un 50 % de humedad residual y bajo una carga, que se puede generalizar, sin cometer un error apreciable, en  $135 \text{ kg/cm}^2$ .

T A B L A IV

CONCRETO ASFALTICO EN FRIO (COMPACTACION PROGRESIVA)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Altura inter. del molde (cm)	Peso del molde (g)	Peso de la mezcla (g)	Peso de la mezcla y molde (g)	Agua total (dato)	(4)-Humedad (a) evapora da (g)	Humedad (b) resp. a (5) % (g)	Altura del Pistón (1)-(8) (cm)	Altura de la prob. compac. (2) (cm)	Volu. prob. compac. sup. $\cdot$ x(9)(6)-(2) (cm <sup>3</sup> )	Peso prob. compac. (g)	Densid. prob. compac. (g/cm <sup>3</sup> )	Carga de compac. (total) (kg)	Carga de compac. (kg/cm <sup>2</sup> )
24	13,5	5 702	1 203	6 905	71,6								
					6 891	14	20	6,9	5,5	1 180	2,22	5 100	63,0
					6 883	22	30	7,1	518	1 131	2,28	5 200	64,2
					6 876	29	40	7,3	502	1 174	2,34	10 675	131,0
					6 869	36	50	7,4	495	1 167	2,36	11 000	137,0
					6 862	43,0	60	7,4	495*	1 160	2,34	20 000	247,0

OBSERVACIONES: Mezcla escurada con agregado granfítico, incorporándole el 2,85 % de agua para el mezclado y 7,5 % de emulsión.

Método Simplificativo:

21	13,5	5 714											
							50	7,4	495	1 167	2,36	11 000	137,0

OBSERVACIONES: La mezcla se compactó luego de evaporarle con calentador el 50 % de la humedad total.



**T A B L A VI**

**CONCRETO ASFÁLTICO EN FRÍO (COMPACTACION PROGRESIVA)**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Altura inter. del molde (cm)	Peso del molde (g)	Peso de la mezcla (g)	Peso de la mezcla y molde (g)	Agua total (dato)	(4)-Humedad (a) evaporada	Humedad (a) resp. a (5)	Altura del Piñón (cm)	Altura de la prob. (1)-(8) (cm)	Volu. prob. compac. sup. (9) (cm <sup>3</sup> )	Peso prob. compac. (6)-(2) (g)	Densid. prob. compac. (g/cm <sup>3</sup> )	Carga de compac. (total) (kg)	Carga de compac. (kg/cm <sup>2</sup> )
23	13,6	5 725	1 200	6 925	71,6								
				6 911	14,0	20	6,8	6,8	550,8	1 186	2,15	400	4,9
				6 903	22,0	30	7,1	6,5	526,5	1 178	2,24	2 500	30,9
				6 896	29,0	40	7,3	6,3	510,3	1 171	2,29	9 400	116,0
				6 889	36,0	50	7,4	6,2	502,2	1 164	2,32	11 200	138,0
				6 882	43,0	60	7,4	6,2	502,2	1 157	2,30	12 000	164,0

OBSERVACIONES: Mezcla ejecutada con agregado silíceo, incorporándole 2,85 % de agua para el mezclado y el 7,5 % de emulsión superestable.

**Método Simplificativo:**

20	13,6	5 748			50	7,4	6,2	502,2	1 164	2,32	11 200	138,0
----	------	-------	--	--	----	-----	-----	-------	-------	------	--------	-------

OBSERVACIONES: La mezcla se compactó luego de evaporarle con calorventilador el 50 % de la humedad total.

Los ensayos fueron realizados empleando moldes Marshall comunes, a cada uno de los cuales se les practicó en la pared inmediatamente por sobre la base, un orificio de 2 mm de diámetro que nos permitió visualizar la aparición de la primera gota de ligante al colmarse los vacíos de las probetas durante la compactación. La misma se realizó en forma estática utilizando una prensa con capacidad hasta 30 t, y empleando un pistón de acero, graduado al medio milímetro.

Resumiendo las conclusiones sacadas hasta este momento se tiene:

- 1) Al proyectar una mezcla tipo concreto asfáltico en frío con agregados graníticos, cuarcíticos o naturales (silíceos), se recomienda encuadrar las granulometrías dentro de los siguientes límites:

P. Tamiz	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200
(%).....	100	85-100	70-90	55-75	25-45	10-25	7-15	3-

- 2) La determinación del porcentaje apropiado de agua para humedecer los citados inertes antes de incorporarles la emulsión, puede hacerse, en función de la granulometría, aplicando la Tabla II.
- 3) La humedad de compactación que permite alcanzar la mayor densificación de las probetas de laboratorio elaboradas con cualquiera de los agregados estudiados, es del orden del 50 % de la humedad total que poseen las respectivas mezclas (es decir de la suma del agua de mezclado y la que posee la emulsión).
- 4) La carga que permite lograr las máximas densidades de dichas probetas de laboratorio (compactadas con el 50 % de humedad residual), puede generalizarse para cualquiera de las mezclas en 135 kg/cm<sup>2</sup>.
- 5) Con la técnica simplificada de dejarle perder de una sola vez el 50 % de humedad a las mezclas y luego compactarlas con 135 kg/cm<sup>2</sup>, se reproducen las características finales que se obtienen en las respectivas probetas, al dejarles perder progresivamente la humedad y compactarlas con cargas cada vez mayores.
- 6) Las conclusiones del punto 5) facilitan el trabajo de la-

boratorio, ya que al proyectar la mezcla, pueden moldearse directamente probetas con una carga de compactación de  $135 \text{ kg/cm}^2$  cuando la mezcla perdió el 50 % de la humedad total incorporada.

Queda por referirnos al porcentaje apropiado de emulsión bituminosa superestable que conviene incorporar a las mezclas. Al respecto cabe señalar que la norma British Standard 2542, recomienda porcentajes de emulsión que fluctúan entre 7,3 y 9,1 referidos al peso de los inertes.

Las especificaciones alemanas de la "Asociación de la Industria de asfaltos fríos" (3) aconsejan usar cantidades que oscilan entre el 4,75 % y 7 % del peso de los áridos (considerando que la emulsión contenga un 65 % de betún residual).

En la fig. 5, d) y e), se han volcado las características que presentan mezclas elaboradas con porcentajes variables de emulsión, compactadas en condiciones apropiadas, con carga estática de  $135 \text{ kg/cm}^2$ .

De dichos resultados se deduce que los porcentajes de emulsión con que se obtienen mejores estabilidades y densidades, oscilan entre el 7 % y el 9 %, siendo las variaciones dentro de esos valores muy poco significativas.

Los porcentajes de emulsión que corresponderían a las curvas granulométricas inferior y superior, que limitan la zona que se sugiere para trabajar con mezclas tipo concreto asfáltico en frío (fig. 3), son de acuerdo con la fórmula recomendada por el Asphalt Institute de 6,9 % y 8 % respectivamente.

Por nuestra parte opinamos que cuando se utilizan materiales graníticos, cuarcíticos o silíceos que caigan dentro de la zona aconsejada, deben emplearse cantidades de emulsión bituminosa superestable, comprendidas entre el 7,5 % y el 9 % respecto al peso de inertes. Paralelamente debe tratarse de que el porcentaje de vacíos de la probeta de proyecto curada, esté comprendido entre el 5 % y el 10 %, ello hará que sin llegar a constituir carpetas excesivamente permeables, se facilite el secado durante el primer período de colocación de la mezcla.

MEZCLAS C. AGREGADO	CUARCÍTICO								GRANÍTICO								SÍLICEO							
EMULSION EBL <sub>2</sub> %	5	7	7,5	8	8,5	9	11	5	7	7,5	8	8,5	9	11	5	7	7,5	8	8,5	9	11			
DENSIDAD LUEGO DE PESO CONST. (Gr/cm <sup>3</sup> )	2,45	2,48	2,24	2,22	2,22	2,22	2,18	2,25	2,30	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,31			
ESTAB. MARSHALL (Kg)	450	536	601	601	545	471	327	353	392	353	347	347	157	235	240	240	170	100						
FLUENCIA (0,01 <sup>o</sup> )	13	18	20	17	17	16	13	14	15	13	13	12	15	9	10	12	12	13	15	13				
VACIOS PROMEDIOS (%)	9,7								9,5								5,1							

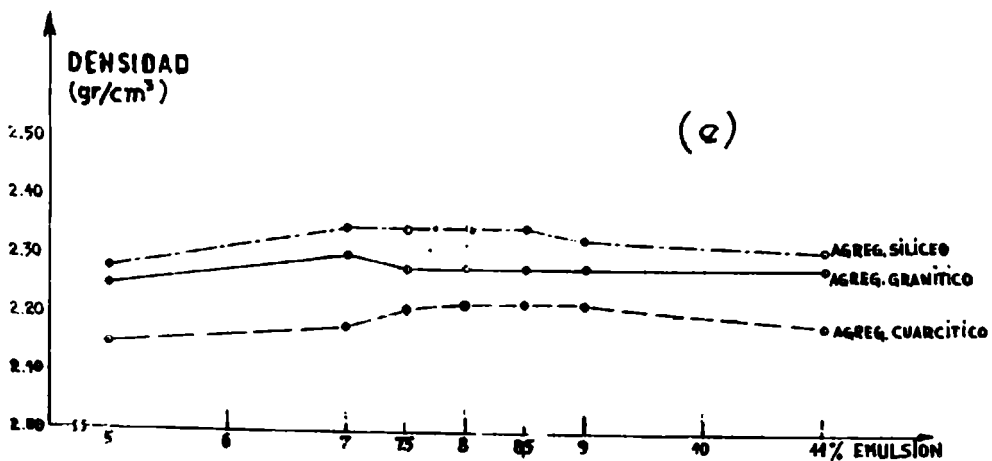
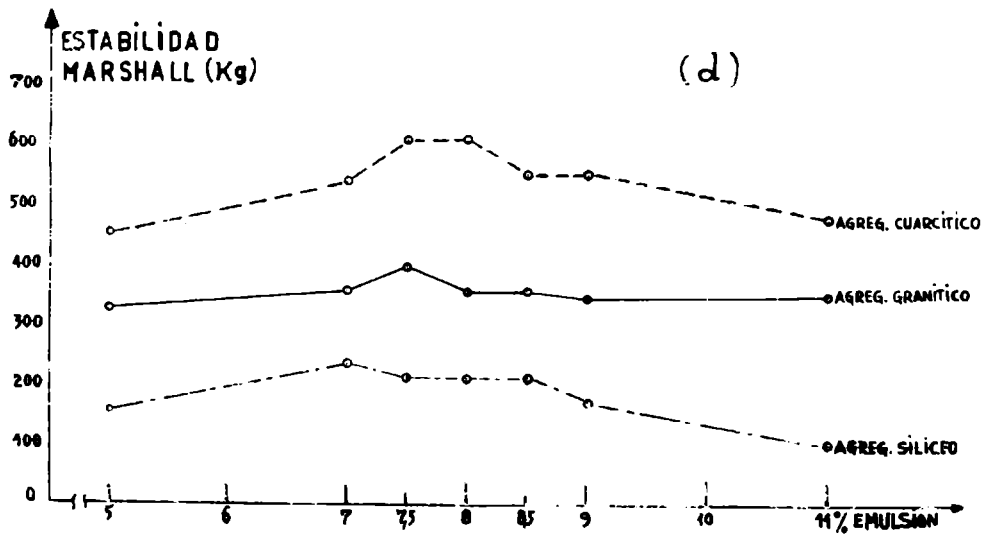


Fig. 5.- Variaciones de la estabilidad Marshall y de la densidad aparente, en función del porcentaje de emulsión (EBL<sub>2</sub>)

La medida de la estabilidad y fluencia por el método Marshall (45 minutos en agua a 60°C) sobre probetas compactadas con carga estática de 135 kg/cm<sup>2</sup> aplicada a razón de 5 mm/min y secadas con caloventilador hasta peso constante, es una forma aceptable de medir la calidad de la mezcla a los efectos de prever su comportamiento en servicio.

Si bien el tipo de mezcla y la forma de compactación de las probetas se apartan de lo preceptuado por el método Marshall, la experiencia ha demostrado que el moldeo realizado en la forma sugerida reproduce con bastante aproximación las condiciones logradas en campaña; por consiguiente una vez secada la probeta de laboratorio se juzga lícito aplicar el citado método para medir el esfuerzo bajo el cual el material compactado inicia la fluencia plástica en condiciones normalizadas de tiempo y temperatura.

Se consideran capacitadas para admitir un tránsito medio a las 48 horas de compactadas, las carpetas cuyas probetas de proyecto curadas, arrojen valores de "Estabilidad Marshall" superiores a 350 kg y fluencia comprendida entre 10 y 16 centésimos de pulgada.

Los agregados silíceos no son del todo apropiados para utilizar en este tipo de mezclas si no se les incorpora una cierta cantidad de material de trituración que mejore la fricción interna.

Numerosos ensayos triaxiales realizados con los tres tipos de mezclas estudiadas y con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica han arrojado resultados cuyos promedio indicamos en la tabla VII.

Los valores de cohesión (c) y de fricción interna ( $\phi$ ) consignados, nos permiten prever un buen comportamiento para mezclas elaboradas con agregados de trituración, y ratifican el criterio ya expresado de mejorar aquellas características intrínsecas cuando se utilicen agregados naturales.

T A B L A VII.

Mezclas con agregado:	Granítico		Cuarcítico		Natural (silíceo)	
	$\phi$ (°)	c (lib./pulg. <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (lib./pulg. <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (lib./pulg. <sup>2</sup> )
Emulsión super- estable (%)						
7	34	40	40	40	27	20
8	34	40	39	43	26	22
9	32	42	39	45	24	22

---

## TECNICAS CONSTRUCTIVAS

---

Dijimos al comienzo de este trabajo que el empleo de mezclas preparadas en frío con emulsión asfáltica ofrecía ventajas económicas. Mucho se ha escrito al respecto y no insistiremos con consideraciones ya expresadas por otros autores, simplemente recordaremos que es evidente que al no ser necesaria la planta asfáltica se reduce notablemente el costo unitario de la mezcla, contribuyendo también en tal sentido, el hecho de que el personal y el resto del equipo necesario son también menores.

Esto hace que este tipo de carpeta sea muy aconsejable cuando razones económicas o de volumen de obra lo requieran, y el tipo e intensidad del tránsito lo permitan.

Técnicamente, diremos que la elaboración de la mezcla es sencilla, y si no se dispone de planta con mezcladora a paletas puede recurrirse a hormigoneras comunes, preferiblemente con inversión de marcha para facilitar la descarga del material.

En caso de emplearse hormigonera conviene disponer los agregados pétreos gruesos y finos, en semicírculo en torno a la misma, de manera tal que la distancia de carga no pase de los 6 metros.

Debe disponerse también de un regulador automático de agua y un regulador manual de emulsión.

El personal mínimo requerido para elaborar la mezcla en obrador, puede ser el siguiente: cuatro ayudantes para carga y transporte de áridos, un ayudante para la incorporación de cal o filler y un maquinista.

Completan el personal, dos choferes para el transporte de la mezcla al terreno, un motoniveladorista, dos peones para colaborar en la distribución, un maquinista para aplanadora y uno para rodillo neumático.

La técnica a seguir para fabricar y colocar la mezcla

puede resumirse así:

Se vuelcan los inertes a la hormigonera, y luego de un breve mezclado en seco se les incorpora el agua; a continuación, una vez humedecidos se adiciona a los áridos la emulsión asfáltica.

El tiempo de mezclado depende del equipo empleado, oscilando en general entre 30 segundos y un minuto.

En virtud de que las mezclas conviene elaborarlas con una consistencia más bien seca, es conveniente el empleo de hormigoneras con inversión de marcha, de lo contrario es probable que haya que ayudar al material con pala o rastrillo para su descarga al camión.

En el caso de utilizarse mezcladoras con doble eje a paletas, podrá trabajarse con la humedad que surge de la aplicación de la Tabla II para la granulometría adoptada.

Si se emplean hormigoneras comunes puede ser necesario incrementar dicha humedad hasta un 10 % para compensar posibles pérdidas y por ser el mezclado menos enérgico.

Totalizada la carga del camión, el mismo traslada la mezcla a la cancha y mediante simple vuelco (luego que la inclinación de la caja alcanza aproximadamente un ángulo de 60°) se deposita el material en el sitio indicado, debiendo quedar la caja absolutamente limpia.

El ciclo se repite (utilizando 2 camiones) hasta completar los montones necesarios para el tramo a pavimentar.

Completada la descarga del material se procede a su desparramo con motoniveladora, ya que su consistencia lo permite, corriéndolo en la misma forma que si se tratase de un suelo y distribuyéndolo en todo el ancho de la calzada.

Las sucesivas idas y vueltas de la motoniveladora, van compactando en cierto modo el material en capas, corrigiéndose en gran parte las imperfecciones de la base.

Es imprescindible la colocación de testigos para la vigilancia de espesores, así como también la labor de dos peones para la limpieza de bordes y complemento del trabajo de la moto a fin de corregir alguna imperfección en puntos poco acce-

sibles.

Terminada la distribución, operación que puede realizarse en medio día, la carpeta debe quedar totalmente conformada y compactada en parte; en ese momento comenzará su trabajo la aplanadora, debiendo la mezcla tener una humedad residual del 50 % al 60 % de la total.

En esas condiciones el material es perfectamente amasable e irá cerrando en forma homogénea. No obstante, en algunas zonas de acuerdo a como haya sido distribuída, puede dificultarse o demorarse el cierre de la mezcla, dando la impresión de falta de mortero. Para solucionar este problema, es conveniente incrementar durante la compactación, el humedecimiento de los cilindros de la aplanadora, notándose un refluir hacia la superficie de la carpeta que llena los huecos existentes.

Es conveniente no efectuar más de 4 ó 5 pasadas iniciales con la aplanadora por cuanto un refluir excesivo de la mezcla puede provocar una película de partículas finas que por no estar totalmente cortada la emulsión, puede desprenderse o levantarse; además un sellado prematuro de la superficie dificultaría el secado.

Debe suspenderse la compactación entre 6 y 8 horas y luego continuarse con un enérgico cilindrado de aplanadora y rodillo neumático combinados, durante 4 horas, a reducida velocidad.

Al cabo de dicho período es muy probable que la carpeta no denote ya más la acción de los elementos de compactación, pudiendo en tal caso ser librada al tránsito sin ningún inconveniente.

A continuación se hace una breve reseña de las características particulares de algunas obras donde se han ejecutado carpetas de concreto asfáltico en frío, bajo el procedimiento que se sugiere en este informe.

1.- Pavimento urbano de la localidad de Pellegrini (Prov. Bs. As.)

Equipo

1 Hormigonera de 350 l (25 r.p.m.)  
1 Tractocargador  
2 Camiones volcadores  
1 Motoniveladora  
1 Aplanadora 8 t'  
1 Tractor con rodillo neumático  
Elementos varios

Personal

Obrador 5 cargadores  
1 maquinista  
1 ayudante

Camino Distribución 1 motoniveladorista  
2 ayudantes

Compactación 1 maquinista (aplanadora)  
1 maquinista (rodillo neumático)

Dosificación de la mezcla

Binden granítico (9-19)..... 35 %  
Binden granítico (3-9)..... 15 %  
Arena silícea (argentina)..... 9 %  
Arena de médanos..... 6 %  
Arena granítica..... 32 %  
Cal hidráulica..... 3 %

Granulometría final de la mezcla de inertes

Pasa Tamiz 1/2"	3/8"	1/4"	n° 4	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200	
(%).....	100	85,0	64,3	58,4	42,2	23,1	9,4	4,2

### Agua para el mezclado

3,8 % del peso de inertes

Emulsión bituminosa superestable EBL<sub>2</sub> (8 % del peso de inertes)

Resultados promedio de probetas moldeadas con 135 kg/cm<sup>2</sup> luego de perder el 50 % de la humedad total; secadas en estufa a 60°C hasta peso constante y ensayadas por el método Marshall luego de permanecer sumergidas en agua a 60°C durante 45 minutos.

Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ).....	2,30
Estabilidad Marshall (kg).....	450
Fluencia (0,01").....	11
Vacíos (%).....	7

### Producción y construcción

La producción alcanza aproximadamente 4,5 m<sup>3</sup> por hora (10 000 kg/h).

El bajo rendimiento, que se estima en un 50 % de lo normal, se debió a dificultades en la descarga del material por su adherencia a las paredes de la hormigonera. Contando con una máquina adecuada de descarga por inversión podría elevarse el rendimiento al teórico.

La descarga del material para pavimentar cuadras de 120 m de largo por 11 m de ancho (incluido bocacalles) se completó en medio día.

La distribución del material con motoniveladora se realizó en un plazo de 2 horas.

Conformada la calle se hicieron 5 pasadas de aplanadora de 8 t' sobre toda la superficie. (La mezcla tenía en ese momento entre el 60 y el 50 % de la humedad total).

Al día siguiente se continuó con un enérgico cilindrado de aplanadora y rodillo neumático combinados durante 4 h al cabo de las cuales se libró inmediatamente al tránsito.

### Observaciones

Estando distribuída la mezcla en montones para toda una cuadra, se produjo una lluvia de 60 mm no habiéndose alterado en absoluto dicha mezcla.

En otra oportunidad una precipitación de regular intensidad caída durante la distribución y compactación no ocasionó lavado en el material, pudiéndose finalizar las tareas sin ningún inconveniente.

### 2.- Pavimento urbano en la ciudad de Tres Arroyos (Prov. Bs. As.)

#### Equipo

1 Hormigonera de 500 l (Capacidad útil 350 litros)  
1 Pala mecánica  
1 Topadora  
1 Motoniveladora  
2 Camiones volcadores  
1 Aplanadora de 3,5 t'  
1 Aplanadora de 10 t'  
Elementos varios

#### Personal utilizado

Obrador 3 cargadores (con carretillas)  
1 maquinista  
1 ayudante

Cancha Distribución 4 peones  
1 capataz

Compactación 1 maquinista (aplanadora pequeña)  
1 maquinista (aplanadora 10 t')

#### Dosificación de la mezcla

Granza granítica..... 78 %  
Arena silíceas..... 20 %  
Cal hidráulica..... 2 %

### Graunulometria final de la mezcla de inertes

Pasa Tamiz	1/2"	1/4"	n° 4	n° 10	n° 40	n° 80	n° 200
(%).....	100	72	61	36	14	7	4

### Agua para el mezclado

3,7 % del peso de inertes

Emulsión bituminosa superestable EBL<sub>2</sub> 9 %

Resultados promedio de probetas moldeadas en las mismas condiciones de la Obra Pellegrini

Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ).....	2,24
Estabilidad Marshall (kg).....	400
Fluencia (0,01").....	13
Vacíos (%).....	8,5

### Producción y construcción

La producción fue aproximadamente de 4,5 m<sup>3</sup>/h, que para una jornada de trabajo de 8 horas equivale a una superficie pavimentada de 500 m<sup>2</sup> (la mezcla fue distribuida en un espesor de 7 cm, que por posterior compactación quedó reducido al espesor proyectado de 5 cm).

Cabe mencionar que con el mismo personal de cancha podría haberse pavimentado una superficie de alrededor de 800 m<sup>2</sup> diarios con sólo aumentar la producción de mezcla, pero ello no fue posible por las mismas razones señaladas en la obra anterior.

El ancho de calle es de 9 m y se pavimentó por media calzada.

Los camiones volcaron directamente sobre la base (tosca mejorada con cemento) y se distribuyó la mezcla pasando un gálibo de madera dura que permitió conformar la misma en una capa de espesor uniforme de 7 cm. Este gálibo asimismo originó por vibración un primer acomodamiento del material.

En períodos de temperatura media variable entre 20 y 25°C,

se inició la compactación a las 24 horas de distribuída la mezcla con el rodillo de 2,5 t', cuando aquélla conservaba aproximadamente el 50 % de la humedad total incorporada. Cabe señalar que la humedad ambiente en esa época osciló entre 50 y 70 %.

Transcurridas otras 24 horas se entró con el rodillo de 10 t' observándose que 5 ó 6 pasadas del mismo eran suficientes para lograr una adecuada densificación de la mezcla. Ensayos posteriores demostraron que a las 72 horas de distribuída la mezcla había perdido alrededor de 95 % de la humedad total.

El librado al tránsito, una vez finalizada la compactación, no ofreció ningún inconveniente, y fue posible observar que aún el tránsito de camiones con acoplado no afectaron a la carpeta recientemente construída.

Creemos importante destacar que en épocas menos propicias para este tipo de trabajo, con temperaturas medias comprendidas entre 10-18°C, la deshidratación de la mezcla se demoró, por lo que fue necesario esperar alrededor de 48 horas a partir de la distribución del material, para poder iniciar la compactación.

Por otra parte se ha observado que la lluvia no perjudicó sensiblemente a la mezcla recién distribuída ya que solamente provocó un lavado superficial que desapareció luego por el posterior trabajo de cilindrado.

Las mezclas empleadas en las capas de rodamiento de los pavimentos urbanos de las localidades Saldungaray y 30 de Agosto, ubicadas en la Provincia de Buenos Aires, fueron también estudiadas por el L.E.M.I.T. y encuadradas dentro de los lineamientos establecidos en el presente trabajo.

La ejecución de dichas carpetas se realizó en forma similar a la ya descrita para la obra de la localidad de Pellegrini; observándose hasta el presente un comportamiento satisfactorio.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

- 1) Bitumen und Asphalt-taschen-buch (Arbeitsgemeinschaft der Bitumen Industrie) - Hamburg.
- 2) Temme H.- Gestein im Strassenbau (1963).
- 3) Expecificación sobre construcción de calles y caminos con emulsión bituminosa. Fachverband der Kaltasphaltindustrie, Alemania Occidental.
- 4) British Standards, 2545 - Recommendations for the use of bitumen emulsion (anionics) for roads.
- 5) Asphalt Institute, U.S.A. - Constructions Specifications.

Agradecimiento.- Los autores agradecen la colaboración del Ing. Felix J. C. Hicke, quien tuvo a su cargo la preparación de las probetas utilizadas en los ensayos.

Nota.- Este trabajo fue presentado al Simposio de Pesquisas Rodoviaras, Río de Janeiro, julio de 1967, y una comunicación posterior a la XV Reunión del Asfalto, Mar del Plata, 1968.

El Ingeniero Civil Oscar Luis Ciafardo, coautor del mismo, pertenece al Departamento Pavimentos Urbanos de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.

**COMPORTAMIENTO EN SERVICIO Y EN ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE PINTURAS PARA DEMARCACION  
DE FRANJAS DIVISORIAS DE TRANSITO**

**Dr. Walter O. Bruzzoni  
Dr. Vicente J.D. Rascio  
Tco.Qco. Jorge O. Tricerri**

**Serie II, nº 167**

---

## INTRODUCCION

---

Es ampliamente reconocido el hecho de que la correcta marcación de las zonas de circulación en caminos y calles facilita y ordena el desplazamiento de vehículos y peatones y tiende a reducir el número de accidentes de tránsito. Esto hace que la adopción de tal práctica constituya un factor esencial de seguridad.

El incremento experimentado en nuestro medio, en los últimos años, por el número de vehículos en circulación, obliga a pensar seriamente en el problema de la marcación de franjas de tránsito, imprescindible para lograr las condiciones de seguridad mencionadas.

Para tal fin se utilizan en la actualidad diferentes productos, de los cuales las pinturas, por razones económicas, son los más comunes. Una durabilidad mayor, aunque a mayor costo, se consigue adhiriendo láminas de materiales plásticos o aplicando productos termoplásticos mediante dispositivos especiales (1).

Resulta evidente que una pintura para demarcación de franjas de tránsito deberá presentar una durabilidad no inferior a un año para que su empleo pueda considerarse eficiente (mantenimiento de una buena visibilidad durante ese lapso), económico y de posible realización práctica, teniendo en cuenta la cantidad de kilómetros a marcar o remarcar anualmente. Investigadores entre los que se encuentran Gault, Hamilton, Carrow y George (2, 3) consideran que los requisitos más importantes que debe reunir una buena pintura de este tipo son los siguientes:

- a) Presentará buenas características de aplicación, propiedad que está gobernada principalmente por la consistencia del producto.
- b) Será de rápido secado, factor de gran importancia en este caso particular. El tiempo de secado de la pintura deberá ser

corto (apenas unos pocos minutos) con el objeto de evitar demoras en librar al tránsito los lugares marcados, lo que provocaría aglomeraciones imprevisibles en su magnitud. El tiempo de secado está determinado principalmente por la volatilidad del solvente y por la naturaleza del vehículo.

c) No deberá producir afloramiento del asfalto. Esta propiedad es función del tipo de solvente usado y de su velocidad de evaporación. Todos los solventes comunes de estas pinturas disuelven el asfalto; por lo tanto deberá evitarse el uso de aquellos que evaporan lentamente.

d) Deberá presentar buena durabilidad en servicio tanto sobre pavimento asfáltico como sobre hormigón; durabilidad que está determinada por las propiedades de los componentes de la pintura y por el espesor de la película depositada. El vehículo de la pintura deberá conferirle buenas propiedades de adhesión al pavimento, dureza adecuada y flexibilidad para acompañar los movimientos de la base. Deberá presentar un mínimo de deterioro por abrasión o desprendimiento (chipping) como consecuencia del pasaje de vehículos.

e) Poseerá buenas características de visibilidad. La visibilidad diurna es función de la pigmentación y no presenta serios problemas siempre que la pintura no retenga suciedad como consecuencia del tránsito; la visibilidad nocturna se logra incorporando esferas de vidrio de características y dimensiones apropiadas.

Es evidente que estas propiedades particulares no pueden ser satisfechas por los productos corrientes o de uso general existentes en el mercado, y que se deberá recurrir a pinturas especiales formuladas para este fin. Actualmente se están utilizando en el extranjero pinturas, cuyos vehículos están elaborados sobre la base de resinas alquídicas modificadas por caucho clorado e isomerizado o resina indeno-cumarona, polímeros de estireno butadieno, etc., habiéndose efectuado también experiencias a base de resinas epoxy (4). Una pintura correctamente formulada deberá proporcionar resultados satisfactorios tanto sobre pavimento asfáltico como sobre hormigón.

La idea de efectuar en el LEMIT el presente trabajo es una consecuencia directa de las consultas realizadas en diferentes oportunidades por la Dirección de Vialidad de la Pro-

vincia de Buenos Aires, en el sentido de establecer una exigencia mínima o especificación para la adquisición de este tipo de materiales. Resultaba evidente que ello no podía realizarse en base a ensayos efectuados sobre muestras aisladas, por lo cual se programó las siguiente tarea:

- a) El estudio comparativo de los materiales elaborados por la industria nacional, estableciendo fundamentalmente su comportamiento en servicio, y buscando reproducir dichos resultados mediante métodos acelerados de laboratorio, que permitieran emitir juicio sobre sus características en un lapso breve.
- b) El estudio de las variables a considerar en la formulación de las pinturas para franjas de tránsito, buscando la máxima durabilidad en servicio.

El presente informe se refiere a los resultados obtenidos en relación al punto (a).

---

#### MATERIALES ENSAYADOS

---

Siete firmas locales remitieron, a solicitud del LEMIT y de la Dirección de Vialidad, un total de 25 muestras de pintura; cinco de color amarillo (muestras n° 2, 9, 11, 13 y 15) y las restantes de color blanco. Se estudió además el comportamiento de una muestra preparada en el LEMIT (n° 22) que corresponde a un esmalte blanco para uso exterior con vehículo formulado en base a resina epoxy esterificada con ácidos grasos de aceite de linaza, y el de una muestra de procedencia extranjera (n° 16) que tiene incorporadas esferas reflectantes, facilitada por la repartición mencionada más arriba.

---

#### ENSAYOS EN SERVICIO

---

Se efectuaron dos ensayos, consistentes en aplicar fran-

jas de pintura de 15 cm de ancho, en sentido normal a la dirección del tránsito y con una separación de 30 cm entre sí, en zonas previamente elegidas por las características del pavimento (asfalto y hormigón) y por la cantidad y variedad de vehículos que circulan por las mismas.

#### Ensayo n° 1

Se realizó en el camino Centenario, km 22, en jurisdicción de Gutierrez (Berazategui); las pinturas se aplicaron entre las 11 y las 14 horas del día 27-V-63, con sol y luego de haber procedido al barrido del pavimento a fin de eliminar partículas extrañas (fig. 1). No se realizó ninguna limpieza especial por cuanto ello no puede tampoco ser efectuado en la realidad. Las pinturas fueron libradas al tránsito luego de 3 horas de aplicadas, y la primera precipitación pluvial se registró los días 9 y 10-VI-63 (13 días después), con 34,3 mm. El detalle de la lluvia caída durante la realización del ensayo se indica en las tablas II y III.

#### Ensayo n° 2

En la ruta n° 2 (Buenos Aires - Mar del Plata) en una zona próxima al cruce de la misma con la avenida 44 de acceso a La Plata (Etcheverry), km 58; se pintaron las franjas en la mañana del día 20-XI-63, con sol, se libraron al tránsito luego de 3 horas y la primera lluvia se registró el día 24, con 19,0 mm (tabla IV).

El extendido de las franjas se realizó en ambos casos mediante un dispositivo "Line O. Graph" construido en el LEMIT (fig. 2), sobre la base del diseño que figura en un trabajo de Lyon y Robin (5) publicado en "Proceeding of the 29th Annual Meeting of The Highway Research Board" (1949). El mismo consta de una caja cuya base está formada por planchuelas inclinadas que apoyan sobre el pavimento y que pueden girar sobre un eje horizontal; ello les permite adaptarse a las irregularidades del pavimento. La pintura es distribuida por un rodillo constituido por arandelas con libre movimiento de rotación alrededor de otro eje horizontal, tal como puede observarse en la fig. 3. En la mayoría de los casos fue necesario ajustar la consistencia para lograr una franja uniforme. Únicamente en el caso de la muestra n° 16 (con esferas reflectantes) fue necesario retocar la franja con pincel, por cuanto las citadas esferas traban el rodillo del extendedor y dificultan la aplicación.

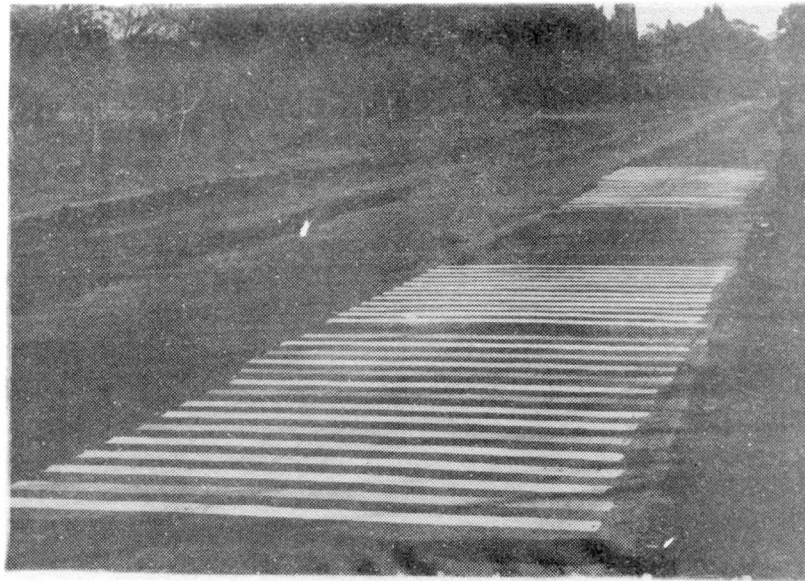


Fig. 1.- Vista panorámica de una de las zonas de ensayo (Camino Centenario)

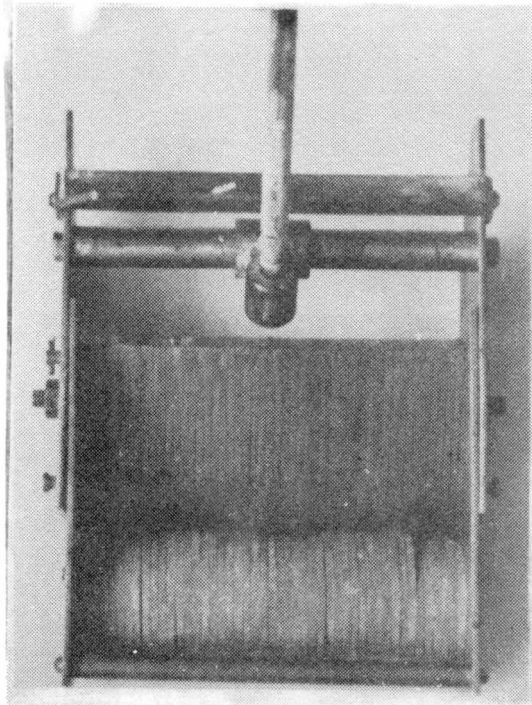


Fig. 2.- Extendedor Line O. Graph



Fig. 3.- Aplicación de las pinturas con extendedor

El espesor de película de las diferentes pinturas no pudo determinarse sobre el pavimento debido a la irregularidad de la superficie del mismo; ello se obvió aplicando una franja similar sobre un panel de acero, y midiendo el espesor de la misma con un medidor magnético (Elcometer). El espesor del film seco oscila entre 75 y 90 micrones, no incluyéndose la muestra n° 16 que posee esferas reflectantes.

El número de vehículos que circuló diariamente a partir de la iniciación de los ensayos se estableció mediante sendos contadores instalados por la Dirección de Vialidad. El promedio de circulación de ambas zonas oscila entre 2 350 y 2 550 vehículos por día, de acuerdo con el siguiente detalle:

CAMINO CENTENARIO

Días	Total acumulativo	Promedio diario
1	940	940
3	5 860	1 953
10	25 900	2 590
20	54 500	2 725
35	86 800	2 480
50	124 400	2 489
80	185 100	2 314
110	255 600	2 324
160	370 200	2 314
200	462 900	2 315
250	590 300	2 361
300	726 000	2 420
365	931 200	2 551

RUTA N° 2

Días	Total acumulativo	Promedio diario
1	560	560
3	4 050	1 350
10	15 500	1 550
20	36 427	1 821
35	69 400	1 983
50	117 500	2 350
80	200 500	2 507
110	313 500	2 850
160	406 900	2 543
200	485 900	2 429
250	587 600	2 350
300	702 500	2 341

La observación de las franjas se realizó inmediatamente después de la aplicación, registrándose el aspecto general de la película sobre ambos tipos de pavimento, (tabla I) y estableciéndose los casos donde se observaba mala nivelación (muestra 6), afloramiento del asfalto (muestras 5 y 22) o cuarteado de la película sobre asfalto (muestras 3, 4, 5, 10, 25, 26).

Posteriormente se efectuaron registros de abrasión y de desprendimiento (chipping) luego de 1, 3, 10, 20, 35, 50, 110, 160, 200, 300 y 365 días de exposición, de acuerdo con los lineamientos de la norma ASTM D-713 (6), a fin de establecer comparativamente el comportamiento de las pinturas. Para que la observación no estuviera excesivamente influida por la apreciación personal del operador, se fotografiaron las zonas de mayor tránsito, dentro de la franja, empleando una cámara con lente de aproximación a una distancia de 0,50 m. Las fotografías obtenidas se compararon con las fotografías patrón de las normas ASTM:

D-913-51 T Chipping (7), cuyos valores corresponden a los siguientes porcentajes de superficie intacta:

8	97 por ciento
6	92 por ciento
4	77 por ciento
2	60 por ciento

asignándose el valor 10 a la película sin "chipping".

D-821-47 T Degree of Abrasion and erosion (8), donde el valor 8 corresponde al menor deterioro y el 2 al máximo, siendo 10 el valor del film exento de desgaste.

De esta manera se ha preparado un registro con un total de 580 fotografías que corresponden al estado de la película de las muestras ensayadas al cabo de diferentes períodos de tiempo. Los valores numéricos obtenidos para cada muestra se han resumido en las tablas II, III y IV. Los registros se efectuaron para cada pintura y tipo de falla, hasta llegar al valor 2, que se tomó como límite para la observación.

Del examen de los resultados obtenidos se deduce que el comportamiento en servicio de las pinturas tiene estrecha vinculación con el tipo y las características del pavimento que sirve de soporte:

a) Camino Centenario.

Sobre hormigón el chipping constituye la única falla presentada por las muestras (tabla II), observándose un deterioro rápido (dentro de los tres meses) de 24 pinturas ensayadas; sólo las muestras nº 17, 16 y 20 (11,1 % del total) presentan valores de chipping 4; 2 y 2 respectivamente luego de 110 días de exposición (entre 60 y 77% de la superficie total intacta), mientras que para las restantes dicho valor es inferior a 2 (fig. 4).

Puede estimarse en 110 días el límite de duración de estas pinturas sobre dicho pavimento de hormigón, (fig. 4) ya que a los 160 días (observación siguiente) los valores de chipping registrados resultaron inferiores a 2. El comportamiento a lo largo de todo el ensayo se aprecia en el gráfico de la fig. 5.

Sobre pavimento asfáltico (tabla III) la durabilidad de las pinturas es apreciablemente mayor. Con excepción de las

T A B L A I

ENSAYO EN SERVICIO. ASPECTO DE LAS FRANJAS DESPUES DEL SECADO DE LA PINTURA

Fabricante	Muestra Nº	Color	Aspecto sobre pavimento asfáltico	Aspecto sobre pavimento de hormigón
A	1	blanco	bueno	bueno
	2	amarillo	bueno	bueno
	3	blanco	regular (cuarteado)	bueno
B	4	blanco	regular (cuarteado)	bueno
C	5	blanco	regular (cuarteado, poco afloramiento de asfalto)	bueno
	6	blanco	malo (mala nivelación)	malo (mala nivelación)
D	7	blanco	bueno	bueno
	8	blanco	bueno	bueno
	9	amarillo	bueno	bueno
	10	blanco	regular (cuarteado)	bueno
	11	amarillo	bueno	bueno
	12	blanco	bueno	bueno
	13	amarillo	bueno	bueno
	14	blanco	bueno	bueno
	15	amarillo	bueno	bueno

16	blanco	bueno	bueno
17	blanco	bueno	bueno
18	blanco	bueno	bueno
19	blanco	bueno	bueno
20	blanco	bueno	bueno
21	blanco	bueno	bueno
F **	blanco	regular (afloramiento de asfalto)	bueno
G	blanco	bueno	bueno
23	blanco	bueno	bueno
24	blanco	bueno	bueno
25	blanco	regular (cuarteado)	bueno
H	blanco	regular (cuarteado)	bueno
26	blanco	bueno	bueno
I	blanco	bueno	bueno
27	blanco	bueno	bueno

\* Muestra de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires

\*\* Muestra preparada en el LEMIA

Nota: En esta tabla se indican con una letra los 9 fabricantes intervinientes, incluyendo la muestra de procedencia extranjera (E), proporcionado por la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (D.V.B.A.). Los números 1 a 27 identifican cada una de las muestras ensayadas.

muestras 5 y 6, que quedan rápidamente descartadas dentro de los 50 días de ensayo; a los 110 días encontramos 16 muestras con valores de abrasión o chipping entre 8 y 2; ese número se reduce a 9 muestras a los 160 días, 8 a los 200, 7 a los 250 y 2 a los 300 y 365 días. En la tabla citada se ha consignado la observación efectuada sobre la falla predominante ya que el registro de las dos fallas simultáneamente sobre una misma película de pintura sólo puede hacerse en las primeras etapas del ensayo. A partir de los dos meses el chipping dificulta la observación de la abrasión y vice-versa.

En este pavimento asfáltico 15 muestras presentan predominantemente abrasión (55,5 %) y 12 chipping (44,5 %), tal como se indica en detalle en la tabla III. Es evidente que la adhesividad de la película de pintura es mayor sobre pavimento asfáltico que sobre hormigón, lo que trae como consecuencia una mayor durabilidad de la pintura, que se traduce en el mantenimiento de las condiciones de visibilidad o de adecuado señalamiento durante más tiempo.

Desde este punto de vista, las muestras 22 (LEMIT) y 18 (Fabricante A) son las que mejores características presentan al cabo de 300 y 365 días de ensayo (fig. 6 y 7) ya que no solamente los valores de chipping son respectivamente de 4 y 4-2, sino que también el aspecto general de la franja puede ser calificado como muy bueno. Teniendo en cuenta las exigencias del ensayo, prácticamente no se observan diferencias sensibles entre la zona de mayor tránsito y el resto de la franja. Dichas pinturas, aplicadas en forma de franja central de señalamiento en un camino con carpeta asfáltica en buenas condiciones deberían exceder el año de duración sin deterioro manifiesto.

Características algo inferiores presentan las pinturas n° 8 (fig. 8), 12 y 13 (fig. 9), 16 y 17 (fig. 7). Su duración en las condiciones del ensayo puede ser estimada en 250 días; la franja presenta aspecto general bueno, y la zona de tránsito manifiesta mayor deterioro que en el caso anterior. Cualquiera de estas últimas muestras debería satisfacer las exigencias de uso normal en un camino.

Es importante consignar que la clasificación que surge de la comparación del estado de la zona de mayor tránsito con las fotografías tipo ASTM, coincide con la observación o la

impresión visual panorámica del conjunto de la franja.

Esto puede corroborarse comparando las fotografías que anteceden con las obtenidas con lente de aproximación, que también se incluyen, y que corresponden a 300 y 250 días de exposición para las mismas pinturas (fig. 10 a 12). El comportamiento durante 250 días, sobre este pavimento asfáltico, ha sido representado gráficamente en las figuras 13 y 14, considerando separadamente las muestras que presentan abrasión como falla predominante (pinturas 12, 13 y 17) y aquellas con chipping (pinturas 8, 16, 18, 22 y 24).

b) Ruta nº 2:

El ensayo en la zona elegida incluyó, como ya se ha indicado, el extendido de franjas sobre hormigón y sobre asfalto. Lamentablemente por efectos de la elevada temperatura ambiente se produjo el ablandamiento de la capa asfáltica superficial del segundo de los pavimentos mencionados, inconveniente que trajo aparejada la imposibilidad de practicar observaciones sobre la zona de tránsito, debido a la remoción de las pinturas. Por ello no son consideradas las mismas en esta exposición, pero queda como saldo positivo del inconveniente producido, el hecho de llamar la atención sobre un aspecto muy importante del problema, el estado del pavimento asfáltico, que puede tener una influencia decisiva sobre cualquier tipo de señalamiento que se utilice. Aparentemente no es aconsejable el marcado de aquellas rutas donde se ha procedido a aplicar recientemente un riego asfáltico superficial.

Las observaciones se efectuaron, en consecuencia, exclusivamente sobre las franjas aplicadas sobre hormigón, registrando las mismas fallas que en el camino Centenario y con lapsos de observación aproximadamente similares. Nuevamente aparece el chipping como falla única, y en la tabla IV se indican los valores de la misma entre los 10 y los 300 días de exposición.

Se repite en este caso, la caída brusca de las muestras 5 y 6, que son eliminadas entre los 10 y 35 días, pero el resto manifiesta una durabilidad mayor que sobre el pavimento, aparentemente similar, del camino Centenario. Se observa que

**TABLA II**

**Ensayo en servicio. Camino Centenario. Pavimento de hormigón**

**Chipping ASTM D-913-51 (falla única)**

Fabri cante	Pintu ra N <sup>o</sup>	1 día	3 días	10 días	20 días	35 días	50 días	80 días	110 días	160 días	Clasifi cación
A	1	10	10	10	6	6	4	2	<2		4 <sup>o</sup>
	2	10	10	10-8	4	4-2	2	2			7 <sup>o</sup>
	3	10	10	10-8	2	<2					9 <sup>o</sup>
B	4	10	10	8	4-2	4-2	<2				8 <sup>o</sup>
	5	10	10-8	6	<2						10 <sup>o</sup>
C	6	10	8	8-6	<2						10 <sup>o</sup>
	7	10	10	10-8	8	8	8-6	<2			5 <sup>o</sup>
D	8	10	10	10	8-6	8-6	6-4	2	<2		4 <sup>o</sup>
	9	10	10	10	6	6-4	4	<2			6 <sup>o</sup>
	10	10	10	8	4-2	2	<2				8 <sup>o</sup>
	11	10	10	10	8	8	8-6	4	<2		3 <sup>o</sup>
	12	10	10	10-8	6-4	6-4	4-2	<2			6 <sup>o</sup>
	13	10	10	10	2	<2					9 <sup>o</sup>
	14	10	10	10-8	4-2	2	<2				8 <sup>o</sup>
15	10	10	8-6	<2						10 <sup>o</sup>	
E	16	10	10	10	10-8	8	6	4	2	<2	2 <sup>o</sup>
A	17	10	10	10-8	8-6	8-6	6	6-4	4	<2	1 <sup>o</sup>
	18	10	10	10	4-2	2	<2				8 <sup>o</sup>
	19	10	10	10	8-6	6	4	<2			6 <sup>o</sup>
	20	10	10	10	8-6	6	6-4	4	2	<2	2 <sup>o</sup>
	21	10	10	10-8	4	2	<2				8 <sup>o</sup>
F	22	10	10	10-8	<2						10 <sup>o</sup>
G	23	10	10	10	6-4	6-4	4	<2			6 <sup>o</sup>
	24	10	10	10	8-6	6	6-4	4	<2		3 <sup>o</sup>
	25	10	10	10-8	8	8-6	6-4	4-2	<2		3 <sup>o</sup>
H	26	10	10	8	2	<2					9 <sup>o</sup>
I	27	10	10	10	8-6	8-6	6	4-2	<2		3 <sup>o</sup>
Lluvia mm totales acumulativos					114	142	208	260	572	712	

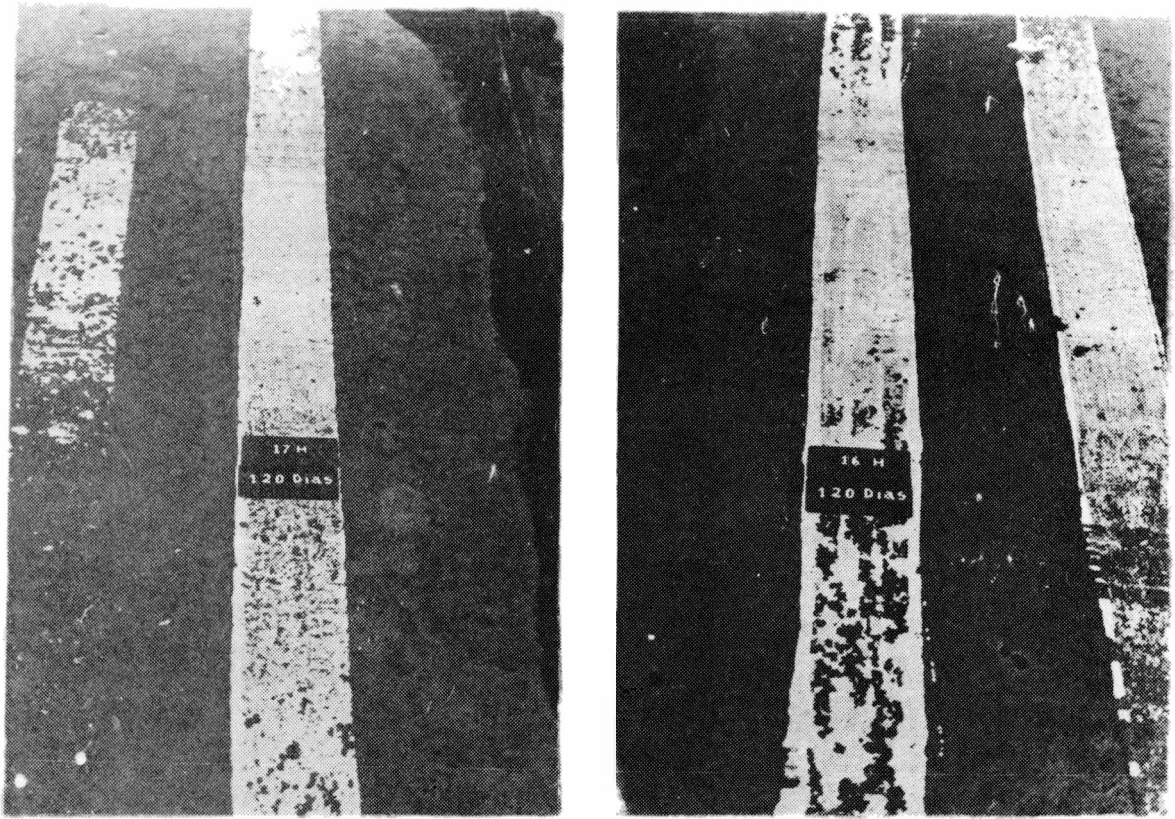


Fig. 4.- Muestras 17 (izquierda) y 18 (derecha), luego de 110 días de aplicadas sobre pavimento de hormigón

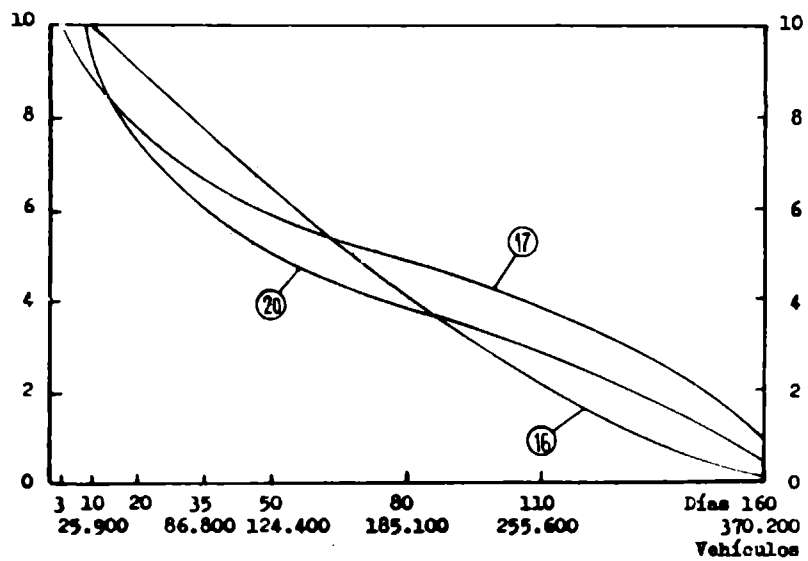


Fig. 5.- Chipping sobre hormigón, camino Centenario, 160 días (pinturas 16, 17 y 20). Registros realizados según ASTM D-913-51

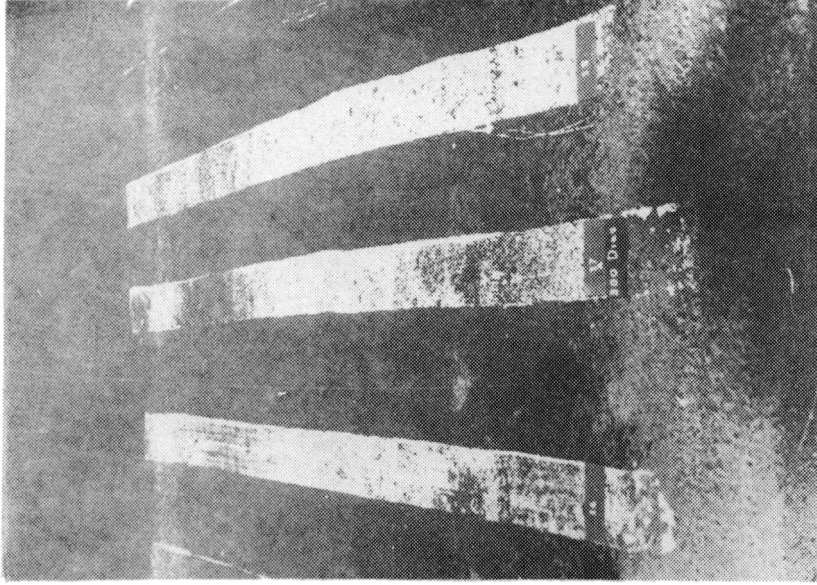


Fig. 7.- Muestras 16, 17 y 18, 300 días sobre pavimento asfáltico

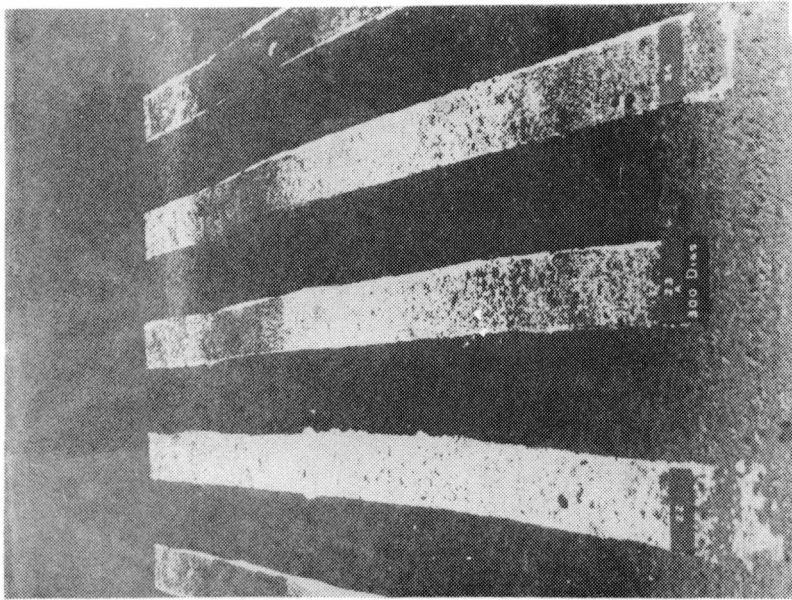


Fig. 6.- Muestras 22, 23 y 24, 300 días sobre pavimento asfáltico

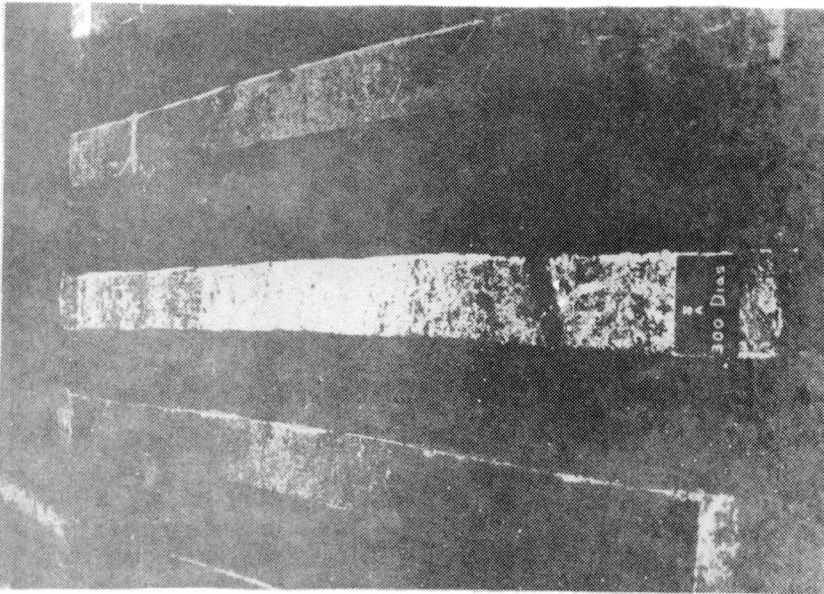


Fig. 8.- Muestra 8, 300 días sobre  
pavimento asfáltico

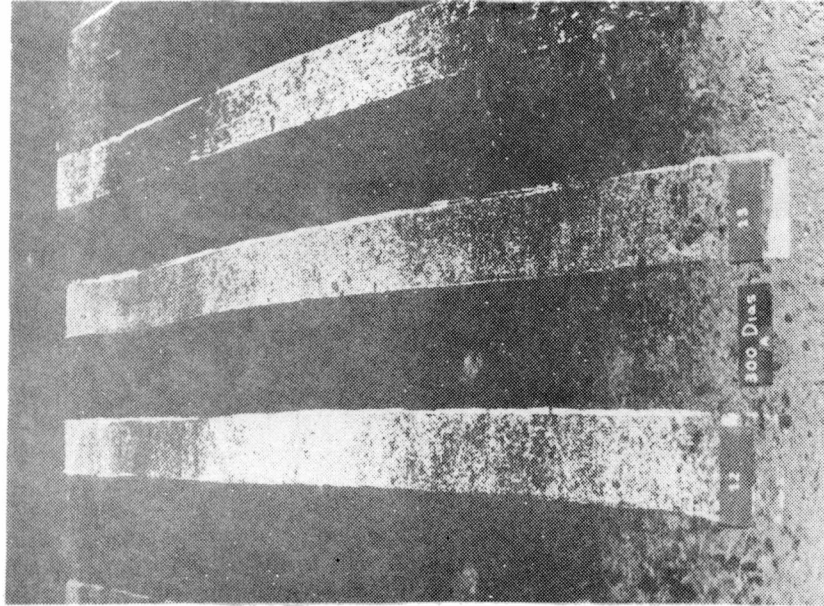


Fig. 9.- Muestras 12 y 13, 300 días  
sobre pavimento asfáltico

**TABLA III**  
**Ensayo en servicio. Camino Centenario. Pavimento asfáltico**  
**Abrasión, según ASTM D-821-47**  
**Registro de la falla predominante: Chipping, según ASTM D-913-51**

Pintura	Falla predominante	24 horas	72 horas	10 días	20 días	35 días	50 días	80 días	100 días	160 días	200 días	250 días	300 días	365 días	Clasificación
1	abrasión	10	10	10	8	8-6	6	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	7º
2	abrasión	10	10	10	10-8	8	6	6	4-2	<2	<2	<2	<2	<2	6º
3	chipping	10	10	10-8	6	8-4	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9º
4	abrasión	10	10	10	8	6	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9º
5	chipping	10	10	6	4-2	4-2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	10º
6	chipping	10	10	6	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	10º
7	abrasión	10	10	10	10-8	8	8-4	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	7º
8	chipping	10	10	10	10-8	10-8	8	8	6	4	4-2	2	<2	<2	3º
9	abrasión	10	10	10	10	10	8	8	4	<2	<2	<2	<2	<2	5º
10	chipping	10	10	8	8-6	8-6	6	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	7º
11	abrasión	10	10	10	10-8	10-8	8	6	4	<2	<2	<2	<2	<2	5º
12	abrasión	10	10	10	10	10	8	8-6	6	4-2	4-2	2	<2	<2	3º
13	abrasión	10	10	10	10	10	8	6	4	4-2	4-2	2	<2	<2	3º
14	chipping	10	10	8	6	6-4	4	4-2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	8º
15	abrasión	10	10	8	8-6	6-4	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9º
16	chipping	10	10	10	10-6	10-8	8	8	8-6	4	4-2	2	<2	<2	3º
17	abrasión	10	10	10	10-8	8	8-6	6	6-4	4-2	4-2	2	<2	<2	3º
18	chipping	10	10	10-8	8	8-6	8-6	6	6-4	4	4	4-2	4-2	4-2	2º
19	abrasión	10	10	10	8	8-6	6-4	4-2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	8º
20	abrasión	10	10	8	8-6	8-6	6	6-4	6-4	<2	<2	<2	<2	<2	5º
21	chipping	10	10	8	8-6	8-6	6	6-4	4-2	<2	<2	<2	<2	<2	6º
22	chipping	10	10	10-8	8	8	8-6	6	6	6-4	6-4	4	4	4	1º
23	chipping	10	10	10-8	6	6	6-4	4	4-2	2	<2	<2	<2	<2	5º
24	chipping	10	10	10-8	8	8	8-6	8-6	6	4	2	<2	<2	<2	4º
25	abrasión	10	10	10	8	8-6	6	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	7º
26	abrasión	10	10	8	8-6	6	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9º
27	abrasión	10	10	10	8	6	6-4	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	7º
Lluvia caída (mm)															
totales acumulativos - - - 114 142 208 260 572 712 1057 1130 1341 1522															

## T A B L A IV

## ENSAYO EN SERVICIO. RUTA N° 2. PAVIMENTO DE HORMIGÓN

Chipping ASTM D - 913-51 (fallea única)

Fabricante	Pintura n°	10 días	20 días	35 días	50 días	80 días	110 días	180 días	250 días	300 días	350 días	Clasificación	
A	1	10	10-8	10-8	10-8	8	8	8-6	4	2	< 2	5°	
	2	10	10	8	8	8	8-6	6	4	2	< 2	5°	
	3	10	8	8-6	8-6	6-4	4-2	< 2				8°	
B	4	10	10	10	10-8	6	4	< 2				8°	
C	5	10-8	4	< 2	Eliminación de la franja a los 10 días								10°
	6											10°	
D	7	10	10-8	8-6	8-6	6	6-4	2	< 2			7°	
	8	10	10	10	10-8	8	8-6	6	4-2	2	< 2	5°	
	9	10	10	10	10-8	10-8	10-8	8	6-4	6-4	2	4°	
	10	10	10-8	8-6	4	< 2						9°	
	11	10	10	10-8	8	6-4	4	< 2				8°	
	12	10	10	10	10	10-8	10-8	8	8	8-6	4-2	2°	
	13	10	10	10-8	10-8	10-8	8	8-6	6	6-4	2	4°	
	14	10	10	10	10	10-8	10-8	8	8-6	6	2	3°	
	15	10	10-8	8	8	8-6	6	6-4	4	2	< 2	5°	

E	16	10	6	6	6	6-4	4	2	< 2	7°
A	17	10	10	10	10	10-8	10-8	10-8	8	4
	18	10	8	6	6	6-4	4-2	< 2		3°
	19	8-6	4	2	2	< 2				8°
	20	10	8	8-6	8-6	6	6-4	4	4-2	2
	21	10	8	8	8-6	6	6	6-4	4	< 2
F	22	10	10	10	10	10-8	10-8	8	8	6
G	23	8	4	4-2	4-2	2	< 2			9°
	24	10	4	4	4	4-2	2	< 2		8°
	25	10	8	8	8-6	6	4	2	< 2	7°
H	26	10-8	6	6-4	2	< 2				9°
I	27	10	8	8	8	8-6	8-6	6-4	4-2	6°
Lluvia mm totales acumulativos										
	42	97	272	300	345	415	637	836	917	

a los 110 días, 18 muestras presentan chipping entre 10-8 y 4, 2 chipping 4-2 y 1 chipping 2 (77,7 %), siendo solamente 6 las de comportamiento no satisfactorio.

Luego de 180 días (160 días fue el límite del ensayo anterior) tenemos 10 muestras con valores entre 10-8 y 2; a los 250 y 300 días, 13 y 12 muestras respectivamente entre 8 y 2 (48,1 y 44,4 %).

Particularmente, encontramos que el menor deterioro (tabla IV) es el presentado por las muestras:

22 .....	chipping	8
12 .....	chipping	8-6
9 y 13 .....	chipping	6-4
14 y 17.....	chipping	6
1, 2, 8, 15, 20, 21..	chipping	2

Considerando la clasificación presentada en las tablas II, III y IV, encontramos que el comportamiento de las pinturas de mayor durabilidad es el que se indica en la página siguiente.

Observamos diferencias apreciables en el comportamiento en los tres casos, y se infiere que la durabilidad está influida simultáneamente por factores inherentes al pavimento y a la pintura en sí. Mientras que la muestra n° 22 (LEMIT) aparece como la mejor en el camino Centenario (asfalto) y Ruta 2 (hormigón), sufre rápido deterioro en el primero sobre hormigón; la n° 18, en segundo término en pavimento asfáltico, tiene menor durabilidad sobre hormigón; la n° 16 presenta mejor comportamiento en el camino Centenario (ambos tipos de pavimento) que sobre la Ruta 2; y finalmente, la muestra n° 17 presenta el comportamiento más uniforme en los tres casos.

La mayor durabilidad corresponde, sobre asfalto (C. Centenario) a las muestras 18 y 22 y en un plano ligeramente inferior las pinturas 8, 12, 13, 16 y 17. Las pinturas 12, 13, 14, 17 y 22 son las que satisfacen el ensayo sobre hormigón (Ruta 2).

Resulta evidente que las características del pavimento tienen influencia decisiva sobre los resultados obtenidos,

CLASIFICACION DE LAS PINTURAS DE MAYOR DURABILIDAD Y REGISTROS DE ABRASION O CHIPPING EN EL CAMINO CENTENARIO Y RUTA 2

Pintura n°	Centenario asfalto	Centenario hormigón	Ruta 2 hormigón	Centenario asfalto	Centenario hormigón	Ruta 2 hormigón
8	3°	4°	5°	2 (300)	2 (80)	2 (300)
11	5°	3°	8°	2 (160)	4 (80)	2 (180)
12	3°	6°	2°	2 (300)	2 (80)	8-6 (300)
13	3°	9°	4°	2 (300)	2 (35)	6-4 (300)
14	8°	8°	3°	2 (110)	2 (50)	6 (300)
16	3°	2°	7°	2 (300)	2 (160)	2 (250)
17	3°	1°	3°	2 (300)	2 (160)	6 (300)
18	2°	8°	8°	4-2 (365)	2 (50)	2 (180)
20	5°	2°	5°	2 (160)	2 (160)	2 (300)
22	1°	10°	1°	4 (365)	2 (20)	8 (300)
24	4°	3°	8°	2 (250)	2 (110)	2 (180)

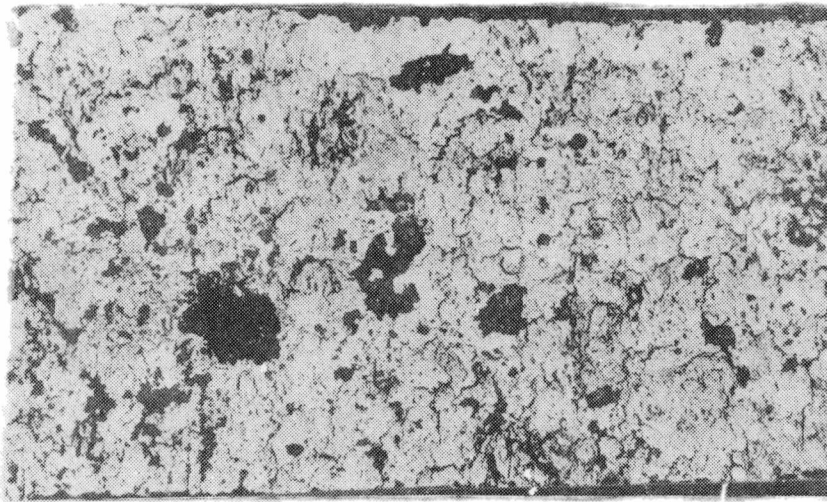
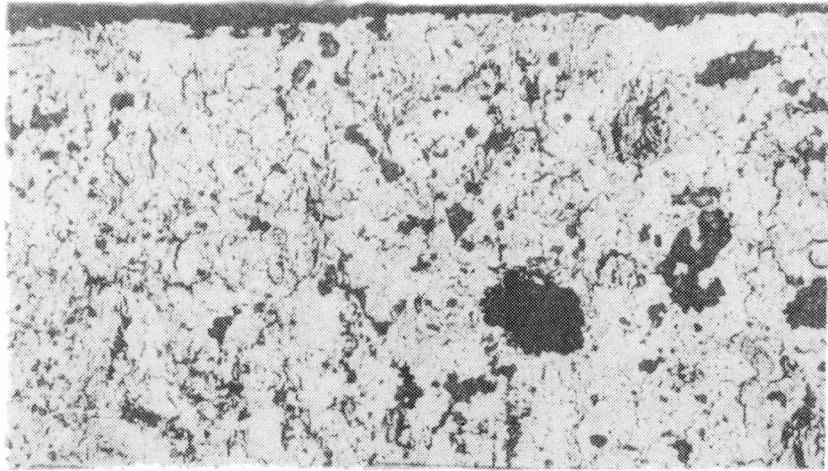


Fig. 10.- Pintura 22, 250 (arriba) y 300 días (abajo), sobre pavimento asfáltico

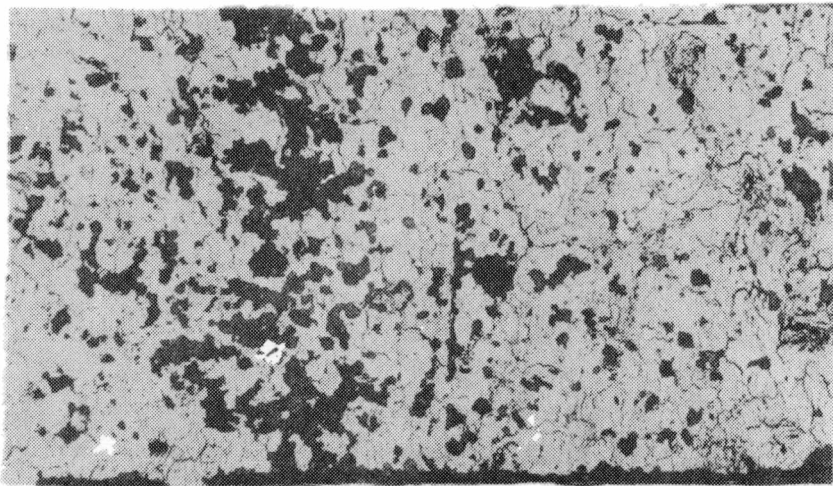
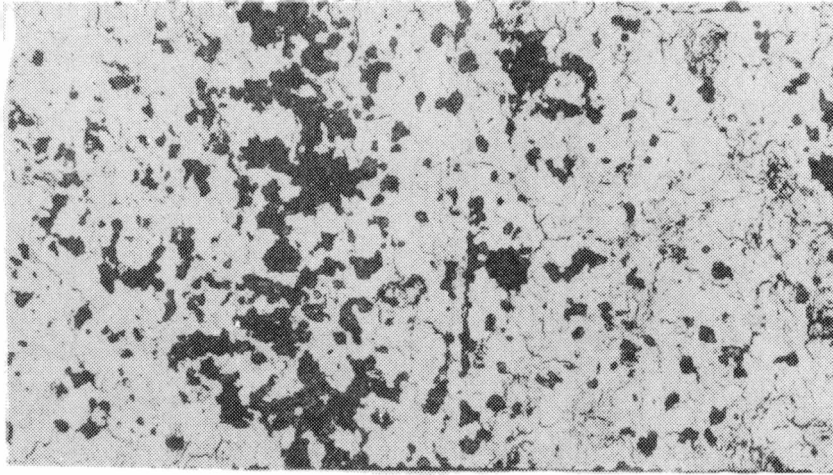


Fig. 11.- Pintura 18, 250 (arriba) y 300 días  
abajo), sobre pavimento asfáltico

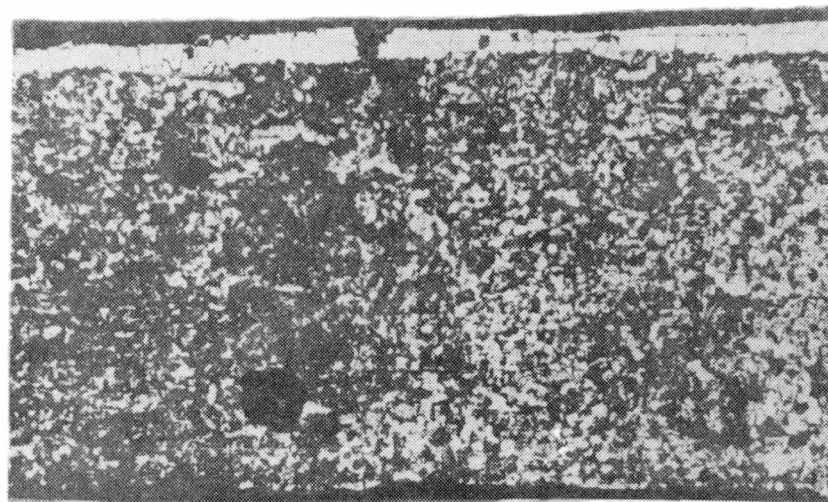
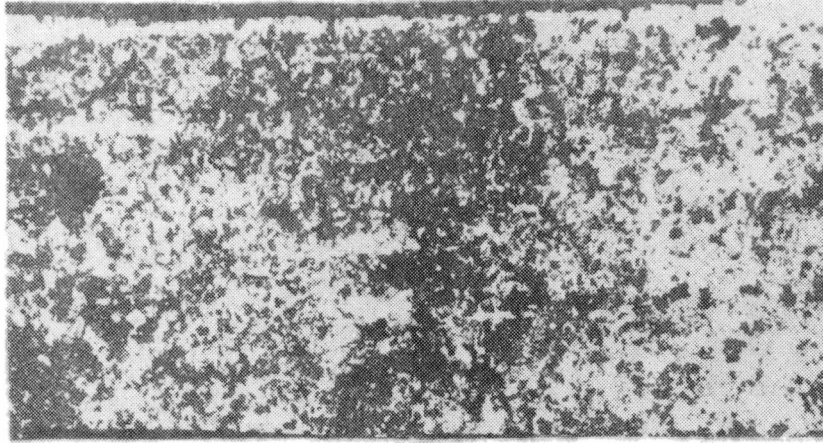


Fig. 12.- Pinturas 8 (arriba) y 12 (abajo), 250 días sobre pavimento asfáltico

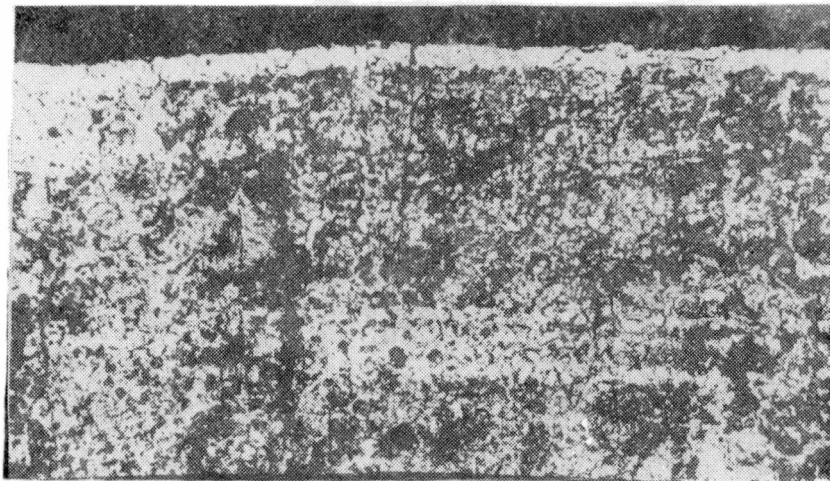
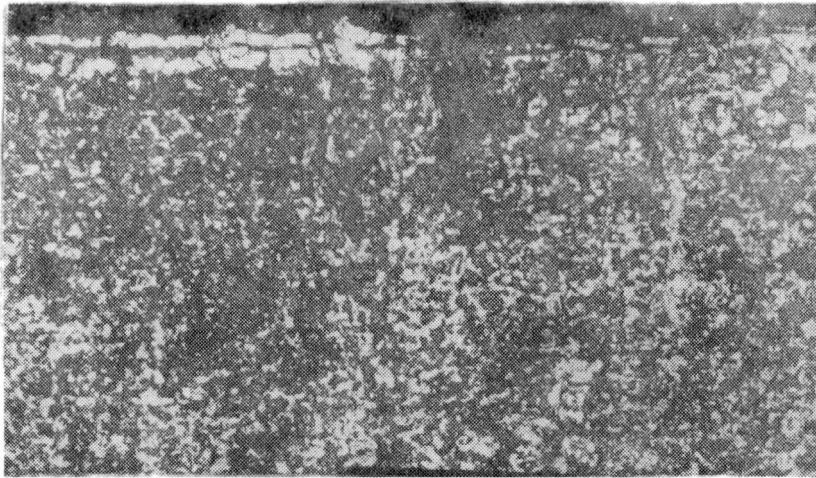


Fig. 12 b.- Pinturas 13 (arriba) y 16 (abajo),  
250 días sobre pavimento asfáltico

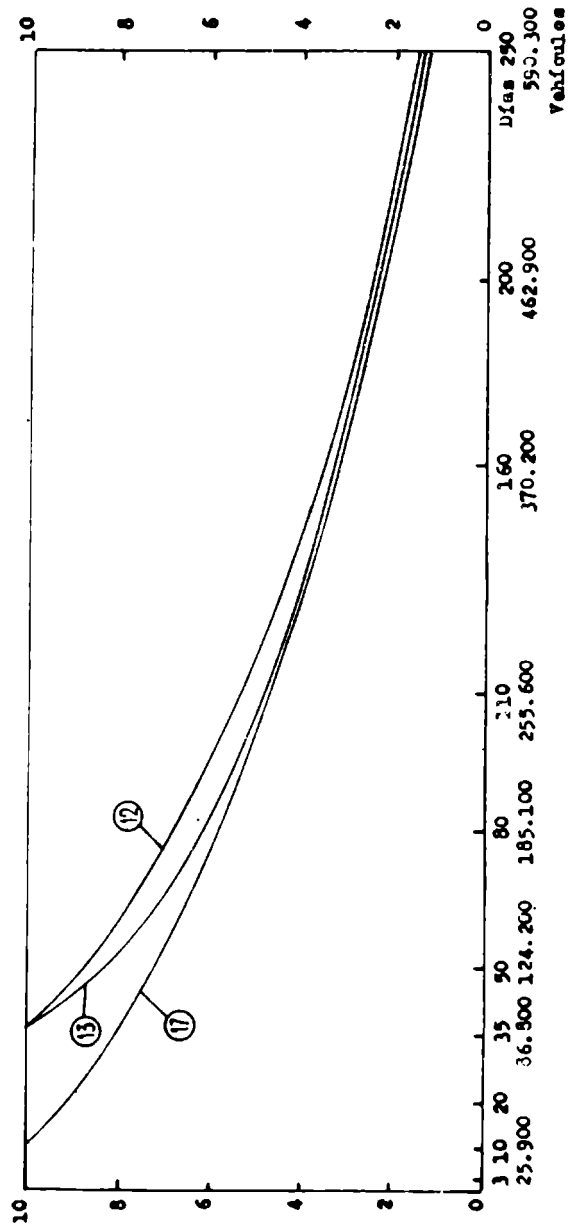


Fig. 13.- Muestras de mejor comportamiento, camino Centenario, pavimento asfáltico. Pinturas 17 (fabricante A) y 12 y 13 (fabricante D). Falla predominante, abrasión (ASTM D-821-47)

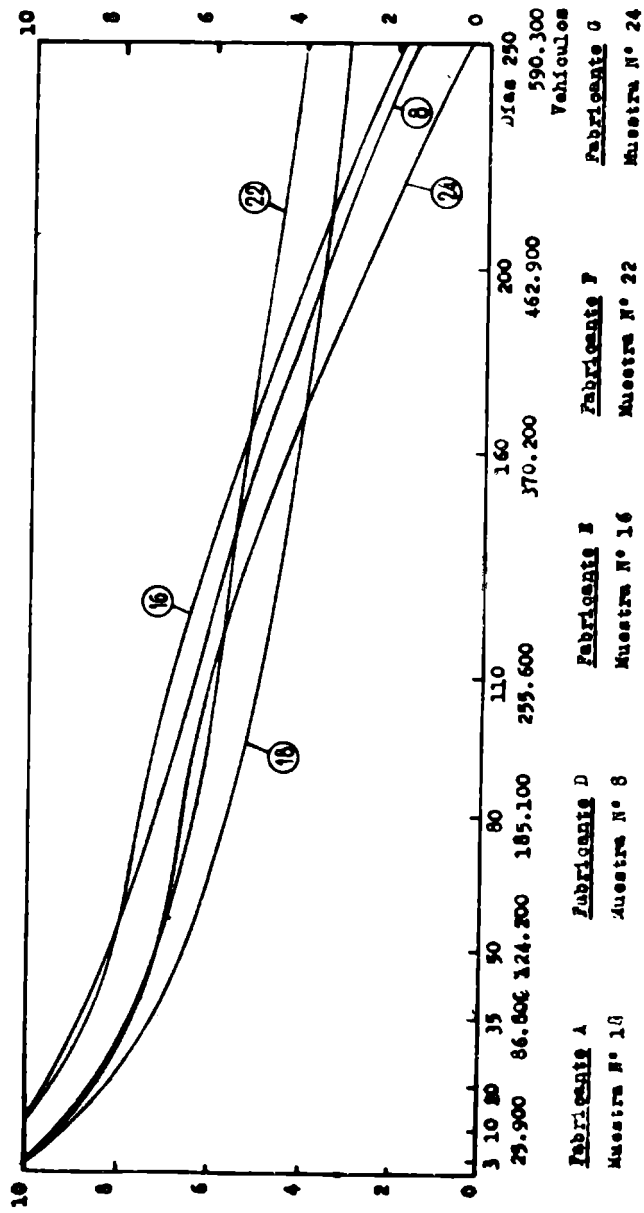


Fig. 14.- Muestras de mejor comportamiento, camino Centenario, pavimento asfáltico. Pinturas 18 (fabricante A), 8 (D), 16 (E), 22 (F) y 24 (G). Falla predominante, chipping (ASTM D-913-51)

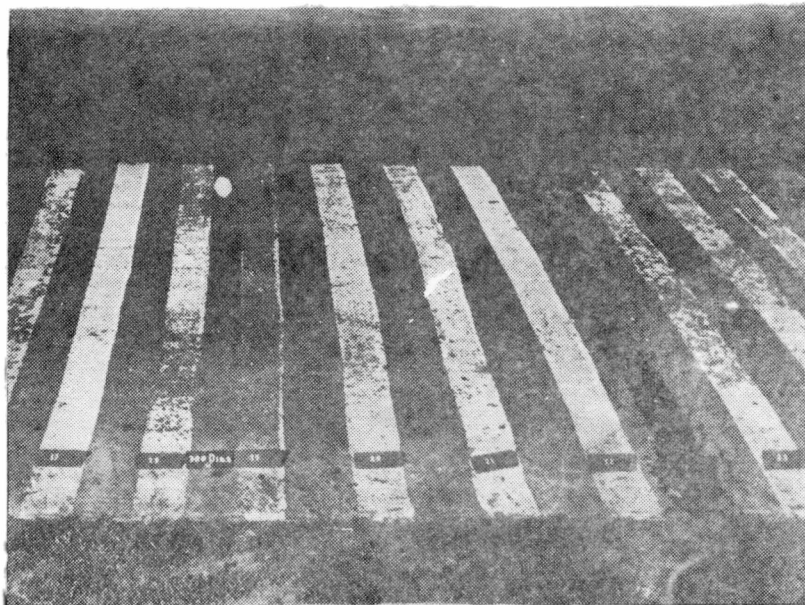
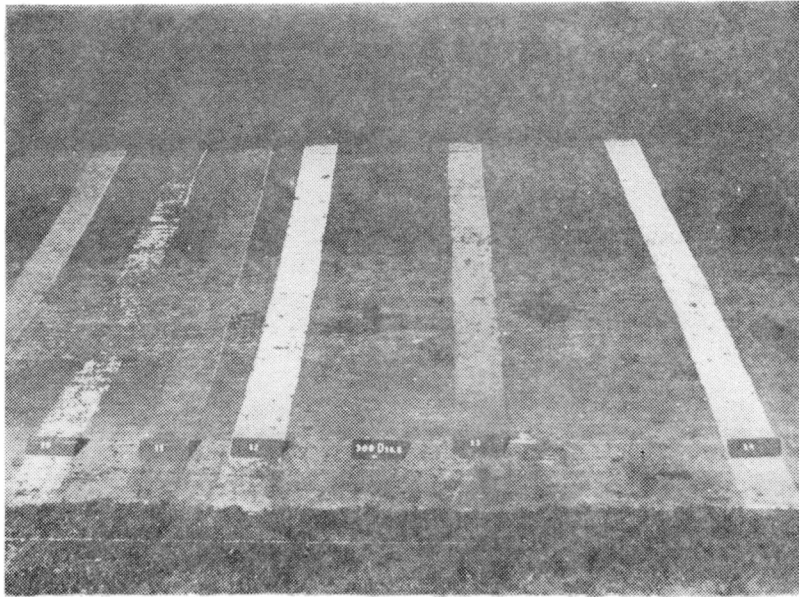


Fig. 14 b.- Ruta n° 2. Aspecto general de las franjas, pinturas de mejor comportamiento, luego de 300 días de ensayo.

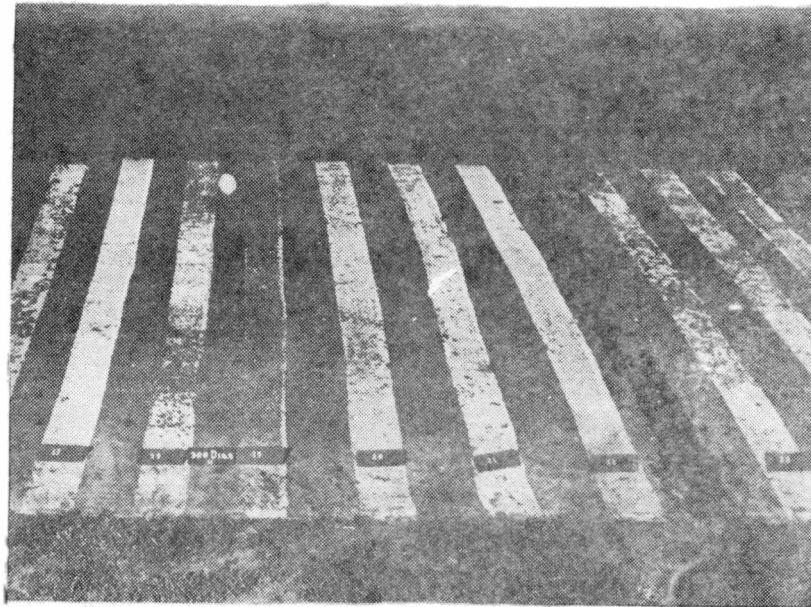
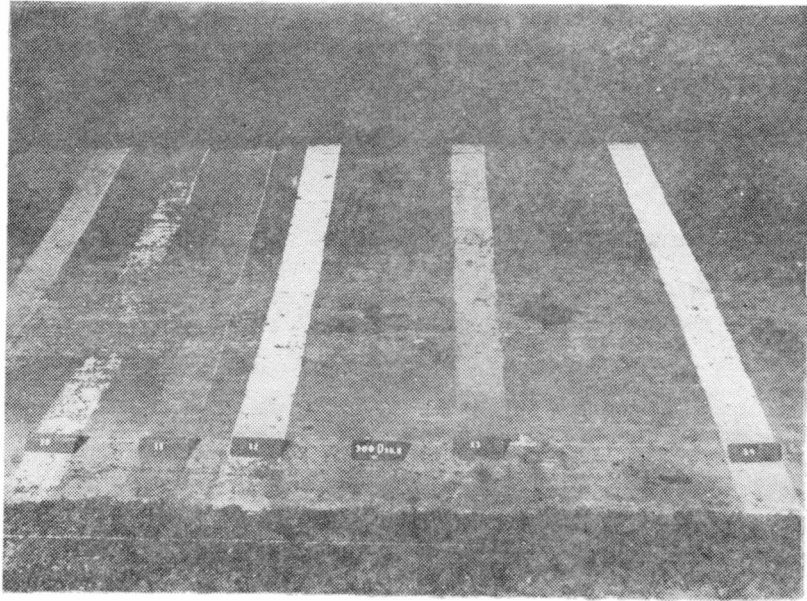


Fig. 14 b.- Ruta n° 2. Aspecto general de las franjas, pinturas de mejor comportamiento, luego de 300 días de ensayo

aún cuando hay pinturas que satisfacen el ensayo en cualquier condición.

Otra consideración importante podrá realizarse acerca de la época más conveniente para el pintado. Realizar esa tarea a fines de la primavera (noviembre-diciembre) permitiría contar con un pavimento más ceco; además, la mayor temperatura ambiente aseguraría el rápido secado y endurecimiento de la película de pintura. Esto último es lo que se deduce del ensayo en la Ruta 2, donde se observa el mayor número de muestras con poco deterioro al cabo de 300 días (12 sobre un total de 27).

Respecto del valor de este ensayo y de las posibilidades de aplicación del mismo en el contralor de adquisiciones, los resultados obtenidos sugieren que:

- a) las muestras de mal comportamiento son rápidamente eliminadas (10 a 30 días), especialmente si se producen lluvias en el lapso indicado;
- b) un período de 5-6 meses (150-180 días) deja en servicio únicamente las pinturas de buenas características;
- c) un ensayo de 1 año permite seleccionar los mejores materiales, pero no hay una diferencia significativa con las conclusiones que pueden extraerse en 5-6 meses.

Es conveniente, de acuerdo con lo expresado anteriormente, la realización de ensayos simultáneos, en diferentes lugares y sobre distintas bases.

---

## ENSAYOS ACELERADOS Y DE LABORATORIO

---

### Ensayo en pista experimental

Se efectuó en la pista que el LEMIT posee para ensayar bases y carpetas de rodamiento. Consiste en una superficie anular de concreto asfáltico (fig. 15) aplicada sobre base estabilizada. La carpeta está constituida por:

Betún asfáltico 7,1 % (de aplicación en caliente (70-100°C) e

Inerte 92,9 %, este último compuesto por agregado pétreo grueso (de origen granítico), y fino (arena de trituración, arena silíceo natural y filler), con la siguiente composición granulométrica:

Pasa por tamiz 1/2"	97,8 %
Pasa por tamiz 3/8"	92,4 %
Pasa por tamiz 1/4"	80,0 %
Pasa por tamiz 10	43,0 %
Pasa por tamiz 40	25,6 %
Pasa por tamiz 80	9,3 %
Pasa por tamiz 200	4,8 %

La mezcla fue apisonada a mano y antes de aplicar las pinturas, se sometió a tránsito mediante el dispositivo de desgaste, constituido por un carro móvil que gira apoyado en un soporte central, y provisto de dos ruedas opuestas diametralmente, sobre una de las cuales está montado el motor, de accionamiento eléctrico. La presión ejercida por la rueda motriz es de 5,1 kg/cm<sup>2</sup>, con una presión de inflado de 70 lb/pulg<sup>2</sup> y una velocidad de rotación de 16 vueltas por minuto. La estructura de la carpeta resultó más abierta que la de los pavimentos asfálticos, sobre los que se efectuaron los ensayos en servicio.

Las pinturas se aplicaron en forma radial con el mismo extendedor y espesores que para el ensayo en servicio. Después de 24 horas de secado se puso en movimiento el dispositivo de desgaste, prolongándose el ensayo durante 32 500 vueltas. Cumplidas las mismas se suspendió la operación, por el deterioro de la carpeta de concreto asfáltico. Las observaciones efectuadas sobre las pinturas se consignan en la tabla V.

Las muestras presentan prácticamente como única falla abrasión (88 %), apreciándose además chipping solamente en las pinturas n° 2, 5, 6. A partir de 20 000 vueltas los valores permanecen estacionarios o varían muy poco.

Cumplido dicho lapso tenemos los siguientes valores de abrasión:

10-8	Muestras 8 y 9
8	Muestras 11, 12, 13, 16
8-6	Muestras 14, 15, 17, 21, 22
6	Muestras 1, 2, 3, 7, 18, 20, 23, 24
6-4	Muestras 4, 5, 6, 19, 25, 26, 27
4	Muestra 10

Luego de 32 500 vueltas el menor desgaste corresponde a la muestra 9 (abrasión 10-8), presentando valor 8-6 las n° 8, 11, 12, 13 y 15.

En la tabla V no se consignan observaciones para las pinturas 16, 19, 20 y 22/27 luego de las 20 000 vueltas, por el deterioro de la carpeta en la zona donde las mismas estaban aplicadas.

Al margen del inconveniente apuntado, que no ha permitido prolongar la experiencia, es importante dejar establecido que el ensayo en la pista solamente reproduce una de las fallas observadas en servicio, el desgaste por abrasión. Al no producirse chipping, falla que en servicio aparece en el 44,8 % de las muestras sobre pavimentos asfálticos, no podemos tomar estos resultados como criterio seguro para juzgar la calidad de estos materiales. La sola presencia de abrasión indicaría mayor adhesividad de las pinturas sobre la superficie de la carpeta, más rugosa que la de los caminos donde se hizo el ensayo en servicio. La falta de chipping podría atribuirse también al hecho de que el dispositivo de desgaste no desarrolla las altas velocidades de los vehículos o a que la falta de lluvia hace a este ensayo menos riguroso que el real en el camino.

Además, aún en el caso del desgaste por abrasión, puede verse que el mismo no es en general muy marcado (valores entre 10 y 4-2 para todas las muestras luego de 32 500 vueltas). Por otra parte, las pinturas 5 y 6, que en servicio se eliminan rápidamente (20 días sobre hormigón y 35 sobre asfalto) presentan en este ensayo un comportamiento que no es sensiblemente diferente del de las restantes.

Los motivos apuntados nos han llevado a no repetir este ensayo (originariamente se había proyectado trabajar sobre diferentes tipos de carpetas), que por otra parte resulta de un

TABLA V

Ensayo en la pista experimental del LEMIT, sobre carpeta asfáltica  
observación de abrasión según ASTM D 821-47

Fabri- cante	Pintura Nº	vueltas						
		1000	3000	7500	15500	20000	28000	32500
A	1	10	10-8	8	8-6	6	6	6-4
	2	10	10-8	8	8-6	6	6	6-4
	3	10-8	8	8-6	6	6	6	6
B	4	10-8	8	8	8-6	6-4	6-4	6-4
C	5	10-8	8-6	6	6-4	6-4	6-4	6-4
	6	8	8-6	8-6	8-6	6-4	4-2	4-2
D	7	10-8	8	8	8-6	6	6	6
		10	10-8	10-8	10-8	10-8	8	8-6
		10	10	10-8	10-8	10-8	10-8	10-8
	10	8-6	6	6	6-4	4	4-2	4-2
	11	10-8	10-8	10-8	8	8	8-6	8-6
	12	10	10-8	10-8	8	8	8	8-6
	13	10	10-8	10-8	8	8	8	8-6
	14	10-8	10-8	8	8	8-6	6	6
	15	10	10	10-8	8-6	8-6	8-6	8-6
	E	16	10	10	10	10-8	8	-
A	17	10-8	8	8	8-6	8-6	6	6
	18	10-8	8	8-6	8-6	6	6-4	6-4
	19	10-8	8	6-4	6-4	6-4	-	-
	20	10-8	8	8-6	6	6	-	-
	21	10-8	8	8	8-6	8-6	6	6
F	22	10	8	8	8	8-6	-	-
G	23	10-8	10-8	8-6	8-6	6	-	-
	24	10-8	10-8	8-6	8-6	6	-	-
	25	10-8	10-8	6	6	6-4	-	-
H	26	10-8	10-8	8-6	8-6	6-4	-	-
I	27	8	8	6	6	6-4	-	-

En las muestras: 5, 8, 9, 16, 19, 20, 22, 25 y 26 ; se observa afloramiento del asfalto luego de su aplicación.

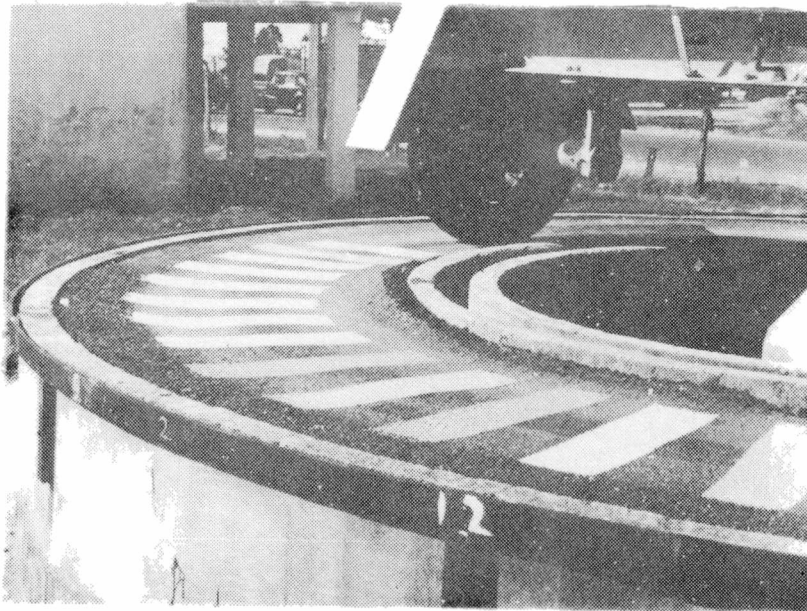


Fig. 15.- Aspecto parcial de la pista experimental



Fig. 16.- Taber Abraser, aparato para ensayos acelerados de desgaste

costo apreciable.

Ensayo de desgaste abrasivo mediante chorro de arena (falling sand test).

Se efectuó según ASTM D-968 (9), utilizando arena tamiz n° 16-30 que se hizo caer desde 0,90 m de altura sobre la pintura extendida en paneles de vidrio despulido (carborundum 3F) inclinados a 45°.

La aplicación de la pintura se efectuó mediante un extensor de Bird de luz variable, con diferentes espesores, dejando secar 7 días a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y 65 % de humedad relativa.

En cada panel se determinó el espesor de película seca y se midió el volumen de arena necesario para eliminar totalmente la película en la zona de abrasión (tabla VI). En función de estos valores se calculó el coeficiente de abrasión, es decir el volumen de arena necesario para producir el desgaste de la unidad de espesor (1 mm) de película seca.

De los resultados obtenidos se desprende que en la mayor parte de las muestras (79,2 %), el coeficiente de abrasión aumenta al aumentar el espesor de película. En 5 muestras (3, 17, 23, 24, 25) no se aprecian diferencias marcadas en los coeficientes de abrasión calculados para diferentes espesores de película.

Lo que antecede induce a suponer que el aumento de espesor retardaría el secado completo de las pinturas y de esta manera, la película, al conservar mayor elasticidad, actuaría como amortiguador del choque de las partículas de arena, reduciendo su efecto abrasivo. De esto se infiere la necesidad de considerar solamente resultados de ensayos realizados sobre espesores similares.

Teniendo en cuenta esto hemos calculado, a partir de los valores indicados en la tabla VI, los coeficientes de abrasión que corresponderían a un espesor de  $90 \mu$ , equivalente al de los ensayos en servicio.

De acuerdo con ese criterio, las muestras ensayadas quedarían ordenadas de la siguiente manera, en el sentido decreciente de los coeficientes de abrasión:

Pintura n°	Coefficiente de abrasión (1/mm. para espesor 90 $\mu$ )
26	1 293
8	1 260
9	1 165
18	884
4	884
20	747
5	675
23	640
12	598
21	578
17	467
24	408
2	400
10	373
1	311
14	298
3	273
25	200
15	197
27	153
11	144
19	99
7	80
6	49

Si comparamos estos valores con los que se registran en la tabla III (observación sobre pavimento asfáltico, camino Centenario), observamos que a las muestras que presentan más alto coeficiente de abrasión (26; 8 y 9) les corresponde el 9°, 3° y 5° lugar en la clasificación mencionada; a las muestras 18 y 4, que siguen en orden decreciente de coeficiente de abrasión les corresponden el 2° y 9° lugar en el ensayo en servicio; las muestras que siguen (20, 5, 23, 12) se encuentran en el 5°, 10°, 5° y 3° lugar en servicio.

Se evidencia de esta manera la imposibilidad de establecer correlación entre los dos ensayos, y esto queda corroborado si se consideran también los valores de las tablas II y IV,

TABLA VI. Resistencia a la abrasión mediante chorro de arena (ASTM D-968-51)

Pintura	Espesor mm	Volumen arena l	Coefficiente abrasión l/mm	Pintura	Espesor mm	Volumen arena l	Coefficiente abrasión l/mm	Pintura	Espesor mm	Volumen arena l	Coefficiente abrasión l/mm
1	0,060	8	133	9	0,065	60	923	19	0,055	4	72
	0,090	28	311		0,118	176	1491		0,100	11	110
	0,112	52	464		0,130	204	1569		0,125	22	178
	0,122	48	393		0,163	216	1323		0,130	24	185
					0,171	252	1473				
2	0,030	4	133	10	0,060	16	267	20	0,045	16	355
	0,082	32	390		0,096	38	398		0,065	32	492
	0,090	36	400		0,130	64	492		0,085	52	611
	0,112	84	750		0,135	68	504		0,085	60	706
3	0,050	16	320	11	0,060	8	133	21	0,035	5	143
	0,055	16	299		0,065	8	123		0,040	6	150
	0,096	28	292		0,100	16	160		0,060	30	500
	0,112	32	286		0,105	20	190		0,065	36	554
	0,116	33	284		0,126	30	238		0,080	44	550
	0,120	38	317		0,132	28	212		0,090	52	578
4	0,035	4	114	12	0,050	12	240	23	0,050	30	600
	0,040	5	125		0,077	44	571		0,075	48	640
	0,075	42	560		0,085	48	565		0,100	60	600
	0,085	71	835		0,110	74	673		0,105	60	571
5	0,035	3	86	14	0,060	6	100	24	0,040	16	400
	0,045	4	89		0,080	20	250		0,070	24	343
	0,060	20	333		0,085	24	282		0,075	22	293
	0,080	48	600		0,120	36	300		0,095	41	431
6	0,072	2	28	15	0,050	4	80	25	0,060	16	267
	0,085	4	47		0,075	13	173		0,100	20	200
	0,120	8	67		0,080	14	175		0,110	24	218
	0,130	8	62		0,100	26	200		0,135	42	311
	0,170	12	71		0,105	20	190		0,150	49	327
7	0,067	4	60	17	0,065	28	430	26	0,030	14	467
	0,075	15	67		0,050	20	400		0,040	18	450
	0,115	12	104		0,090	42	467		0,060	28	467
	0,125	16	128		0,115	56	487		0,065	36	554
	0,135	20	148		0,125	60	480		0,080	92	1150
8	0,055	60	1090	18	0,035	8	229	27	0,050	4	80
	0,100	140	1490		0,050	24	480		0,075	8	107
	0,102	128	1255		0,060	29	483		0,100	17	170
	0,116	200	1709		0,075	54	720		0,105	20	190
	0,120	272	2230								

que corresponden a los resultados en servicio sobre pavimento de hormigón.

Tomando solamente las muestras que en el ensayo en servicio presentan exclusivamente desgaste por abrasión, observamos que tampoco hay correlación con los respectivos coeficientes de abrasión:

Pintura n°	Clasificación en servicio	Coefficiente de abrasión
12	3°	598
17	3°	467
9	5°	1 165
7	7°	80
26	9°	1 293

Estos son sólo algunos ejemplos aislados pero bien demostrativos de que este ensayo de laboratorio no puede ser tenido en cuenta para establecer la posible resistencia a la abrasión en condiciones de servicio de pinturas de tránsito.

#### Ensayo de desgaste abrasivo mediante el Taber Abraser

El dispositivo utilizado es el Taber Abraser modelo 174 (fig. 16) que consta esencialmente de dos discos abrasivos, que apoyan sobre la probeta de ensayo, con cargas que pueden variar entre 250 y 1 000 gramos. La probeta gira con la platina y el número de vueltas se registra en un contador. Un aspirador elimina el material separado de la superficie de la probeta.

Los paneles utilizados son de acero, despulido con esmeril 7/0, sobre los que se aplicaron diferentes espesores de las pinturas en estudio. Se dejó secar la película durante 7 días en ambiente acondicionado a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $65 \pm 5\%$  de humedad relativa. Se empleó para el ensayo el abrasivo CS-17, con una carga de 1 000 gramos y succión 90 en el aspirador. Se determinó el peso y espesor de película seca al comienzo del ensayo, y las modificaciones que los mismos registraron luego de 100, 200 y 300 vueltas en el aparato.

Hemos resumido los valores obtenidos en dos tablas; en la VII se expresa, para varias probetas de una misma pintura, la pérdida de peso (mg/100 vueltas) luego de los lapsos citados más arriba; en la VIII se establece la disminución de espesor (micrones/100 vueltas), para probetas cuyos diferentes espesores iniciales se consignan en cada caso.

Sin realizar un examen muy profundo de dichas cifras, puede observarse inmediatamente que los valores de desgaste, para los diferentes períodos de 100 vueltas considerados, no acusen reproducibilidad, por lo que el valor promedio que se consigna en las tablas, para cada probeta, no es verdaderamente representativo de la propiedad estudiada.

La clasificación de las muestras que surge de este ensayo no tiene relación con la obtenida en servicio. Si consideramos las muestras 5 y 6, cuyo deterioro en el camino es inmediato, vemos que la primera tiene valores bajos de pérdida de peso o pequeña disminución de espesor, y la segunda altos; las muestras 17 y 18, de buen resultado práctico, no presentan en este ensayo valores que permitan seleccionarlas como las de mejor calidad, lo mismo que las muestras 8, 12 y 24, que tomamos como ejemplos aislados para ilustrar lo que antecede.

Los inconvenientes serios que hemos encontrado en este ensayo, que dificultan la obtención de resultados comparativos e impiden cualquier intento de clasificación de las pinturas ensayadas, son los siguientes:

- a) Para cada muestra, los valores de desgaste abrasivo aumentan, no varían o varían irregularmente con el espesor de la película.
- b) El método provoca el desgaste de la película por abrasión, pero no un deterioro del tipo "chipping", que se observa en gran número de muestras en servicio.
- c) Cuando la película de pintura no endurece suficientemente o conserva características de plasticidad, se observa el empastamiento del abrasivo; si la rectificación de la superficie del mismo se hace sólo al comienzo del ensayo, el desgaste correspondiente en estos casos a las primeras 100 vueltas es mayor que el de períodos similares sucesivos. Por ese moti-

**TABLA VII**

**Ensayo de desgaste abrasivo ( Taber Abraser )**

Pintura	Pérdida de peso(mg/100 vueltas)				Pintura	Pérdida de peso ( mg/100 vueltas )			
	1/100v	100/200v	200/300v	promedio		1/100v	100/200v	200/300v	promedio
1	43	34	32	36	15	38	61	51	50
	54	54	76	61		24	22	24	23
	34	45	60	46					
2	35	32	33	33	17	67	58	81	69
	53	59	63	58		30	38	61	43
3	35	23	19	26	18	50	55	51	52
	26	23	16	22		104	86	72	87
						41	47	65	51
4					19	33	31	36	33
	81	91	92	88		33	26	30	30
	64	80	90	78		33	40	65	46
	60	63	60	61		36	35	67	46
5	30	27	28	28	20	23	53		38
	39	25	29	31		18			
	23	23	24	23					
6	74	69	64	69	21	21	23	21	22
	72	70	64	69		20	20	22	21
						21	23	23	22
						21	21	23	22
7	18	20	21	20	23	99	76		87
	46	30	27	34		104	86		95
						131	81	66	93
8	71	55	67	64	24	25	19	18	21
	99	108	84	97		28	21	21	23
	64	80	84	76		25	21	21	22
						21	18	23	21
9	61	71		66	25	21	10	8	13
	64	72		68		25	14	11	17
	54	59	66	59		27	13	11	17
	64	74	67	68					
10	55	57	56	56	26	33	30		31
	58	58	54	57		36	32		34
						39	41	40	40
						34	34	32	33
11	39	22	29	30	27	30	20	24	25
						34	21	21	25
						32	25	21	26
12	47	50	70	56					
	41	65	105	70					
	39	60	102	60					
14	30	44		37					
	29	31	30	30					

**TABLA VIII**  
**Ensayo de desgaste abrasivo ( Taber Abraser )**

Pin-tura	Espesor orig. $\mu$	Pérdida espesor ( $\mu$ /100 vueltas )				Pin-tura	Espesor orig. $\mu$	Pérdida espesor ( $\mu$ /100 vueltas )			
		(1)	(2)	(3)	(4)			(1)	(2)	(3)	(4)
1	94	7	6	6	6	15	155	5	15	10	10
	100	15	6	12	11		245	15	4	2	7
	195	11	9	11	10						
2	120	5	6	5	5	17	89	4	5	5	5
	160	6	6	6	6		136	2	4	11	6
3	145	6	4	5	5	18	88	7	13	12	11
	145	7	4	2	4		98	24	25	11	20
							172	10	5	9	8
							189	22	5	6	11
4	100	5	15	26	15	19	115	6	4	6	5
	110	5	16	14	12		117	4	6	10	7
	190	10	14	10	11		245	5	7	11	8
							258	10	4	15	10
5	85	4	6	4	5	20	78	5	12		8
	95	7	6	6	6		180	10			10
	145	11	4	2	6						
6	206	17	4	27	16	21	69	7	5	6	6
	336	16	37	5	19		91	4	9	6	6
							182	5	5	6	5
7	148	1	5	5	4	23	88	19	15		17
	218	10	10	7	9		98	25	22		23
							165	27	11	11	16
8	91	16	6	15	12	24	88	6	6	4	5
	105	22	19	15	19		90	6	5	4	5
	190	21	14	21	19		115	4	5	4	4
							224	5	3	6	5
9	102	10	14		12	25	104	5	5	3	4
	120	11	16		13		261	6	3	3	4
	145	5	7	25	12		268	5	6	3	5
	180	21	14	11	15						
10	175	11	6	3	7	26	74	5	7		6
	192	5	10	5	7		86	10	5		7
							174	7	10	11	9
							205	10	12	11	11
11	132	11	4	6	7	27	81	8	5	3	5
							84	8	3	6	6
							86	11	5	3	6
12	101	10	9	9	9						
	176	9	19	16	15						
	185	7	21	19	16						
14	87	6	9		7						
	201	5	10	5	7						

(1) 1/100 vueltas; (2) 100/200 vueltas; (3) 200/300 vueltas; (4) promedio . -

vo se ha dado por terminado el ensayo luego de 300 vueltas.

d) Como complemento de lo anterior se observa que en las películas de pintura más blandas se produce un aplastamiento de las mismas, con disminución de espesor, pero no pérdida de peso paralela. En estos casos no pueden relacionarse ambos valores.

e) Películas de pintura más duras sufren mayor desgaste abrasivo que las blandas.

f) En algunas pinturas se observa retención de partículas de abrasivo por la película, con el consiguiente deterioro del primero, y modificación de las características superficiales de la probeta correspondiente.

#### Análisis químico de las pinturas

Si bien no constituye un elemento fundamental de juicio para establecer la calidad de las pinturas, se procedió a establecer el contenido de pigmento, vehículo no volátil y materias volátiles (tabla IX) de los materiales de mejor comportamiento en servicio; se analizó además el pigmento (tabla X) y se practicaron reacciones de identificación del vehículo (10, 11).

El contenido de pigmento oscila entre límites muy amplios, desde 26,0 %, correspondiente a las muestras 22 y 18 ( $\text{TiO}_2$  y  $\text{TiO}_2$  y silicatos, respectivamente), hasta los valores entre 67 y 70 % de las muestras 10 y 24, color blanco (la primera con  $\text{TiO}_2$  y litopón; la segunda con  $\text{TiO}_2$  y silicatos) y la 11, amarilla.

Todas las pinturas blancas analizadas contienen bióxido de titanio en proporciones variables (desde 16,8 hasta 73,3 %), acompañado de cargas (silicatos, tiza, barita, sulfato de calcio, etc.). La muestra 10, citada más arriba, está formulada fundamentalmente a base de litopón.

Las pinturas amarillas tienen como pigmento cubriente cromato de plomo, y las mismas cargas ya citadas.

Con respecto a la composición de los vehículos, la muestra n° 22 (LEMIT) está formulada en base a una resina epoxy (Epikote 1004) esterificada (30 %) con ácidos grasos de acei-

Tabla IX

Composición de las pinturas de tránsito

Fabricante	Muestra N°	Pigmento %	Material volátil 105-110°C %	Vehículo fijo (por dif.) %
A	1	56,4	30,1	13,5
	2	55,2	26,1	18,7
	3	56,3	30,9	12,8
D	8	53,3	26,2	20,5
	9	49,0	5,8	25,2
	10	67,9	16,9	15,2
	11	70,2	19,3	10,5
	12	61,6	26,9	11,5
A	17	51,2	25,2	23,6
	18	26,0	43,1	30,9
	20	37,8	31,9	30,3
	21	34,4	40,1	25,5
F	22	26,0	42,2	31,8
G	23	53,8	25,1	21,1
	24	68,4	25,7	5,9

TABLA X

## Composición de pigmentos de las pinturas de tránsito (componentes principales)

1.- Pinturas blancas

Muestra	1	3	8	10	12	17	18	20	21	22	23	24
TiO <sub>2</sub> , %.....	23,7	26,9	30,3	1,1	23,2	24,5	73,3	34,6	74,9	98,3	21,5	16,8
ZnS, %.....	--	--	--	26,2	--	--	--	--	--	--	--	--
ZnO, %.....	--	--	--	1,7	--	--	--	--	--	--	--	--
SiO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , %.....	6,5	28,0	--	--	--	10,9	18,6	26,2	14,7	--	11,6	14,7
BaSO <sub>4</sub> y SiO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , %.....	--	--	22,3	68,1	71,2	--	--	--	--	--	--	--
CaCO <sub>3</sub> , %.....	Cont.	Cont.	Cont.	--	--	Cont.	--	Cont.	Cont.	--	Cont.	Cont.
CaSO <sub>4</sub> , %.....	Cont.	--	Cont.	--	Cont.	Cont.	Cont.	--	Cont.	--	Cont.	--

2.- Pinturas amarillas

Muestra	2	9	11
CrO <sub>3</sub> , %.....	6,8	8,7	10,4
Pb, %.....	30,1	24,0	21,6
SiO <sub>3</sub> <sup>=</sup> , %.....	9,9	14,1	49,4
CaCO <sub>3</sub> , %.....	Cont.	Cont.	Cont.
CaSO <sub>4</sub> , %.....	Cont.	Cont.	--

te de linaza. En las muestras 8, 9, 17, 18, 23, 24, las reacciones de identificación practicadas indican la presencia de resina cumarona, probablemente modificada con caucho clorado o isomerizado.

Las muestras 12 y 13 acusan reacción de resina alquídica, modificada también presumiblemente con caucho.

---

### CONCLUSIONES

---

- a) Los ensayos en servicio resultan de valor fundamental para seleccionar pinturas de tránsito de buenas características de durabilidad. Deben ser efectuados sobre pavimentos de diferente tipo (asfalto y hormigón), en franjas transversales a la dirección de circulación de los vehículos, y eligiendo rutas que por la uniformidad de tránsito permitan obtener resultados comparables.
- b) Los resultados obtenidos indican que la durabilidad de las pinturas aumenta cuando el pintado se realiza en una época del año (noviembre-diciembre) que asegura un camino sin humedad, y un rápido secado y endurecimiento posterior de los materiales aplicados.
- c) Sobre pavimento asfáltico se observa tanto deterioro por desgaste abrasivo como por desprendimiento o chipping; sobre hormigón se registra principalmente esta última falla.
- d) Las fotografías tipo de ASTM que se han utilizado para juzgar el deterioro en la zona de mayor tránsito dentro de la franja pintada, permiten efectuar una clasificación de las pinturas que concuerda plenamente con la que se obtiene apreciando en forma general la visibilidad de toda la franja. Los registros fotográficos son indispensables para informar sobre el comportamiento de estos materiales.
- e) Pinturas de tránsito elaboradas por la industria nacional y en el LEMIT han permitido obtener franjas cuyo estado general, luego de un año de ensayo, puede ser considerado como muy bueno. Puede estimarse que dichas pinturas (muestras 8,

12, 13, 14, 17, 18 y 22) superarían el año de durabilidad en condiciones normales de uso (señalización de la franja central de caminos).

f) El ensayo en servicio elimina rápidamente (20-30 días) las muestras de mal comportamiento, y permite seleccionar en un lapso de 5-6 meses los materiales que en conjunto presentarán buenas características. Un ensayo de 1 año de duración asegura la selección de los materiales de mejor comportamiento.

g) Los ensayos acelerados y de laboratorio (pista experimental del LEMIT, chorro de arena y Taber Abraser) dan resultados que no pueden correlacionarse con los obtenidos en servicio. Todos producen desgaste abrasivo de la película de pintura, pero ninguno reproduce el deterioro por desprendimiento (chipping) que aparece como la falla más importante en la práctica.

h) Las pinturas que han mostrado buena durabilidad están formuladas con vehículos a base de ésteres epoxy o de resinas alquídicas e indeno-cumaronas, modificadas con caucho clorado o isomerizado. Los pigmentos más utilizados son el bióxido de titanio, para las blancas y el cromato de plomo (amarillo cromo) para las amarillas, complementados con inertes.

i) Al margen del comportamiento de las pinturas, es imprescindible señalar que, en pavimentos asfálticos con carpeta excesivamente rica en betún, se tiene una superficie blanda y fácilmente deformable, poco apta para el pintado. Además, el betún ablandado por acción del calor, es arrastrado sobre la pintura, enmascarando el señalamiento, o se producen fallas de cuarteado o agrietado en las pinturas, como consecuencia de la deformación de la base.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

- 1.- Southern Paint and Varnish Production Club. Road test and laboratory abrasion of traffic paint. Off. Digest, 1049, agosto 1959.
- 2.- Gault C., Hamilton H., Carrow W. and Goeller G. Durable traffic paint with fast dry time. Off. Dig. 959, julio 1959.

- 3.- George H. B.- Traffic paints; past, present and future. Off. Digest, 373/412, 1956.
- 4.- Klarquist J. M. and Somerville G. R. Traffic paints based on epoxy resins. Highway Research Board. Proceeding of the 39th Annual Meeting, 336-1960. Washington D.C.
- 5.- Lyon and Robin. A study of glass beads for reflectorizing traffic paints. Highway Research Board. Proceeding of the 29th Annual Meeting, 252-1949. Washington D.C.
- 6.- ASTM D-713-46. Conducting road service test on traffic paint.
- 7.- ASTM D-913-51. Evaluating degree of resistance of traffic paint to chipping.
- 8.- ASTM D-821-47. Evaluating degree of resistance of traffic paint to abrasion, erosion, or a combination of both in road service test.
- 9.- ASTM D-958-51. Test for abrasion resistance of coatings of paint, varnish, lacquer and related products by the Falling Sand Method.
- 10.- Kappelmeier C. P. Chemical analysis of resin-based coating material. Interscience Publishers Inc., New York 1959.
- 11.- Modern Plastic Encyclopedia Charts. Vol. 3-1947.

NOTA.- Este trabajo fué terminado en el año 1964, y no tuvo difusión amplia debido a problemas surgidos para su publicación en esa oportunidad. Los autores consideran que sus conclusiones tienen todavía vigencia, aún cuando con posterioridad hayan aparecido en el mercado nuevos productos para demarcación vial. Un estudio comparativo sobre pinturas de tipo reflectante y sobre termoplásticos, destinados al fin precitado, será objeto de una próxima publicación.

U.D.C. 666.76 (82)

Rossini A., L. A. Mennucci and R. Figueras

STUDY OF SOME VARIABLES IN THE DENSIFICATION OF ARGENTINE REFRACTORY CLAYS

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 1/18 (Serie II, n° 163).

The principal variables affecting the densification of refractory clays have been systematically studied in order to know the most adequate working conditions for getting refractories of low apparent porosity which will cover the increasing needs of the siderurgical industry.

Clays from the Provinces of Buenos Aires, Río Negro, Neuquén and La Rioja have been tested.

Plots of the apparent porosity variations at different moulding pressures, plastic clay mass humidity and firing temperatures are shown.

U.D.C. 66.046.3:674.04

Borlando L.

WATER COOLING TOWERS: CAUSES OF DETERIORATION OF THE WOOD AND PREVENTIVE METHODS

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 19/33 (Serie II, n° 164).

The cooling of running water is carried out in most industrial plants with the use of cooling towers. The wood is the material most generally used in the construction of these towers, due to its durability, light weight, availability and cost.

This demand a study of the requeriments for its use, of the agents that attack same and, of the methods for prevention.

C.D.U. 666.76 (82)

Rossini A., L. A. Mennucci y R. Figueras

ESTUDIO DE ALGUNAS VARIABLES EN LA DENSIFICACION DE ARCILLAS REFRACTARIAS NACIONALES

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 1/18 (Serie II, n° 163).

Se estudian en forma sistemática las principales variables que afectan la densificación de las arcillas refractarias, para conocer las mejores condiciones de fabricación, que permitan obtener refractarios de baja porosidad aparente y que satisfagan las exigencias cada vez mayores de la industria siderúrgica.

Se ensayaron arcillas de las provincias de Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y La Rioja.

Se presentan gráficos de variación de la porosidad aparente en función de la presión de moldeo, humedad de la pasta y temperatura de cochura.

C.D.U. 66.046.3:674.04

Borlando L.

CAUSAS Y PREVENCION DEL DETERIORO DE LA MADERA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 19/33 (Serie II, n° 164).

El enfriamiento del agua circulante se lleva a cabo, en la mayoría de las plantas industriales, mediante el uso de torres de refrigeración.

El hecho de ser la madera el material más utilizado en la construcción de este tipo de torre, en razón de su durabilidad, trabajabilidad, escaso peso, disponibilidad y costo, exige un estudio de los requerimientos para su uso, de los agentes capaces de destruirla y de los métodos de prevención contra el ataque de los mismos.

Sosa J. P. and N. Russo

SPECTROCHEMICAL ANALYSIS OF LEAD USED IN WATER SERVICES

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 35/58 (Serie II, n° 165).

Spectrochemical analysis is applied because of speed and sensitivity reasons, to check the quality of lead for tap water pipes.

There are no standards according to IRAM specifications, commercially available. The authors had to prepare and analyse such standards for the calibration and working curves.

Best conditions and more efficient kind of excitation for these standards are studied.

The following elements have been determined: antimony, tin, copper, zinc, arsenic, bismuth and silver.

Instrument used: Z-3 Jobin Yvon Spectrograph; GM 60 Durr excitation source; Jarrell Ash, model 21-051 densitometer.

Massaccesi D. D. and O. L. Ciafardo

ASPHALTIC CONCRETES ELABORATED WITH EMULSIFIED ASPHALT. DESIGN AND CONSTRUCTIVE TECHNIQUES

LEMIT (La Plata, Argentina), 3 1970, 59/101 (Serie II, n° 166).

The properties of asphaltic mixtures, manufactured with slow setting emulsified asphalt, are directly influenced by the aggregate's grading, moisture of the mixture, percentage of emulsion and compactation conditions.

All this variables are studied, and specifications were proposed for the correct dosification, compactation and quality measurements of that mixtures.

A table is included with coefficients established in relation with the mineral aggregate grading, to permit the determination by integration of the optimum water percentage in mixtures elaborated with local materials (granite, quartzite and siliceous aggregates).

Percentage of residual moisture necessary for a good compactation is established.

C.D.U. 669.4:543.423

Sosa J. P., N. Russo

ANALISIS ESPECTROQUIMICO DEL PLOMO EMPLEADO EN INSTALACIONES DE OBRAS SANITARIAS

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 35/58 (Serie II, n° 165).

Para verificar la calidad del plomo empleado en cañerías de agua corriente se aplica el análisis espectroquímico por sus características de sensibilidad y rapidez.

No existen en el mercado patrones Standards con la composición química que las Normas IRAM exigen para estos materiales. Por lo tanto, éstos han sido elaborados y analizados por nosotros para la obtención de las curvas de trabajo.

Se estudian las condiciones y tipo de excitación más eficiente para estos materiales. Se determinan los elementos Sb, Sn, Cu, Zn, As, Bi y Ag.

Se empleó un Espectrógrafo Z-3 Jobin-Yvon; fuente de excitación GM 60 DURR; densitómetro modelo 21-051 JARRELL-Ash.

C.D.U. 625.85

Massaccesi D. D. y O. L. Ciafardo

CONCRETOS ASFALTICOS ELABORADOS CON EMULSIONES BITUMINOSAS. PROYECTO Y TECNICAS CONSTRUCTIVAS

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 59/101 (Serie XI, n° 166).

Las propiedades de las mezclas asfálticas densas, elaboradas en frío, con emulsión bituminosa superestable (EBL 2), están directamente influenciadas por la granulometría de áridos, humedad de mezclado, porcentaje óptimo de ligante, condiciones óptimas de compactación, et

Todos estos factores se analizan en forma particular en este trabajo y se dan directivas para la correcta dosificación, compactación y medición de la calidad de las citadas mezclas.

Se incluye una tabla con coeficientes calculados en función de la granulometría de inertes, que permite hallar por integración el porcentaje óptimo de humedad para mezclas ejecutadas con los materiales clásicos de nuestra zona, es decir, granitos, cuarcitas y agregados silíceos.

Se establece el porcentaje de humedad remanente con el cual deben ser densificadas las mezclas.

U.D.C. 667.613

Bruzzoni W. O., V. Rascio and J. O. Tricerri

ROAD SERVICE AND LABORATORY TEST FOR TRAFFIC PAINTS.

LEMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 103/161 (Serie II, n° 167).

Tests were made with traffic paints of domestic and foreign production, with the object of determining their characteristics, and specially the paint service condition.

Cross lines to the traffic displacement were applied with the "Line O. Graph" dispositive in La Plata - Buenos Aires and N° 2 Federal highway.

Periodic observations were made during one year, covering chipping and degree of abrasion properties, on asphaltic and concrete roads. Evaluation was made according to ASTM Standards D-327, D-713, D-821 and D-913.

C.D.U. 667.613

Bruzzoni W. O., V. Rascio y J. O. Tricerri.

COMPORTAMIENTO EN SERVICIO Y EN ENSAYO DE LABORATORIO DE PINTURAS  
PARA DEMARCACION DE FRANJAS DIVISORIAS DE TRANSITO

LFMIT (La Plata, Argentina), 3-1970, 103/161 (Serie II, n° 167).

Se han efectuado experiencias sobre pinturas de tránsito nacionales y sobre una muestra extranjera, a fin de determinar sus características, y en especial su comportamiento en servicio.

Franjas transversales a la dirección del tránsito fueron aplicadas con el dispositivo "Line O. Graph", en el Camino Centenario (La Plata-Buenos Aires) y en la Ruta Nacional n° 2.

Se realizaron observaciones periódicas durante un año, en especial de desprendimiento ("chipping") y de resistencia a la abrasión, tanto sobre pavimento asfáltico como sobre hormigón. La evaluación se efectuó de acuerdo con las normas ASTM D-327, D-713, D-821 y D-913.

*Este ejemplar se terminó de  
imprimir en los Talleres Grá-  
ficos del M. O. P., el día 20  
de agosto de 1970*

---

*Se permite la publicación total o parcial de estos  
trabajos siempre que se deje constancia de la fuen-  
te de origen*