



ANALES

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

4 - 1975



ANALES

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

4 - 1975

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministro, Arq. Alberto Liberman

Subsecretario de Obras Públicas, Ing. Eduardo Pérez Gattorna

Subsecretario de Urbanismo y Vivienda, Arq. Juan Manuel Valcarcel

Subsecretario de Programación, Sr. Juan Carlos Montemerlo

L E M I T

Director, Dr. Francisco Fidalgo

Sub-Director, Lic. Aníbal J. Figini

**Jefe del Departamento Ingeniería Eléctrica, Mecánica e Hidráulica
Ing. Mecánico y Electricista Héctor P. Alcalde**

**Jefe del Departamento Ingeniería Civil y Tecnología de la Construcción
Ing. Civil Luis M. Fossa**

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

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

Dirección de los Anales: Dr. Vicente J. D. Rascio

Diagramación: Sra. Elba D. Ardenghi de Lacabe

Fotografía: Qco. Sr. Francisco Da Cruz

Impresión: Talleres Gráficos del M. O. P.

Compaginación: Sr. Carlos Sosa

L. E. M. I. T.

52, entre 121 y 122

LA PLATA - ARGENTINA

I N D I C E

pág.	1	DETERMINACION ESPECTROQUIMICA DE ARSENICO EN LATONES TIPO ALMIRANTAZGO	Dr. Justo P. Sosa Tco. Qco. Mario Sajavicius
pág.	17	DETERMINACION DE ALUMINIO EN ACEROS NO ALEADOS MEDIANTE POLAROGRAFIA CON CORRIENTE ALTERNA	Dr. Vicente F. Vetere Lic. María Inés Florit
pág.	45	ALGUNAS APLICACIONES DEL LASER. FOTOELASTICIMETRIA, INTERFEROMETRIA Y HOLOGRAFIA	Dr. José A. E. Calatroni Dr. José J. Lunazzi Lic. Héctor J. Rabal Dr. Mario Garavaglia
pág.	83	ESTUDIO DE UNA TECNICA QUE APLICA LA ESPECTROMETRIA DE RAYOS X AL ANALISIS DE ALEACIONES DE ESTAÑO-PLOMO	Dr. Claudio L. Miniussi Tco. Qco. Jorge Meda Tco. Qco. Carlos Popovsky
pág.	97	RESISTENCIA NATURAL DE PALMA CARANDAY EN RELACION CON SU DENSIDAD	Dr. Luis A. Borlando Tco. Qco. Daniel Arcelús
pág.	115	PERMEABILIDAD DE HORMIGONES	Ing. Marcelo Wainzstein Tco. Qco. Jorge D. Sota

pág. 135 DETERMINACION DE COBRE EN ACEROS Y FUNDICIONES POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

Tco. Qco. Rodolfo Iasi
Ing. Qco. Omar Rolla
Tco. Qco. Raúl H. Pérez
Tco. Qco. Carlos Alí

pág. 153 CRITERIO DE EVALUACION DE SUELOS ACTIVOS Y SU POSIBLE CORRELACION

Ing. Luis M. Fossa
Tco. Oscar R. Arrechea

pág. 165 APROVECHAMIENTO DE MATERIALES LOCALES EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS URBANOS ECONOMICOS

Ing. Duilio D. Massaccesi
Agr. Hugo A. Langard
M. M. de Obras Eduardo Agosti
Tco. Qco. Omar A. Iosco

pág. 189 MODIFICACION DE UN EQUIPO DE MEDICION DE ABSORCION E IMPEDANCIA ACUSTICA PARA ADAPTARLO A LA NORMA ASTM C-384

Ing. Antonio M. Méndez
Ing. Ricardo Sarti
Ing. Dardo Guaraglia
Tco. Alberto Vanina

pág. 201 MEJORAMIENTO DE LA REFRACTARIEDAD DE ARCILLAS POR LAVADO E INTERCAMBIO IONICO

Dr. Juan C. Varela
Dr. Angel Rossini
Tco. Ricardo G. Guerrero
Tco. Juan C. Fiol

APENDICE

Resúmenes de los trabajos

Abstracts of papers in this issue

DETERMINACION ESPECTROQUIMICA DE ARSENICO
EN LATONES TIPO ALMIRANTAZGO

Dr. Justo P. Sosa

Tco. Qco. Mario Sajavicius

SERIE II, N° 299

En todo análisis espectrográfico es indispensable disponer de muestras patrones para el trazado de la curva de trabajo.

Para obtenerlas, en primer término se procedió a conseguir muestras de latones, que fueron analizadas en el laboratorio, empleándose métodos de precisión reconocida. De esta manera, se obtuvieron los patrones espectrográficos.

Previa consulta de la bibliografía, se eligió el método de análisis químico de la norma A.S.T.M. E 54-72 (1), que presenta ventajas sobre otros métodos de determinación (2, 3), sobre todo en lo referente al uso de reactivos comunes, a nuestro alcance, y emplear un aparato de destilación simple (Aparato nº 6 A.S.T.M.).

1. ANALISIS QUIMICO

1.1 Ensayos con soluciones puras de composición conocida

Los mismos tienen por objeto demostrar el grado de eficiencia de la destilación de arsénico. El método empleado, llamado de Moffatt, se basa en la destilación del arsénico, el que es valorado luego con solución de bromato de potasio.

Se utilizaron las siguientes soluciones:

- a) de ácido arsénico: 1 ml = 0,30 mg de As
- b) de bromato de potasio: N : 0,0100

Se realizaron tres series de ensayos, por cuadruplicado. Los resultados obtenidos figuran en la tabla I.

Los valores hallados demuestran la eficiencia del proceso de destilación de arsénico.

Mediante estos ensayos se han detectado pérdidas en dos aparatos de destilación, debido a deficiencias de construcción.

1.2 Ensayos de blanco de reactivos

Tienen por finalidad detectar toda eventual presencia de

T A B L A I

Ensayo	Contenido en As mg	KBrO ₃ N: 0,0100 ml	Arsénico recuperado %	Desviación standard*
1	0,60	1,57	98,0	1,9
2	1,50	4,00	99,5	0,8
3	6,00	15,55	97,7	2,3

$$* S = \frac{\text{recorrido}}{C}$$

T A B L A II

Cantidad de muestra g	Arsénico agregado mg	As, en la muestra %	KBrO ₃ 0,0100 N ml	Corrección por ensayo en blanco	As hallado %
5,00	-	-	0,30	-	-
5,00	0,60	0,012	1,85	1,55	0,0116
5,00	1,50	0,030	4,30	4,00	0,030
5,00	6,00	0,120	15,30	15,00	0,112

arsénico en los reactivos empleados, incluido además el gasto de bromato de potasio para la destrucción del indicador empleado para señalar el punto final.

El volumen requerido de bromato de potasio 0,0100 N es de 0,15 ml.

1.3 Ensayos en presencia de posibles interferencias

Si la destilación se lleva a cabo a la temperatura adecuada (105°C), es muy remota la posibilidad de que destile el antimonio y el estaño. Para confirmarlo, se destiló una solución que contenía 1,50 mg de As^{+++} ; 1,50 mg de Sb^{+++} ; y 10,0 mg de Sn^{++} . En la titulación se consumieron 4,05 ml de bromato de potasio 0,0100 N (valor medio de tres determinaciones). Este valor coincide con el hallado en la determinación de arsénico en ausencia de estos elementos.

1.4 Ensayos para probar la eficiencia del método en materiales similares al problema en estudio

Para llevar a cabo estos ensayos se empleó un latón, prácticamente exento de arsénico. Los resultados corresponden al promedio de tres determinaciones.

El máximo error cometido es de 7 % y corresponde a la muestra con mayor contenido en arsénico (0,12 %). Los valores hallados pueden considerarse como satisfactorios (tabla II).

1.5 Determinación de arsénico en tubos de latones

Demostrada la eficiencia del método, mediante los ensayos precedentes, se procedió a analizar todas las muestras disponibles (en total 18) para seleccionar aquellas que por su contenido en arsénico pudieran interesar como patrones del análisis espectrográfico.

Solamente cuatro muestras diferían en su contenido de arsénico, las restantes eran iguales, con 0,04 % de arsénico.

Sobre las muestras seleccionadas se realizaron los análisis por quintuplicado. Los valores hallados se informan en la tabla III.

TABLA III

Muestras	Arsénico %	Desviación standard S
1	0,0038	0,0003
2	0,021	0,0013
3	0,040	0,0017
4	0,058	0,0013

2. ANALISIS ESPECTROGRAFICO

El arsénico es un elemento de escasa sensibilidad espectrográfica. De ahí probablemente la razón de que figure un solo método y como sugerencia en el libro de "Análisis por Emisión" de A.S.T.M (4) para la determinación espectrográfica en latones tipo Almirantazgo (70 % de Cu; 1 % de Sn; 0,01-0,10 % de As; resto Zn).

En el método referido se emplea la excitación por arco de corriente continua y se utiliza como electrodos el mismo material. Para obtenerlos se debe emplear un molde de fundición; esta técnica indudablemente debe resultar muy práctica en los establecimientos de fundiciones de aleaciones de cobre, en controles de calidad.

2.1 Equipo

a) Espectrógrafo Z-3 de Jobin-Yvon, prisma de cuarzo (Cornu) de distancia focal 1900 mm, con cabina de "Spex" (9010 arc/spark stand).

b) Fuente de excitación: Jaco SP Custon Varisource, modelo 40-751 SP.

c) Densitómetro de Jarrell-Ash, mod. 21-051.

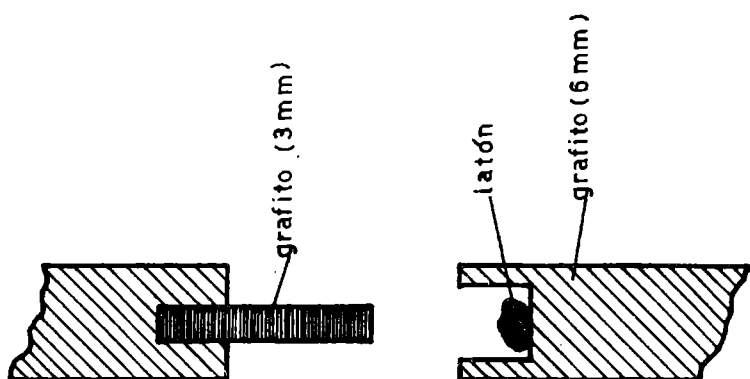


FIGURA 2

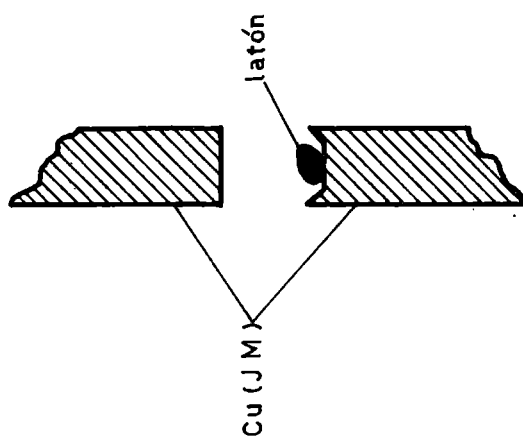


FIGURA 1

2.2 Elección del tipo de excitación

Arco de corriente continua

La única posibilidad de emplear este tipo de excitación en nuestro caso es utilizando un trozo muy pequeño, del orden de 20-50 mg, que se coloca en el hueco de un electrodo soporte (ánodo) que puede ser de cobre (fig. 1) ó de grafito (fig. 2). La línea de arsénico 2349 A es bien sensible y está libre de fondo cuando se emplea el soporte de cobre; en cambio, con grafito, el fondo aumenta. La intensidad de la corriente es de 7-8 Amp en ambos casos, y el tiempo de exposición apropiado hallado experimentalmente mediante ensayos de "movingplate" es de 50 segundos.

Para otras líneas de arsénico, 2780 y 2860 A el fondo de la emulsión aumenta considerablemente y prácticamente no tiene utilidad para determinaciones cuantitativas.

Un inconveniente que se presenta con cierta frecuencia es la tendencia que presenta la muestra a ser proyectada cuando se inicia el arco; esta tendencia se acentúa en el caso de utilizar electrodos de cobre como soporte.

Chispa condensada de alto voltaje

Como sistema de electrodos se utiliza el de punta-plano. La muestra, en este caso un trozo de tubo previamente aplastado para formar una superficie plana, es dispuesta en el "Petrey" y como contra electrodo utilizamos grafito, forma C-2 (5) (fig. 3).

Los ensayos realizados con diferentes valores de capacidad, inductancia, potencia, tiempo de exposición, abertura de electrodos y ranura, demuestran que no hay sensibilidad suficiente para determinar el arsénico con excitación por chispa. Para muestras conteniendo 0,02 % los ensayos son negativos.

Corriente alternada de baja tensión (ignición por chispa)

El sistema de electrodos es similar al de la fig. 3. Las mejores condiciones se han encontrado para los siguientes valores de la fuente:

Capacidad: 0,005 μ f

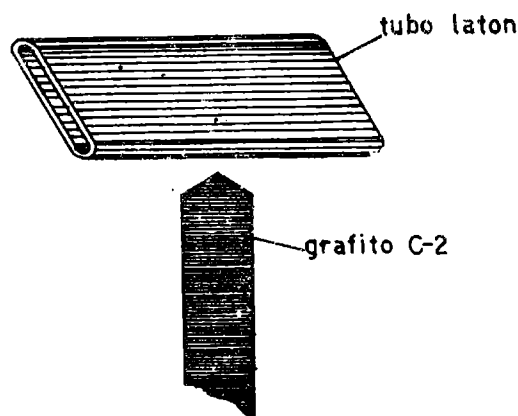


FIGURA 3

Inductancia: $49 \mu h$.
 Intensidad, c. a. ig. (R.F.): 9,5 Amp.
 Intensidad (R.F.) de chispa: 7,5 Amp.
 Exposición: 50 seg.
 Ancho de ranura: 0,030 mm.
 Abertura de electrodos: 3 mm.

La corrección por fondo de la emulsión para la línea 2349 A es del orden de 0,10 de densidad; este efecto puede disminuirse utilizando mayor inductancia ($310 \mu h$) pero pierde sensibilidad la línea del arsénico. En la zona que comprende a 2860 A, el fondo aumenta considerablemente.

Corriente alternada de alta tensión (2 400-4 800 v)

Como dispositivos de electrodos se usan los indicados en la fig. 3. Los espectros obtenidos demuestran que hay sensibilidad suficiente para determinar 0,02 % de arsénico. La corrección por fondo de la emulsión es prácticamente despreciable en la zona del 2349 A, mientras que en la de 2860 A es del orden de 0,03 a 0,05 de densidad óptica.

Arco unidireccional de media onda

Dispositivo de electrodos similar al de la fig. 3. Se realizaron numerosos ensayos con este tipo de excitación, muy apropiada para determinar elementos que se encuentran en baja concentración. Los valores seleccionados son aquellos que más conviene a nuestro propósito, es decir obtener la máxima sensibilidad y reproducibilidad en la determinación de As y que la corrección por fondo de la emulsión sea de un valor relativamente bajo.

Se seleccionaron los valores siguientes:

Capacidad: 0,005 μ f.

Inductancia: 155 μ h.

Resistencia: posición 7, alto.

Potencia de chispa (Power Spark), posición 70.

Intensidad con Uni-Arc (R.F): 8 Amp.

Intensidad en chispa (R.F): 5 Amp.

Tiempo de pre-exposición: 0

Tiempo de exposición: 50 seg

Ancho de ranura: 0,030 mm.

Abertura entre electrodos: 3 mm

Abertura entre electrodos auxiliares: 4 mm

La línea más conveniente para las lecturas densitométricas es la 2349 A. La zona de 2860 está afectada de un intenso fondo.

Consideraciones

Del estudio sobre los ensayos realizados para elegir el tipo de excitación, se deduce que el más conveniente para nuestro propósito es el arco unidireccional de media onda, ya que nos permite detectar porcentajes de arsénico del orden de las milésimas.

El arco de corriente alterna de alta tensión puede utilizarse, porque tiene buena reproducibilidad y no es necesario hacer correcciones por fondo de la emulsión, pero su límite de detección es menor que en el caso del arco unidireccional.

El arco de corriente continua ha sido descartado a pe-

sar de su mayor sensibilidad. De utilizarlo, como ya se ha mencionado, es necesario emplear una cantidad muy pequeña de muestra (20-50 mg), hecho, que se une a la tendencia a expulsar la muestra del soporte y la poca reproductibilidad.

El propósito de este trabajo es el de realizar la determinación espectrográfica utilizando el material tal cual llega al laboratorio para su análisis químico, es decir en forma de tubos. Esto resulta práctico, ya que la única operación previa al análisis es cortar un trozo de aproximadamente 5 cm, aplastarlo para obtener una superficie plana y luego frotar esta superficie con una lija muy fina.

Una de las mayores dificultades de este estudio fue encontrar una línea de cobre que sirviera como estándar interno. Hemos hallado para nuestras condiciones de trabajo la línea 2319,56 Å, que satisface en general los requerimientos de estándar interno y con mejor reproductibilidad que las líneas 2428,91; 2439,90 y 2518,95 Å.

En cuanto a la línea de arsénico 2349,84 Å, la misma está aparentemente interferida por la línea de cobre 2349,84 Å. Sin embargo en las condiciones de nuestro trabajo no interfiere, como se desprende de los ensayos realizados con cobre de pureza espectroscópica y latones de composición similar a nuestra aleación problema, pero exento de arsénico.

2.3 Calibración de la emulsión

Hemos empleado película S.A.1 (de Eastman-Kodak) por su mayor contraste y sensibilidad.

Hemos calibrado con sector de relación 1,585 y fuente de luz de arco de glóbulo de Fe, método de dos escalones (6).

2.4 Condiciones de procesamiento fotográfico

Revelado 5 minutos en D-19 a 20°C (7)

Baño de paro: 10-30 segundos en SB-5a

Fijado: 10 minutos en F-5

Lavado en agua corriente: 40 minutos y enjuague con agua destilada

Secado con aire caliente

La curva de calibración está representada en la figura 4.

T A B L A IV

Patrón	Concentración en As %	log de conc.	$\frac{\text{IAs } 2349,84}{\text{ICu } 2319,56}$	
P-1	0,004	- 2,40	-	44
P-2	0,02	- 1,70	-	8
P-3	0,04	- 1,40	+	7
P-4	0,06	- 1,22	+	18

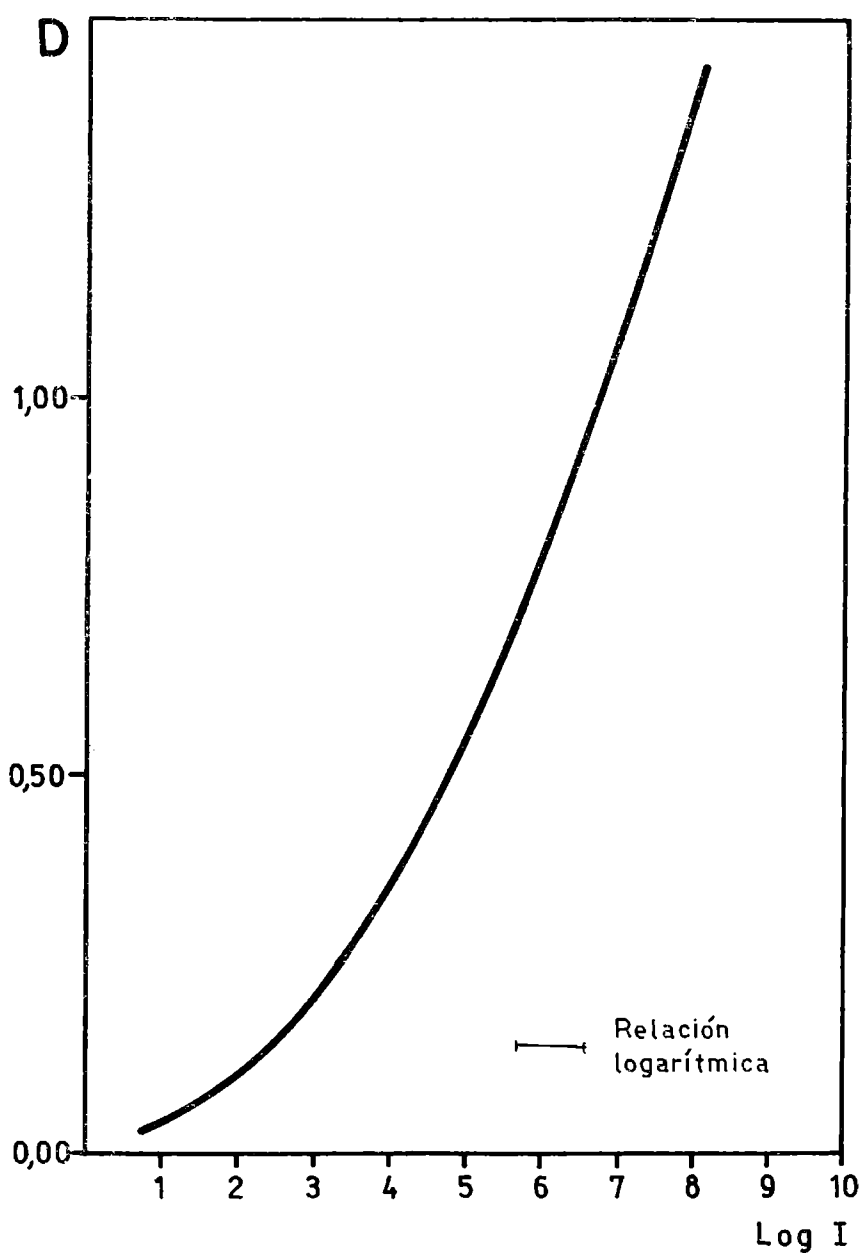


FIGURA 4

2.5 Curva de trabajo

Como ya se mencionara anteriormente, nuestro primer objetivo fue encontrar muestras de latones que una vez analizadas sirvieran como patrones espectrográficos. Las cuatro probetas seleccionadas e identificadas como P-1, P-2, P-3 y P-4 contienen 0,004, 0,02, 0,04 y 0,06 % de arsénico, respectivamente.

Las condiciones de excitación empleadas son las ya mencionadas en los ensayos con arco unidireccional de 1/2 onda y el procesado fotográfico de la película similar al empleado en el proceso de calibración.

Se practicaron cinco determinaciones sobre cada probeta. Los valores de densidades ópticas son transformados en intensidades mediante la curva de calibración.

En la curva de trabajo se representan las relaciones de intensidades del arsénico y cobre (IAS/ICu) previamente corregidos por fondo de la emulsión, en función del logaritmo de la concentración de As (fig. 5). Los valores promedio que han sido graficados figuran en la tabla IV.

La precisión del análisis espectrográfico expresado como ν fue determinado sobre una probeta de 0,04 % de arsénico y sobre la base de 12 determinaciones. ν se determina con la siguiente fórmula:

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

donde

ν = coeficiente de variación

$\bar{x}$ = concentración media

d = diferencia de la determinación con el valor medio

n = número de determinaciones

El valor hallado es de 12.

3. CONCLUSIONES

- 3.1 Se dan los valores de los parámetros eléctricos más eficientes para nuestra fuente de excitación.
- 3.2 Se han preparado muestras patrones secundarias de latones tipo Almirantazgo y ello ha permitido obtener la curva de trabajo, para la determinación de arsénico en aleaciones similares.

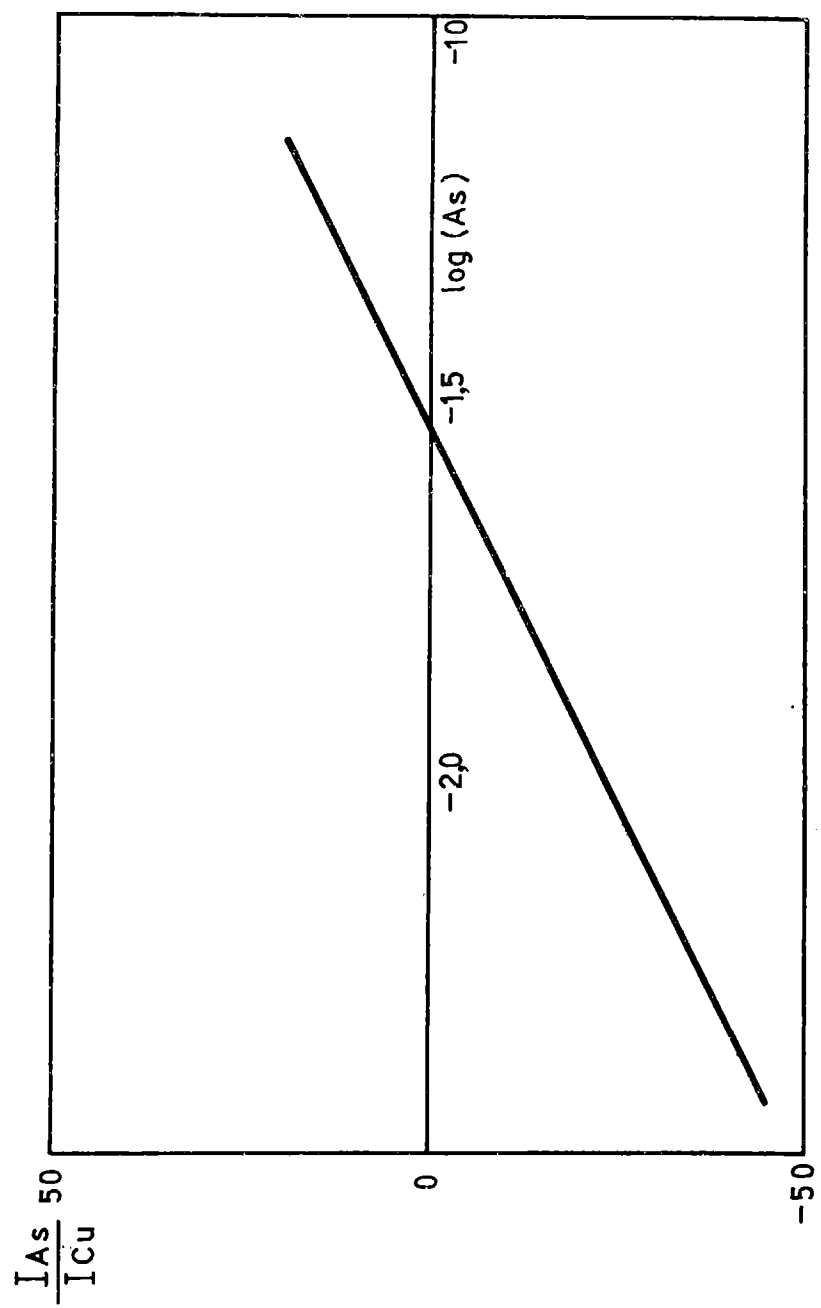


FIGURA 5

- 3.3 Si bien el contenido de arsénico fijado por las especificaciones es de 0,01 a 0,10 %, nuestra curva de trabajo abarca hasta 0,06 %, por la imposibilidad de conseguir muestras con contenidos más altos. La mayoría de las muestras analizadas tienen 0,04 %.
- 3.4 Es importante en estos materiales asegurar que el arsénico se encuentre por encima de 0,01 % para inhibir la corrosión. Este valor límite inferior puede expresarse con seguridad.
- 3.5 Si bien la precisión obtenida por vía espectrográfica es inferior a la lograda por vía química está dentro de los límites tolerables con las exigencias del material.
- 3.6 Es indudable que se obtiene una ganancia considerable de tiempo en la información del resultado, factor importante tratándose de materiales utilizados por las usinas de suministro de energía eléctrica.
- 3.7 Puede estimarse en una jornada de trabajo el tiempo necesario para la realización del análisis espectrográfico de diez muestras.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Annual Book of A.S.T.M. Standards. Part 32 (1972), E 54-72
- (2) Annual Book of A.S.T.M. Standards. Part 32 (1972), E 36-45
E 62-72.
- (3) Case, O. P. Anal. Chem. 20, 10 (1948).
- (4) A.S.T.M. "Methods for Emission Spectrochemical Analysis" (1964). E 2-SM 5-8.
- (5) Ibid E 130-63 T.
- (6) Ibid E 116-59 T.
- (7) Ibid E 115-59 T.

**DETERMINACION DE ALUMINIO EN ACEROS NO ALEADOS
MEDIANTE POLAROGRAFIA CON CORRIENTE ALTERNA**

Dr. Vicente F. Vetere

Lic. María Inés Florit

SERIE II, Nº 300

INTRODUCCION

La problemática de la determinación analítica, de pequeñas concentraciones de aluminio en presencia de altas cantidades de hierro, aún no ha sido solucionada satisfactoriamente, ni por técnicas comunes de analítica clásica, ni por métodos instrumentales, ya sea espectrografía, fluorescencia de rayos X, absorción atómica o polarográfica con corriente continua.

Todas las técnicas usuales, incluyen engorrosos procedimientos donde siempre es imprescindible la separación previa del hierro. En este trabajo, se propone la utilización de un colorante que forma complejo selectivamente con el aluminio y no con el hierro al estado de ión ferroso.

Dicho colorante se ha utilizado en trabajos de quelatometría, pero no se tiene conocimiento de que haya sido empleado en la determinación polarográfica del aluminio.

PLANTEO DEL TRABAJO

La idea fundamental, es la determinación de aluminio en un acero no aleado por una técnica indirecta que mide la concentración de ligando libre, no unido al aluminio.

Para ésto es necesario en primer lugar, estudiar algunas propiedades polarográficas del ligando y del complejo que forma con el aluminio, como así también las posibles interferencias del hierro, manganeso y cobre, que son los únicos componentes de un acero aleado que podrían perturbar la onda del ligando libre.

En base a estas consideraciones se propone un plan de estudio que se puede resumir en los siguientes tópicos:

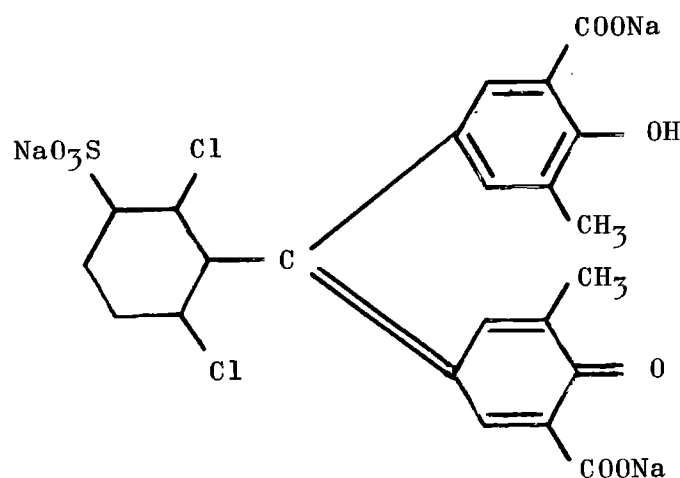
Estudio de los parámetros que establecen las condiciones óptimas para la determinación por descarga polarográfica

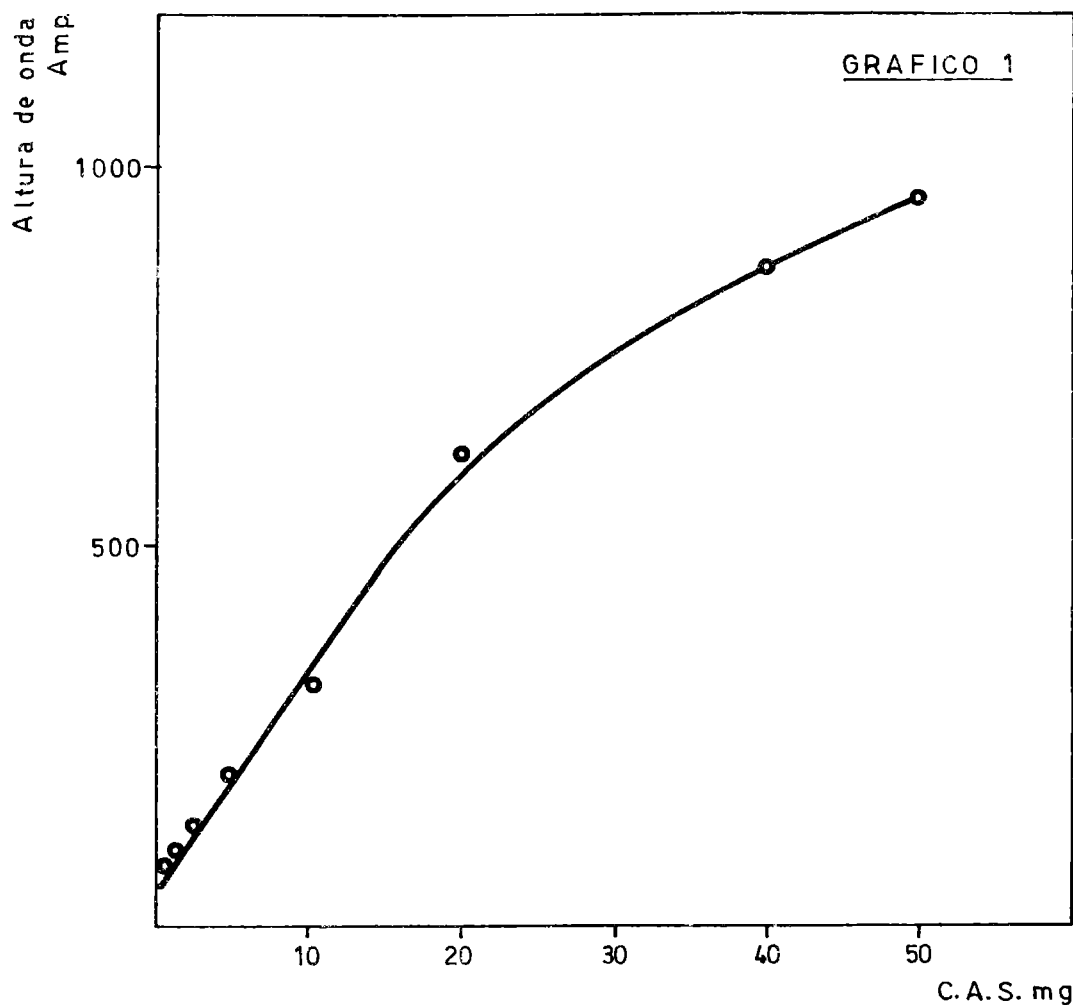
del colorante.

- Estudio de la interferencia del hierro.
- Formación del complejo colorante-aluminio; estudio de la descarga polarográfica del ligando libre en presencia de hierro y de aluminio.
- Estudio de la interferencia de cobre.
- Estudio de la interferencia de manganeso.
- Análisis de los ensayos realizados.
- Determinación de aluminio en aceros no aleados; comprobación del método propuesto sobre soluciones sintéticas y sobre patrones del National Bureau of Standards.

1. ESTUDIO DE LOS PARAMETROS PARA ESTABLECER LAS CONDICIONES OPTIMAS PARA LA DETERMINACION POR DESCARGA POLAROGRAFICA DEL COLORANTE

El colorante utilizado, Chromazurol-S (C.A.S.), es la sal disódica del ácido 3"-sulfo-2", 6"-dicloro-3, 3'-dimetil-4-hidroxifucsóna-5-5-dicarboxílico, de peso molecular 560 y cuya fórmula desarrollada es la siguiente:



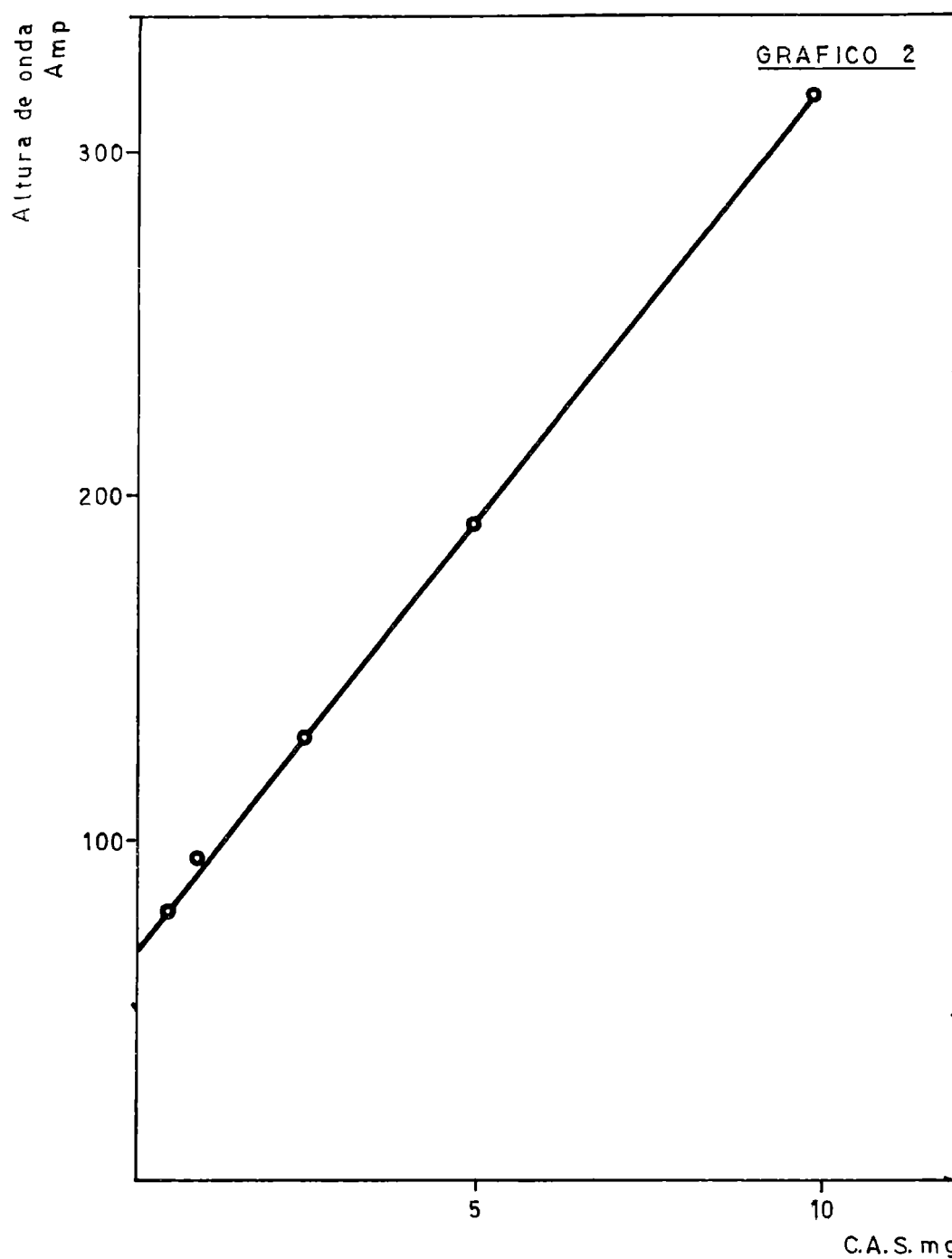


De acuerdo a la bibliografía, este colorante forma selectivamente un complejo con el Al^{+++} a $\text{pH}=4$, sin que se manifieste interferencia del hierro, siempre que éste se mantenga al estado Fe^{++} .

El estado reducido del ión hierro se consigue aquí, mediante el agregado de ácido ascórbico y el condicionamiento del medio; se ha seleccionado el buffer ácido acético-acetato de sodio, para realizar el presente trabajo.

El equipo utilizado es un polarógrafo Metrohm AG CH-9100 Herisau. Se realizaron polarografías con un sobrepotencial impreso de corriente alterna igual a 50 mV. El potencial inicial es 0,0 V y el barrido polarográfico de -2,0 V.

En la zona de potenciales indicados, el colorante pre-



senta dos ondas de reducción, de las cuales la que aparece a $-0,3$ V es la que manifiesta carácter cuantitativo con respecto a la concentración, y por lo tanto la que se utilizará en las medidas.

Las sensibilidades empleadas en el trabajo barren un

rango desde $5 \cdot 10^{-8}$ Amp/mm a $5 \cdot 10^{-9}$ Amp/mm.

Se trabajó con soluciones con concentraciones crecientes de colorante, según se indica en la Tabla I. Estos ensayos permitieron delimitar cuál es el rango de concentración de Chromazurol-S, que manifiesta una respuesta lineal en la descarga polarográfica.

Como se puede apreciar en los gráficos 1 y 2, la zona lineal de la curva tiene por límite máximo de concentración al punto de 0,1 mg/ml. Por consiguiente las determinaciones se realizarán con concentraciones que no superen ese tenor.

2. ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA DEL HIERRO

A continuación se estudió la onda de descarga polarográfica del Chromazurol-S, en presencia de hierro.

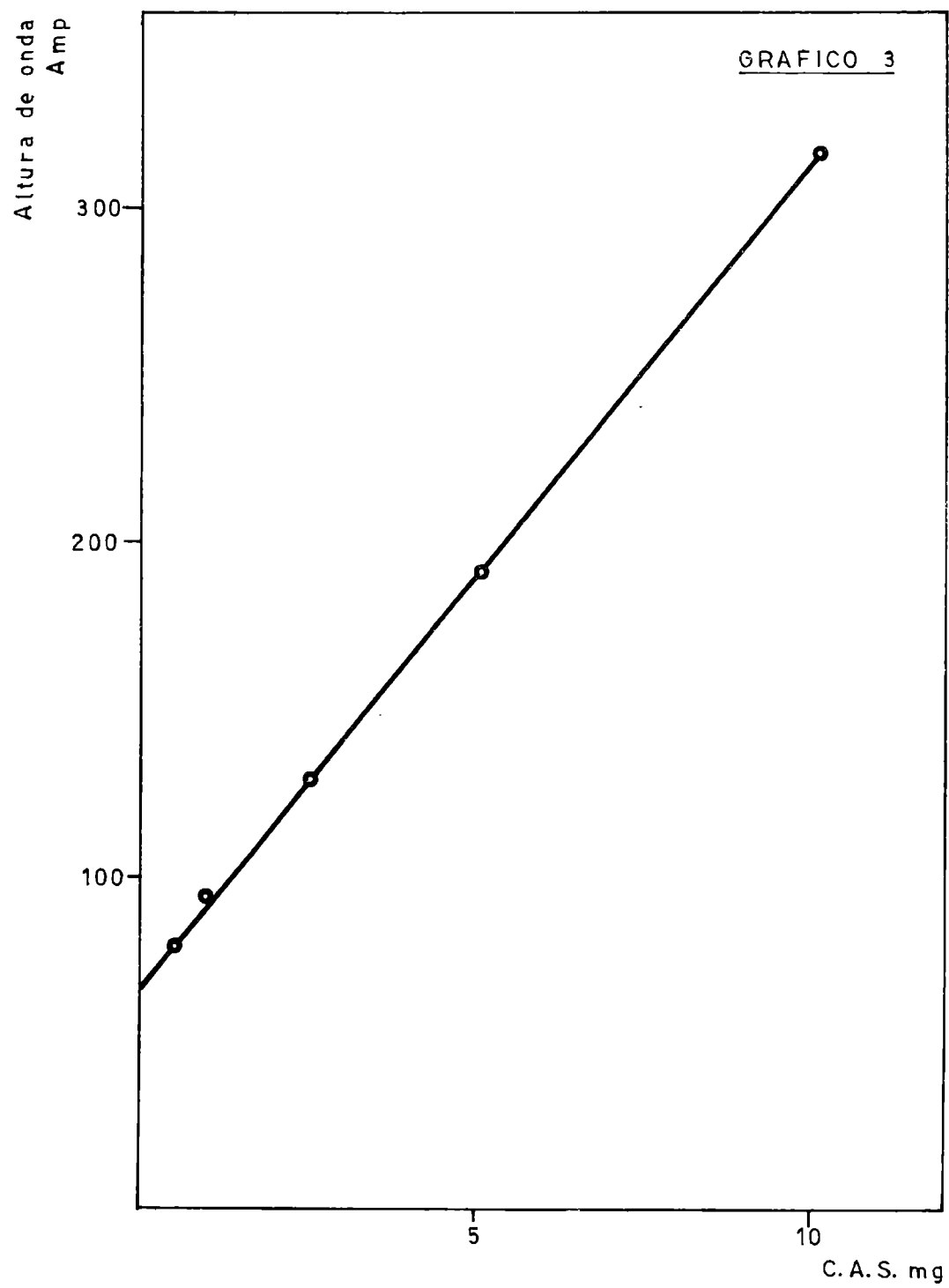
Este elemento, como ya se ha indicado, se mantiene al estado Fe^{++} , con ácido ascórbico y se trabaja, igual que en la sección anterior en medio buffer, ácido acético-acetato de sodio, selectivo para la formación del complejo Chromazurol-S- Al^{+++} .

Las determinaciones polarográficas se efectuaron sobre soluciones con un tenor constante de Fe^{++} y concentraciones crecientes de C.A.S., sin superar el límite máximo de 0,1 mg/ml.

Los ensayos se realizaron, como ya se ha establecido, con un sobrepotencial impreso, de corriente alterna, de 50 mV.

Los resultados obtenidos, promedio de tres determinaciones, se informan en la Tabla II.

Como se evidencia de los valores de la misma y del gráfico 3, la presencia de Fe^{++} no interfiere en la determinación polarográfica del Chromazurol-S-.



3. FORMACION DEL COMPLEJO C.A.S.-ALUMINIO; ESTUDIO DE LA DESCARGA POLAROGRAFICA DEL LIGANDO LIBRE EN PRESENCIA DE HIERRO Y DE ALUMINIO

Considerando que la formación del complejo Chromazurol-S- Al^{+++} , responde, por lo menos, a una reacción mol a mol, debe existir, por razón de pesos moleculares, una relación estequiométrica entre ellos de 20/1.

Los ensayos se realizaron en las condiciones ya establecidas, o sea: medio buffer ácido acético-acetato de sodio, ácido ascórbico como reductor del hierro y sobrepotencial impreso de corriente alterna de 50 mV.

Las determinaciones se efectuaron con soluciones de tenor constante de Fe^{++} y de Chromazurol-S y concentraciones crecientes de Al^{+++} .

La Tabla III, da los valores obtenidos como promedio de tres determinaciones.

En este caso la altura de onda registrada, resultó ser inversamente proporcional a la concentración Al^{+++} ; por consiguiente lo que se mide es la corriente que corresponde a la descarga polarográfica del ligando libre.

Se puede comprobar a partir del gráfico 4, que se mantiene respuesta lineal en la descarga del ligando libre, hasta una cantidad de Al^{+++} igual a 0,2 mg para un tenor de Chromazurol-S de 10,0 mg (0,1 mg/ml).

Este hecho condiciona la forma en que se tomará la muestra para realizar las determinaciones.

4. ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA DE COBRE

4.1 Determinación del tenor de cobre que permanece disuelto en ácido clorhídrico durante el ataque de un acero.

Previo al estudio de la interferencia de cobre, se rea-

lizaron ensayos tendientes a determinar qué tenor de cobre permanece disuelto, cuando una muestra de acero es atacada con ácido clorhídrico. Con este fin se procesaron muestras de la siguiente composición:

Nº 1: Fe y 1 % de Cu

Nº 2: Fe y 0,1 % de Cu

Nº 3: Fe y 0,1 % de Cu

El Cu^{++} fue agregado en todos los casos, bajo la forma de cloruro cúprico.

Las tres muestras fueron atacadas con HCl (1:1) en cantidad suficiente, apareciendo entonces el precipitado de cobre elemental.

A las muestras Nº 1 y Nº 2 se les agregó pulpa de papel y fueron filtradas por papel Whatman Nº 40, quedando así retenido el precipitado de cobre metálico.

A continuación las tres fueron tratadas con H_2O_2 de 100 volúmenes y luego de conseguir la oxidación total se agregó $\text{ClNH}_4\text{-NH}_3$ (2M-2M), precipitando de esta manera el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y consiguiendo el medio adecuado para realizar la polarografía de cobre.

Los polarogramas se realizaron previa filtración, por filtro seco, de las soluciones así preparadas.

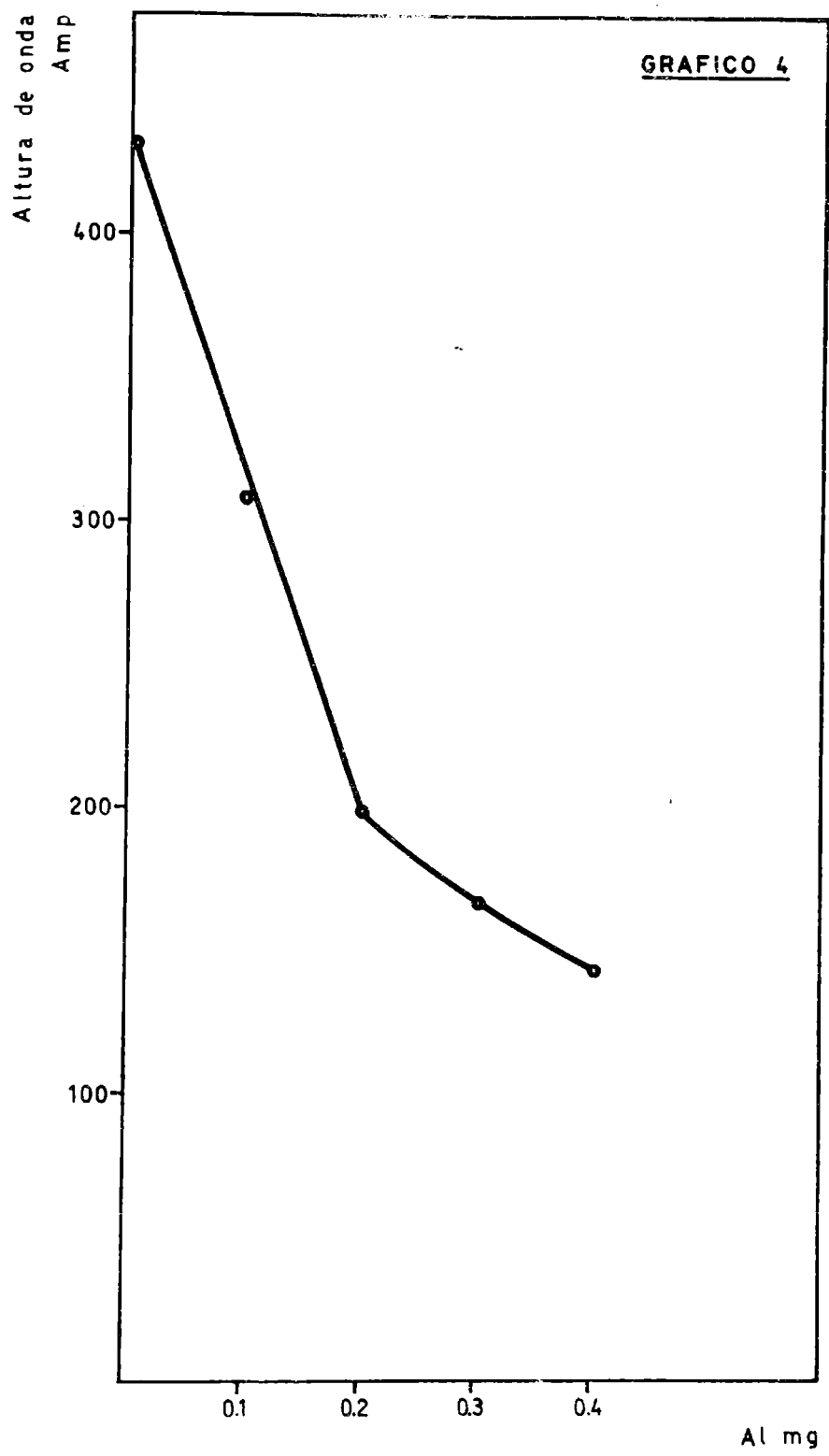
El medio buffer pH=10 ($\text{ClNH}_4\text{-NH}_3$), el Cu^{++} presenta dos ondas de descarga polarográfica, una a -0,2 volt que corresponde a la reacción $\text{Cu}^{++}/\text{Cu}^+$ y otra a -0,5 volt para la reacción Cu^+/Cu^0 , siendo sólo esta última de carácter cuantitativo.

Los resultados obtenidos, como promedio de tres series de determinaciones, se indican en la Tabla IV.

Los valores de la tabla citada precedentemente, indican que el tenor de cobre que permanece disuelto en HCl es menor de 0,01 %, siendo por consiguiente prácticamente despreciable.

4.2 Comprobación de la interferencia de cobre

Se prepararon muestras de Fe^{++} con 0,1 % de Al^{+++} y se



les adicionó Cu^{++} (bajo la forma de Cl_2Cu) en razón de 0,1 % y 1,0 %.

A estas muestras se les acondicionó el pH con ácido acético-acetato de sodio y se les agregó Chromazurol-S en la cantidad ya determinada, de 10 mg, lo que provee una concentración de colorante de 0,1 mg/ml. Se trabajó como en todas las determinaciones, con un sobrepotencial impreso de corriente alterna de 50 mV.

En estas condiciones se realizaron los polarogramas, notándose una marcada interferencia del Cu^{++} en el rango de potencial que corresponde a la zona de descarga del complejo Chromazurol-S-aluminio.

4.3 Determinación de aluminio en presencia de cobre

Tendiendo a superar la interferencia de cobre, ya comprobada y considerando los resultados obtenidos en lo referente al tenor de cobre, que queda sin reducir, en el ataque de un acero con HCl (1:1), se procedió a realizar determinaciones de Al^{+++} en presencia y ausencia de cobre.

Se utilizaron muestras en las que el rango de concentración de Cu^{++} , con respecto al componente mayoritario barió el rango de 0,1 % a 1,0 %.

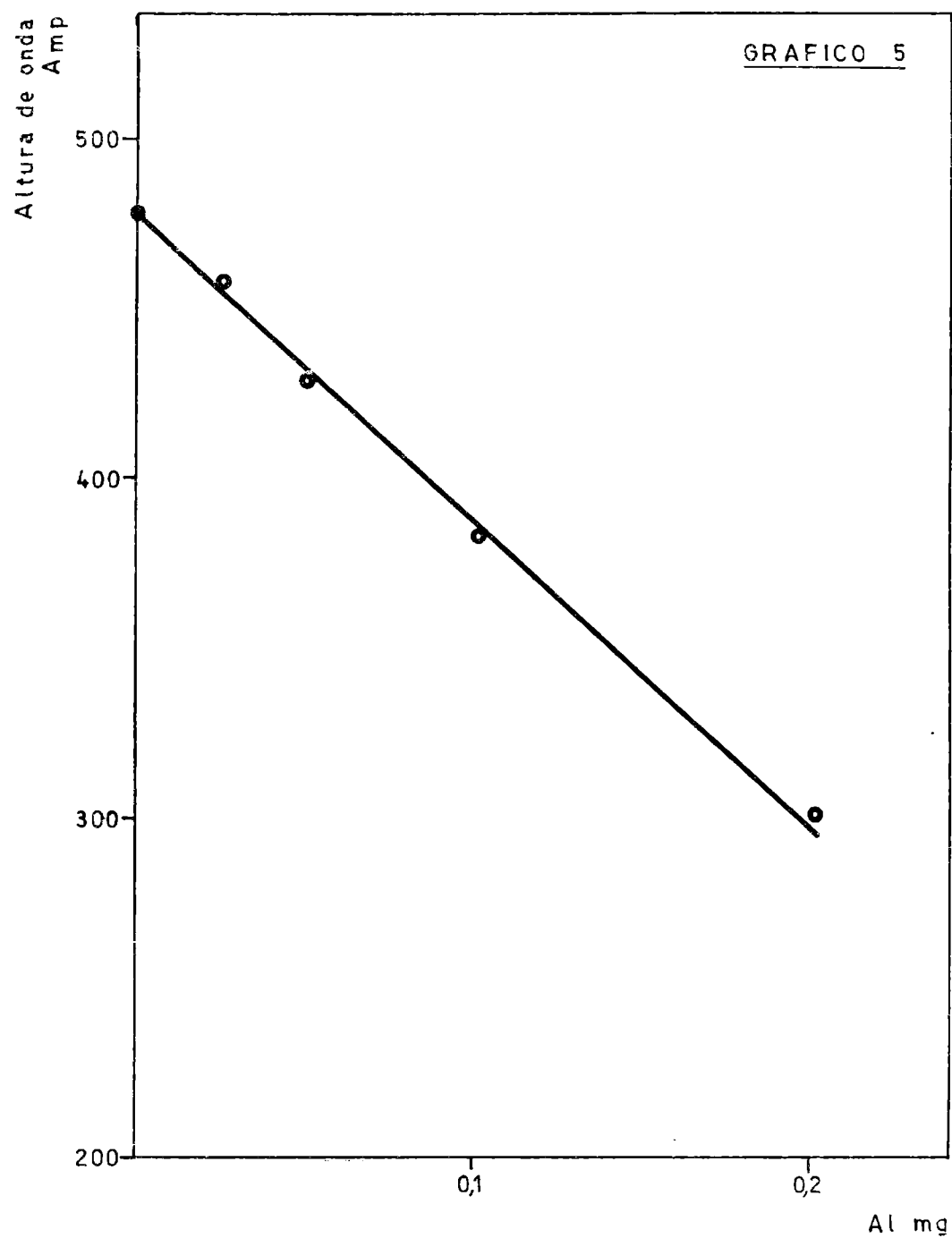
Los aceros se atacaron con HCl (1:1), agregando pulpa de papel a las muestras con contenido de cobre; éstas se filtraron por papel Whatman N° 40 y las soluciones resultantes se llevaron a volumen en matraz aforado.

De allí se tomaron las alícuotas adecuadas, a las que se les agregó ácido ascórbico como reductor del hierro, medio buffer ácido acético-acetato de sodio y 10 mg de Chromazurol-S de manera de proveer una concentración de 0,1 mg/ml.

Se trabajó, igual que en todos los casos, con sobrepotencial impreso de corriente alterna de 50 mV.

Los resultados se informan en la Tabla V y corresponden a un promedio de tres series de determinaciones.

Se evidencia de los valores presentados en la Tabla V, que luego del ataque de la muestra con HCl y del filtrado del



precipitado de cobre elemental, este elemento no interfiere en la determinación de aluminio con Chromazurol-S.

6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Como síntesis de los puntos 1 a 5 tratados precedentemente, se concluye que:

a) La concentración de Chromazurol-S, en la alícuota para realizar la determinación polarográfica no debe superar el tenor de 10 mg/100 ml.

b) La concentración de aluminio, para ese valor de 10 mg/100 ml de C.A.S., no debe ser mayor a 0,2 mg/100 ml.

c) Para evitar la interferencia del cobre es necesario eliminar primero la mayor parte mediante una filtración, realizada inmediatamente de finalizado el ataque. De esta manera el remanente soluble no interfiere en la determinación.

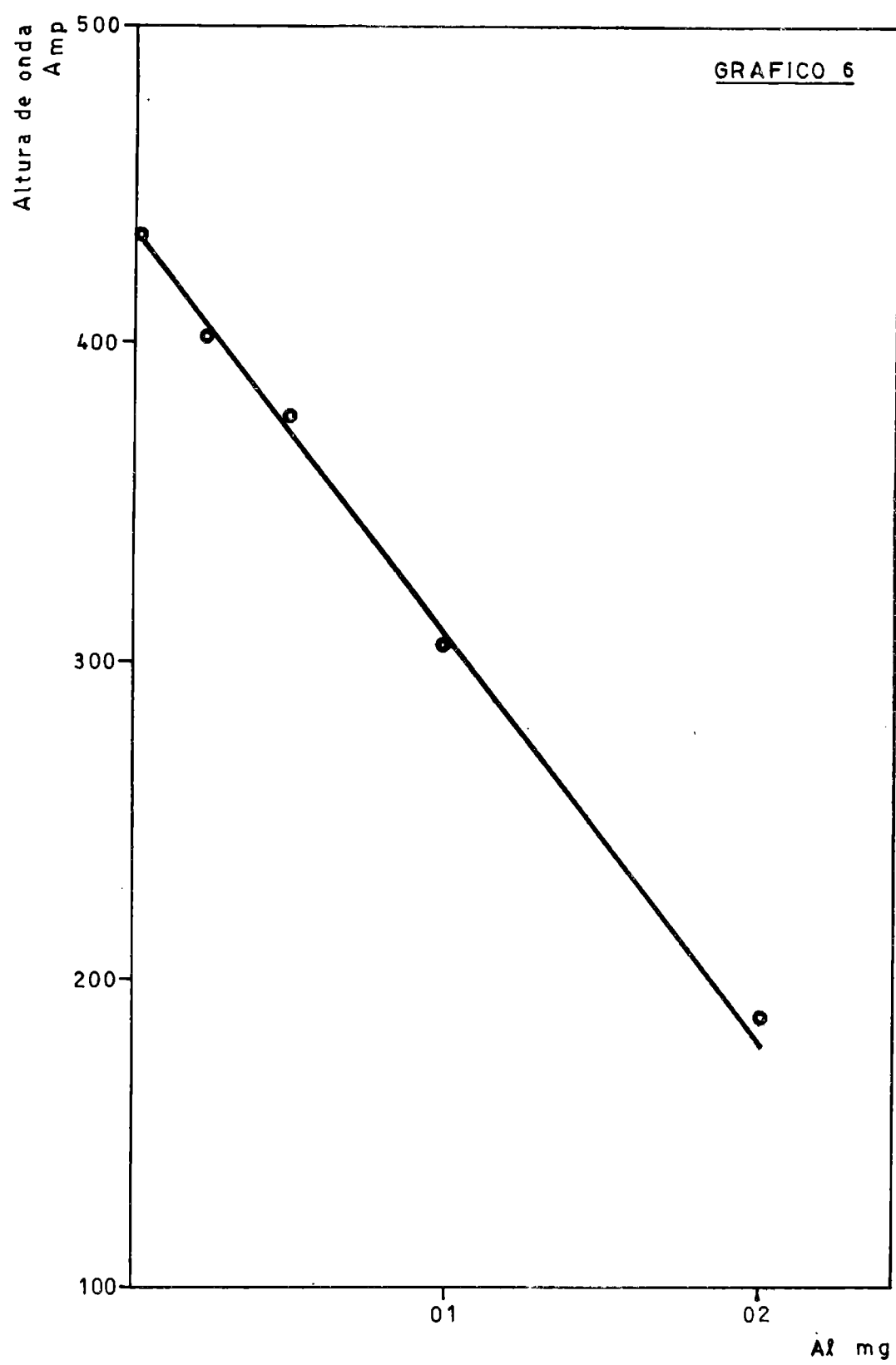
d) El hierro al estado de ión ferroso, (reducido con ácido ascórbico), no interfiere y el manganeso no afecta la onda del colorante.

En base a estas conclusiones se propone el siguiente método, para la determinación de aluminio en aceros no aleados:

Para aceros con un contenido de aluminio comprendido entre 1 % y 0,1 % se pesan 0,250 g de muestra, se atacan en caliente con 50 ml de ácido clorhídrico (1:1), se le agrega pulpa de papel y se filtra inmediatamente por papel Whatman Nº 40, la solución límpida se lleva a volumen de 250 ml en matraz aforado.

Para aceros con un tenor de aluminio comprendido entre 0,1 % y 0,01 % se debe pesar 1 g de muestra, atacar con 20 ml de ácido clorhídrico (1:1), agregar pulpa de papel y filtrar por papel Whatman Nº 40, inmediatamente de finalizado el ataque. La solución límpida se enrasa a un volumen final de 100 ml.

En ambos casos se toma una alícuota de 20 ml de la solución anterior, se agregan 2 g de ácido ascórbico, 15 ml de ácido clorhídrico (1:1), 30 ml de acetato de sodio 2M y 5 ml, medidos con pipeta aforada, de una solución recientemente preparada de Chromazurol-S al 0,2 %. Se lleva a un volumen final de



100 ml en matraz aforado.

Sobre esta solución se realiza el barrido polarográfico.

El valor de aluminio, se obtiene mediante comparación con muestras patrones del National Bureau of Standards, de tenor semejante o bien utilizando el método de sobreagregados, siguiendo en cualquiera de los dos casos la técnica ya indicada.

Las polarografías se realizan partiendo de un potencial de 0,0 V y efectuando un barrido de -2,0 V. De las dos ondas de descarga del C.A.S., la que aparece a -0,3 V es la que se utiliza para realizar las medidas. Se aplica un sobrepotencial de corriente alterna de 50 mV y el rango de sensibilidades varía desde $5 \cdot 10^{-9}$ Amp/mm a $5 \cdot 10^{-8}$ Amp/mm.

El equipo utilizado en las determinaciones es un polarógrafo Metrohm AG CH-9100 Herisau.

7. DETERMINACION DE ALUMINIO EN ACEROS NO ALEADOS. COMPROBACION DEL METODO PROPUESTO SOBRE SOLUCIONES SINTETICAS Y SOBRE PATRONES DEL N.B.S.

Las determinaciones se realizaron siguiendo la técnica indicada en el párrafo anterior.

Los resultados obtenidos, promedio de tres series de determinaciones, se informan en las tablas VII y VIII y en los gráficos 5 y 6 respectivamente.

Los valores de exactitud relativa correspondientes a las tablas VII y VIII se indican en la Tabla IX.

El método propuesto se comprobó con dos muestras del National Bureau of Standards. Los resultados se informan en las tablas X y XI.

La estimación del error correspondiente a los valores de las tablas X y XI se indica en la Tabla XII.

8. CONCLUSIONES

1. Mediante el método propuesto, se consigue por primera vez, determinar por polarografía, pequeñas cantidades de aluminio en presencia de altas concentraciones de hierro, sin separación previa de este último.

2. Se introduce, también por primera vez el ligando Chromazurol-S en las técnicas polarográficas.

3. Dado que no es necesario separar el hierro, esta técnica es mucho más rápida (30 minutos contra 1 o 2 días) y sencilla que las registradas en la bibliografía.

4. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede asegurar que el método, además de rápido y sencillo tiene reproductibilidad y exactitud satisfactorias para la determinación de aluminio en aceros no aleados.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Kolthoff-Lingane.- Polarography, Vol. I and II, Second Edition.
2. Meites.- Polarographic Techniques.
3. Bermejo Martínez-Prieto Souza.- Aplicaciones analíticas del AEDT y similares.
4. Sillen, L. G. and Martell, A. E. - Stability constants of metal ion complexes. London, The Chemical Society. Special Publication Nº 17.

T A B L A I

C.A.S. mg	Volumen total		Altura de onda	
	mg	ml	ml	Amp
0,5		100		78.10^{-8}
1,0		100		92.10^{-8}
2,5		100		128.10^{-8}
5,0		100		190.10^{-8}
10,0		100		316.10^{-8}
20,0		100		616.10^{-8}
40,0		100		860.10^{-8}
50,0		100		950.10^{-8}

Nota.- Los resultados de la tabla corresponden a un valor promedio de tres series de determinaciones.

T A B L A II

Fe mg	C.A.S. mg	Volumen total		Altura de onda	
		ml	Amp		
100	0,5	100		79.10 ⁻⁸	
100	1,0	100		92.10 ⁻⁸	
100	2,5	100		128.10 ⁻⁸	
100	5,0	100		190.10 ⁻⁸	
100	10,0	100		316.10 ⁻⁸	

T A B L A III

Fe	C.A.S.		Al		Volumen total		Altura de onda	
	mg	mg	mg	mg	ml	ml	Amp	Amp
40	10,0	10,0	-	-	100	100	434.10^{-8}	434.10^{-8}
40	10,0	10,0	0,1	0,1	100	100	308.10^{-8}	308.10^{-8}
40	10,0	10,0	0,2	0,2	100	100	198.10^{-8}	198.10^{-8}
40	10,0	10,0	0,3	0,3	100	100	166.10^{-8}	166.10^{-8}
40	10,0	10,0	0,4	0,4	100	100	142.10^{-8}	142.10^{-8}

T A B L A IV

Muestra	Fe		Cu		Cu		Volumen total		Altura de onda	
Nº	mg	mg	mg	mg	%	%	ml	ml	Amp	Amp
1	1.000	10	10	10	1,0	1,0	100	100	40.10^{-8}	40.10^{-8}
2	1.000	1	1	1	0,1	0,1	100	100	42.10^{-8}	42.10^{-8}
3	1.000	1	1	1	0,1	0,1	100	100	450.10^{-8}	450.10^{-8}

T A B L A V

Fe mg	C.A.S. mg	Al %	Cu mg	Cu %	Volumen total ml	Altura de onda Amp
200	10	-	-	-	100	480.10^{-8}
200	10	0,1	-	-	100	300.10^{-8}
200	10	0,1	0,2	0,1	100	302.10^{-8}
200	10	0,1	0,4	0,2	100	302.10^{-8}
200	10	0,1	1,0	0,5	100	302.10^{-8}
200	10	0,1	2,0	1,0	100	303.10^{-8}

T A B L A VI

Fe	C.A.S	Al	Mn	Mn	Volumen	Altura de
mg	mg	%	mg	%	total	onda
					ml	Amp
200	10	-	-	-	100	480.10^{-8}
200	10	0,1	-	-	100	300.10^{-8}
200	10	0,1	2,0	1,0	100	303.10^{-8}
200	10	0,1	4,0	2,0	100	303.10^{-8}
200	10	0,1	6,0	3,0	100	304.10^{-8}
200	10	0,1	8,0	4,0	100	304.10^{-8}

T A B L A VII

Fe mg	Al mg	Al %	Altura de onda Amp
200	-	-	480.10^{-8}
200	0,025	0,01	458.10^{-8}
200	0,05	0,02	430.10^{-8}
200	0,10	0,05	384.10^{-8}
200	0,20	0,10	300.10^{-8}

T A B L A VIII

Fe mg	Al mg	Al %	Altura de onda Amp
20	-	-	436.10^{-8}
20	0,025	0,12	402.10^{-8}
20	0,05	0,25	376.10^{-8}
20	0,10	0,50	304.10^{-8}
20	0,20	1,00	186.10^{-8}

T A B L A IX

Valor verdadero mg	Valor leído mg	E	Exactitud relativa %
0,025	0,024	0,001	$\frac{1}{4}$
0,050	0,052	0,002	$\frac{1}{4}$
0,100	0,104	0,004	$\frac{1}{4}$
0,200	0,198	0,002	$\frac{1}{1}$
0,025	0,026	0,001	$\frac{1}{4}$
0,050	0,048	0,002	$\frac{1}{4}$
0,100	0,102	0,002	$\frac{2}{2}$
0,200	0,194	0,006	$\frac{3}{3}$

TABLA X (NBS Standard Sample 170 A, Al % 0,046)

Número de determinaciones	Altura de onda Amp	Al (sobre 200 mg) mg
1	399.10^{-8}	0,088
2	397.10^{-8}	0,090
3	397.10^{-8}	0,090
4	397.10^{-8}	0,090
5	398.10^{-8}	0,089

TABLA XI (NBS Standard Sample 106 A, Al % 1,08)

Número de determinaciones	Altura de onda Amp	Al (sobre 200 mg) mg
1	164.10^{-8}	0,210
2	165.10^{-8}	0,209
3	165.10^{-8}	0,209
4	166.10^{-8}	0,208
5	164.10^{-8}	0,210

TABLA XII (NBS Standard Sample 170 A, Al % 0,046)

Valor verdadero mg	Valor leído mg	E	Exactitud relativa %
0,092	0,088	0,004	4
0,092	0,090	0,002	2
0,092	0,090	0,002	2
0,092	0,090	0,002	2
0,092	0,089	0,003	3

Valor medio: 0,0894

Exactitud media relativa %: 2,6

Reproductibilidad %: 0,8

TABLA XIII (NBS Standard Sample 106 A, Al % 1,08)

Valor verdadero mg	Valor leído mg	E _r	Exactitud relativa %
0,216	0,210	0,006	2
0,216	0,209	0,007	3
0,216	0,209	0,007	3
0,216	0,208	0,008	3
0,216	0,210	0,006	2

Valor medio: 0,2092

Exactitud media relativa %: 2,6

Reproductibilidad %: 0,3

ALGUNAS APLICACIONES DEL LASER
FOTOEIASTICIMETRIA, INTERFEROMETRIA Y HOLOGRAFIA *

Dr. J. A. E. Calatroni **

Lic. J. J. Lunazzi ***

Lic. H. J. Rabal ****

Dr. M. Garavaglia **

SERIE II, Nº 301

- * Trabajo realizado en el Laboratorio de Espectroscopía, Óptica y Láser (LEOL), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.**
- ** Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).**
- *** Becario del CONICET**
- **** Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.**

INTRODUCCION GENERAL

Las características sobresalientes de la radiación emitida por el láser son las siguientes: elevada coherencia temporal y espacial, gran monocromaticidad, notable intensidad, distribución gaussiana de la intensidad a través del haz, escasísima divergencia y excelente definición del plano de polarización (1). En general, estas características son cumplidas por diferentes tipos de láseres. La diversa asociación de algunas de tales características permite la realización de experiencias de fotoelasticidad, difracción, interferencia y holografía. La aplicación del láser a estos campos de la ciencia y la tecnología ha dado como resultado un avance notable en cuanto a la modificación y perfeccionamiento de métodos y técnicas ya conocidos o, directamente, al desarrollo de algunos nuevos.

En las secciones que siguen, se ponen de manifiesto aquellas posibilidades de aplicación del láser y se comunican algunos desarrollos realizados hasta el presente en nuestro medio.

La Sección I, está dedicada a la fotoelasticimetría (2). En este caso las características aprovechables de la radiación láser son su intensidad, monocromaticidad, direccionalidad y polarización lineal, por cuanto permite atacar el problema tridimensional con el uso de la técnica de dispersión de radiación.

En la Sección II se presenta un variado material dedicado a la interferometría. Aquí son la coherencia, la intensidad y la direccionalidad las características conspicuas de la radiación láser, las que permiten las aplicaciones descritas. Se incluye un método goniointerferométrico de elevadísima precisión para determinar el espesor de láminas delgadas de caras planoparalelas o el índice de refracción de la sustancia translúcida con que ellas han sido fabricadas (3). Además, se describe un interferómetro rasante que posibilitará el estudio de la calidad de la superficie de las mesas metrológicas o "mármoles", como así también su de-

formación cuando se las carga para la realización de mediciones (4).

La Sección III está dedicada a la holografía. La coherencia espacial, la coherencia temporal y la intensidad de la radiación son las características esenciales para que las experiencias de holografía resulten exitosas. Las técnicas de holointerferometría por doble exposición y holointerferometría simultánea son aplicadas a un ensayo no destructivo (5).

I - FOTOELASTICIMETRIA

Introducción

La fotoelasticimetría se basa en el fenómeno de birrefringencia accidental: todas las sustancias que inicialmente son ópticamente isótropas se vuelven temporariamente más o menos birrefringentes al ser sometidas a una acción mecánica exterior que le produce una deformación elástica. En fotoelasticimetría bidimensional se trabaja con modelos planos confeccionados en vidrios o plásticos adecuados que representan cortes de las piezas sujetas a estudio. Al ser sometidos a un estado de tensión doble o plano se modifican las propiedades ópticas del material, comportándose como las láminas retardadoras, es decir exhibiendo birrefringencia.

Teniendo en cuenta que los índices de refracción son funciones lineales de las tensiones aplicadas, es posible obtener información sobre éstas al analizar la birrefringencia del modelo con un polariscopio. Cuando la complejidad del modelo a estudiar no permite hacer un análisis fotoelástico bidimensional, se construye un modelo tridimensional y se analizan ciertos planos del mismo, previo un fijado de las tensiones aplicadas. Este último proceso de congelamiento de tensiones ha constituido la base de la fotoelasticimetría tridimensional. Permite tomar un modelo, cortarlo según ciertas orientaciones. analizar bidimensionalmente cada

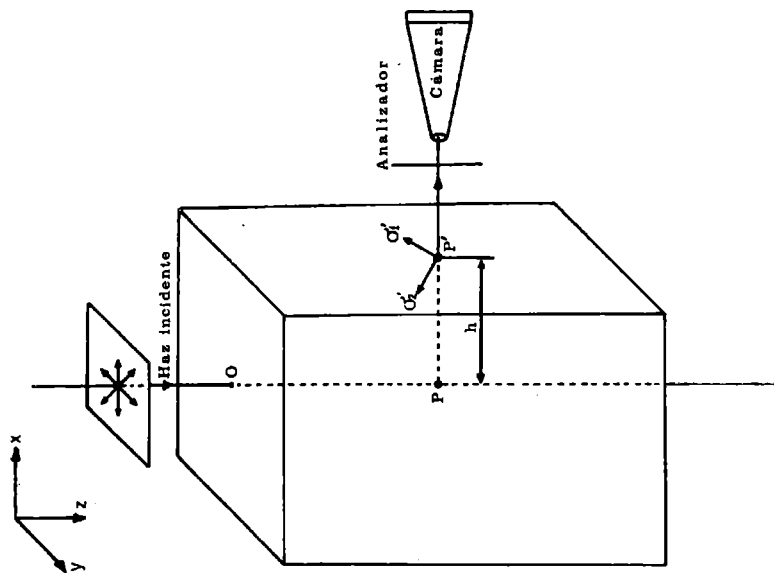


Fig. 1.- Ilustración del fenómeno de dispersión de luz por un medio artificialmente anisótropo.

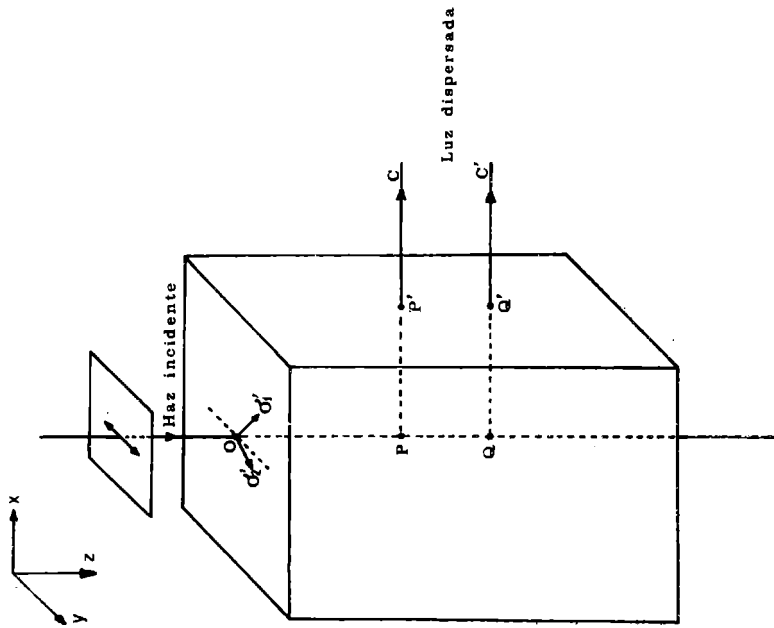


Fig. 2.- Transmisión de luz polarizada a través de un medio tensionado. σ'_1 y σ'_2 representan las direcciones de las tensiones principales secundarias.

elemento y componer luego el régimen de tensiones del modelo completo.

Por un método totalmente diferente puede encararse el estudio tridimensional, sin necesidad de recurrir al uso de materiales con tensiones congeladas. Este método se basa en la dispersión de luz producida en medios transparentes. El fenómeno de dispersión de luz se ilustra en la Figura 1. Una onda de luz que se propaga en dirección z y vibra en el plano xy incide normalmente sobre el modelo; frecuentemente esta onda lo atraviesa, pero una variedad de materiales no transmite la luz perfectamente y tiene lugar cierta dispersión de radiación. Esta dispersión puede ser observada como vibraciones secundarias que son excitadas por la onda principal; cuando ésta se propaga en la dirección z las vibraciones asociadas con la luz dispersada están en planos normales al eje z y se propagan radialmente desde el centro emisor de dispersión. Así, la radiación dispersada puede ser observada desde cualquier dirección normal al eje z y su estado de polarización será lineal, como se muestra en la Figura 1. Cuando la observación se realiza en una dirección que no es normal al eje z , el grado de polarización disminuye a medida que disminuye el ángulo formado con dicho eje.

Para el propósito de la fotoelasticimetría puede suponerse que el material fotoelástico tiene un número infinito de fuentes dispersoras distribuidas a través del material. De este modo, la luz incidente será dispersada en todos los puntos y producirá la emisión de luz polarizada que se propaga radialmente desde los centros de dispersión. El empleo de esta luz dispersada, que es equivalente a ubicar un polarizador y un analizador dentro del modelo, suministra una vía de solución al análisis tridimensional de tensiones. Como la observación puede realizarse sobre planos arbitrarios del modelo fotoelástico se puede obtener información de las tensiones en secciones sin necesidad de congelarlas y cortar el modelo. La Figura 2 ilustra el empleo de la radiación dispersada en un análisis fotoelástico de tensiones. Un haz de luz incidente linealmente polarizado es dirigido hacia el modelo. Al penetrar en él, puede resolverse en dos componentes a lo largo de los ejes principales; esas dos componentes se propagan con distintas velocidades al atravesar el modelo desde O a P . La radiación observada en la dirección PC tendrá una

intensidad que depende del retardo relativo de las componentes y es función de las tensiones aplicadas. Si la dirección de observación se traslada a QC, cambia el retardo relativo suministrando información sobre el estado de tensiones en otra zona. De esta manera, con un único registro fotográfico es posible observar y analizar la magnitud de las tensiones en las zonas del modelo que haya sido iluminado.

Con el método expuesto, ha sido realizado en el LEOL un análisis fotoelástico empleando radiación láser. Esta última es particularmente adecuada por cuanto la intensidad de la luz dispersada es función de la intensidad de la fuente de iluminación. Además, la emisión del láser es altamente monocromática, lo que es un requisito indispensable para este tipo de análisis, evitando así el empleo de filtros. Por último la emisión del láser posee un elevado grado de polarización lineal, que hace innecesario el uso de polarizadores que inevitablemente atenúan la radiación.

Observación de franjas isocromáticas por dispersión de radiación láser.

La observación experimental se realizó sobre un modelo anular de 41,7 mm de radio externo, 21,8 mm de radio interno y 5 mm de espesor. Este modelo se confeccionó en resina epoxi y fue tensionado radialmente, manteniendo el borde externo libre, por medio de un anillo de caucho que, colocado en su centro, fue comprimido en forma normal al plano del modelo. Además, se lo flexionó según un diámetro, para contar con un sistema de tensiones en planos normales. La figura 3 muestra esquemáticamente la situación experimental. Como fuente luminosa se empleó un láser de He-Ne de 2 mW de potencia de emisión en 632,8 nm, esta disposición permite observar las franjas que muestran la variación de las tensiones en el seno del material. El haz del láser incidió sobre el borde del modelo, según una dirección radial, formando su plano de polarización un ángulo de 45° con los ejes principales del modelo.

La observación se realizó perpendicularmente al haz láser incidente y a 45° de los ejes principales. Esta disposición permitió registrar sólo las franjas isocromáticas (6). Dichas franjas fueron fotografiadas, obteniéndose los

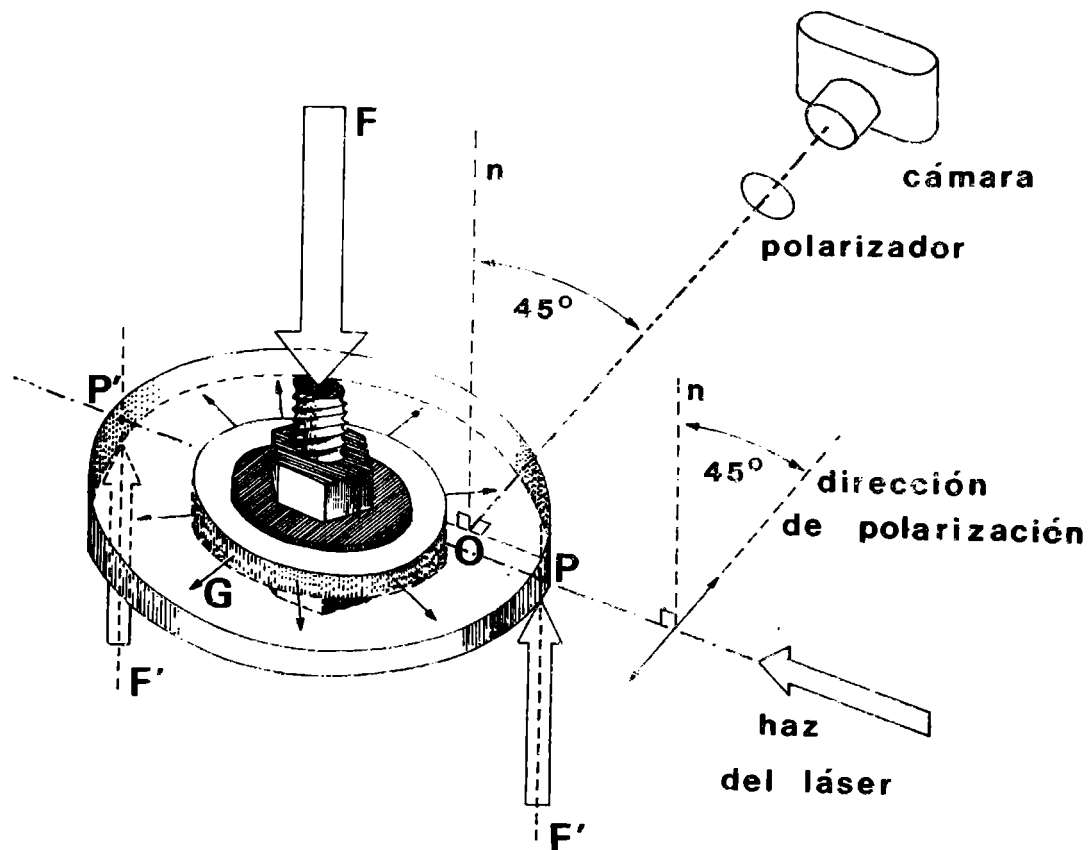


Fig. 3.- Modelo sometido a esfuerzos radiales G o a una combinación de esfuerzos radiales G y esfuerzos de flexión F aplicados según un diámetro. La radiación láser incide en la dirección radial PP' y la radiación dispersada se fotografió enfocando la superficie del modelo en el punto O .

registros A y B que se muestran en la figura 4, para distintas posiciones del haz luminoso respecto de las superficies límites del modelo. Para ello se desplazó, en cada caso, el haz del láser paralelo a sí mismo y verticalmente. Los registros mostrados en A corresponden al estado de tensiones radiales, mientras que los de B muestran la influencia de la superposición de las tensiones radiales y de flexión. Se verificó que el contraste y definición de las franjas isocromáticas aumentó notablemente cuando se las

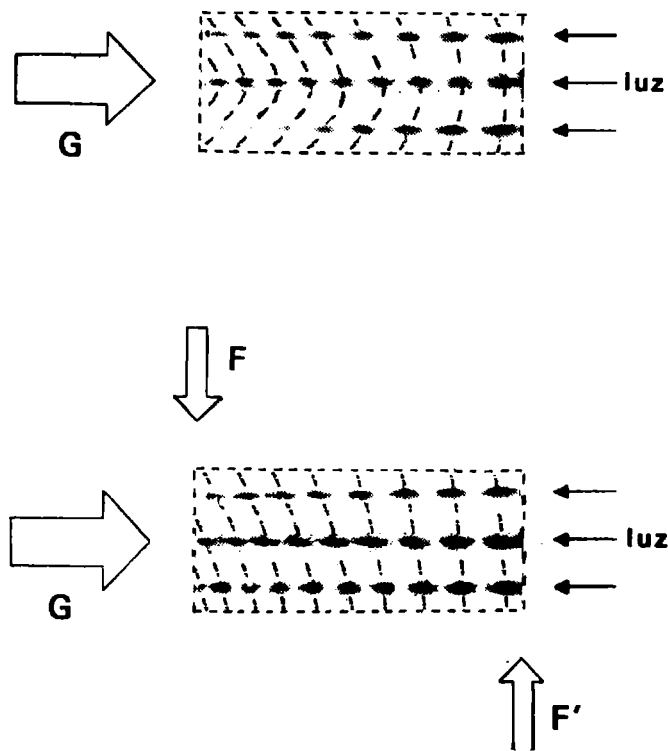


Fig. 4.- Sistemas de franjas isocromáticas obtenidas con la situación experimental ilustrada en la Fig. 3. A: estado de tensiones radiales para tres posiciones del haz luminoso respecto de la superficie límite del modelo. B: estado de tensiones radiales y de flexión para las mismas posiciones del haz luminoso que en A.

observó a través de un polarizador, con lo que se incrementa la exactitud del trazado del diagrama de las tensiones. Las aplicaciones más variadas del método discutido a la ingeniería mecánica y civil, pueden preverse sin inconvenientes de realización en nuestro país.

II - INTERFEROMETRIA

Introducción

La interferometría ha sido desde sus comienzos una técnica de la más alta precisión en las mediciones físicas. Basta recordar las famosas experiencias de Michelson sobre determinación de la velocidad de la luz, imposibilidad de observación del movimiento absoluto y establecimiento de la equivalencia óptica del metro patrón, para convencerse de ello.

La posibilidad de contar con fuentes luminosas coherentes permite obtener figuras de interferencia que dependen de la diferencia de camino óptico entre dos haces de luz, medida en unidades de longitud de onda. Es el rango de esta unidad donde pueden medirse los fenómenos ópticos ligados con las distancias y los índices de refracción. La longitud de onda de la luz es del orden de $0,5 \mu\text{m}$, de modo que la interferometría releva a las mediciones mecánicas de precisión en tareas que éstas ya no pueden cumplir. Se pueden medir así longitudes sin alterar en lo más mínimo al objeto a medir.

En el comienzo era tarea muy delicada la puesta a punto de una experiencia interferométrica debido a la poca longitud de coherencia de las fuentes luminosas disponibles. Afortunadamente ya no lo es tanto, gracias a la invención del láser, el que, con longitudes de coherencia superiores al metro, simplifica estos montajes añadiendo, empero, algunas complicaciones propias de menor cuantía.

a) Medición interferométrica de pequeños espesores o índices de refracción de materiales translúcidos.

Es sabido que la interferometría es la técnica más precisa para la determinación de estas dos magnitudes, por lo que, pensando en su determinación para los materiales con que se construyen los modelos de piezas mecánicas para fotoelasticimetría, se revisaron los métodos existentes. Entre los

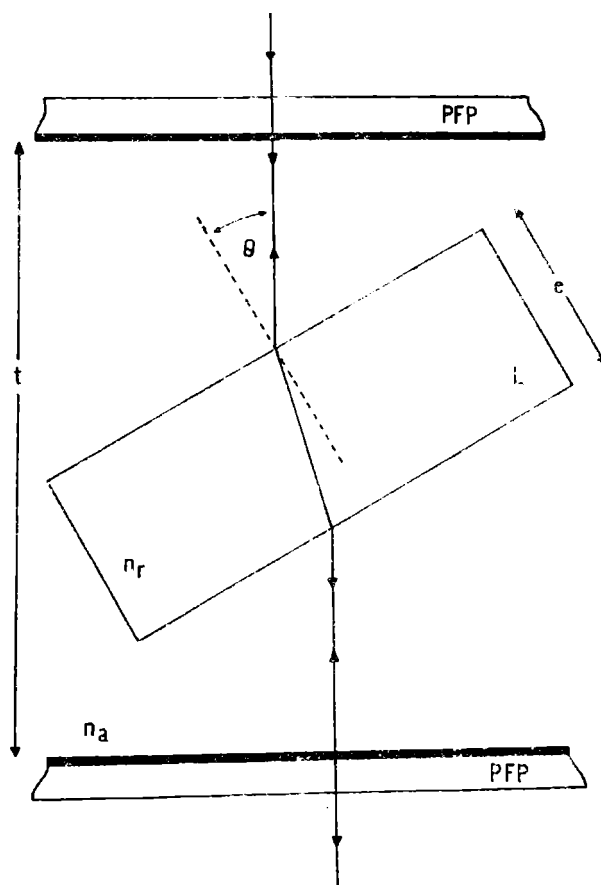


Fig. 5.- Interferómetro de Fabry - Perot conteniendo una lámina transparente planoparalela. PFP: placas del Fabry-Perot, L: lámina en estudio, n_a : índice de refracción del aire y n_r : índice de refracción del material de la lámina relativo al aire

no interferométricos uno de los más comunes y precisos es el del refractómetro de Abbe, que basado en el fenómeno de reflexión total, permite medir con una exactitud que falla ya en asegurar la tercera cifra decimal. Entre los interferométricos, resulta apropiado el sustentado por Andréasson et al (7) pero, motivados por la experiencia con el interferómetro del tipo Fabry-Perot se vislumbró la posibilidad de perfeccionarlo. De ello obtúvose un nuevo sistema (3) consistente en introducir en la cavidad de un interferómetro Fabry-Perot una lámina del material con sus caras muy pulidas y bien paralelas, montada sobre un goniómetro de pre-

cisión. Este sistema está esquematizado en la figura 5 donde se ve el pasaje (múltiple) de un rayo de luz láser dentro de la cavidad perfectamente alineada. Al salir de la cavidad la luz incide en un fotodetector y un circuito electrónico cuenta el número de máximos interferenciales que se producen al rotar la lámina. El pasaje múltiple aumenta la precisión en la detección de franjas de dos maneras: en un factor 2, desde el punto de vista cuantitativo, y en la obtención de un perfil mucho más estrecho de dichas "franjas", que en este caso no son tales, sino la distribución de intensidad dada por la fórmula de Airy para un punto sobre la pantalla, en función del camino óptico recorrido dentro de la cavidad.

El empleo de un haz muy estrecho de luz láser de suficiente longitud de coherencia y escasa divergencia permite afirmar la validez del esquema mostrado y concluir que la diferencia de órdenes interferenciales j entre la posición inicial en la cual la lámina está ubicada paralelamente a los espejos de la cavidad y la posición final correspondiente a una rotación de ángulo θ alrededor de un eje paralelo a dichos espejos vale:

$$j = \frac{2e}{\lambda} n_a \left[1 - n_r - \cos \theta + (n_r^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \right] \quad (1)$$

donde: e espesor

n_a índice de refracción del medio que rodea la lámina, normalmente aire.

n_r índice de refracción de la lámina respecto a dicho medio.

λ longitud de onda.

La posición inicial está asegurada con este sistema mejor que con ningún otro, pues la determinan la interferencia producida por reflexiones en los espejos y las caras de las láminas, por lo que sólo resta asegurar la posición final y que el eje de giro sea efectivamente paralelo a los espejos por autocolimación con el anteojo del goniómetro alrededor de toda la platina del mismo.

Así se tiene que:

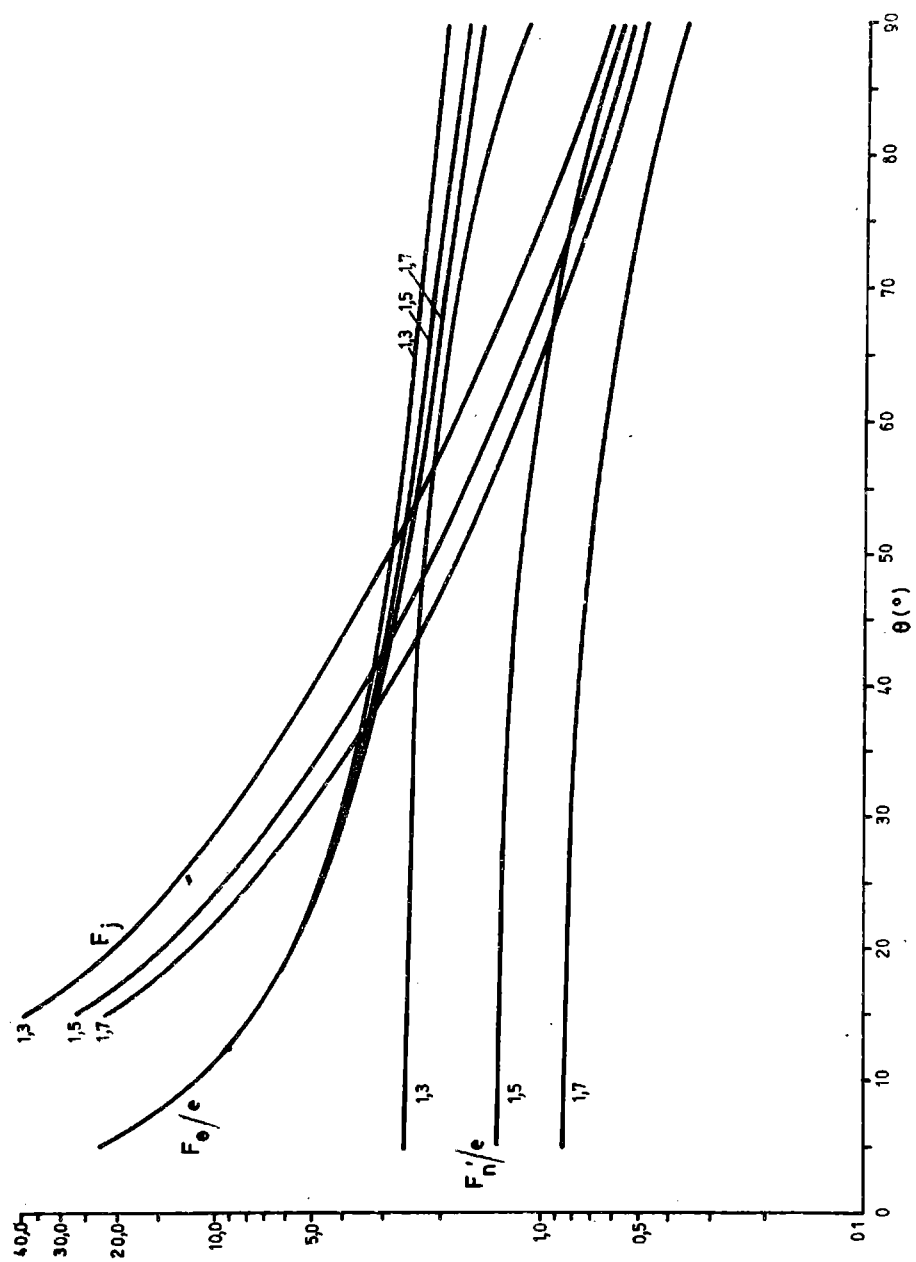


Fig. 6.- Factores de propagación de los errores en función del ángulo θ de rotación para las medidas de espesor.

$$e = \frac{e}{2n_a} \left[1 - n_r - \cos \theta - (n_r^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$n = n_a n_r = \frac{n_a}{2} \frac{\sin^2 \theta + (1 - \cos \theta - \lambda_j / 2 e n_a)^2}{1 - \cos \theta - \lambda_j / 2 e n_a} \quad (3)$$

donde n = índice de refracción absoluto de la lámina.

Del análisis de la fórmula (2) se obtienen los factores de propagación del error en la medición del espesor de una lámina cuyo índice de refracción es conocido, F_θ , F_n , F_j y F_λ correspondientes a las magnitudes señaladas con subíndices. Los tres primeros están graficados en función de θ en la figura 6 y el cuarto es directamente $F_\lambda = e/\lambda$. Los valores elegidos para n fueron de 1,3; 1,5 y 1,7. Debido a que F_θ , F_n y F_λ son proporcionales al espesor es que esta comunicación se refiere a la medición de espesores pequeños. Valores típicos del error están dados en la Tabla I. $\Delta \theta$ corresponde a la exactitud del goniómetro,

Δn a la del refractómetro (por lo general al de Abbe) y Δj a la del sistema de detección de la intensidad de las franjas. Típicamente si $e = 100 \mu\text{m}$ y $\Delta j = 1 \cdot 10^{-3}$, resulta $\Delta e = 0,024 \mu\text{m}$.

Para obtener buenos valores de Δj se requieren buenas condiciones de estabilidad instrumental, y el valor asignado a $\Delta \lambda$ es el correspondiente al de cualquier láser de He-Ne de 30 cm de longitud de cavidad.

Para la medición de índices de refracción; de la fórmula (3) se obtienen los factores de error F'_θ , F'_e y F'_j que están graficados en la figura 7 en función de θ y tomando como valores paramétricos típicos para el índice de refracción los mismos: 1,3; 1,5 y 1,7. F'_λ no está representado pues vale $F'_\lambda = e F'_e / \lambda$.

Puesto que F'_e y F'_j son inversamente proporcionales a e , la muestra a emplear debe ser de gran espesor y ello ha-

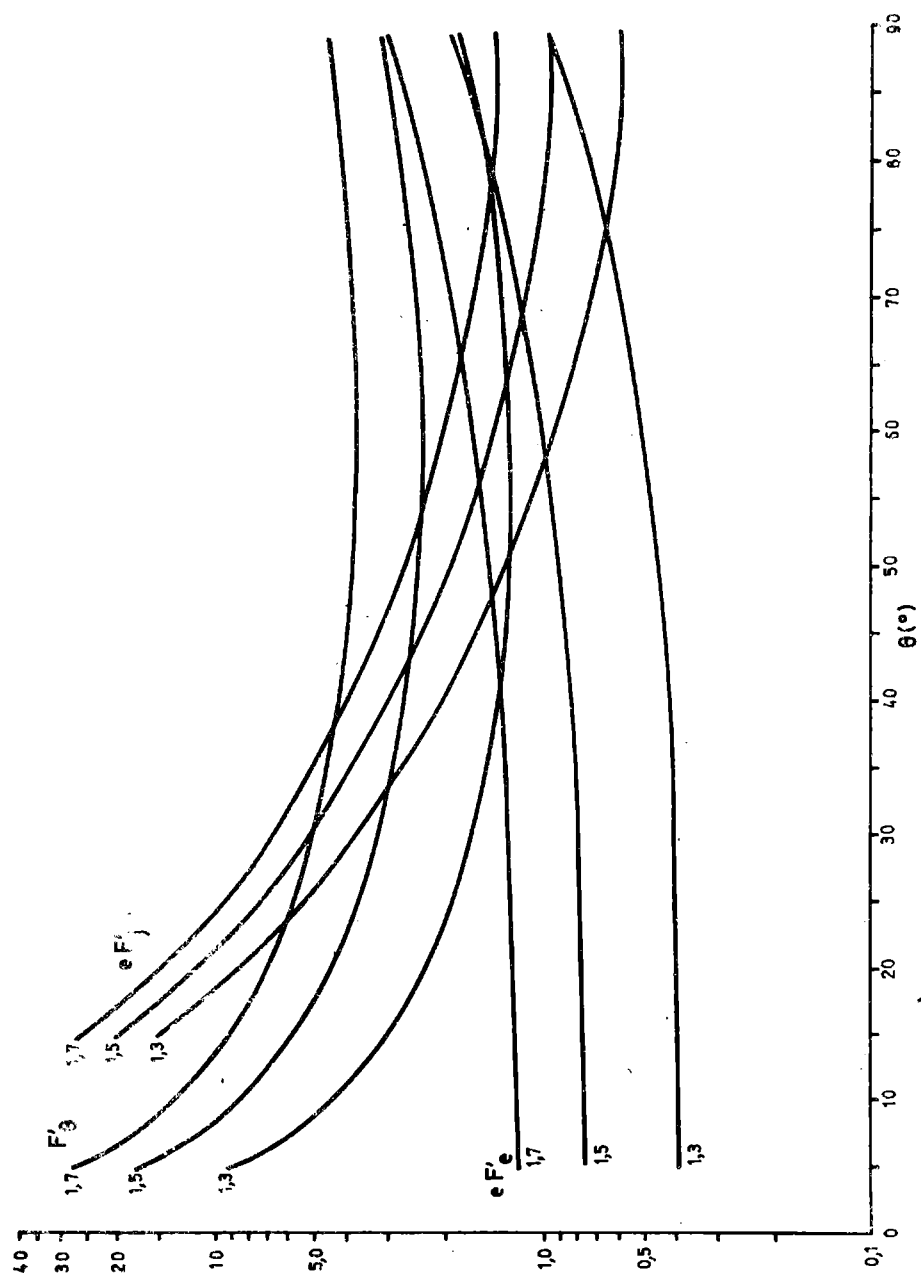


Fig. 7.-- Factores de propagación de los errores en función del ángulo θ de rotación para las medidas de índice de refracción.

T A B L A I

ERRORES PARCIALES QUE AFECTAN EL ESPESOR e

Para los valores típicos de $\lambda = 0,632816 \mu\text{m}$, $n = 1,5$
y $\theta = 60^\circ$ (espesor expresado en micrómetros)

$\Delta\theta = 2 \times 1'' = 2 \times 4,85 \times 10^{-6} \text{ rad}$	$\Delta e_\theta = e \times 2,2 \times 10^{-5}$
$\Delta n = 2 \times 10^{-4}$	$\Delta e_n = 2e \times 10^{-4}$
$\Delta j = 1 \times 10^{-3}$	$\Delta e_j = 1,4 \times 10^{-3}$
$\Delta\lambda = 6,7 \times 10^{-7} \mu\text{m}$	$\Delta e_\lambda = e \times 10^{-6}$

T A B L A II

ERRORES PARCIALES QUE AFECTAN EL INDICE DE REFRACCION n

Para los valores típicos de $\lambda = 0,632816 \mu\text{m}$, $n = 1,5$
y $\theta = 60^\circ$ (espesor expresado en micrómetros)

$\Delta\theta = 2 \times 4,58 \times 10^{-6} \text{ rad}$	$\Delta n_\theta = 2,2 \times 10^{-5}$
$\Delta e = 1 \mu\text{m}$	$\Delta n_e = 1,65/e$
$\Delta j = 1 \times 10^{-1}$	$\Delta n_j = 0,14/e$
$\Delta\lambda = 1,3 \times 10^{-8} \mu\text{m}$	$\Delta n_\lambda = 2,3 \times 10^{-8}$

ce que el desplazamiento lateral de la luz durante la rotación sea grande, llegando a ser incompatible con la apertura de las lentes utilizadas en otros métodos.

La tabla II muestra los valores obtenidos y que se constataron con placas de 8 a 25 mm de espesor. Las precisiones $\Delta e = 1 \mu\text{m}$ y $\Delta j = 1 \cdot 10^{-1}$ se obtuvieron con tornillo micrométrico y fotodetector comunes. Si e fuera menor que 1 cm, Δe deberá reducirse con métodos más elaborados. Se ve también que la condición de estabilidad en longitud de onda es mucho más rigurosa, requiriéndose un láser estabilizado.

Con este dispositivo es posible también inclinar una de las placas del interferómetro un ángulo Φ según un eje de giro paralelo al de la lámina y reducir F_j y F'_j en un factor i al recombinar el primer rayo que emerge del interferómetro, con el que se ha reflejado $2i$ veces dentro de la cavidad (3). Esto aumenta Δj pero el resultado final Δe_j o Δn_j mejora y la operación es conveniente para medir espesores, pues en ese caso, Δe_j es el más importante de los errores. Para operar así se debe medir Φ , lo que no es difícil, y la incidencia Δe_Φ o Δn_Φ de esta medición en el error está graficada como F_Φ y F'_Φ en la figura 8. Típicamente es $\Delta \Phi = 1''$.

Detalles experimentales

Los espejos empleados estaban aluminizados, dándoles un coeficiente de reflexión del 97 %; del primero de ellos se empleó sólo una abertura útil de menos de 3 mm de diámetro y del segundo una de 5 cm de diámetro.

La separación entre espejos variaba entre 5 y 20 cm y entre el láser y el primer espejo se intercalaron un prisma polarizador y una lámina cuarto de onda de modo de evitar que las reflexiones en el interferómetro retornasen al láser.

Las alineaciones interferométricas de los espejos y la posición inicial de la placa se optimizaron al detectar la máxima amplitud de pequeñas vibraciones introducidas transitoriamente en el sistema mediante débiles golpes efectuados en el elemento que interesaba alinear.

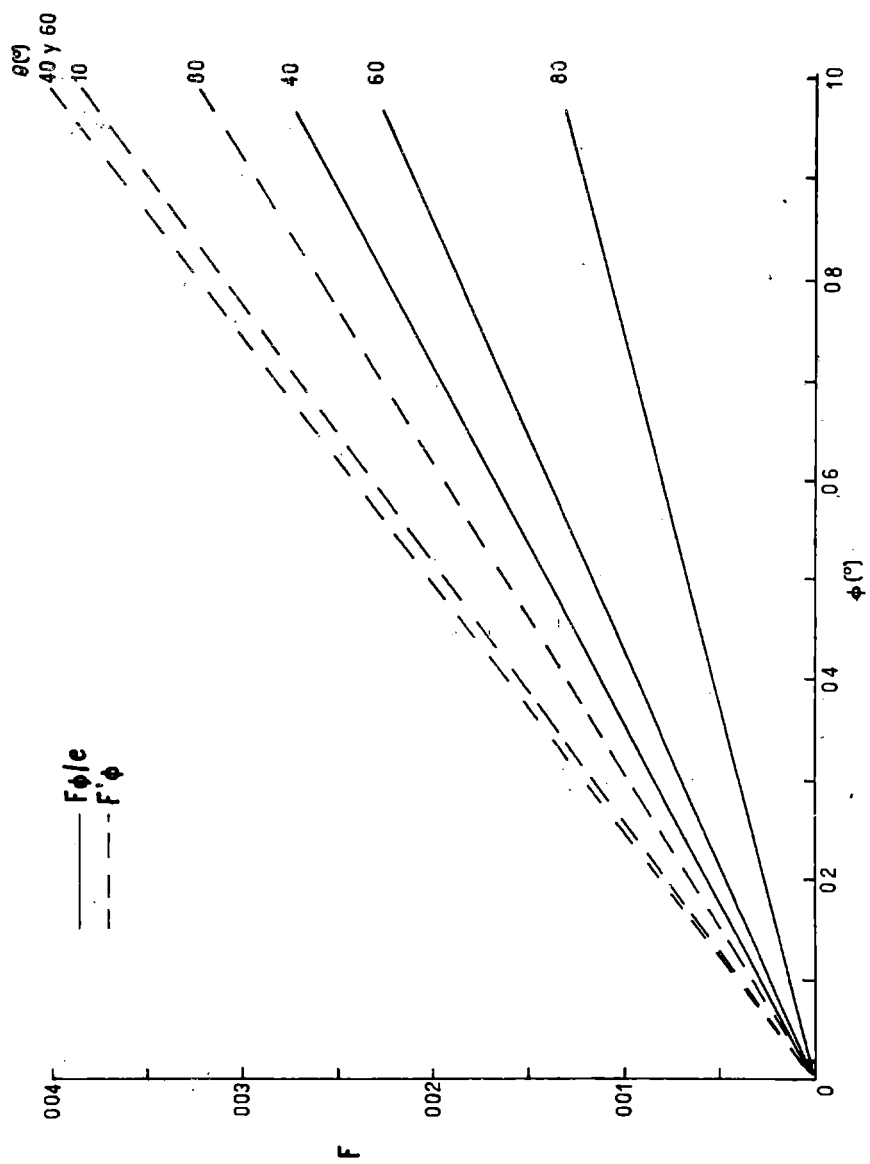


Fig. 8.- Factores de propagación $F\phi$ y $F'\phi$ en función de ϕ , para $n = 1,5$

Conclusiones

Se logró un método de la máxima precisión para medir estas magnitudes y de muy simple implementación, con la única excepción de requerir que la muestra del material a medir debe estar ópticamente pulida en sus dos caras ultra-paralelas. Su costo es reducido, teniendo en cuenta la exactitud alcanzada y puede ser mucho menor aún con menos pretensiones de exactitud. El elemento más caro es el láser estabilizado en frecuencia necesario sólo para medir índices de refracción y, salvo éste y el goniómetro, todos los demás elementos fueron íntegramente fabricados en la Universidad Nacional de La Plata y pueden ser reproducidos en varios otros lugares de nuestro país. Para la medición de espesores, el láser empleado puede ser de los construidos en el país por algunos laboratorios de investigación. Pueden con él controlarse láminas delgadas, obteniéndose, si el paralelismo de sus caras no es muy riguroso, el valor promedio de su espesor en una pequeña zona de unos 3 mm de diámetro. Puede también aplicarse a líquidos sumergiendo una lámina de prueba patrón en el líquido y así determinar su índice de refracción n_a , como en el trabajo de Wendelöv et al (8).

b) Estudio interferométrico de la calidad de planos patrones metrológicos.

Este estudio es necesario ya que el método convencional de control de mármoles patrones metrológicos por auto-colimación sólo provee información en puntos aislados de la superficie, de modo tal que si se quiere conocer a ésta con mayor detalle, la cantidad de medidas se incrementa tanto que el método se torna demasiado laborioso. Además, no aporta información sobre el estado de la superficie entre dos puntos consecutivos por más próximos que éstos se hallen y no es fácilmente aplicable si el mármol se halla cargado, en condiciones de trabajo. Es en este caso cuando más necesario resulta tener una superficie de referencia confiable porque el perfil del mármol se encontrará probablemente modificado por efecto de la carga.

El método expuesto provee información sobre toda un

área relativamente extensa y puede utilizarse con el mármol cargado. Esto, por supuesto, además de obtener una precisión tan alta como la interferométrica de modo relativamente simple. El método puede instrumentarse como para que resulte lo suficientemente práctico de modo de permitirle al fabricante de este tipo de superficies una inspección rápida durante el terminado, lo que mejoraría la calidad y aumentaría la velocidad de esta etapa de la fabricación.

Las experiencias descriptas a continuación fueron realizadas sobre un plano patrón de diabasa, marca Johansson, calidad AA, propiedad del Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, Ministerio de Obras Públicas, Provincia de Buenos Aires.

En primer término, para estudiar la posibilidad de aplicar un método interferométrico, fue necesario obtener una idea de la proporción de luz reflejada por el mármol en distintas condiciones. Con este propósito se hizo incidir sobre el mármol, luz proveniente de un láser de He-Ne bajo distintos ángulos, comprobándose que la luz reflejada variaba según el plano de polarización de la luz incidente, siendo máximo cuando éste era paralelo a la superficie y variaba también notablemente con el ángulo de incidencia, siendo máxima cuando éste, medido con respecto al plano de la superficie, era próximo a cero y disminuyendo progresivamente hasta anularse en las proximidades de los $26,5^{\circ}$. No se pudieron obtener resultados numéricos debido a la fluctuación de la intensidad del láser, pero se estima una reflectividad promedio del orden del 20 %.

Este hecho de que la superficie sólo refleje luz en cantidad apreciable para ángulos de incidencia por debajo de los 26° no hace posible intentar su estudio por medio de un interferómetro de incidencia normal, como el de Twyman-Green.

El estudio de la superficie del mármol usando planos ópticos sólo resulta aplicable cuando ésta tiene una reflectividad comparable a la del plano óptico. En caso contrario el contraste de las franjas es muy bajo, y resultan muy difíciles de observar, siendo prácticamente enmascaradas por la fuerte reflexión en la cara superior del plano óptico. De todos modos se intentó la observación de franjas interferenciales apoyando planos ópticos sobre la superficie del már-

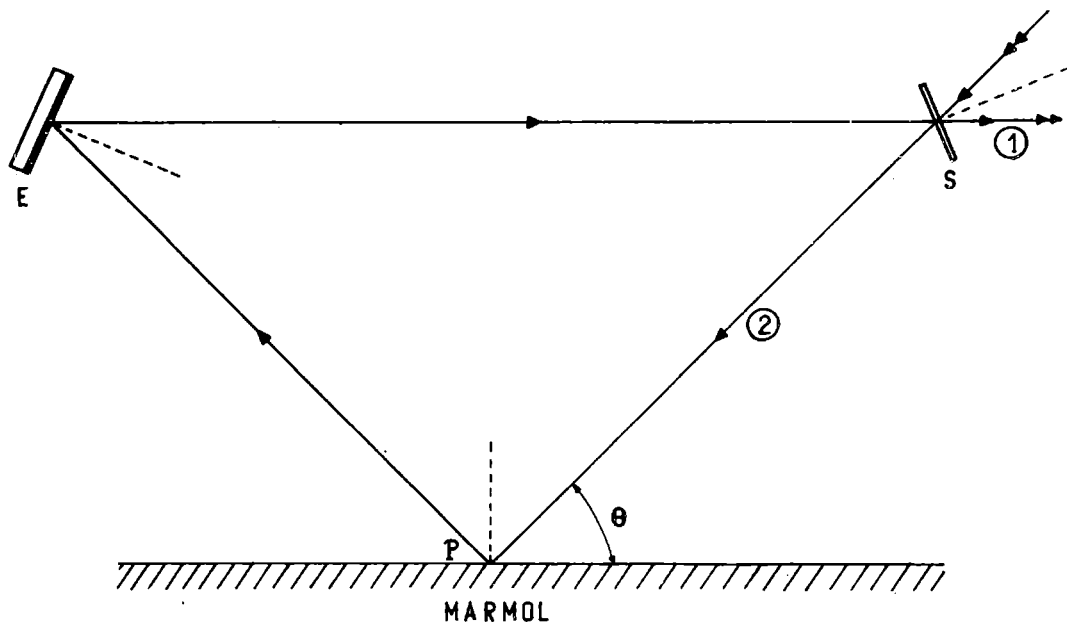


Fig. 9.- Representación esquemática del interferómetro rasante. Los haces 1 y 2 se recombinan después de las reflexiones en el semiespejo S, el mármol y el espejo E.

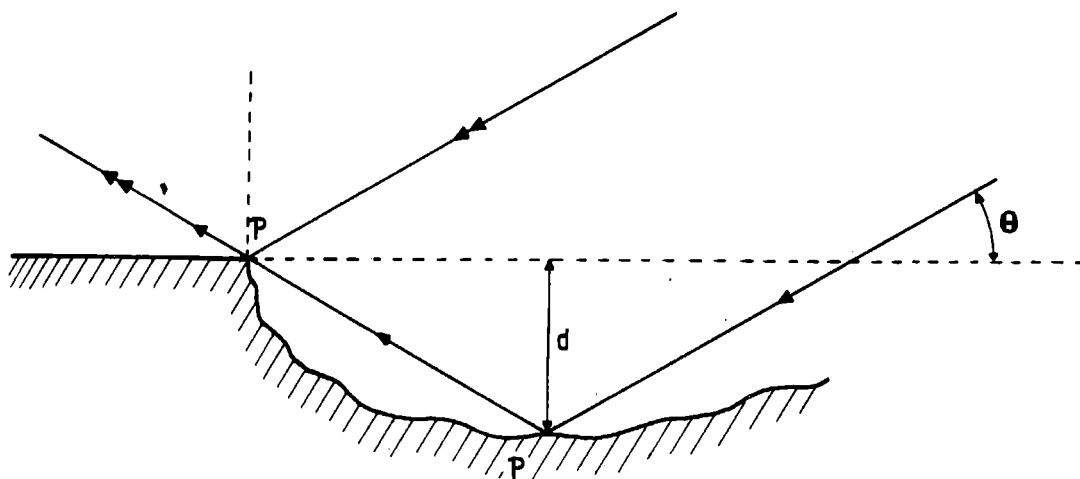


Fig. 10.- Trayectoria de los haces en la zona analizada. Se supone un defecto en la superficie del mármol consistente en una depresión de profundidad d.

mol e iluminándolos, en un primer caso, con luz de mercurio. Las figuras multicolores de interferencia resultaron muy difíciles de observar e imposibles de fotografiar por las razones enunciadas más arriba. Utilizando luz láser, en un segundo intento, las reflexiones se pudieron proyectar en una pantalla y resultaron más fáciles de observar, pero su forma variaba según la presión que se ejerciera sobre el plano óptico y no era posible estudiar lo que sucedía cuando el mármol era cargado porque el desplazamiento relativo era nulo.

Interferómetro rasante

Para obviar estos inconvenientes se diseñó el dispositivo que está indicado en la figura 9. El principio de funcionamiento es como sigue: la luz proveniente del láser incide sobre la superficie parcialmente reflectora S consistente en una lámina de caras paralelas muy bien pulidas, donde una parte se refleja, lo que se indica como rayo 1, y otra se transmite como rayo 2 en la figura 9. Este último rayo incide sobre el mármol formando un ángulo θ , se refleja, incide en el espejo E y vuelve a S en aproximadamente la misma dirección del rayo 1. Si en este trayecto no se ha superado la longitud de coherencia de la fuente, los dos rayos interferirán dando lugar a un fenómeno análogo al que sucedía en los planos ópticos. La superposición de los rayos 1 y 2 pueden proyectarse sobre una pantalla u observarse directamente con un instrumento óptico.

La trayectoria de los rayos en la vecindad de la superficie estudiada se muestra en la figura 10. Si se trabaja con haces de luz paralela, la situación es análoga a la de la interferencia de un frente de onda proveniente de la superficie estudiada y otro proveniente del infinito en la misma dirección. La diferencia de camino en cada punto toma la forma:

$$\Delta x = 2 d \sin \theta \quad (4)$$

donde d, como indica la figura 10 es la profundidad de una eventual imperfección de la superficie.

Teniendo en cuenta esta corrección, la interpretación

de las figuras de interferencia obtenidas es la misma que en el caso de los planos ópticos. El factor $\sin\theta$ reduce la sensibilidad del interferómetro permitiendo observar simples interferogramas de superficie cuya microestructura es varias veces mayor que la longitud de onda empleada.

Si la superficie estudiada es un plano perfecto y las dos ondas planas tienen la misma dirección, habrá zonas del espacio transversales a ambas ondas en que habrá interferencia constructiva y por lo tanto intensidad máxima uniforme; otras zonas, separadas de las anteriores por un número impar de semilongitudes de onda corresponderán a regiones de interferencia destructiva y allí la intensidad será mínima o nula si ambas ondas tienen igual amplitud. Si las dos ondas forman un pequeño ángulo, la situación es análoga a la que se encuentra en el interferómetro de Twyman-Green cuando los espejos no están exactamente perpendiculares y la figura que se observa es una serie de franjas rectilíneas, alternativamente oscuras y brillantes, cuyo espaciado es función del ángulo entre las dos ondas planas, tendiendo a infinito a medida que este ángulo tiende a cero.

Si la superficie no es perfectamente plana, los apartamientos de la planitud se traducirán en variaciones en la forma y espaciado de las franjas.

En la figura 11 se muestran los resultados obtenidos con el dispositivo experimental de la figura 12, trabajando sobre el mármol antes mencionado y sobre dos bloques patrones de diferente calidad. En el caso de estos últimos se observan franjas paralelas debidas al pequeño ángulo que formaban los haces interferenciales.

De la fotografía A, que corresponde a la figura de interferencia producida por la superficie del mármol, se han seleccionado las regiones B, C y D que se pueden interpretar como planitud, convexidad o concavidad y dos salientes con un valle o su imagen especular. Para decidir sobre el signo de la concavidad se debería haber inclinado apropiadamente la lámina S con respecto a la superficie estudiada y observado entonces el comportamiento de las franjas.

Se realizaron, además, experiencias cargando el mármol en distintos lugares y se comprobó que una carga de 50 kg

en los extremos producía un corrimiento de dos franjas en una porción del mármol situada a aproximadamente 80 cm de la carga.

Conclusiones

De las experiencias realizadas se puede extraer como conclusión que el interferómetro rasante provee algunas ventajas con respecto al autocolimador, con el que podría complementarse, y a los planos ópticos, en lo que se refiere al estudio de una superficie cuya reflectividad normal es baja. Por ejemplo, el que se pueda estudiar la superficie desde afuera y en condiciones de trabajo. Quedan abiertas una serie de posibilidades de estudio como la aplicabilidad del método de interferometría rasante a distintas superficies, el estudio de bancadas de máquinas - herramientas, la medición de deformaciones, etc.

III. HOLOGRAFIA

Introducción

La holografía es una técnica reciente basada en el principio clásico de interferencia de las ondas. Surgió a raíz de la profundización de estudios sobre microscopía electrónica llevados a cabo por Dennis Gabor, publicados en el año 1948, (10, 11, 12) pero tuvo un auge excepcional en el año 1960 debido a la invención del láser. Las propiedades excepcionales de éste como emisor de ondas luminosas hicieron que la actividad holográfica se desarrollase inicialmente en el terreno de la óptica, pero es igualmente aplicable a cualquier tipo de ondas capaces de interferir (coherentes).

La trascendencia que ha tenido la holografía fue enorme pues influyó profundamente en la óptica y le permitió extender sus aplicaciones a un gran número de ramas de la ciencia y de la técnica, por lo que Gabor obtuvo el

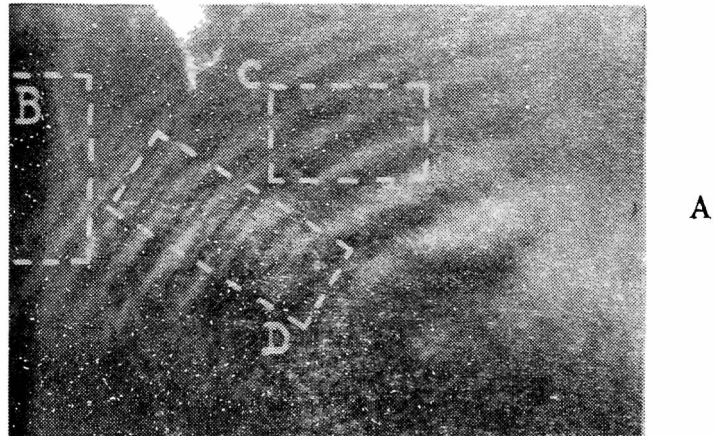


Fig. 11.- Registros obtenidos con el montaje experimental de la Fig. 12. A: figura de interferencia producida por una región de la superficie del mármol. B, C y D algunas zonas selectas de A. B: zona plana, C: zona cóncava o convexa y D: zona de dos protuberancias y un valle o su imagen especular.

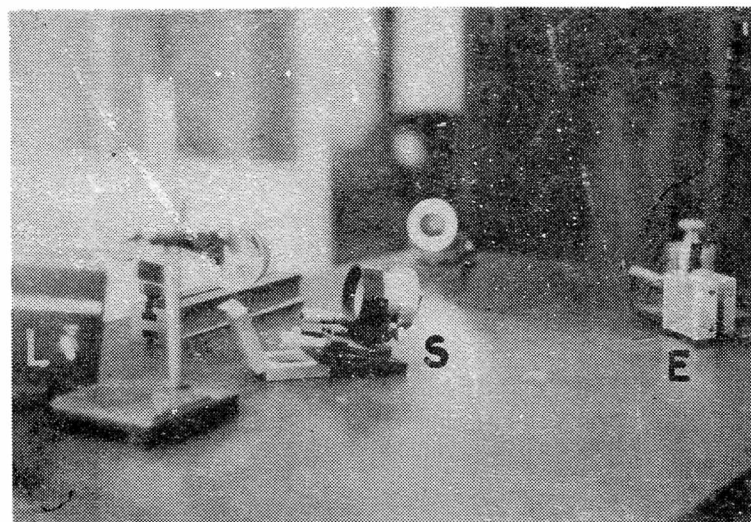


Fig. 12.- Fotografía de la instalación experimental del interferómetro rasante montado sobre un mármol. L: láser, S: semiespejo y E: espejo.

Premio Nobel de Física en el año 1971.

La holografía logra la reconstrucción de un frente de onda de la siguiente manera: en la toma del holograma, un haz monocromático coherente se divide en dos partes, una de las cuales incide directamente sobre la superficie de registro (onda de referencia) y la otra ilumina al objeto produciendo así otra onda (onda objeto) que también incide sobre la misma superficie de registro. Un esquema representativo de esta situación es el de la figura 13. Se obtiene así el registro de la interferencia entre la onda de referencia y las provenientes de cada punto del objeto, que es el holograma.

La reconstrucción holográfica se realiza con una onda igual o semejante a la de referencia (figura 14) y se producen por difracción de ésta en el holograma dos nuevas ondas, una de las cuales, onda reconstruida, es una perfecta réplica de la onda objeto, en intensidad y en fase, mientras que la otra, onda conjugada, posee una antisimetría respecto de aquélla, la que le otorga propiedades muy singulares.

La superficie de registro empleada frecuentemente en holografía de ondas luminosas es la de placas fotográficas de alta resolución.

En el caso de un holograma óptico si se pusieran los ojos detrás de la placa de modo de ver la onda reconstruida, se vería una imagen perfecta del objeto en el lugar donde estuvo la toma. Esta imagen tridimensional no tendrá el color del objeto si se trata de un holograma simple, como el descrito, sino el de la luz empleada para su reconstrucción. Por lo demás, la situación es equivalente a ver el objeto a través de una ventana cuya abertura está delimitada por la placa fotográfica.

La figura 15 reproduce dos enfoques de una misma imagen holográfica.

Al observar la onda conjugada, la imagen que se vería del objeto sería desconcertante, pues tiene propiedades únicas, llamadas de pseudoscopia, que crean una total inversión de relieve respecto de la del objeto; sería como mirar un molde del mismo.

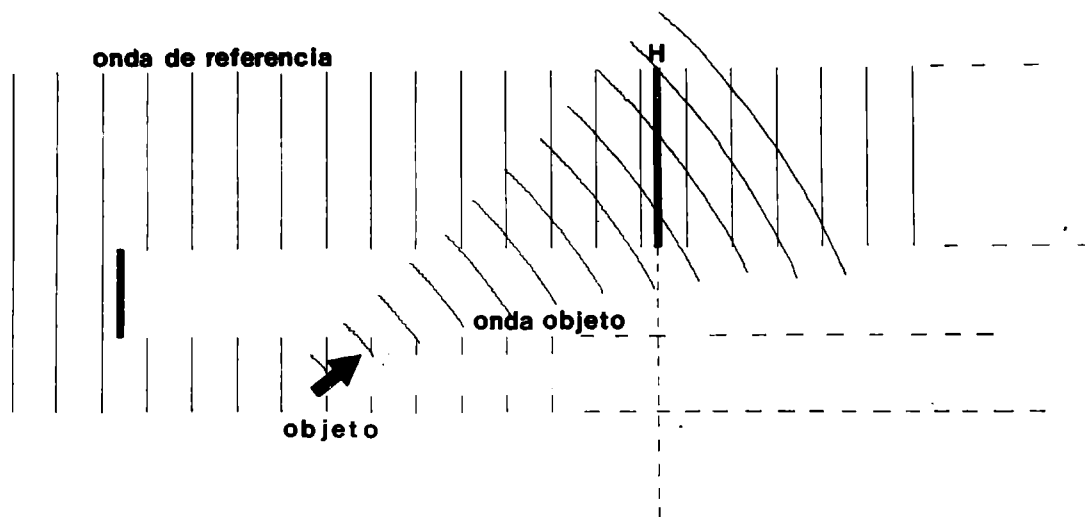


Fig. 13.- Esquema experimental para registrar un holograma H.

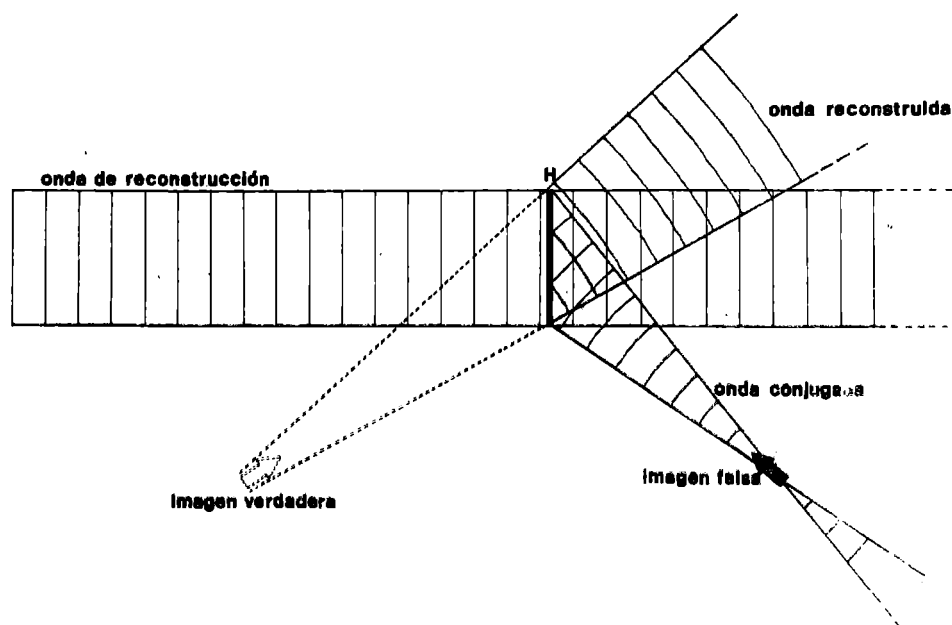


Fig. 14.- Esquema de la reconstrucción holográfica a partir del holograma H.

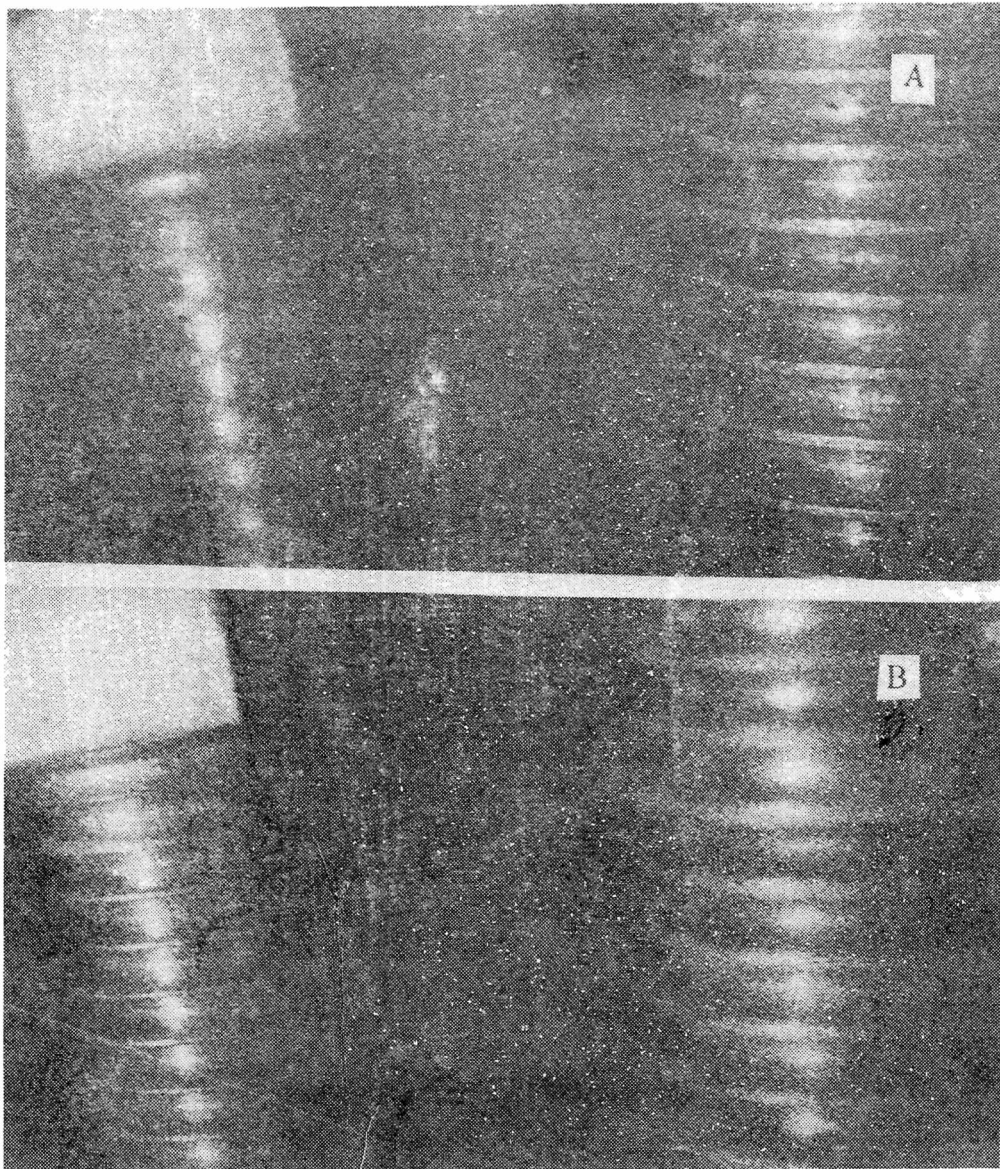


Fig. 15.- Dos fotografías de una misma imagen holográfica obtenidas enfocando la cámara sobre A: el tornillo más lejano, el de la derecha, y B: el tornillo más cercano, el de la izquierda. Se muestra así la profundidad de foco de la imagen holográfica, la que, además, es tridimensional. El efecto de moteado que cubre ambas fotos no se debe al grano de la emulsión fotográfica, sino a que se reconstruyó la imagen empleando una porción del holograma de sólo 2 mm de diámetro.

La ventaja de una toma holográfica respecto de la fotografía reside en que es posible obtener en un solo registro todos los enfoques posibles del objeto y observarlo en forma tridimensional. Piénsese en la importancia de ésto para la microscopía de especímenes vivos, por ejemplo.

La máxima dimensión permisible en el objeto a holografíar está dada por la propiedad llamada longitud de coherencia del láser empleado en la toma del holograma y esta propiedad se encuentra en situación de compromiso con la potencia luminosa que es la que determina la superficie máxima del objeto a holografíar. De allí que para cada aplicación sea más conveniente determinado tipo de láser frente a los demás.

Las experiencias holográficas en el LEOL tuvieron comienzo en el año 1969. Luego de un período de aprendizaje, prolongado debido a la falta de antecedentes en Sudamérica sobre este tema, se encararon técnicas interferométricas con miras a su aplicación. La holografía interferométrica u holointerferometría permite obtener la interferencia de dos frentes de onda que provienen de dos posiciones no simultáneas de un mismo objeto. En esta interferencia se producen franjas que sólo dan cuenta de la diferencia entre ambas posiciones y no de la estructura detallada de la superficie del objeto, siendo ésta la única manera de lograr franjas de interferencia con cualquier clase de objetos. Esta precisa medición puede aplicarse a objetos tales como especímenes microscópicos, piezas metálicas en deformación, vibración o movimiento leve, variaciones del índice de refracción de cualquier sustancia y muchísimas otras.

Medición de la deformación de una barra metálica por medio de la holografía interferométrica.

La experiencia encarada consistió en sostener una barra metálica de $193 \times 21,5 \times 4 \text{ mm}^3$ por uno de sus extremos y someterla a esfuerzos de tensión por flexión, analizándola por medio de hologramas obtenidos con un láser de He-Ne de 2 mW de potencia luminosa y empleando placas Kodak 649-F (5).

Se construyó un soporte que constituía una unidad mecánica con el portaplaca (figura 16) y se aplicaron dos técni-

cas: la holointerferometría por doble exposición y la holointerferometría simultánea ("real time"). La primera consistió en superponer en un mismo holograma una toma de la barra sin flexionar con una toma de la barra flexionada por acción de una carga de 330 g por su extremo libre. Dos fotografías de estos hologramas se muestran en las figuras 18 y 19. La figura 18 que es una toma de la barra vista de arriba; la mordaza, permite observar parte de la barra en una zona lateral cercana a su sujeción, en la que también se notan algunas franjas. La figura 19 es una vista lateral y en la zona mencionada se ve el mismo tipo de franjas. Esto denota la gran sensibilidad del método, que demostró la necesidad de construcción del soporte empleado, ya que una mordaza común como las empleadas para sujetar y trabajar piezas mecánicas era insuficientemente rígida.

El esquema de la figura 17 permite calcular la diferencia de camino entre los dos rayos de luz que parecen provenir de un mismo punto del objeto en ambas situaciones y que vale:

$$\Delta s = D \left[\cos (\alpha + \varphi) + \cos (\alpha - \varphi) \right] = 2 D \cos \alpha \cos \varphi \quad (5)$$

por lo que, siendo el número de orden de las franjas $j = \Delta s / \lambda$, el sistema de franjas observado depende de la magnitud del desplazamiento y de su dirección pero no de su sentido, e importan la posición desde la que se ilumina y la de observación, pero siempre es del orden de $\lambda/2$ que representa unos 0,3 μm entre una franja y la siguiente. En el caso de las pequeñas deformaciones de esta barra, el movimiento puede suponerse aproximadamente perpendicular a la superficie de la misma.

La holointerferometría simultánea se llevó a cabo revelando la placa por goteo en el mismo portaplacas de modo de observar luego la superposición interferencial de la onda reconstruida por el holograma con la proveniente del objeto. Así se vio, en forma simultánea con la deformación, el corrimiento de las franjas de interferencia para valores de la carga de flexión que variaban en forma continua de 0 a 500 g.

Esta técnica es aún más interesante que la anterior, pues permite realizar múltiples observaciones con una sola

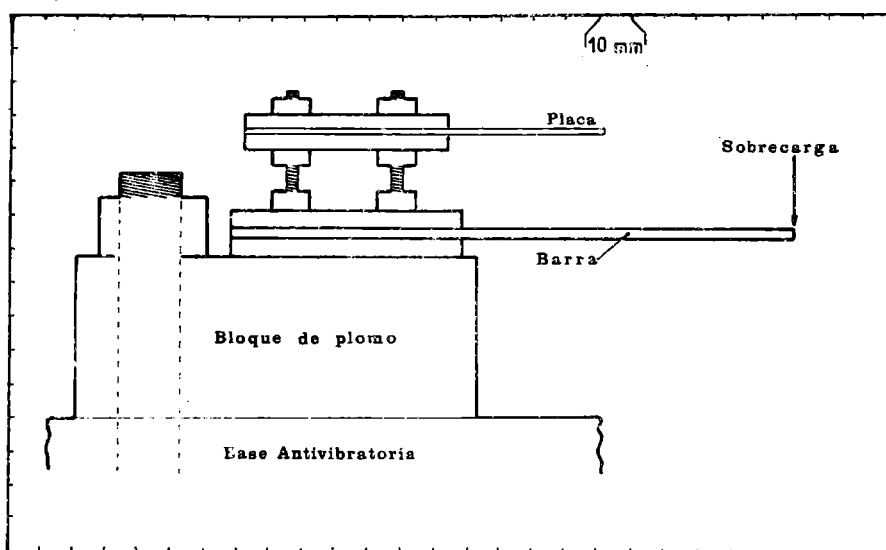


Fig. 16.- Esquema del soporte utilizado para realizar el análisis de la deformación de una barra metálica por medio de la holointerferometría.

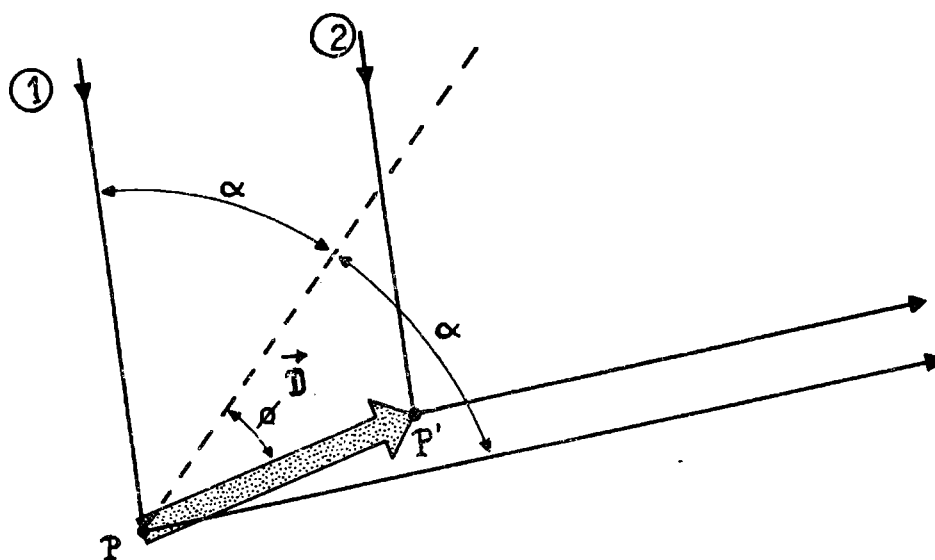


Fig. 17.- Desplazamiento de un punto P de la superficie de un objeto entre dos tomas holográficas. P : posición original del punto, P' : posición a la que se desplazó dicho punto y $\vec{D}$: vector de desplazamiento. Los rayos 1 y 2 iluminan al objeto según la dirección de observación. α : ángulo bisector entre dichas direcciones y ϕ : ángulo entre el vector desplazamiento $\vec{D}$ y la bisectriz.

toma, pero es muy sofisticada, pues deben mantenerse las condiciones de la toma, como la temperatura, la rigidez, etc., en la observación. También produce más franjas residuales que se deben principalmente al encogimiento de la emulsión fotográfica por el proceso de revelado. Sin embargo este inconveniente puede obviarse con técnicas adecuadas.

Conclusiones

La holointerferometría puede ser hecha en nuestro país con láseres continuos de He - Ne de 2 mW de potencia en objetos de pocos centímetros cuadrados de superficie, requiriéndose para ello buenas condiciones de estabilidad mecánica y térmica. Los láseres de la potencia citada y aun mayores son ya construidos por algunos laboratorios de investigación en nuestro país.

Todos los elementos citados, salvo las placas holográficas de alta resolución, pueden fabricarse en el país y se vislumbra que esta técnica es importante para el desarrollo de aplicaciones, tales como la ingeniería mecánica y la microscopía, al permitirles observaciones no destructivas de alta precisión.

REFERENCIAS

1. Garavaglia M., Gallardo M. y Massone C. A. - Comisión de investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Informe n° 12, 1974.
2. Calatroni J. A. E. y Garavaglia M. - Informe presentado al Coloquio sobre Métodos de Análisis Experimental de Tensiones (COMAET), Rosario, 1974.
3. Lunazzi J. J. y Garavaglia M. - "Fabry - Perot laser interferometry to measure refractive index or thickness of transparent materials", Journal of Physics E - Scientific Instruments, 6, 237, 1973.
4. Rabal H. J. - "Resultados preliminares en el estudio de la

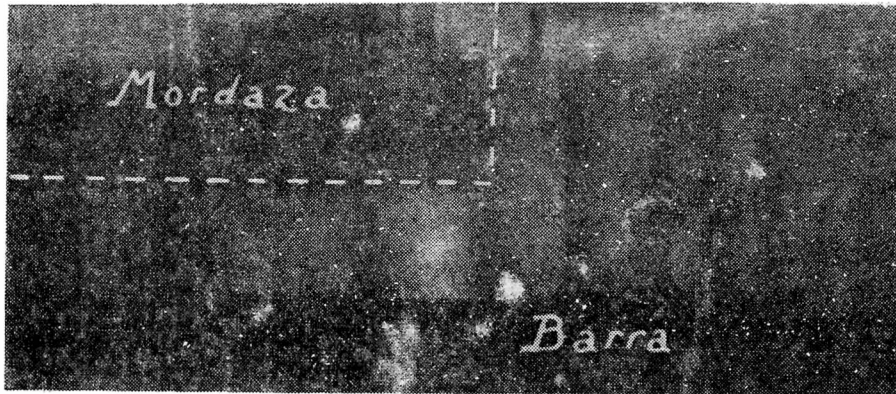


Fig. 18.- Fotografía de un holograma interferométrico de la barra vista desde arriba y de la mordaza de sujeción.

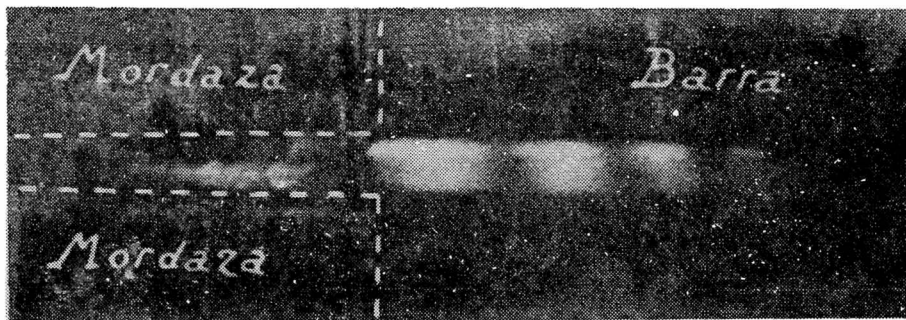


Fig. 19.- Fotografía de un holograma interferométrico de la barra vista lateralmente.

calidad de planos patrones usados en metrología", Informe correspondiente a la asignatura "Trabajo de Investigación I". Biblioteca del Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata, 1974.

5. Calatroni J. A. E., Lunazzi J. J., Rabal H. J. y Garavaglia M. - "Medición de la deformación de una barra metálica por medio de la holografía interferométrica". Comunicaciones de la Asociación Física Argentina, 1, 124, 1974.
6. Dally J. W. and Riley W. F. - "Experimental stress analysis", McGraw Hill Book Company, New York, 1965.
7. Andréasson S. D. H., Gustafsson S. E., and Halling N. O. - "Measurement of the refractive index of transparent solids and fluids". Journal of the Optical Society of America, 61, 595, 1971.
8. Wendelöv L. W., Wallin L. E. and Gustafsson S. E. - "Refractive index measurements of molten salts with wave-front-shearing interferometry (I - Test of apparatus and procedure)". Zeitschrift für Naturforschung, 22 A, 1180, 1967.
9. Rabal J., Lunazzi J. J. and Garavaglia M. - "Laser interferometric check-out of granite surface plates". Comunicación, presentada a la "1975 Conference on Laser Engineering and Applications", Washington, Estados Unidos de Norteamérica, organizada por "The Institute of Electrical and Electronic Engineers" y por la "Optical Society of America", 28-30 mayo 1975.
10. Gabor D. - "A new microscopic principle", Nature (Londres), 161, 771, 1948.
11. Gabor D. - "Microscopy by reconstructed wavefronts", Proceedings of the Royal Society (Londres), A197, 454, 1949.
12. Gabor D. - "Microscopy by reconstructed wavefronts", Proceedings of the Physical Society (Londres), B64, 449, 1951.

Agradecimientos. - Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, a la Comisión de Investigación Científica de la Universidad Nacional de La Plata, a la Comisión de Investigaciones Cientí-

ficas de la Provincia de Buenos Aires, a la Organización de los Estados Americanos y al Servicio Naval de Investigación y Desarrollo por los subsidios otorgados. La ayuda obtenida de la Organización de los Estados Americanos fue canalizada por el Programa Multinacional de Física.

Desean expresar además su gratitud al profesor Ricardo Platzeck, Jefe del Departamento de Óptica del Observatorio Astronómico (UNLP), al Ing. Carlos Christiansen, Jefe del Laboratorio de Electrónica del Departamento de Física (Facultad de Ciencias Exactas, UNLP) y a sus respectivos colaboradores, por la construcción de varias piezas ópticas y del contador electrónico de franjas, respectivamente; y al Ing. León Goldes, del Centro de Investigación y Servicio de Metrología de Córdoba por el hecho de haberles llamado la atención sobre la importancia y necesidad de atacar el problema del control óptico de las superficies de las mesas metroológicas o mármoles patrones.

Agradecen además a las autoridades del INTI y del LEMIT por la generosa hospitalidad brindada, la que hizo posible la realización de parte de esta investigación en los citados organismos.

**ESTUDIO DE UNA TECNICA QUE APLICA LA ESPECTROMETRIA
DE RAYOS X AL ANALISIS DE ALEACIONES DE ESTAÑO-PLOMO**

Dr. Claudio L. Miniussi *

Tco. Qco. Jorge Meda

Tco. Qco. Carlos Popowsky

SERIE II, N° 302

*** Jefe de la División Química Analítica del LEMIT.**

INTRODUCCION

La región de los rayos X es normalmente considerada como la parte del espectro electromagnético comprendido entre 0,1 y 100 Å. Está limitada, hacia las longitudes de onda más cortas, por los rayos gamma, y hacia las más largas por los rayos ultravioleta. Estas fronteras no están muy bien definidas.

Uno de los fenómenos que origina la incidencia de una radiación X sobre la materia es el desplazamiento de un electrón de un orbital interno de los átomos que la constituyen. La transferencia de energía involucrada en el reordenamiento electrónico posterior, se manifiesta por la emisión de una radiación X secundaria, cuya longitud de onda está determinada por la transición comprendida. Estas radiaciones secundarias, llamadas de fluorescencia, posibilitan los análisis por espectrometría de rayos X.

Un hecho importante es que si bien la longitud de onda de la radiación de fluorescencia es característica de un elemento dado, su intensidad no está relacionada con la concentración en forma lineal, ya que los efectos bien conocidos de depresión y exaltación se presentan cuando otros componentes de la matriz absorben o emiten dentro de la región de absorción del elemento considerado. Se suma a este efecto el hecho de que la radiación producida es absorbida en mayor o menor grado al atravesar la matriz, según la composición de la misma.

Si bien estos efectos pueden ser cualitativamente descritos mediante ecuaciones que relacionan la intensidad de la radiación con la composición, en la práctica se tropieza con el inconveniente de que precisamente esta última es la que se desea conocer.

Por ello se han desarrollado diversos métodos para eliminar el efecto de matriz: medición en capa fina, utilización de estándar interno, dilución, fusión, etc.

Dentro de este contexto, nuestro trabajo se concretó a encontrar un método ágil que permitiera la determinación cuantitativa de los componentes de una mezcla binaria de estaño-

plomo (aleaciones denominadas soldaduras), utilizando en lo posible la menor cantidad de operaciones previas sobre la muestra.

La factibilidad de utilizar, en una mezcla binaria, la relación de las intensidades de fluorescencia de sus componentes a los efectos de relacionarla con la composición, trabajo como consecuencia práctica que las medidas resultaran independientes de la superficie. Esto evita trabajar con placas perfectamente pulidas, y posibilita realizar las medidas directamente sobre virutas. Antecedentes de una técnica de este tipo no han sido encontrados en la bibliografía consultada.

En este trabajo se describe la técnica aplicada a la citada aleación de estaño-plomo, utilizando directamente las lecturas obtenidas sobre virutas. Con ello se elimina, como ya se expresó más arriba, el uso de placas fundidas y pulidas, usando la relación $ISnK_{\alpha}/IPbL_{\alpha}$.

Se describen igualmente las experiencias previas en soluciones, que son las que dieron la pauta de la factibilidad del método.

TAREA EXPERIMENTAL

1. Ensayos preliminares

Las primeras tentativas para determinar el porcentaje de estaño en aleaciones de estaño-plomo por espectrometría de rayos X fueron realizadas operando con soluciones sintéticas de estaño y de plomo, en relaciones de concentración equivalentes a disoluciones de muestras reales.

En la tabla I figuran los valores obtenidos en estos primeros ensayos. En el gráfico 1 se han representado los valores de la primera y de la última columna de dicha tabla.

Si bien la correlación encontrada graficando los valores de la relación de las intensidades de fluorescencia de las líneas SnK_{α} y PbL_{α} en función del porcentaje de estaño resulta aceptable, lo poco práctico que resulta preparar las soluciones de muestras reales (por las incompatibilidades

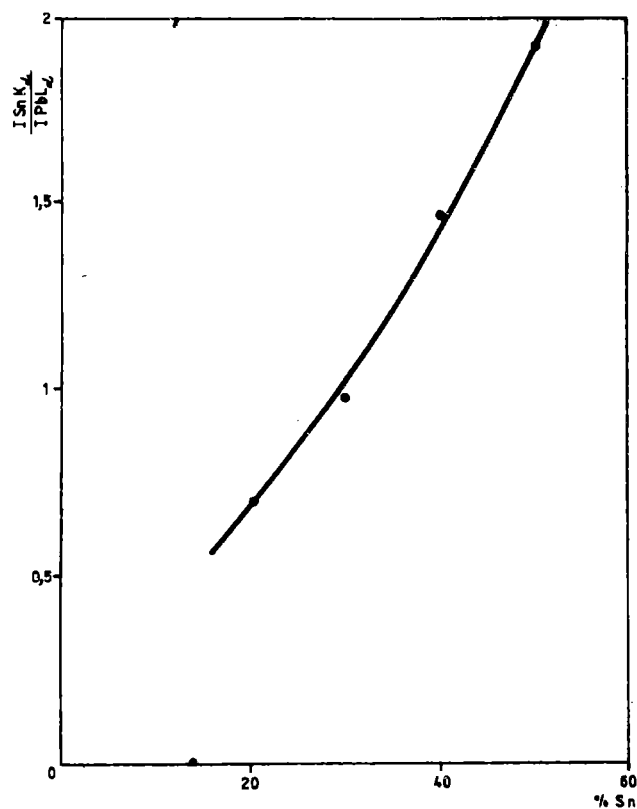


GRAFICO 1

químicas es necesario trabajar en medio alcalino, y las soluciones son muy corrosivas para un equipo tan costoso, sin contar con portamuestras adecuados) se desechó momentáneamente esta técnica operativa. Además las intensidades leídas son relativamente bajas comparadas con las determinadas trabajando sobre muestra sólida.

Los ensayos sobre placas pulidas de 3 cm de diámetro se realizaron fundiendo barras de soldadura, previamente analizadas químicamente. En estos primeros ensayos se notó que existía dispersión con respecto a la curva media obtenida graficando $I_{SnK\alpha} / I_{PbL\alpha}$ en función del porcentaje de estaño (químico). Se pensó que esta dispersión podía deberse a segregaciones producidas durante la fusión de las muestras, y esto fue confirmado por una observación metalográfica y por análisis químicos efectuados sobre virutas de muestra fundida y obtenidas de varias capas de una misma placa.

Teniendo en cuenta que estamos trabajando en un sistema binario, se pensó que la relación $I_{SnK\alpha} / I_{PbL\alpha}$ es inde-

TABLA I

% Sn *	ISnK α	IPbL α	ISnK α / IPbL α
20	1002	1420	0,70
30	1270	1320	0,97
40	1711	1173	1,46
50	1862	965	1,93

* Las soluciones corresponden a 0,4 g de muestra con el por ciento de Sn indicado

TABLA II

Muestra	% Sn químico	$\frac{\text{ISnK } \alpha}{\text{IPbL } \alpha}$	$\log \frac{\text{ISnK } \alpha}{\text{IPbL } \alpha} \cdot 10$
1	31,4	0,295	0,470
2	32,2	0,330	0,518
3	31,2	0,320	0,505
4	28,5	0,260	0,415
5	33,1	0,340	0,531
6	40,8	0,435	0,638
7	26,4	0,250	0,398
8	44,3	0,440	0,643
9	49,9	0,630	0,799

pendiente de la forma de la superficie irradiada y que por lo tanto se podría trabajar utilizando virutas de la aleación en lugar de placas pulidas. Las ventajas de esta técnica son evidentes, ya que se elimina la heterogeneidad de las barras originales, extrayendo virutas de diferentes puntos, y trabajándose así con gran cantidad de muestra. Además, cuando se funde la barra no sólo se acentúa el problema de la segregación sino que también se produce un cambio en la composición química, por oxidación de los componentes de la aleación durante la fusión.

Las experiencias realizadas sobre virutas de muestras reales (previamente analizadas químicamente) indicaron que este sencillo método puede desarrollarse como una técnica normal para aplicación de la fluorescencia de rayos X.

En la tabla II se presentan los valores obtenidos por análisis químico, las relaciones de las intensidades de las líneas de fluorescencia del estaño y del plomo, y el logaritmo de dichas relaciones. El grafico 2 ha sido confeccionado en base a los valores de dicha tabla, tomando los logaritmos de

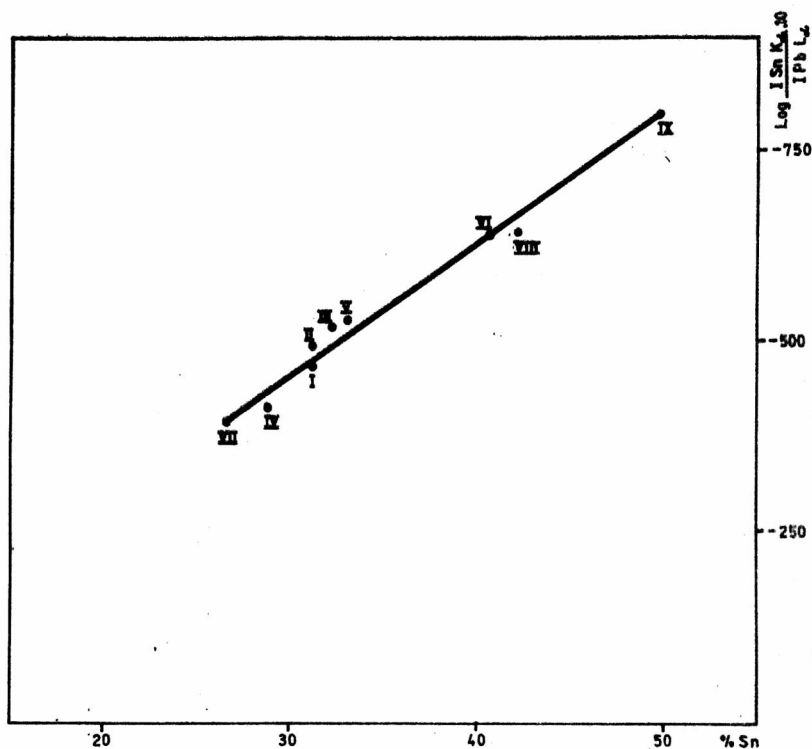


GRAFICO 2

la relación de las intensidades en función del porcentaje de estaño.

Por el hecho de haber obtenido resultados alentadores en estas experiencias y con el objeto de darle validez a la técnica que realiza las mediciones sobre las virutas, es necesario compararla con la técnica que emplea la placa pulida, cuya validez no es cuestionable.

2. Ensayos sobre placas

Con este objeto se prepararon muestras sintéticas en forma de placas, de composición variable (entre 20 y 80 por ciento de estaño). Estas aleaciones fueron obtenidas utilizando estaño y plomo puros, en estado de fusión, volcados en un molde de acero (construido con una masa suficientemente grande) de manera de minimizar la segregación.

Las probetas así preparadas, de 3 cm de diámetro y 0,5 cm de espesor, fueron torneadas para obtener una superficie lisa, que luego se pulió a fin de realizar sobre ella las medidas de fluorescencia. En la operación de torneado se separaron las virutas de diferentes capas, a fin de determinar por análisis químico si se había producido segregación, lo que efectivamente se comprobó. Por este hecho, el valor de estaño por ciento fue determinado en las virutas correspondientes a la capa adyacente a la superficie en la cual se realizaron las medidas de fluorescencia.

Los resultados de los análisis químicos (efectuados según norma ASTM E 46-56) y las medidas de fluorescencia de rayos X, figuran en la tabla III.

Para las determinaciones se empleó un equipo Philips 1410 trabajando en las siguientes condiciones:

- Anodo de tungsteno a 40 Kv y 35 mA
- Cristal de FLi
- Colimador fino
- Detector de centelleo a 950 v
- Nivel inferior 300
- Atenuación 2 X
- Muestras en rotación y al descubierto (placas)

En base a los valores de la tabla citada es posible realizar un ajuste a una recta, por el método de los mínimos cua-

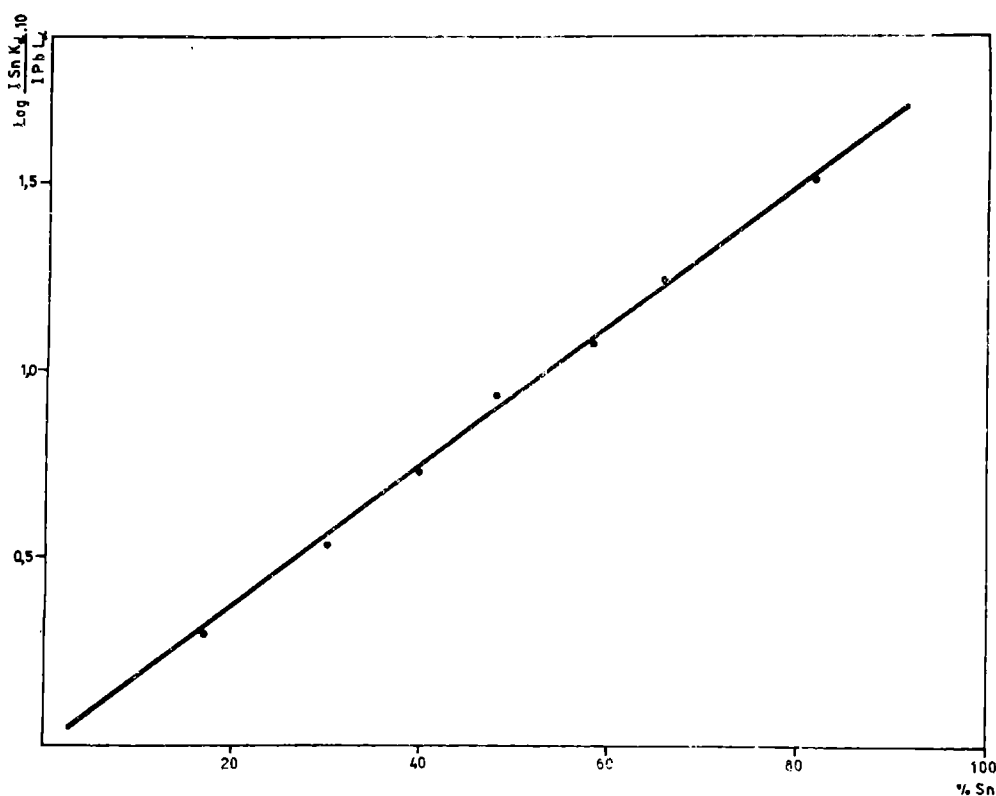


GRAFICO 3

drados. Esta recta relaciona el porcentaje de estaño con el $\log ISnK_{\alpha}/IPbL_{\alpha} \cdot 10$ (gráfico 3). La ecuación resultó ser

$$Sn \% = 0,6653 + 53,1807 \log 10 ISnK_{\alpha}/IPbL_{\alpha}$$

y nos permite calcular el porcentaje de estaño por rayos X. Esto se indica en la tabla IV, en la que además figuran las desviaciones del valor químico. Δ_m es la desviación media y S la desviación estándar.

3. Ensayos sobre virutas

La siguiente etapa consistió en realizar estos mismos ensayos sobre virutas de la aleación estaño-plomo, las que fueron obtenidas a partir de las mismas placas que se utilizaron en el ensayo anterior.

Sobre las virutas se efectuaron nuevos análisis químicos (tabla V). La medida de fluorescencia de rayos X se realizó operando en las mismas condiciones que en el ensayo sobre placas, en un portamuestras con mylar, con un tiempo de lectura de 100 segundos. Las lecturas se realizaron por sep-

TABLA III

Muestra	% de Sn en la capa adyacente a la su- perficie	$\frac{\text{ISnK}\alpha}{\text{IPbL}\alpha}$	$\log \frac{\text{ISnK}\alpha}{\text{IPbL}\alpha} \cdot 10$
20	16,8	0,1963	0,296
30	29,9	0,3463	0,539
40	39,7	0,5424	0,734
50	48,0	0,8556	0,932
60	58,4	1,1752	1,070
70	66,1	1,7305	1,238
80	81,7	3,2228	1,508

TABLA IV

Muestra	$\log \frac{\text{ISnK}\alpha}{\text{IPbL}\alpha}$	% Sn químico	% Sn Rayos X	Δ	Δ^2
20	0,296	16,4	16,8	- 0,4	0,16
30	0,539	29,3	29,9	- 0,6	0,36
40	0,734	29,7	39,7	0,0	0,00
50	0,932	50,2	48,0	2,2	4,84
60	1,070	57,6	58,4	- 0,8	0,64
70	1,238	66,5	66,1	0,4	0,16
80	1,508	80,8	81,7	- 0,9	0,81

$\Delta_m = 0,75$
 $S = 0,99$

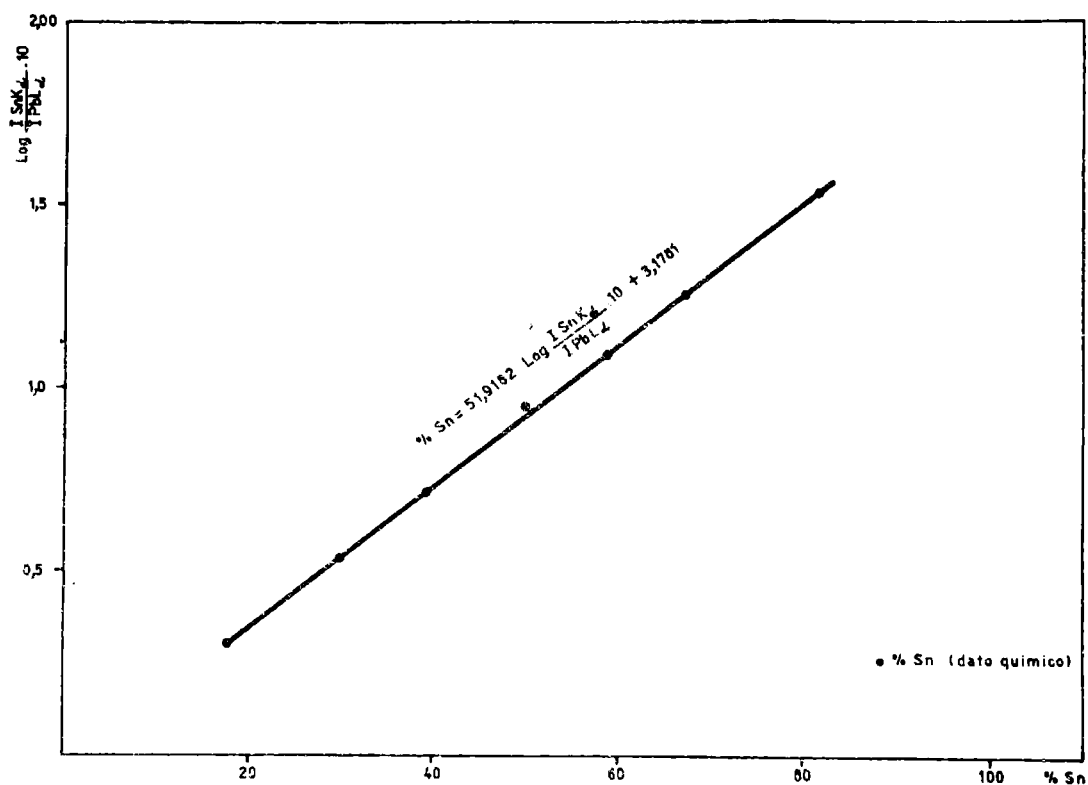


GRAFICO 4

tuplicado, y entre una y otra medida la muestra era retirada del portamuestras, mezclada y vuelta a colocar, con el fin de exponer nuevas superficies a la radiación.

En base a los valores obtenidos por vía química (promedio de cinco determinaciones) y a los valores promedio de fluorescencia (7 determinaciones), se determinó la ecuación de la recta que vincula el porcentaje de estaño con el $\log 10 I_{SnK\alpha} / I_{PbL\alpha}$, por el método de mínimos cuadrados. Esta ecuación resultó, para esta serie de ensayos:

$$\text{Sn } \% = 2,1781 + 51,9182 \log 10 I_{SnK\alpha} / I_{PbL\alpha}$$

Esta ecuación es válida dentro de los límites estudiados (20 a 80 por ciento de estaño). En la tabla V figuran los valores obtenidos. En el gráfico 4 se ha representado la recta, y los puntos corresponden a los valores por ciento de estaño (vía química).

De acuerdo con los resultados de las tablas IV y V consideramos que se ha logrado confirmar la primera suposición de

TABLA V

Muestra	$\frac{ISnK\alpha}{IPbL\alpha}$	$\log \frac{ISnK\alpha}{IPbL\alpha} \cdot 10$	% Sn químico	% Sn Rayos X	Δ	Δ^2
20	0,198	0,297	17,9	17,6	- 0,3	0,09
30	0,334	0,531	29,9	29,7	- 0,2	0,04
40	0,517	0,713	39,4	39,2	- 0,2	0,04
50	0,877	0,943	49,7	51,1	+ 1,4	1,96
60	1,197	1,078	58,4	58,1	- 0,3	0,09
70	1,806	1,256	67,5	67,4	- 0,1	0,01
80	3,293	1,518	81,4	81,0	- 0,4	0,16

$\Delta_m = 0,41$
 $S = 0,61$

que en un sistema binario es factible trabajar empleando virutas en lugar de placas, técnica que no figura en la bibliografía.

Además, como es posible repetir la lectura modificando la superficie irradiada, mezclando las virutas, se obtiene un promedio que corresponde a una mayor superficie. Esto permite corregir problemas debidos a segregación o heterogeneidad de las muestras. La dispersión media con respecto a los valores químicos, de 0,41 % para virutas, es menor que la dispersión media de las placas (0,75 %). Lo mismo ocurre con la desviación estandar.

En cuanto a las ventajas que tiene este método sobre la técnica clásica de ASTM son evidentes, ya que se eliminan los problemas de segregación, por la cantidad grande de muestra que se utiliza. La vía química opera sobre 0,2 a 0,5 g. Además, el tiempo que insume es considerablemente menor.

CONCLUSIONES

1. Se describe una nueva técnica de trabajo para el análisis de aleaciones binarias de estaño-plomo por espectrometría de fluorescencia de rayos X, en la que se opera sobre virutas de la aleación, en lugar de hacerlo sobre placas.

2. Esta técnica, comparada con la que utiliza placas, tiene una dispersión menor con respecto a los valores químicos.

3. Dada la gran cantidad de muestra que se utiliza, se minimizan los errores por heterogeneidad o segregación.

4. Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo y la ecuación de la curva, la determinación de estaño insume no más de diez minutos.

REFERENCIAS

1. Jenkins, R., J. L. Vries.- Practical X Ray Spectrometry. Phillips Technical Library, 134 (1967).

2. Carr, B. K. G.- The determination of tin in lower samples by X Ray fluorescence analysis. The Analyst, 2 (90), 1066 (1965).

RESISTENCIA NATURAL DE PALMA CARANDAY
EN RELACION CON SU DENSIDAD *

Dr. Luis A. Borlando

Tco. Quím. Daniel Arcelús

SERIE II, Nº 303

Trabajo realizado por convenio entre Investigación y Desarrollo de SEGBA y el LEMIT.

Nota.- Con posterioridad a la realización de este trabajo, el Dr. Jorge E. Wright determinó que la cepa LEMIT 04 es Coprinus radians y la cepa LEMIT 05 es Lentinus crinitus var. schnyderi Spez. Los autores agradecen su valiosa cooperación.

INTRODUCCION

La disponibilidad de piezas de madera para elaborar postes preservados para líneas aéreas de energía está actualmente lejos de satisfacer su demanda, de manera que resulta de mucho interés toda contribución tendiente a lograr una explotación e industrialización más racional de los mismos y en especial, dadas las características de su comercialización, de los postes de Palma Caranday (Copernicia alba, Morong et Britt).

Se trata de una monocotiledónea también conocida con los nombres vernáculos de "carandá-hu", "carandá-puitá" y "carandá-morotí", de amplia difusión en el Paraguay y en nuestro país, en las provincias de Formosa, Chaco, Salta, Norte de Santa Fe y algunas zonas de Corrientes y Entre Ríos, en suelos aluvionales y frecuentemente inundados durante parte del año.

Vulgarmente se diferencian en esta especie tres estados vegetativos que se designan con los nombres de palma blanca, palma colorada y palma negra, cada una con ciertas características particulares y en estrecha relación con el menor o mayor grado de madurez (edad) alcanzado por el ejemplar.

De estas características particulares, las más notables son: cambios de color que se observan en el corte transversal del estípite, desde el blanco amarillento hasta un gris muy oscuro y cambios progresivos en la densidad del material del estípite o tronco, tanto en el sentido radial de cada sección transversal como en dirección vertical, desde el extremo de empotramiento hasta la cima.

Desde el punto de vista de su uso como poste para sostén de líneas aéreas de energía, el caranday presenta las ventajas de que prácticamente no adquiere defectos durante el estacionamiento, no requiere tareas de descortezado ni labrado y presenta, en general, un buen aspecto.

Es común en nuestro medio tomar la densidad de la zona cortical del estípite hasta un centímetro de profundidad, como criterio para establecer diferentes grados de calidad

de los postes elaborados, y es así que según la norma IRAM 9535 (1), para el tipo palma negra, la densidad mínima promedio es de $0,850 \text{ g/cm}^3$ y para el tipo palma colorada es $0,750 \text{ g/cm}^3$. Estos valores límite, además de medirse en el espesor de corona exterior de sólo un centímetro, corresponden únicamente a la sección transversal ubicada a 1 metro del extremo de base.

Además, esta propiedad es en dicha norma correlacionada en forma estrecha con la durabilidad del poste, o sea su capacidad para resistir el ataque de hongos e insectos xilófagos, en especial los primeros, y que se traduce luego en determinado comportamiento en condiciones de servicio.

Se establece entonces que se utilizarán sin preservar los postes de palma negra (con valores individuales de densidad hasta $0,750 \text{ g/cm}^3$) y los restantes, hasta $0,700 \text{ g/cm}^3$ de densidad mínima, se utilizarán preservados o no, según las condiciones de uso.

Sin embargo, se critica frecuentemente esta forma de tipificar este material para postes, en el sentido de que limita sus posibilidades de utilización y establece valores límite de densidad que no se apoyan en comprobaciones experimentales sobre duración en servicio, ni en ensayos de laboratorio o de campo que ofrecen resultados objetivos de la resistencia relativa al ataque de agentes destructores de madera.

Desde el punto de vista del uso de este material como poste para sostén de líneas aéreas de energía, que se encuentran en la intemperie y en contacto directo con el suelo, es muy importante conocer su capacidad para resistir el ataque de hongos que destruyen la madera.

En este estudio se encara una primera etapa en tal sentido, que tiene los fines siguientes:

1. Medir la resistencia natural relativa de la Palma Caranday al ataque de hongos xilófagos seleccionados, mediante un ensayo de laboratorio.

2. Determinar el efecto de la variación de la densidad en esa propiedad.

MATERIALES Y METODOS

Método de ensayo

La técnica utilizada para el ensayo, está basada en la que se indica en la norma ASTM, D 2017-71 (2) para valorar la resistencia natural de la madera al deterioro de origen micológico. Consiste en exponer pequeñas probetas de la madera en ensayo a la acción de cultivos puros de hongos xilófagos seleccionados, desarrollados dentro de frascos de vidrio de boca ancha, de 250 ml de capacidad y tapa metálica a rosca, sobre un sustrato de suelo de características especiales y una probeta, de tamaño pequeño, de madera no durable o papel de filtro, que también provee un sustrato adecuado para el desarrollo inicial del hongo.

Las probetas de madera se pesan antes y después del período de exposición, que varía entre tres y cuatro meses y la pérdida de peso experimentada, da la medida de la resistencia natural de aquéllas.

Cepas de hongos xilófagos utilizadas

Se emplearon las siguientes cepas:

MADISON 697	Polyporus versicolor L. ex Fr. (procedencia Forest Products Laboratory, Madison, EE.UU.).
LCT 306	Poliporácea (procedencia Laboratorio de Correos y Telecomunicaciones, sobre Canday, Pcia. de San Luis, República Argentina).
LCT 335	Poria medulla-panis (Pers.) Fr. (procedencia Laboratorio de Correos y Telecomunicaciones, sobre lapacho, Pcia. de Córdoba, República Argentina).
LCF 717	Ganoderma applanatum (Pers. ex Wallr) Pat.

(procedencia Div. de Fitopat., Inst. de Sanidad Vegetal, Ministerio de Agricultura y Ganadería, República Argentina. Sobre eucaliptus sp. Bs. As.).

- LEMIT 04 Indeterminada. Sobre álamo.
- LEMIT 05 Indeterminada. Sobre eucaliptus.
- LEMIT 01 *Picnoporus sanguineus*. Sobre eucaliptus.
- MADISON 698 *Poria monticola* Murr. (procedencia Forest Products Laboratory, Madison, EE.UU.).

Las características especiales del material en estudio originado en una monocotiledónea, quizá el único caso sobre el que se tienen antecedentes sobre su uso en la elaboración de postes para líneas aéreas de energía, sumado a la finalidad principal de este estudio referente a la durabilidad en función de la densidad del mismo, hacen que sea necesario recurrir a una amplia selección de cepas de hongos de reconocida capacidad para destruir madera.

En un trabajo realizado en nuestro medio por Zubieta y Gómez (3), se han aislado 5 cepas de hongos xilófagos (pertenecientes a 4 especies diferentes) de postes de Palma Caranday. De ellas dispusimos de dos solamente: LCT 306, que provoca pudrición blanca fibrosa en latifoliadas y LCT 335, de las mismas características (otro cultivo de esta especie LCT 285, se aisló de Palma Caranday).

También la especie *Picnoporus sanguineus* a que pertenece la cepa LEMIT 01, fue aislada por Wright de muestras de Palma atacada (4), produce pudrición blanca en coníferas y en latifoliadas, siendo muy común en áreas tropicales y subtropicales.

LCF 717 es un hongo cosmopolita de amplia difusión en esta zona, que ataca en especial a latifoliadas y produce pudrición blanca.

MADISON 697 es utilizada en la norma ASTM, D 2017 para ensayar maderas de latifoliadas (provoca pudrición blanca) y MADISON 698 para ensayar maderas, tanto de coníferas como de

latifoliadas (provoca pudrición marrón).

Extracción del material y preparación de las probetas

Estas operaciones se realizaron según las indicaciones de la norma IRAM 9535 (1). Para ello se dispuso de un gran número de tortas de palma, aproximadamente 200, de unos 4 centímetros de espesor, cortadas a 1 metro del extremo de base de postes.

De cada torta se extrajeron dos o tres probetas de la zona cortical más externa y de las dimensiones siguientes:

Espesor: 10 mm $\pm$ 0,1 mm

Ancho: 20 mm

Altura: 25 mm

(el espesor es en sentido radial y la altura en dirección al eje vertical), y a los efectos de ampliar la escala de densidades incluídas en el estudio, se extrajeron también probetas iguales de la zona inmediatamente interior.

Se dispuso entonces, aproximadamente de 600 probetas, debidamente identificadas y derivadas de unos 200 ejemplares diferentes, provenientes del Paraguay y de la provincia argentina de Formosa, en especial.

Determinación de la densidad de las probetas

Se determinó el volumen de cada probeta con exactitud suficiente conociendo la cantidad de líquido que ella desplaza. Para ello se midió el aumento de peso que experimenta un recipiente con agua cuando se sumerge allí la probeta, de acuerdo con la técnica indicada en la norma ASTM, D 2395, método B-II (5).

Tal procedimiento resulta sumamente simple y muy rápido si se usa una balanza de precisión del tipo Sartorius 2554, tal como se indica en el estudio comparativo sobre cinco procedimientos para determinar volumen de probetas de madera, que ha realizado Olesen (6).

Substrato

Para elaborar las probetas de madera substrato, se eligió álamo (*Populus* sp.); para la cepa Madison 697 se utilizaron trozos de papel de filtro, tal como se indica en la norma ASTM.

El material y todos los demás detalles operativos, son los que indica la mencionada norma, con excepción de los siguientes:

- a) Se colocaron en cada frasco dos probetas de palma de la misma densidad.
- b) El período de incubación fue de cuatro meses para la mayoría de las cepas, no usando entonces la pérdida de peso detectada sobre probetas testigos de madera no durable, que deben ser retiradas periódicamente del ensayo.

Probetas testigo

Se prepararon con madera de álamo (*Populus* sp.), cuya escasa durabilidad natural es bien conocida y con las mismas medidas que las probetas de Palma.

La pérdida de peso que experimentaron estas probetas al finalizar el período de incubación, sirvió como referencia a la capacidad de los hongos utilizados para destruir madera.

Probetas control

Se colocaron en frascos estériles sin inocular con hongos xilófagos, una serie de 16 probetas standards de Palma de densidades comprendidas entre 0,46 y 0,97 a razón de dos por frasco.

Tales probetas que se incubaron a 26-28°C durante cuatro meses, permitieron ajustar los valores de la pérdida porcentual de peso por variaciones que obedecen a otras causas diferentes del ataque del hongo.

RESULTADOS

En las tablas I a IV se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de exposición de probetas de palma a la acción de las ocho cepas de hongos xilófagos utilizados en el ensayo.

En la tabla V se exponen los resultados de los ensayos realizados con probetas testigos de madera de álamo.

La tabla VI es un resumen de los promedios obtenidos con cada una de las cepas.

CONCLUSIONES

La norma ASTM D 2017-71 establece que el porcentaje de pérdida de peso en las probetas provee una medida de la resistencia relativa al deterioro del material ensayado. Basándose en los informes de durabilidad en servicio de un gran número de especies de maderas de uso muy difundido, y en los datos de estos ensayos de laboratorio, ha desarrollado también las siguientes relaciones que sugiere para la interpretación de los valores de pérdida de peso:

Pérdida de peso (%)	Clase de resistencia para un hongo determinado
0 a 10	muy resistente
11 a 24	resistente
25 a 44	moderadamente resistente
45 o mayor	ligeramente resistente o no resistente

En nuestro medio no se dispone de un número suficiente de datos que permita establecer este tipo de correlación; sin embargo, para fines prácticos y teniendo en cuenta la inclusión en el ensayo de dos de las cepas que utiliza la mencionada norma, estableceremos clases de resistencia en relación con esa misma escala de pérdidas de peso.

En la tabla VII se establecen las clases de resistencia que resultan para diferentes valores de densidad en probetas de Palma Caranday ensayadas con ocho cepas de hongos xilófagos.

En la tabla VIII se clasifica en relación al ensayo con LEMIT 01 (*Picnopus sanguineus*) que provoca las mayores pérdidas de peso y es el hongo que con más frecuencia se aísla de postes de Palma retirados de servicio con alteraciones de origen micológico.

BIBLIOGRAFIA

1. Norma IRAM 9535. Postes de Caranday para líneas aéreas de energía. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, 1973.
2. Norma ASTM D 2017-71. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods.
3. Zubieta, G. J. y C. E. Gómez. Alteraciones micológicas en postes de madera. VIIº Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, octubre de 1972.
4. Wright, J. D. Estudio de ataque fúngico en probetas de palma (*Copernicia alba*). Comunicación privada. Buenos Aires, 1973.
5. Norma ASTM D 2395-69. Standard methods of test for specific gravity of wood and wood-base materials.
6. Olesen, P. O. The water displacement method. A paper from the Forestry Institute, the Royal Veterinary and Agricultural University of Copenhagen. 1971.

T A B L A I

RESULTADO DEL ENSAYO CON LAS CEPAS MADISON 697 Y LCT 306

Densidad	MADISON 697		LCT 306	
	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo
0,98	2	3		
0,95	3	4	4	6
0,92	3	4	2	3
0,89	3	5		
0,87			5	9
0,85	6	8	3	4
0,82	5	11	4	4
0,79	4	6	4	6
0,74-0,77	7	9	3	6
0,72	7	10		
0,68-0,70	9	10	4	6
0,65			5	7
0,61	7	12		
0,59			9	13
0,51-0,54	10	15	9	14

- Notas: (1) El período de incubación fue de 4 meses.
- (2) Se ensayaron 4 probetas para cada valor de densidad.
- (3) PSL: Pérdida de sustancia leñosa.
- (4) MADISON 697: Polyporus versicolor L. ex Fr.
- (5) LCT 306: Poliporácea.

T A B L A II

RESULTADO DEL ENSAYO CON LAS CEPAS LEMIT 01 Y LCT 335

Densidad	LEMIT 01		LCT 335	
	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo
0,98	7	12		
0,95	7	8		
0,92	5	6	3	3
0,89	6	9	2	3
0,86	7	10	3	4
0,83	9	11	4	5
0,79	11	18	4	4
0,76	11	13	6	8
0,73	11	14		
0,71			9	17
0,69	13	16		
0,67			6	9
0,64	15	17		
0,62			8	13
0,58	15	21	13	19
0,54			9	15
0,50			16	23

Notas: (1) El período de incubación fue de 4 meses.

(2) Se ensayaron 4 probetas para cada valor de densidad.

(3) LEMIT 01: *Picnoporus sanguineus*.

(4) LCT 335: *Poria medulla-panis* (Pers) Fr.

T A B L A I I I

RESULTADO DEL ENSAYO CON LAS CEPAS LCF 717 Y LEMIT 04

Densidad	LCF 717		LEMIT 04	
	PSL (%)	PSL (%)	PSL (%)	PSL (%)
	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo
> 0,99			2	3
0,98	< 1	1		
0,96			2	2
0,94	< 1	1		
0,91	< 1	1	< 1	1
0,88	2	4	2	3
0,85	2	2	< 1	2
0,82	2	2	< 1	1
0,78	3	6	2	3
0,74			3	5
0,67			4	5
0,64	7	8		
0,61	15	23	6	10
0,56	13	18	6	7
0,47			9	13

Notas: (1) El período de incubación fue de 4 meses.

(2) Se ensayaron 4 probetas para cada valor de densidad.

(3) LCF 717: *Ganoderma applanatum* (Pers ex Wallr) Pat.

(4) LEMIT 04: Indeterminada.

T A B L A IV

RESULTADO DEL ENSAYO CON LAS CEPAS MADISON 698 Y LEMIT 05

Densidad	MADISON 698		LEMIT 05	
	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo	PSL (%) Promedio	PSL (%) Máximo
> 1,00			2	3
0,98	1	2		
0,95			2	4
0,93	< 1	1		
0,90	1	2	3	3
0,88	1	2		
0,86	1	2	2	4
0,84			3	4
0,82	2	2	4	6
0,79	1	3	3	5
0,76			7	8
0,73	2	2	5	8
0,70	2	2	7	9
0,65	2	4	7	10
0,63			8	10
0,60	4	4		
0,57	5	7		

Notas: (1) El período de incubación fue de 3 meses y medio para la cepa MADISON 698 y de 3 meses para la cepa LEMIT 05.

(2) Se ensayaron 4 probetas para cada valor de densidad.

(3) MADISON 698: *Poria monticola* Murr.

(4) LEMIT 05: indeterminada.

T A B L A V

RESULTADO DE LOS ENSAYOS CON "PROBETAS TESTIGOS"
DE MADERA DE ALAMO

Espece de hongo	PSL (%), promedio	PSL (%), máximo
MADISON 697	55	62
LCT 306	46	64
LEMIT 01	24	28
LCT 335	48	80
LCF 717	28	35
LEMIT 04	36	47
LEMIT 05	29	44
MADISON 698	56	68

Nota: Para cada cepa, el período de incubación fue el mencionado en las tablas anteriores.

T A B L A VI

PROMEDIOS DE PERDIDAS PORCENTUALES DE PESO EN 16 RANGOS DE DENSIDAD

Densidad	MADISON 697	LCT 306	LEMIT 01	LCT 335	LCF 717	LEMIT 04	MADISON 698	LEMIT 05
0,97->1,00	2	-	7	-	<1	2	1	2
0,94-0,96	3	4	7	-	<1	2	-	2
0,91-0,93	3	2	5	3	<1	<1	<1	-
0,88-0,90	3	-	6	2	2	2	1	3
0,86-0,87	-	5	7	3	-	-	1	2
0,84-0,85	6	3	-	-	2	<1	-	3
0,81-0,83	5	4	9	4	2	<1	2	4
0,78-0,80	4	4	11	4	3	2	1	3
0,75-0,77	7	3	11	6	-	-	-	7
0,71-0,74	7	-	11	9	-	3	2	5
0,66-0,70	9	4	13	6	-	4	2	7
0,63-0,65	-	5	15	-	7	-	2	7
0,59-0,62	7	9	-	8	15	6	4	8
0,55-0,58	-	-	15	13	13	6	5	-
0,51-0,54	10	9	-	9	-	-	-	-
0,47-0,50	-	-	-	16	-	9	-	-

T A B L A VII

DURABILIDAD DE LA PAJMA SEGUN CLASES DE RESISTENCIA, EN RELACION CON LA DENSIDAD
Y EL HONGO UTILIZADO

Hongo	Densidad	Clase
MADISON 697	Mayor de 0,51	M R
LCT 306	Mayor de 0,51	M R
LEMIT 01	Mayor de 0,83	M R
	0,58 a 0,82	R
LCT 335	Mayor de 0,62	M R
	0,50 a 0,61	R
LCF 717	Mayor de 0,64	M R
	0,56 a 0,63	R
LEMIT 04	Mayor de 0,47	M R
MADISON 698	Mayor de 0,57	M R
LEMIT 05	Mayor de 0,63	M R

Nota: M R; muy resistente : PSL, 0 a 10 %
R : resistente : PSL, 11 a 24 %

T A B L A VIIIDURABILIDAD DE PAIMA CARANDAY, SEGUN CLASES DE RESISTENCIA, EN RELACION CON LADENSIDAD Y PARA EL HONGO MAS DESTRUCTIVO (PICNOPORUS SANGUINEUS)

Densidad	PSL (%) Promedio	Clase de Resistencia *	PSL (%) Máximo	Clase de Resistencia *
0,98	7	M R	12	R
0,95	7	M R	8	R
0,92	5	M R	6	R
0,89	6	M R	9	R
0,86	7	M R	10	R
0,83	9	M R	11	R
0,79	11	R	18	R
0,76	11	R	13	R
0,73	11	R	14	R
0,69	13	R	16	R
0,64	15	R	17	R
0,58	15	R	21	R

* M R Muy resistente: PSL, 0 a 10 %
 R . Resistente: PSL, 11 a 24 %

ERRATAS ADVERTIDAS

- Pág. 114 (tabla VIII)

<u>Densidad</u>	<u>PSL (%) máx.</u>	<u>Clase de resistencia</u>	
		<u>dice</u>	<u>debe decir</u>
0,95	8	R	MR
0,92	6	R	MR
0,89	9	R	MR
0,86	10	R	MR

- Páginas 99 a 114.- En todos los lugares donde dice: eucaliptus, debe decir: eucalyptus y donde dice: piconoporus debe decir: pycnopus.

PERMEABILIDAD DE HORMIGONES

Ing. Marcelo Wainzstein

Tco. Quím. Jorge D. Sota

SERIE II, Nº 304

INTRODUCCION

La durabilidad del hormigón puede ser afectada peligrosamente por la penetración de líquidos agresivos o cuando el hidróxido de calcio que se forma como producto de hidratación del cemento es lavado por circulación del agua dentro del hormigón. Esta penetración del líquido depende de la permeabilidad del hormigón, la que también determina la facilidad con que el hormigón puede ser saturado. Por lo tanto también tiene una importancia fundamental en la resistencia a congelación y deshielo.

Asimismo, en el caso de hormigón armado, el ingreso de humedad y/o aire puede dar lugar a la corrosión del acero. El acero al corroerse puede llegar a aumentar un 200 por ciento su volumen, y se originan fisuras y desprendimiento del recubrimiento. También tiene relación con la presión hidrostática en el interior de las presas, y por último el ingreso de agua en el hormigón afecta a las propiedades térmicas.

Recordemos que la pasta de cemento y los áridos contienen poros. Además el hormigón tiene vacíos causados por compactación incompleta (aire naturalmente incorporado) o por exudación. Luego los hormigones normales endurecidos de construcción, tienen volúmenes de poros comprendidos entre el 8 y 25 por ciento. Ese volumen de poros nos proporciona sólo la suma de poros en porcentual, pero nada expresa acerca del tamaño de los mismos, de su forma o de la distribución, factores que tienen notable influencia sobre esta propiedad que estamos analizando.

ESTRUCTURA DE POROS Y CAPILARES DEL HORMIGON ENDURECIDO. (POROSIDAD) Y SU VINCULACION CON LA PERMEABILIDAD Y ABSORCION

Un mismo volumen de poros puede estar compuesto de una

pequeña cantidad de poros grandes y oquedades, o bien, de numerosos poros de tamaños medio, o finalmente, de una infinidad de poros minúsculos. En general se trata de un conjunto de poros de los más diversos tamaños.

Consideramos la forma, en que dichos vacíos se originan en el hormigón endurecido.

a) En primer lugar, la necesidad de obtener mezclas trabajables y que permitan llenar con facilidad los encofrados, obliga a utilizar una cantidad de agua de mezclado mucho mayor que la necesaria para completar la hidratación y el endurecimiento del cemento, que es del orden del 20 por ciento del peso de cemento, quedando la mayor parte de ella como agua libre en la masa del hormigón. El volumen que esta agua libre ocupa, está inicialmente determinado por la razón agua/cemento y representa espacio libre para ser ocupado por los productos de hidratación del cemento. De ahí la importancia que revisten los bajos contenidos unitarios de agua y un curado eficiente y prolongado. Los diámetros de estos poros son del orden de 10^{-3} a 10^{-4} centímetros. El volumen total estará comprendido entre aproximadamente 8 y 40 por ciento del volumen de la pasta para razones agua/cemento dentro de la gama de valores de trabajo normal.

b) En segundo lugar, el volumen sólido de los productos que se forman por la hidratación del cemento, es menor que la suma de los volúmenes de agua y sólido del cemento que entran en la reacción. Así es como resulta imposible que la pasta endurecida de cemento y agua llene íntegramente el espacio que originariamente ocupaba la misma en estado fresco. La consecuencia es que la pasta endurecida contiene cierta cantidad de vacíos. Estos pequeñísimos poros del gel, de diámetros del orden de 10^{-7} centímetros ocupan aproximadamente el 25 por ciento del volumen aparente de los productos de hidratación.

c) En cuanto a los agregados, que constituyen algo más del 70 por ciento del volumen de hormigón, influyen sobre las características de aquél. El volumen de poros de los agregados del tipo normal varía entre 1 y 5 por ciento y sus diámetros son variables y del orden de los mayores diámetros de los canales capilares de la pasta.

d) El hormigón contiene cierta cantidad de aire natural

o intencionalmente incorporado en su masa. Este volumen puede variar entre 1 y 10 por ciento aproximadamente, dependiendo del tipo y de la cantidad de agente incorporador de aire empleado y de otras circunstancias. Los diámetros oscilan entre 10^{-1} a 10^{-3} centímetros. Asimismo, si la mezcla no está correctamente proyectada o si existen defectos de compactación, en las estructuras se observan los tan indeseables nidos de abeja.

e) Otro tipo de vacíos se desarrolla cuando el hormigón está en estado plástico, inmediatamente después de haber sido colocado en obra. Estando las partículas sólidas, incluso el cemento, en un estado de equilibrio inestable, al producirse el asentamiento de dichas partículas como consecuencia de la acción de las fuerzas gravitatorias, el agua es forzada a dirigirse hacia las partes superiores, comenzando entonces la formación de una serie de canales capilares que pueden llegar hasta las superficies exteriores de las estructuras (exudación). Estos pequeños e innumerables canales de agua interconectados, constituyen una red dentro de la masa del hormigón. Parte del agua que asciende como consecuencia de la exudación, es detenida debajo de algunas de las partículas de agregados de mayor tamaño, constituyendo una película de agua, que tenderá a desaparecer dejando vacíos, que constituyen zonas de debilidad, de alta razón agua/cemento y de pobre adherencia entre la pasta y los agregados. Por lo tanto el hormigón es un material poroso, con vías de acceso abiertos al ingreso, dentro de su masa, de sustancias que están en contacto con el hormigón y también, naturalmente, al egreso, desde su masa al exterior de sustancias en condiciones de recorrer los poros y capilares en sentido inverso. Esto también indica que la superficie de contacto del hormigón con un medio agresivo, no es solamente la externa, delimitada por las formas exteriores de la estructura, sino que a ella debe agregarse la enorme superficie interna constituida por los poros, capilares. Resumiendo, el agua pasa por los capilares del hormigón, por los de la pasta, también puede circular por los correspondiente al gel y pasa en la interfase entre el árido grueso y la pasta.

La circulación de los líquidos, agresivos o no, pueden producirse tanto por permeabilidad, es decir líquido sometido a una presión exterior, como por capilaridad (absorción

capilar).

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

La absorción, que mide el volumen de poros en el hormigón, es un concepto distinto al de permeabilidad.

La permeabilidad del hormigón no es una simple función de su porosidad, pues depende también del tamaño, distribución y continuidad de dichos poros.

La permeabilidad de la pasta de cemento varía con el progreso de la hidratación. En la pasta fresca, el escurrimiento de agua es controlado por el tamaño, forma y concentración de los granos de cemento originales. Con el progreso de la hidratación, la permeabilidad decrece rápidamente porque el aumento del volumen del gel es aproximadamente dos veces el volumen de cemento no hidratado, por lo tanto el gel gradualmente llena el espacio que originalmente ocupa el agua que se va evaporando.

En la pasta endurecida de cierta edad, la permeabilidad depende del tamaño, forma y concentración de las partículas de gel y si los capilares son continuos o no.

En consecuencia, los hormigones que tengan un curado adecuado serán más impermeables que otros con curado deficiente.

Para pastas hidratadas de la misma edad, la permeabilidad es menor a medida que disminuye la razón agua/cemento.

La permeabilidad del hormigón es afectada también por las características del cemento. Asimismo, para las distintas composiciones en compuestos de los cementos, al variar las velocidades de hidratación, queda afectada la permeabilidad, pero sin que la permeabilidad a larga edad sufra variaciones.

La diferencia entre la permeabilidad de la pasta de cemento y el hormigón que contiene la pasta de la misma razón

agua/cemento, está en función de la permeabilidad propia del árido. Si el árido tiene poca permeabilidad, se reduce el área efectiva a través de la cual puede escurrir el agua; en otras palabras, el hormigón logrado con ese árido, tendrá menor permeabilidad que la pasta de la misma razón agua/cemento.

Para conseguir hormigones de baja permeabilidad es fundamental, entre otros factores, el empleo de agregados con buena granulometría y limitación del agua de mezclado. Deben tener buen mezclado, consistencias aptas, una compactación completa y un curado en condiciones favorables; la sustitución del cemento portland por cenizas volantes o puzolanas, reduce la permeabilidad. Davis y Blanks, encontraron que en muchos casos, la reducción alcanza a cifras significativas. Esto último es muy importante para presas, donde la permeabilidad es en general un factor, más importante que la resistencia, más si el agua embalsada es agresiva, o está emplazada en zonas de baja temperatura.

Powers y colaboradores, realizaron experiencias para observar la reducción de la permeabilidad de la pasta de cemento con el incremento de la hidratación, ensayando probetas de razón agua/cemento (en peso): 0,7 y curadas hasta la edad de ensayo obtuvieron los siguientes resultados:

Edad (días)	Coefficiente de permeabilidad K cm/seg
1	2×10^{-4}
5	4×10^{-8}
6	1×10^{-8}
8	4×10^{-9}
13	5×10^{-10}
24	1×10^{-10}
último	$6 \times 10^{-11} *$

* Calculado

El Bureau of Reclamation ha especificado para sus hormigones un límite arbitrario de $1,5 \times 10^{-11}$ cm/seg.

El factor de permeabilidad se calcula con la fórmula de

T A B L A I

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LOS CEMENTOS EMPLEADOS

<u>Cemento portland normal y purolánico</u>		
	<u>Norma IFAM 1651</u>	<u>Norma IFAM 1503</u>
Nº de Laboratorio	3974-72	6331-73
Marca	L3	M1
<u>Ensayos físicos:</u>		
Agua para pasta normal, %	23,5	23,5
Expansión en autoclave, %	- 0,02	- 0,03
Fregado inicial (h, min)	2,20	3,25
Fregado final (h, min)	4,15	5,15
Superficie específica (cm ² /g)	3,983	3,131
Retenido p/tamiz nº 200, %	8,6	12,0
Resistencia flexión (kg/cm ²)		
3 días	47	-
7 días	64	74
28 días	80	87
60 días	83	-
90 días	94	-
Resistencia compresión (kg/cm ²)		
3 días	161	-
7 días	239	226
28 días	273	313
60 días	294	-
90 días	303	-
<u>Análisis químico:</u>		
Residuo insoluble, %	20,4	0,4
Pérdida por calcinación, %	2,3	1,8
Anhidrido sulfúrico (SO ₃), %	3,4	1,7
Oxido de magnesio (MgO), %	0,6	0,8
Sílice soluble (SiO ₂), %	15,5	21,5
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃), %	3,4	3,6
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃), %	4,6	4,1
Oxido de calcio (CaO), %	48,4	65,2
Cal libre (en OCa), %	0,56	0,32
Oxido de sodio (Na ₂ O), %	0,08	0,10
Oxido de potasio (K ₂ O), %	0,67	0,81
<u>Composición potencial en compuestos:</u>		
Silicato tricálcico (SC ₃), %	-	64
Silicato dicálcico (SC ₂), %	-	13
Aluminato tricálcico (AC ₃), %	-	5,0
Ferro Aluminato tetracálcico (FAC ₄), %	-	11,0
Alcalis total (en Na ₂ O), %	-	0,63

Tabla XI - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS

Nº Lab.:	3717-73	3718-73	3719-73	3720-73
Identificación:	Arena sílicea feldespática	Arena sílicea feldespática	Canto rodado de cuarzo y calcedonia	Canto rodado de cuarzo y calcedonia
Impurezas orgánicas (ensayo colorimétrico)	Satisfactorio	Satisfactorio	-	-
Peso específico agregado saturado y de sup. seca (T/m^3)	2,60	2,62	2,57	2,53
Peso específico agregado seco hasta peso constante (T/m^3) ...	2,59	2,62	2,56	2,50
Absorción de agua 24 h en peso (%)	0,10	0,20	0,70	1,00
Peso de la unidad de volumen agregado seco y suelto (T/m^3) .	1,70	1,56	1,56	1,58
Porcentaje de vacíos (%)	34,40	39,90	39,10	36,80
Módulo de finura	2,91	1,47	7,62	6,31
Granulometría (por ciento que pasa los tamices):				
2"	100	100	100	100
1 1/2"	100	100	97	100
1"	100	100	70	100
3/4"	100	100	41	100
1/2"	100	100	1	95
3/8"	100	100	-	61
nº 4	100	100	-	8
nº 8	91	100	-	-
nº 16	54	100	-	-
nº 30	36	95	-	-
nº 50	25	30	-	-
nº 100	3	8	-	-

Darcy:

$$K_c = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{H}$$

donde Q/A es el caudal de escurrimiento del área transversal bajo presión en $\text{cm}^3/\text{seg} \cdot \text{cm}^2$ y L/H es la relación de longitud de percolación del fluido (agua en nuestro caso).

Para valorar el coeficiente de permeabilidad se emplean permeámetros, siendo el más antiguo el utilizado por Glanville en 1930. Este permeámetro sometía a bajas presiones probetas en forma de disco. El agua bajo presión penetraba por la parte superior de la probeta, cuantificando la cantidad que pasaba por la misma. La altura de la probeta que utilizaba Glanville era de 2 pulgadas y su diámetro variaba de 2 a 5 pulgadas.

Para la realización de los ensayos que se informan en este trabajo, se empleó el permeámetro con presiones crecientes hasta 10 atmósferas (fig. 1). Se utilizaron cubos de hormigón de 20 centímetros de lado y/o probetas de la misma sección por 12 centímetros de altura.

EMPLEO DE IMPERMEABILIZANTES

En algunos casos, el hormigón necesita una protección adicional, la cual solamente podrá ser alcanzada por medio de una barrera impermeabilizante entre el hormigón y el agua.

El conjunto hormigón-impermeabilizante debe mantenerse sin alteraciones por largo tiempo, necesitando el impermeabilizante cumplir las siguientes condiciones: ser impermeable y resistir al ataque del agua o sustancias agresivas; ser susceptible de resistir el fisuramiento del hormigón; no sufrir un proceso rápido de envejecimiento, resistir a la intemperie; y finalmente, tener un costo accesible.

Existen en el mercado pinturas aptas para estos fines, entre las cuales pueden mencionarse las de base epoxi.

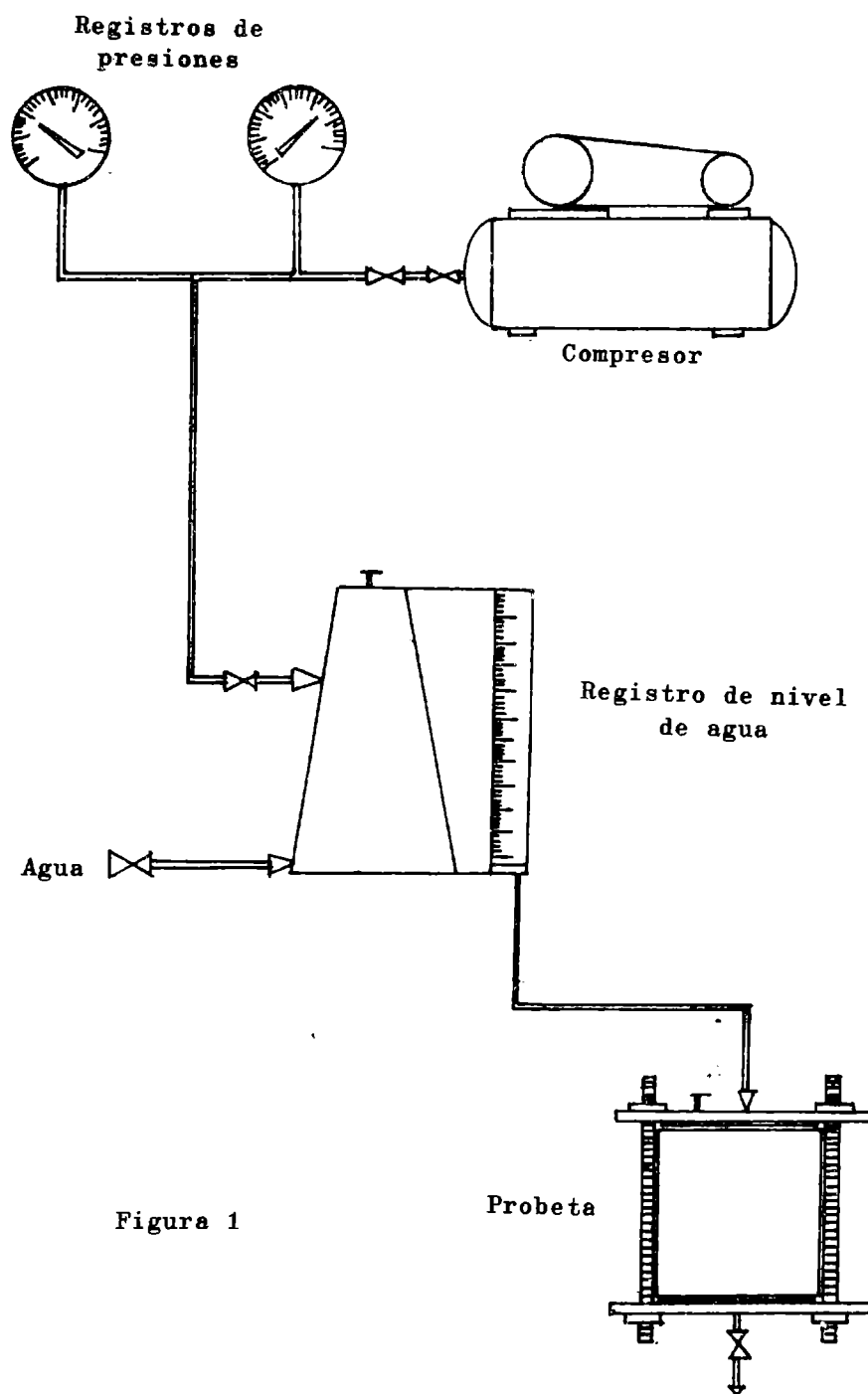


Figura 1

Su capacidad impermeabilizante es mayor a medida que aumenta el espesor de la aplicación. Dependerá el espesor óptimo del tipo de pintura, de las condiciones de exposición al agua, de la rugosidad de la superficie, y de las condiciones y tiempo en que la misma estará expuesta a la abrasión.

Es importante obtener una película continua y uniforme, que tenga capacidad de elongación como para no fisurarse y un espesor suficiente como para sufrir deformación sin romperse. Estas pinturas deben ensayarse antes de su empleo para establecer si cumplen con las condiciones indicadas y si no sufren ampollado, descascarado u otras alteraciones con el envejecimiento.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

Como ya se mencionó, se emplearon probetas cúbicas de 20 centímetros de lado y también probetas de la misma sección y 12 centímetros de altura. Las presiones que se aplican en los ensayos son crecientes, con intervalos de presión constante. Puede ocurrir que un capilar del hormigón puede estar obturado por alguna causa, por ejemplo un granito de arena de la fracción fina. Al someter durante 24 horas a una presión de, por ejemplo, 5 kg/cm^2 , durante ese lapso se puede desprender; al aumentar la presión, por ejemplo a 7 kg/cm^2 , son empujadas al exterior; en esas condiciones por el capilar pasará agua y el coeficiente de permeabilidad será más elevado, pero más cercano a un valor práctico.

Las probetas confeccionadas con la mezcla en estudio, se mantienen un día en los moldes y hasta la edad de ensayo (28 días) se las somete a un curado húmedo una vez desmoldadas.

Luego de ese lapso se las coloca en el permeámetro a diferentes presiones: 1 kg/cm^2 durante 48 horas; a continuación se incrementa la presión a 3 kg/cm^2 durante 24 horas; y, por último 7 kg/cm^2 por espacio de 24 horas. Se mide el agua que pasa en esos intervalos de tiempo (fig. 2 y 3).

Las características físicas, mecánicas y químicas de los materiales empleados en las experiencias se informan en la

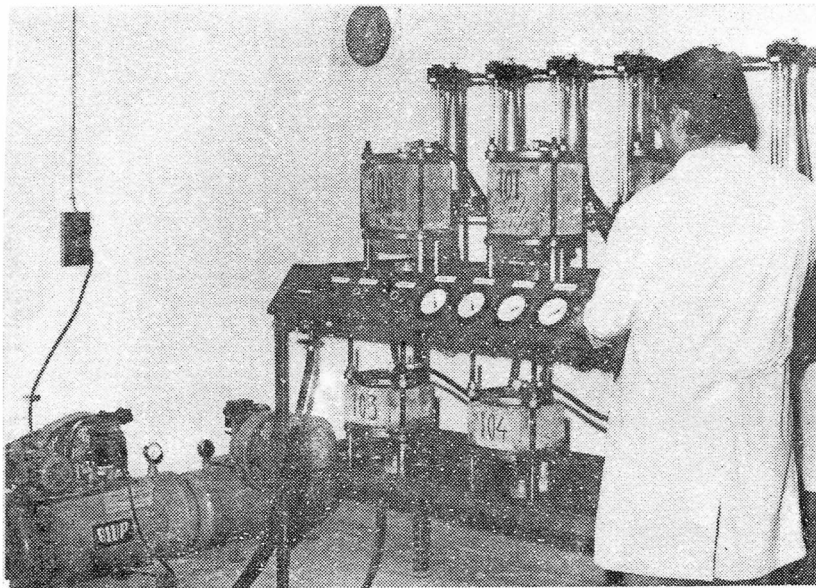


Fig. 2.- Equipo para determinar permeabilidad y compresores para lograr las presiones de ensayo

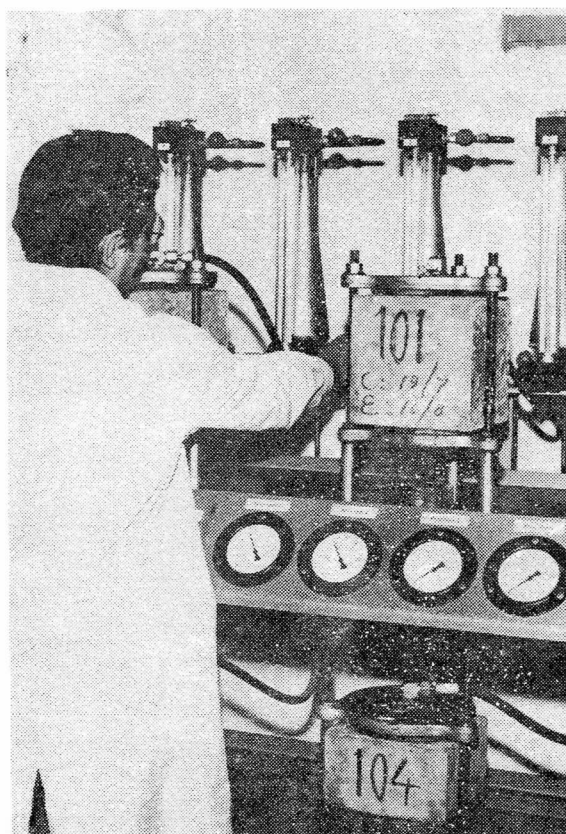


Fig. 3.- Puesta en marcha del ensayo de permeabilidad

tabla I y II; y las dosificaciones realizadas con sus proporciones valoradas en la tabla III.

Se observa que se han efectuado variaciones en los materiales, pero manteniendo los áridos constantes, salvo VI y VII.

Las mismas consisten en:

- a) cemento portland normal sin adición intencional de aire;
- b) cemento portland puzolánico sin adición intencional de aire;
- c) cemento portland normal con adición intencional de aire; y
- d) cemento portland puzolánico con adición intencional de aire.

Se empleó resina "Vinsol" como aditivo incorporador de aire. Con dichos materiales se realizaron hormigones con distintas razones agua/cemento, variables entre 0,40 y 1,0. El total de probetas confeccionadas ascendió a 240.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la tabla IV se dan, para las distintas dosificaciones, los valores obtenidos del coeficiente de permeabilidad K, de acuerdo a las variables comentadas en el punto anterior.

Se observa que el cemento puzolánico es el que proporciona los hormigones de menor permeabilidad, siempre que el curado sea efectivo. También la incorporación intencional de aire, aumenta la impermeabilidad, a la vez que reduce la segregación y exudación, provee de mayor trabajabilidad a la mezcla con lo que se pueden emplear hormigones de menor razón agua/cemento al reducir el contenido unitario de agua.

T A B L A III

DOSIFICACIONES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN EMPLEADAS EN LAS EXPERIENCIAS

Mezclas Razón Pa/Pc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Agua	167	149	162	154	154	160	200	157	148	175
Cemento portland normal.....	406	273	275	192	154	400	350	390	260	175
Cemento portland puzolánico .	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena silícea "oriental".....	600	647	634	638	676	710	747	512	549	546
Arena silícea "argentina".....	200	216	213	224	228	-	-	232	238	235
Canto rodado "grueso".....	548	589	579	609	617	-	-	507	545	540
Canto rodado "fino"	450	486	473	501	506	-	-	620	662	657
Piedra partida granítica	-	-	-	-	-	1156	1193	-	-	-

Mezclas Razón Pa/Pc	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
Agua	157	148	180	121	135	150	130	140	146
Cemento portland normal	-	-	-	300	300	190	-	-	-
Cemento portland puzolánico .	390	260	180	-	-	-	300	300	195
Arena silícea "oriental"	517	549	541	535	530	580	530	528	577
Arena silícea "argentina" ...	222	238	232	230	229	248	230	227	247
Canto rodado "grueso"	601	644	627	620	615	594	617	614	584
Canto rodado "fino"	489	512	517	510	506	488	506	501	481
Piedra partida granítica	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: - Los asentamientos de las mezclas determinados por el método del tronco de cono
prendidos entre 7 y 10 centímetros. valores com-

- El aire medido (en volumen) osciló en 5 ± 1 por ciento en todos los pastones; como se em-
pleó resina "Vinsol".

T A B L A IV

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Dosificación *	Razón Pa/Pc	Cantidad de agua que pasa (en ml) a la presión de			Cantidad total de agua que pasa (ml)	Coeficiente de permeabilidad K (m/seg)
		1 atm	3 atm	7 atm		
I	0,41	15	19	5	39	$2,8 \cdot 10^{-9}$
II	0,55	69	37	36	142	$1,0 \cdot 10^{-8}$
III	0,59	39	31	13	83	$0,6 \cdot 10^{-8}$
IV	0,80	44	103	78	225	$1,6 \cdot 10^{-8}$
V	1,00	45	105	143	293	$1,8 \cdot 10^{-8}$
VI	0,40	20	13	4	37	$2,7 \cdot 10^{-9}$
VII	0,57	62	25	8	95	$0,6 \cdot 10^{-8}$
VIII	0,40	15	11	11	37	$2,7 \cdot 10^{-9}$
IX	0,57	6	15	14	35	$2,5 \cdot 10^{-9}$
X	1,00	38	58	62	158	$1,1 \cdot 10^{-8}$
XI	0,40	12	5	8	25	$1,7 \cdot 10^{-9}$
XII	0,57	20	32	27	79	$0,6 \cdot 10^{-8}$
XIII	1,00	40	17	41	98	$0,7 \cdot 10^{-8}$
XIV	0,40	10	6	15	31	$2,2 \cdot 10^{-9}$
XIV	0,40	12	4	21	37	$2,7 \cdot 10^{-9}$
XV	0,45	16	6	18	40	$2,9 \cdot 10^{-9}$
XVI	0,80	22	9	21	52	$3,7 \cdot 10^{-9}$
XVII	0,43	5	2	6	13	$0,9 \cdot 10^{-9}$
XVIII	0,47	14	3	9	26	$1,8 \cdot 10^{-9}$
XIX	0,75	19	5	16	40	$2,9 \cdot 10^{-9}$

* Ver tabla III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La permeabilidad aumenta al aumentar la razón agua/cemento. Se observa que la razón agua/cemento máxima debe ser de 0,50. Una baja permeabilidad es uno de los requisitos previos para obtener durabilidad.

2. El empleo de cementos portland puzolánicos de calidad verificada, mejora la impermeabilidad siempre que el curado sea efectivo.

3. La incorporación intencional de aire logra disminuir notablemente la permeabilidad. La acción conjunta del empleo de cementos portland puzolánicos con la incorporación intencional de aire, arroja los menores coeficientes, y en consecuencia, a igualdad de otros factores (tiempo de mezclado, curado, edad de ensayo, etc.) dará posibilidad a obtener hormigones de alta impermeabilidad, y en consecuencia, durables.

4. Se sugiere que en las obras públicas de hormigón simple o armado, donde la impermeabilidad o durabilidad sean factores importantes, aparte de incorporar en el pliego las conclusiones aquí obtenidas se exija en el mismo, la determinación del coeficiente de permeabilidad de los hormigones empleados en las estructuras.

BIBLIOGRAFIA

- Buettgern A., H. N. Vidal y S. P. Wing. - An investigation of the permeability of mass concrete with particular reference to Bollder dan. Proccedings American Concrete Institute, 31, 382 (1935); discusiones 32, 230 y 378 (1936).
- Mc Millan P. R. y J. Lyse. - Some permeability studies of concrete. Proccedings A.C.I., 26, 101, (1930).
- Akreyd T. N. - Concrete, properties and manufactue. Pergamon Press, New York, 1962.
- I.P.T. - Instituto de pesquisas tecnológicas. Coloquio Permeabilidade do concreto a agua. San Pablo, diciembre 1971. Ibracon (Instituto Brasileiro do Concreto).

Agradecimientos.— Los autores agradecen al personal de la Sección Ligantes Aéreos e Hidráulicos por su colaboración, y en especial a los operadores Néstor H. Russo, Néstor Rosell y Ricardo I. Sota por su colaboración directa en la realización de las experiencias.

**DETERMINACION DE COBRE EN ACEROS Y FUNDICIONES
POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA**

Tco. Qco. Rodolfo Iasi

Ing. Qco. Omar Rolla

Tco. Qco. Raúl H. Pérez

Tco. Qco. Carlos Alf

SERIE II, N° 305

INTRODUCCION

Son numerosos los métodos para la determinación de cobre en aceros comunes y aleados, por la vía analítica clásica que figuran en la bibliografía. Todos ellos se basan en técnicas laboriosas que insumen muchas horas de trabajo. Uno de los métodos instrumentales modernos, que en los últimos años ha tenido un gran desarrollo aportando soluciones a problemas analíticos complejos, es la espectrometría por absorción atómica.

La absorción atómica es muy específica para diversos elementos y las radiaciones que son absorbidas por cada uno de ellos tienen una longitud de onda bien definida; de ahí que la posibilidad de que dos elementos lo hagan en la misma longitud de onda es muy remota. Estas técnicas son generalmente reconocidas como libres de interferencia espectral. Sin embargo, la respuesta de un elemento en su longitud de onda de resonancia muchas veces depende de otros componentes presentes en la disolución de la muestra. Este efecto se conoce como interferencia química.

El propósito de este trabajo es encontrar por esta vía, un método rápido y suficientemente exacto para la determinación de cobre en aceros y fundiciones, determinación que frecuentemente se efectúa en el laboratorio, debido a que este elemento es incorporado por su incidencia como inhibidor de la corrosión.

PARTE EXPERIMENTAL

Equipo empleado y condiciones de trabajo

Se utilizó un equipo de absorción atómica Jarrel Ash modelo 82-519 provisto de una lámpara de multicátodo hueco de Cu - Pb - Zn - Ag.

Las condiciones de medida del instrumental del aparato fueron las siguientes:

Corriente de la lámpara	4 mA
Longitud de onda de resonancia	3 247 Å
Atenuación del instrumento	2
Ganancia	4
Altura del mechero de flujo laminar	
Hetco de 10 cm de ranura	5
Presión de aire	21
Presión de acetileno	7
Abertura de entrada	100 μ
Abertura de salida	150 μ

Reactivos

a) Solución patrón de cobre de 1 000 ppm. Se preparó a partir de cobre electrolítico, disolviendo este material en ácido nítrico concentrado; se evaporó a sequedad y el residuo fue tomado con 20 ml de ácido clorhídrico. Se repitió tres veces la evaporación a efectos de eliminar completamente el ácido nítrico; el residuo se disolvió con 20 ml de ácido clorhídrico y luego se llevó a volumen en un matraz aferado de 1 000 ml, completando con agua destilada.

b) Solución patrón de hierro de 10 000 ppm. Se obtuvo por disolución de 10,00 g de hierro en polvo exento de cobre en 50 ml de ácido clorhídrico concentrado, adicionando 5 ml de ácido nítrico para favorecer la disolución y oxidación del hierro. Se llevó a seco y el residuo fue disuelto en 50 ml de ácido clorhídrico y trasvasado a un matraz aforado por 1 000 ml, completándose con agua destilada hasta el entase.

c) Soluciones patrón de cobre de 20 y 40 ppm. Se prepararon por dilución de la solución madre de 1 000 ppm.

Preparación de la curva calibrada

Se preparó a partir de soluciones cuyas concentraciones equivalen a la disolución de un gramo de muestra de acero en 250 ml.

En la tabla I figuran las condiciones de preparación de las soluciones patrón para la construcción de la curva calibrada.

Se prepararon además cuatro soluciones a partir de aceros patrones del National Bureau of Standards cuya certificación del contenido de cobre y su identificación figuran en la tabla II.

Dado que la respuesta del cobre en su longitud de onda de resonancia depende de los otros componentes presentes en la disolución de la muestra de acero y que esencialmente el componente mayoritario es el hierro, éste fue añadido a las soluciones patrones en cantidad similar, ya que este elemento es quien deprime la absorción del cobre en su longitud de onda de resonancia. Este efecto es compensado cuando se agrega hierro en las soluciones patrones utilizadas en la obtención de la curva calibrada.

Forma de realización del ensayo

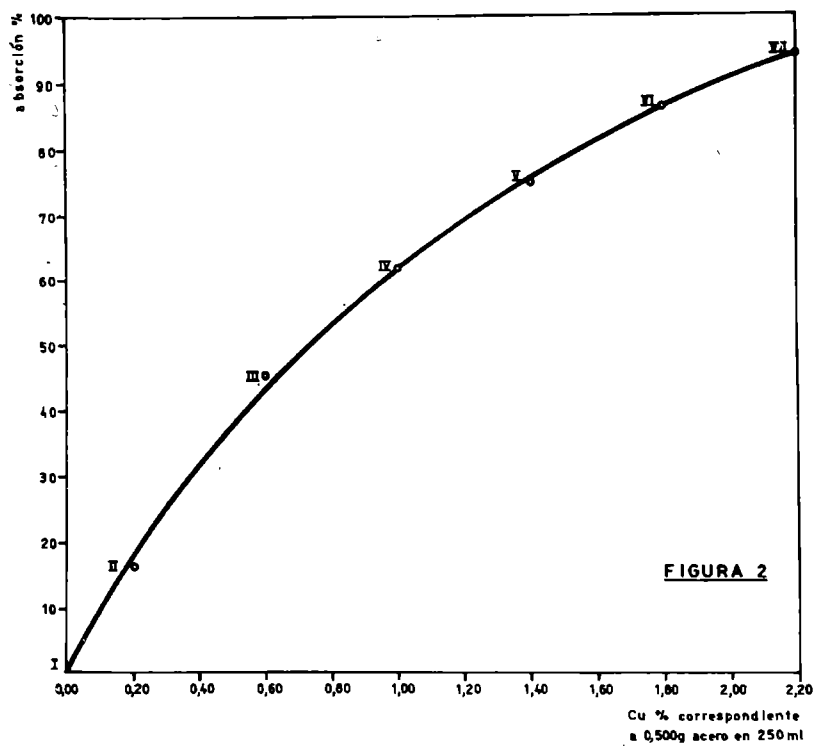
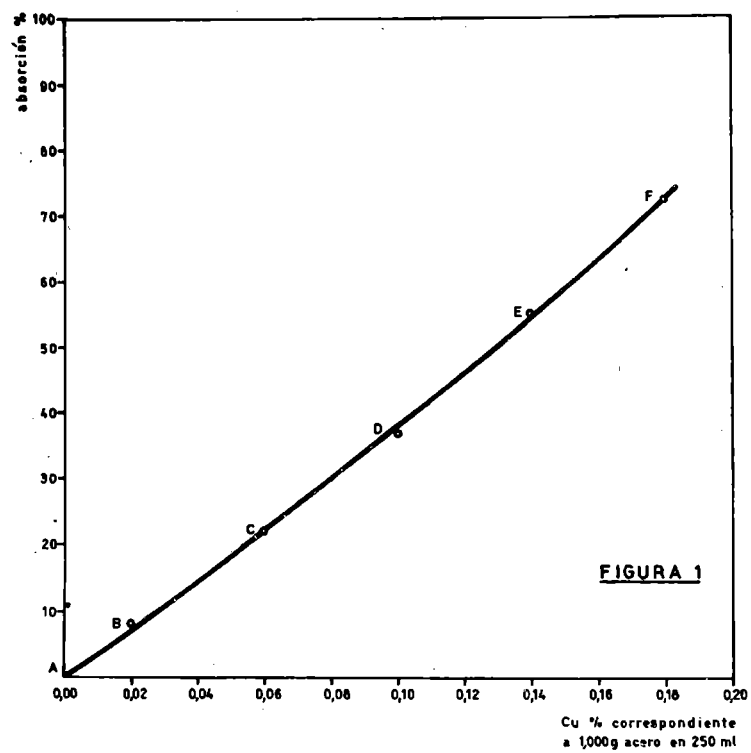
Se aspiran en la llama las soluciones identificadas como A, B, C, D, E y F de la curva patrón para producir la vaporización de la solución y la subsiguiente disociación atómica, midiendo la absorción del cobre. Del mismo modo se procede con las correspondientes a los aceros del National Bureau of Standards. Con estos valores que son presentados en la tabla III, se construyó la curva de la figura 1.

Los resultados comparativos de la tabla III muestran que el apartamiento de los valores encontrados con relación al contenido de cobre de las muestras del NBS, medidos en relación a la curva patrón calibrada, difieren en porcentajes apreciablemente pequeños.

ENSAYO DE ACEROS CUYO CONTENIDO DE COBRE SUPERA EL 0,20 %

En este caso se recurre a la preparación de una nueva curva calibrada en la que el porcentaje alcance como valor máximo 2,00 %, ya que normalmente este elemento se encuentra dentro de estos valores en aceros comunes y fundiciones.

La construcción de la curva calibrada patrón identifica



da con los números I a VII queda resumida en la tabla IV.

Cada punto de la misma representa la disolución de 500 mg de acero en un volumen de 250 ml, variando solamente la concentración de cobre desde cero hasta 2,20 %.

Se disolvieron muestras de aceros que fueron analizadas según método ASTM que se indica en la bibliografía, fijando un resultado promedio de tres análisis sucesivos. Dichas muestras fueron identificadas con los números 301 al 305 respectivamente, con el siguiente contenido de cobre por ciento:

Identificación de las muestras patrones	Cobre %
301	1,96
302	0,48
303	1,57
304	1,41
305	1,53

Se realizaron las medidas de la absorción del cobre en las soluciones de la curva calibrada patrón y de las muestras, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla V; con estos valores se construyó el gráfico de la figura 2. La diferencia entre los valores hallados y el contenido porcentual de cobre analizado químicamente oscila entre -0,03 y +0,05 en valores absolutos; ello representa un error relativo entre 1,0 y 6,2 %.

Es conveniente destacar que la precisión puesta de manifiesto en este trabajo es suficientemente satisfactoria, en relación a la rapidez que significa el empleo de esta técnica instrumental.

ENSAYO DE MUESTRAS SINTETICAS

Dada la gran variedad de aceros aleados que poseen cobre en

su composición, los elementos de aleación podrían producir una interferencia química similar a la que produce el hierro sobre la absorción de la longitud de onda de resonancia del cobre. Ello se debe a que en algunos casos, elementos que forman parte de la aleación cromo, níquel, molibdeno, vanadio, etc.) afectan la exactitud de la medida. Por ese motivo se procedió a hacer un estudio de interferencia, el que consistió en preparar dos curvas calibradas en las que el contenido de cobre permanece constante en los valores medios, variando la concentración de los elementos mencionados para alcanzar una composición tipo de aceros especiales.

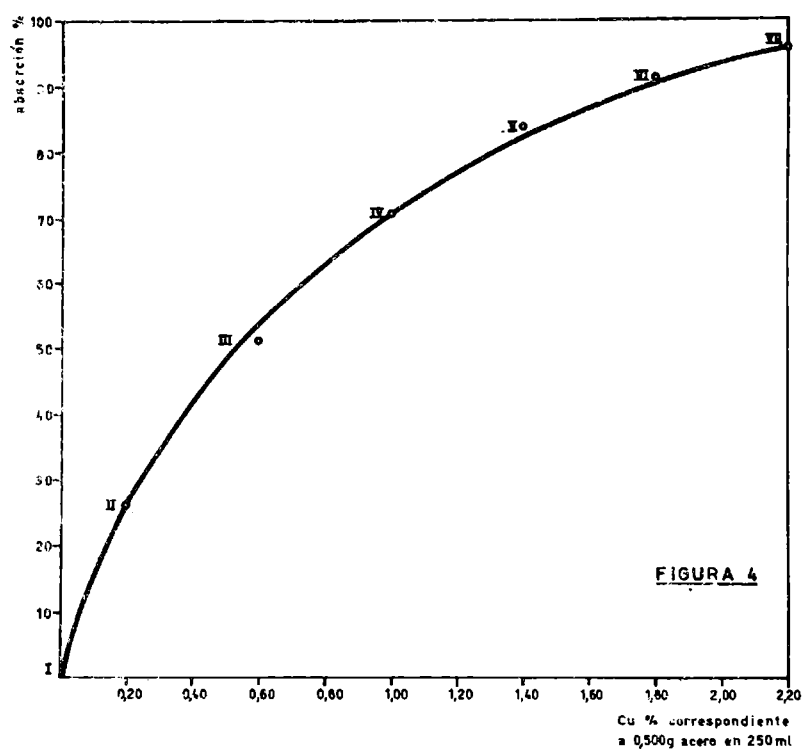
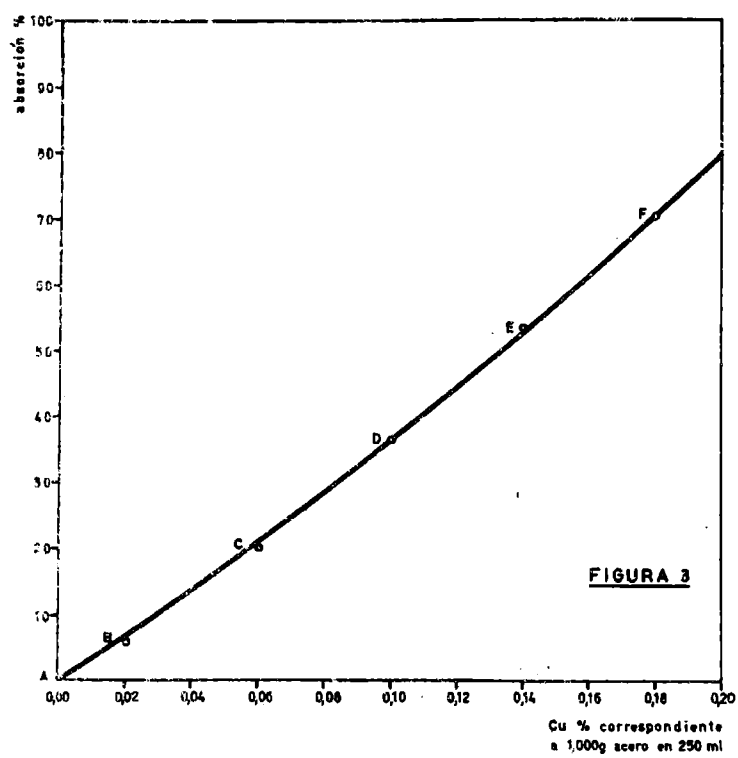
El estudio de interferencia por parte de los elementos que normalmente se encuentran en aceros especiales, se realizó preparando soluciones en las que la concentración media de cobre es constante, variando la composición centesimal de los elementos que forman parte de dichas aleaciones especiales. La composición de los patrones sintéticos se indica en las tablas VI y VII, respectivamente.

Las medidas de la absorción por parte del cobre de las soluciones que figuran en las tablas VI y VII se realizaron comparativamente contra las curvas patrones calibradas, empleadas para la determinación de cobre en muestras cuyo contenido no supera el 0,20 % y la empleada para aquellos aceros que contienen hasta un 2,00 % respectivamente.

Los valores obtenidos de las mediciones se resumen en las tablas VIII y IX, respectivamente (figuras 3 y 4).

CONCLUSIONES

1. La incorporación de hierro en las curvas patrones tiene como principal objetivo la compensación de la interferencia producida en la absorción de la longitud de onda de resonancia del cobre. El hierro es agregado en aproximadamente igual cantidad a la que correspondería a la disolución de 1,000 o 0,500 gramos respectivamente, de aceros según el contenido de cobre en la muestra.



2. Las medidas realizadas sobre los patrones sintéticos revelan que el máximo apartamiento en relación al contenido exacto de cobre se produce en aquellas muestras que contienen otros elementos de aleación, tales como níquel, cromo y vanadio en alto porcentaje.

3. Las ventajas que se ponen de manifiesto con esta técnica instrumental incluyen, entre otras, la simplicidad tanto en el ataque como en la preparación de las muestras, el escaso tiempo que demandan las mediciones y la posibilidad de realizar en forma consecutiva una serie de muestras. Además es un método simple y suficientemente preciso, sin necesidad de realizar engorrosas separaciones, y el error cometido no supera el 0,13 por ciento en valor absoluto, principalmente en aquellas muestras de más alta concentración de cobre.

REFERENCIAS

1. Cooke, P. - Atomic Absorption. Spectrophotometry. Pye Unicam Ltd., 2nd. Ed., December 1969.
2. Slavin, W. - Atomic Absorption Spectroscopy. The Perkin Elmer Corporation.
3. Ramírez Muñoz, J. - Atomic Absorption Spectroscopy and Analysis by Atomic Absorption Flame Photometry.
4. ASTM Book of Standards. - Practice for Atomic-Absorption Spectrometry. 1972.

TABLA I

Curva sinté- tica patrón	Cu %	ml sol. Cu 40 ppm	ml sol. Fe 10 000 ppm
A	0,00	0	100
B	0,02	5	100
C	0,06	15	100
D	0,10	25	100
E	0,14	35	100
F	0,18	45	100

TABLA II

Muestras Patrones	% Cu (NBS)
130 A	0,027
100 B	0,064
125 A	0,084
3 A	0,121

TABLA III

Curva patrón	Absorción %	Cu %
A	0	0,00
B	8	0,02
C	22	0,06
D	37	0,10
E	55	0,14
F	72	0,18

Muestras patrones (NBS)	Absorción %	Cu encontrado %
130 A	9	0,026
100 B	23	0,064
125 A	30	0,082
3 A	48	0,125

Muestras (NBS)	Cu encontrado %	Contenido de Cu % (NBS)	Δ Cu %
130 A	0,026	0,027	- 0,001
100 B	0,064	0,064	0,000
125 A	0,082	0,084	- 0,002
3 A	0,125	0,121	+ 0,004

TABLA IV

Curva calibrada patrón	Cu %	ml sol. Cu 200 ppm	ml sol. Fe 10 000 ppm
I	0,00	0	50
II	0,20	5	50
III	0,60	15	50
IV	1,00	25	50
V	1,40	35	50
VI	1,80	45	50
VII	2,20	55	50

El volumen final resulta 250 ml, conservando una acidez clorhídrica 1 molar por el agregado de 20 ml de ácido concentrado

TABLA V

Curva patrón calibrada		Absorción %
I		0
II		16
III		45
IV		62
V		75
VI		86
VII		94

Muestras patrones		Absorción %
301		90
302		36
303		81
304		76
305		80

Cu % en las muestras patrones		Cu % encontrado	Δ Cu %
301	2,00	1,96	+ 0,04
302	0,45	0,48	- 0,03
303	1,62	1,57	+ 0,05
304	1,44	1,41	+ 0,03
305	1,58	1,53	+ 0,05

TABLA VI

Muestras patrones	Cu %	Ni %	Cr %	V %	Mo %	Fe %
101	0,10	5,0	5,0	2,0	2,0	86,0
102	0,10	10,0	10,0	5,0	2,0	73,0
103	0,10	15,0	18,0	5,0	2,0	60,0
104	0,10	-	-	-	-	99,9
105	0,10	10,0	-	-	-	90,0
106	0,10	-	10,0	-	-	90,0
107	0,10	-	-	5,0	-	95,0
108	0,10	-	-	-	2,0	98,0

Nota.- La concentración de los componentes de estas soluciones corresponde a la disolución de 1,000 g de acero en un volumen de 250 ml, conservando una acidez en ácido clorhídrico 1 molar

TABLA VII

Muestras patrones	Cu %	Ni %	Cr %	V %	Mo %	Fe %
201	1,50	5,0	5,0	2,0	2,0	84,5
202	1,50	10,0	10,0	5,0	2,0	71,5
203	1,50	15,0	18,0	5,0	2,0	58,5
204	1,50	-	-	-	-	98,5
205	1,50	10,0	-	-	-	88,5
206	1,50	-	10,0	-	-	88,5
207	1,50	-	-	5,0	-	93,5
208	1,50	-	-	-	2,0	96,5

Nota.- La concentración de los componentes de estas soluciones corresponde a la disolución de 0,500 g de acero en un volumen de 250 ml, conservando una acidez en ácido clorhídrico 1 molar

TABLA VIII

Curva sintética patrón	Cu %	Absorción %
A	0,00	0
B	0,02	6
C	0,06	20
D	0,10	36
E	0,14	53
F	0,18	70

Muestras sintéticas patrones	Absorción %	Cu encontrado %	Cu agregado %	Cu %
101	39	0,109	0,100	+ 0,009
102	42	0,116	0,100	+ 0,016
103	42	0,116	0,100	+ 0,016
104	37	0,103	0,100	+ 0,003
105	38	0,108	0,100	+ 0,008
106	36	0,100	0,100	0,000
107	40	0,110	0,100	+ 0,010
108	36	0,100	0,100	0,000

Nota.- Ensayos para aceros que contienen menos de 0,2 % de cobre, y que corresponden a la figura 3.

TABLA IX

Curva sintética patrón	Cu %	Absorción %
I	0,00	0
II	0,20	21
III	0,60	51
IV	1,00	71
V	1,40	84
VI	1,80	91
VII	2,20	96

Muestras sintéticas patrones	Absorción %	Cu encontrado %	Cu agregado %	Δ Cu %
201	86	1,52	1,50	+ 0,02
202	87	1,58	1,50	+ 0,08
203	88	1,63	1,50	+ 0,13
204	85	1,48	1,50	- 0,02
205	87	1,58	1,50	+ 0,08
206	87	1,58	1,50	+ 0,08
207	85	1,48	1,50	- 0,02
208	85	1,48	1,50	- 0,02

Nota.- Ensayos para aceros que contienen desde 0,20 % hasta 2,00 % de cobre, y que corresponden a la figura 4.

**CRITERIOS DE EVALUACION DE SUELOS ACTIVOS
Y SU POSIBLE CORRELACION**

Ing. Luis M. Fossa

Tco. Oscar R. Arrechea

SERIE II, Nº 306

GENERALIDADES

Es conocido que las características físicas y mecánicas de los suelos están directamente vinculadas al comportamiento de la fracción fina de los mismos, entendiéndose por fracción fina la que queda librada por el tamiz 40, constituida por arena fina, limo, arcilla y coloides.

Cuando la granulometría del suelo es tal que pasa el cien por ciento sobre el tamiz 40, estamos en presencia de los llamados suelos finos y si en ellos predomina la fracción arcilla, a los mismos se los identifica como arcillosos. La arcilla puede identificarse mineralógicamente dentro de los siguientes grupos: montmorillonita, illita y caolinita, por mencionar sólo los más importantes, pudiendo aparecer en el suelo sólo uno de ellos o lo que es más común, en mezclas de variadas proporciones.

Dentro de la provincia de Buenos Aires, existen grandes zonas con predominio de estos tipos de suelos arcillosos, principalmente en toda la zona nordeste y este; esta última, que bordea el Río de la Plata y el Océano Atlántico, posee índices de plasticidad que oscilan entre medianos y elevados.

Su comportamiento ante la acción de las cargas, está influenciado grandemente por las variaciones que puedan experimentar en su contenido natural de humedad.

Su capacidad de soporte se reduce en forma significativa por la misma circunstancia, pero una situación que resulta más desfavorable que dicha condición, es la propiedad que poseen de experimentar cambios apreciables de volumen ante dicha variación en su contenido de humedad, lo que origina como consecuencia tensiones de expansión o de contracción, que en muchos casos superan con amplitud a las que le transmite la estructura sobre ellos apoyada.

Los suelos que así se comportan son los llamados suelos activos. Su actividad es función directa de las características mineralógicas de la fracción arcilla y coloides.

La acción sobre las estructuras sobre ellos construidas, cuando se los desconoce, han dado origen a grandes perjuicios sobre las mismas, originando deterioros de costosa reparación y en algunos casos irreparables.

Esta situación ha hecho necesario poderlos identificar, determinándose sus características, a fin de tomar las providencias necesarias que permitan anular o disminuir al máximo su acción perniciosa, sobre las estructuras que sobre ellos se construyan.

Para identificar estos suelos existen determinaciones, que de una u de otra forma permiten poner en evidencia su posible actividad. Algunas de dichas determinaciones son de técnicas más o menos simples, factibles de realizar en campaña y otras de técnicas más rigurosas, que obligan a su ejecución en laboratorio.

OBJETO DEL ESTUDIO

La razón del presente estudio, es realizar una serie de determinaciones, sobre distintas muestras de suelos de variada potencialidad activa.

Para ello se programó la extracción de muestras de suelos de índices de plasticidad que oscilan entre medianos y altos, del Partido de La Plata, a fin de practicar sobre los mismos, las siguientes determinaciones: límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límite de contracción, análisis granulométrico, identificación mineralógica del tipo de arcilla, capacidad de intercambio iónico (valor "T"), expansión libre (free swell test) y presión de expansión a volumen constante.

Los estudios realizados corresponden a 21 muestras de suelos.

Los resultados obtenidos en las determinaciones prac-

T A B L A I
CONSTANTES FISICAS

Muestra nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Límite líquido	92,9	42,6	62,2	44,7	36,4	108,7	29,3	69,3	63,0	58,3	43,7
Límite plástico	30,2	22,6	29,1	20,6	19,6	32,8	18,7	29,0	26,0	27,0	26,4
Índice plástico	62,7	19,7	33,1	24,1	16,8	75,9	10,6	40,3	37,0	31,3	17,3
Límite de contracción	12,5	15,4	15,8	15,6	15,3	20,0	16,6	16,9	20,0	15,0	13,3
% pasa el tamiz nº 200 ...	97,0	97,0	94,0	87,0	96,0	99,0	79,0	98,0	98,0	96,0	98,2
Clasificación unificada...	CH	CL	CH	CL	CL	CH	CL	CH	CH	CH	CL
Clasificación H.R.B.	A7-5	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A6	A7-5	A7-6	A7-6	A7-6
Muestra nº	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Límite líquido	58,8	49,1	58,6	64,2	43,3	45,9	53,8	41,8	79,8	111,1	
Límite plástico	30,0	26,4	34,1	37,0	25,3	28,9	33,7	27,0	41,6	39,0	
Índice plástico	28,8	22,7	24,5	27,2	18,0	17,0	19,9	14,8	38,2	72,1	
Límite de contracción	13,3	9,8	12,4	13,5	17,6	14,5	15,7	20,3	16,6	7,7	
% pasa tamiz nº 200	98,2	97,7	98,4	97,8	98,0	96,0	98,5	97,4	98,5	99,5	
Clasificación unificada ..	CL	CL	MH-OH	MH-OH	CL	ML-OL	MH-OH	ML-OL	MH-OH	CH	
Clasificación H.R.B.	A7-5	A7-6	A7-5	A7-5	A7-6	A7-6	A7-5	A7-6	A7-5	A7-6	

ticadas, se transcriben en las tablas I y II.

En la tabla I se expresan los valores de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límite de contracción, granulometría por lavado sobre el tamiz 200, clasificación unificada de Casagrande y clasificación según Highway Research Board.

En la tabla II se transcriben los resultados obtenidos en las siguientes determinaciones practicadas sobre las muestras estudiadas: granulometría, con determinación de porcentajes de arena fina, limo, arcilla y coloides; expansión libre (free swell test); cationes de intercambio expresado como valor "T"; presión de expansión a volumen constante e identificación mineralógica.

También se adjuntan cinco gráficos, en los que se relacionan entre sí los valores obtenidos en las determinaciones practicadas y que fueran mencionados precedentemente.

En la figura 1 se representan los valores del ensayo de expansión libre (free swell test), en función del límite líquido. La horizontal trazada para una ordenada correspondiente al valor 50 del límite líquido involucra que los suelos ubicados en el gráfico por encima de dicha horizontal, deben considerarse potencialmente activos.

En la figura 2 se representan los mismos valores de expansión libre, en función ahora del índice plástico, se ha trazado una horizontal para la ordenada correspondiente al valor 20 de índice de plasticidad, la que demostraría que los suelos con índice de plasticidad mayor de 20, serían suelos potencialmente activos.

En la figura 3 se indican los valores correspondientes a la capacidad de intercambio, valor "T", en función del índice de plasticidad. La vertical trazada para la abscisa coincidente con el valor "T" igual a 25, determinaría que todos los suelos ubicados a la derecha de dicha vertical, corresponderían a suelos potencialmente activos.

En la figura 4 se expresan los valores de la presión de expansión a volumen constante, en función de la expansión libre (free swell test). En dicho gráfico se ha trazado una horizontal para la ordenada correspondiente al valor 75 de la expansión libre, queriendo significar que los sue-

TABLE II

Muestra nº	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
Arena fina, %	6,7	12,8	3,7	8,6	3,6	10,1	5,9	5,3	1,2	1,4
Limo, %	49,4	59,2	59,0	54,9	31,1	61,2	52,5	70,4	59,0	59,2
Arcilla, %	8,6	8,0	8,0	8,4	13,8	9,0	22,1	10,7	13,5	14,5
Coloides, %	35,3	20,0	20,0	28,0	49,5	23,2	19,5	13,6	26,3	25,1
Expansión libre (free swell test)	125,8	58,1	83,6	49,4	143,3	68,2	94,4	98,3	81,8	81,0
Valor "T"	32,1	22,6	25,5	16,6	28,4	14,0	29,1	25,4	25,9	27,3
Presión de expansión, kg/cm ²	6,430	0,430	--	--	7,850	--	11,630	9,050	1,960	2,440
Identificación mineralógica	I-C M	I-C M	I M	I M	I M C	I-M C	I M	I M	M I C	M I C
Muestra nº	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Arena fina, %	1,3	1,0	5,4	5,2	5,5	11,5	1,8	3,2	1,4	0,5
Limo, %	46,4	48,5	62,8	63,8	89,8	83,7	70,1	69,4	47,1	30,0
Arcilla, %	12,3	12,3	21,9	21,8	2,1	2,6	6,7	13,7	27,3	32,8
Coloides, %	40,0	38,2	9,9	9,2	2,6	2,1	21,4	13,7	24,2	36,7
Expansión libre (free swell test)	94,8	81,7	100,0	119,3	67,7	71,3	60,3	48,3	94,0	168,4
Valor "T"	29,4	27,2	33,4	28,4	20,2	19,5	21,8	19,0	26,5	25,2
Presión de expansión, kg/cm ²	2,800	1,330	2,890	2,330	1,420	1,050	1,100	0,270	1,730	6,100
Identificación mineralógica	M I C	M I C	I M C	I M C	I M C	I M C	I M C	I M	I C M	I C M

Nota: I Illita
C Caolinita
M Montmorillonita

los ensayados que quedan ubicados por encima de dicha horizontal, denotan ser potencialmente activos.

Finalmente en la figura 5 se representan los valores de la capacidad de intercambio iónico (valor "T"), en función de la expansión libre. En este gráfico se han trazado dos rectas, una horizontal en correspondencia con la ordenada del valor "T" igual a 25 y una vertical para la abscisa coincidente con el valor 75 de la expansión libre. Se interpreta que todos los suelos ubicados en el cuadrante superior derecho demuestran ser potencialmente activos.

Del estudio realizado se infiere que resulta posible determinar la existencia de suelos potencialmente activos, en base a las determinaciones de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, expansión libre (free swell test), capacidad de intercambio iónico (valor "T") y presión de expansión a volumen constante.

Las cuatro primeras determinaciones son ensayos simples, posibles de realizar en laboratorios de campaña, con lo que en primera instancia se evita recurrir a los dos últimos de técnica más rigurosa, por lo que se requiere su determinación en laboratorios centrales.

Se ha encontrado una correlación entre los valores obtenidos en las determinaciones practicadas, ya que todos los suelos estudiados manifiestan actividad potencial cuando su límite supera el valor 50, su índice de plasticidad resulta mayor de 20, coincidente con un valor de la expansión libre (free swell test) superior a 75 y un valor "T" mayor de 25.

CONCLUSIONES

De lo precedentemente informado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La determinación del límite líquido, índice de plasticidad y el ensayo de expansión libre, permite en primera instancia detectar la actividad potencial de un suelo; determinaciones éstas de ejecución rápida y practicables en.

laboratorios de campaña.

2. Se ha verificado que valores de límite líquido mayor de 50; índice de plasticidad mayor de 20 y expansión libre mayor de 75, son características determinantes de la actividad potencial del suelo.

3. Dichos valores resultarían concordantes con un valor de capacidad de intercambio iónico (valor T) mayor de 25.

4. La determinación real de la presión de hinchamiento a volumen constante debe ser determinada en laboratorio con el equipo correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Fossa L. "Consideraciones sobre estudio de suelos para pavimentos". Anales del primer RAMSIF. La Plata, 1964.
2. Trevisán S. "El tratamiento de la cimentación de pequeñas viviendas sobre arcillas firmes expansivas". Serie II, nº 93, Lemit, 1963.
3. Hotz W. G. and H. J. Gibbs. "Engineering properties of expansive clays". Proceedings American Society of Civil Engineers. Illinois. 1964. Separata nº 516, V. 80.

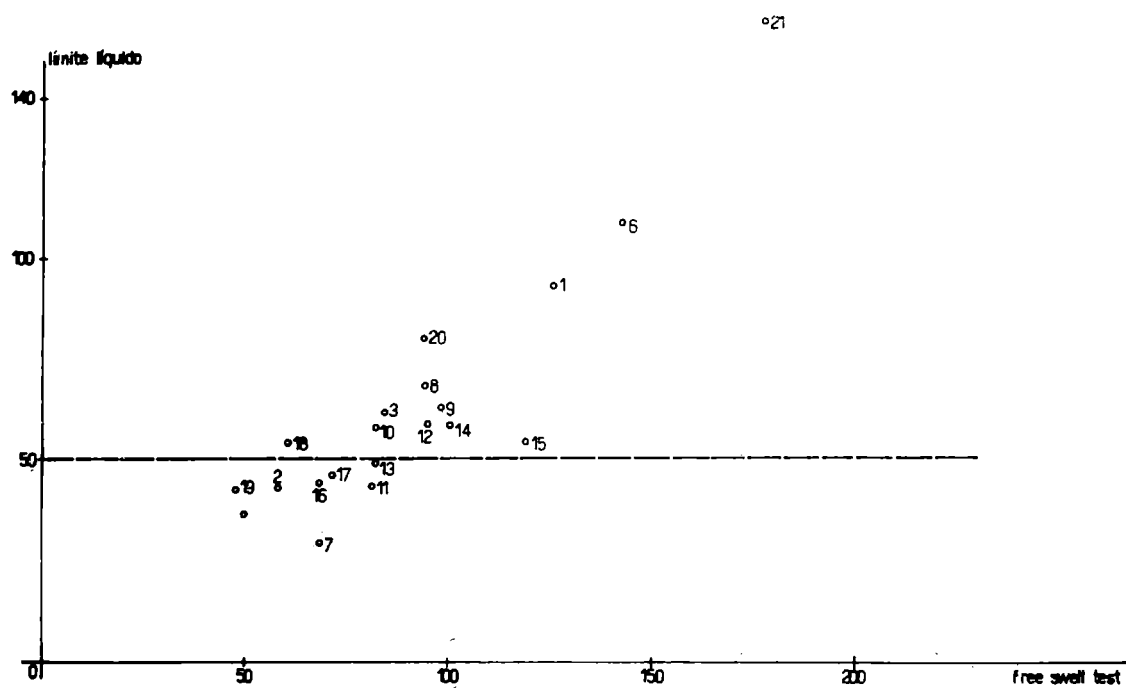


Figura 1

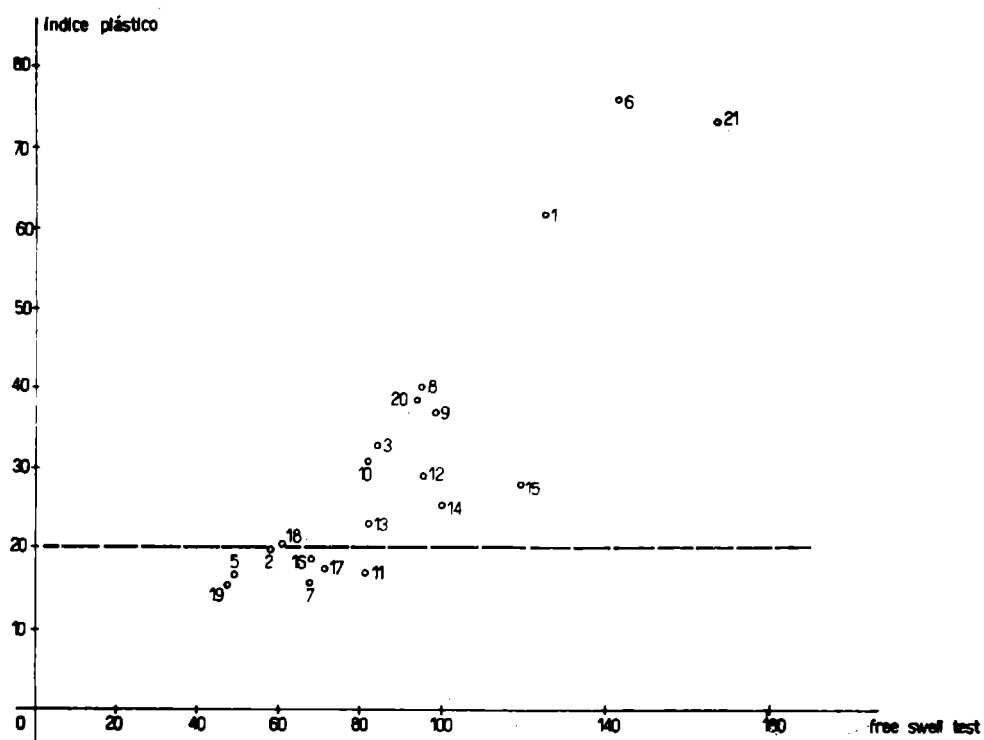


Figura 2

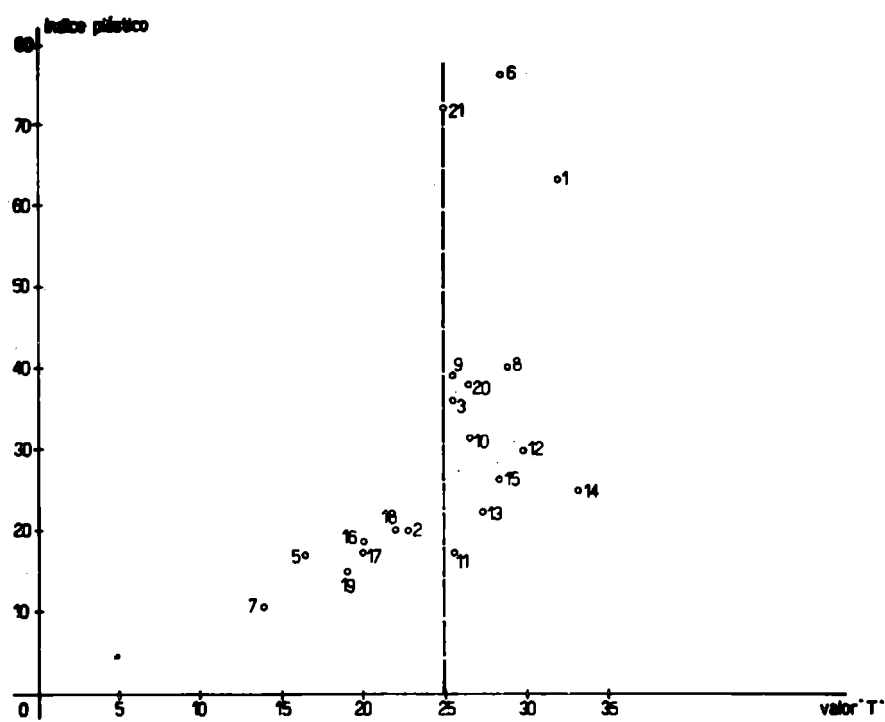


Figura 3

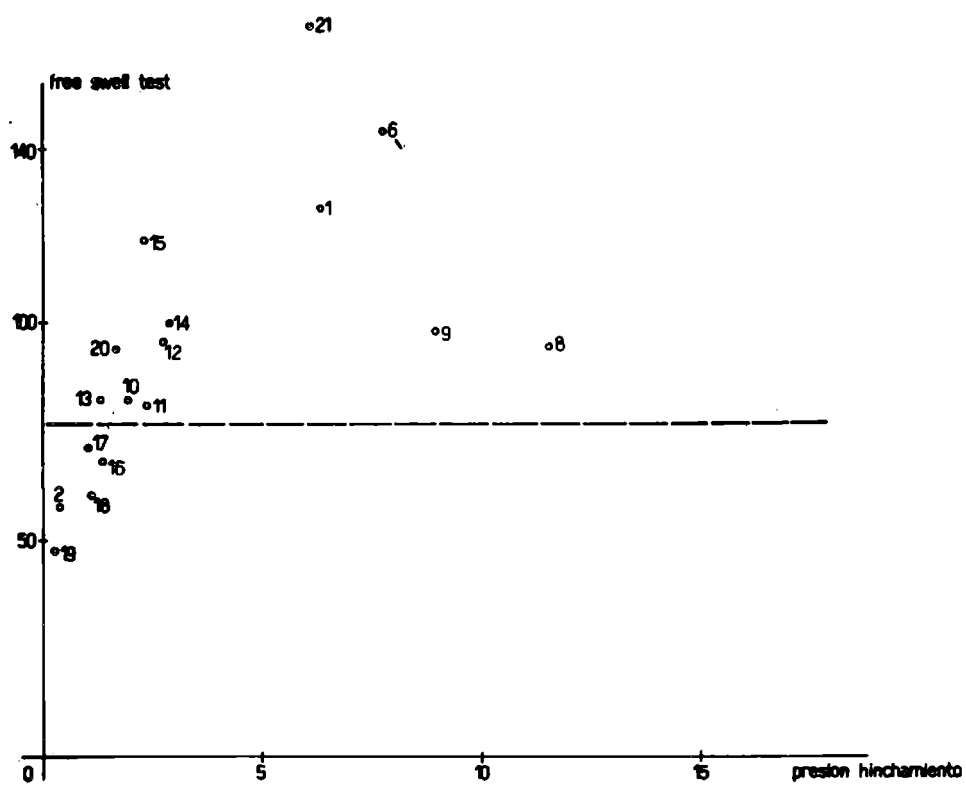


Figura 4

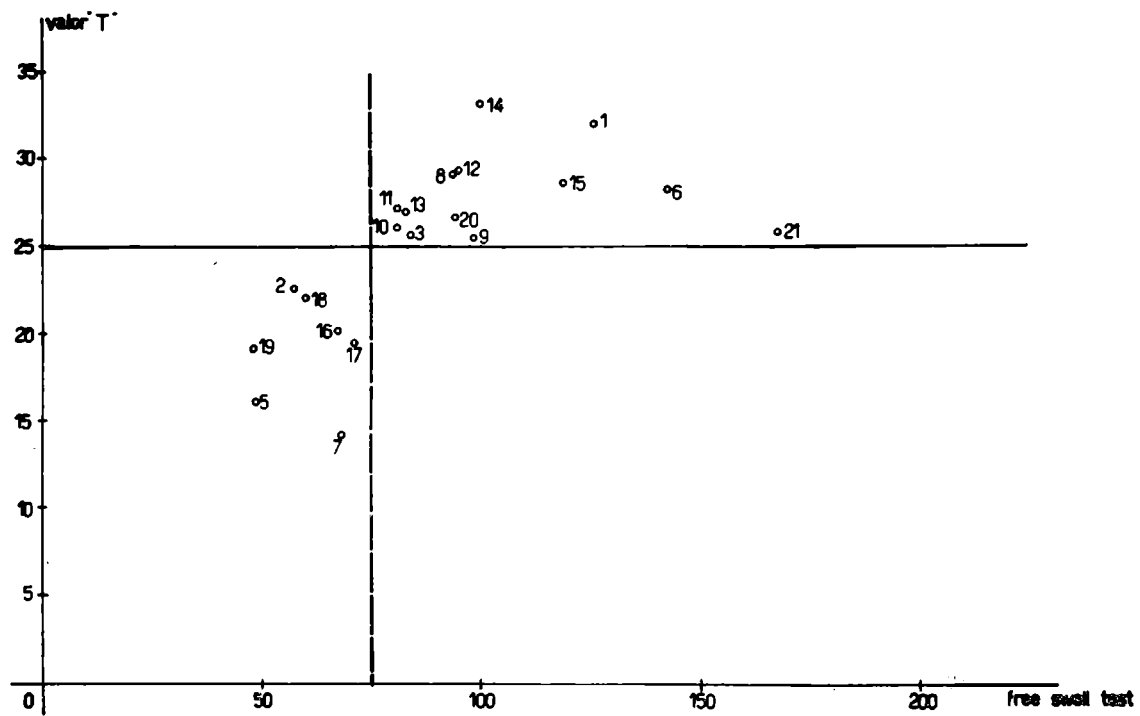


Figura 5

**APROVECHAMIENTO DE MATERIALES LOCALES
EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS
URBANOS ECONOMICOS**

Ing. Duilio D. Massaccesi

Agr. Hugo A. Langard

M. M. de Obras Eduardo D. Agosti

Tco. Qco. Omar A. Iosco

CONSIDERACIONES GENERALES

Existen suficientes antecedentes que permiten aseverar sin temor a equivocación que muchos de los diseños actuales de pavimentos urbanos se mantienen dentro de normas clásicas, o mejor dicho obedecen a criterios tradicionales en materia de proyecto o especificación técnica, prestándose una atención secundaria a la posibilidad de aprovechar materiales existentes en la zona donde se llevará a cabo dicho proyecto.

El uso de uno o varios materiales locales, en alguna de las capas de base o rodamiento, evidentemente puede reportar un significativo beneficio económico para la obra, ya que es perfectamente conocida la forma en que el costo del transporte del material incide en el monto total de los trabajos. En la mayoría de los casos el valor del transporte de agregados pétreos, supera notablemente el costo del material en sí.

En nuestro medio, los yacimientos y canteras de los diferentes tipos de rocas empleadas en la construcción, como granitos, cuarcitas, areniscas, etc., se encuentran ubicados entre la zona central y el sur de la provincia de Buenos Aires, y a su vera se hallan los principales centros de producción de agregados pétreos para uso vial, que son los que abastecen a casi toda la provincia.

Esto nos lleva a deducir que, cuando un pavimento a construir se encuentre ubicado desde esta zona central hacia el norte o N.O. de la provincia, su costo puede llegar a incrementarse notablemente, debido a la incidencia del transporte de agregados pétreos, desde estos centros de producción hasta la obra.

Algo semejante, pero en sentido inverso, ocurre con la arena silícea del río Paraná, parte de cuyas fuentes de provisión se encuentran en el límite norte de la Provincia, y la cual se encarece sensiblemente cuando hay que transportarla hacia el sur.

El estudio que se ha encarado, tiene como finalidad principal, analizar la posibilidad de emplear en algunas de las estructuras del perfil de un pavimento urbano, materiales existentes en la zona de construcción, tratando en esa forma de reducir su costo y si fuera posible, de mejorar las características técnicas del pavimento.

La zona elegida para este trabajo, está situada dentro del partido de 25 de Mayo. En la misma se constató la presencia, hasta profundidades aproximadas de 1 metro, de un suelo natural clasificado según H.R.B. como A.4, cuyas características se indican más adelante, y que en principio se consideró apropiado para ser estabilizado por ligantes tipo bituminosos, a los efectos de integrar estructuras de sub-base o base de pavimentos.

De este suelo se extrajeron muestras representativas en suficiente cantidad como para encarar la totalidad de los estudios programados.

Asimismo, por debajo de la profundidad señalada se encontró una arena natural, fina, tipo médano, que podría llegar a emplearse como integrante de la mezcla asfáltica a ejecutar como capa de rodamiento, sea ésta un concreto asfáltico en caliente o en frío.

Antes de comentar el segundo objetivo perseguido en el trabajo, es conveniente hacer algunas consideraciones respecto a las posibilidades de estabilización que admite este suelo para su utilización como sub-base o base, ya que naturalmente constituye un excelente soporte de estas estructuras, trabajando como subrasante.

Desde hace bastante tiempo ha tenido gran difusión la estabilización de capas inferiores de pavimentos, mediante cemento portland incorporado al suelo. Este procedimiento que en general es preferido por los proyectistas por su comodidad, simpleza constructiva y por haber brindado resultados aceptables, se basa en la cohesión artificial que aporta el cemento a suelos finos, arenosos o limo-arenosos de nula o escasa plasticidad, para mejorar su capacidad portante.

Cuando se ha realizado una correcta determinación del porcentaje de cemento a incorporar, así como una buena homogeneización del suelo con el cemento durante el proceso cons-

tructivo y un eficiente curado, el resultado suele ser satisfactorio. Sin embargo hay que destacar que es frecuente observar ciertas anomalías en este método de estabilización, que consisten en la aparición de fisuras en la base, debidas a contracción por fragüe del cemento, que se reproducen en la carpeta de rodamiento. También se notan ciertos problemas de adherencia que ocurren cuando se emplean para el curado, asfaltos diluídos, cuyos solventes, al desalojar la humedad, alteran el proceso de fragüe del cemento portland.

Con el objeto de tratar se subsanar estas anomalías se pensó en la estabilización del suelo por medio de ligantes bituminosos, estimando que una base de naturaleza asfáltica podría tener mayor compatibilidad con una carpeta de rodamiento asfáltica.

En la estabilización por medio de emulsiones bituminosas deben distinguirse dos aspectos, según se trate de un suelo arenoso o un suelo cohesivo. En el primer caso, la emulsión aporta cohesión viscosa y permite en definitiva el desarrollo de los tres elementos que colaboran en la resistencia al corte de la mezcla, la cohesión real, la fricción y la cohesión viscosa.

En el segundo caso, cuando se trata de un suelo cohesivo, lo que se pretende es impermeabilizar el suelo para anular la reversibilidad de la cohesión propia que desarrolla ese suelo.

Lógicamente, en este último caso, necesitaremos cantidades de betún mayores que en el primero.

El suelo empleado en este proyecto, se encuentra en una situación intermedia, con tendencia a este segundo estado. Por consiguiente una de las finalidades perseguidas en el trabajo es disminuir los efectos de la absorción de agua.

En consecuencia como esta condición se encuentra íntimamente vinculada con la mayor o menor homogeneidad con que la emulsión se distribuye en el suelo, se debe investigar qué condición de mezclado es necesaria para lograr la óptima impermeabilidad.

Asimismo, deben analizarse las condiciones de óptima compactación de la mezcla, la cual también ejerce influencia en el grado de permeabilidad.

También debe verificarse la variación de la estabilidad en función de la densidad y del porcentaje de emulsión, y por último deben vincularse todas estas determinaciones con el ensayo del Valor Soporte California, a los efectos de comprobar si se produce alguna correspondencia entre ambos métodos de medida de la resistencia al corte. Esto es sumamente importante y necesario, ya que el C.B.R. es el que permitirá el dimensionado de las distintas estructuras del pavimento.

CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO EMPLEADO

Constantes físicas

Límite líquido	21,3
Límite plástico	17,1
Índice plástico	4,2
Pasa tamiz nº 200 (%)	36,8
Clasificación según H.R.B.	A ₄
Índice de grupo	0

Ensayo proctor normal de 25 golpes

Determinación	Humedad (%)	P.U.V.S. (kg/dm ³)
Primera	9,45	1,548
Segunda	10,9	1,593
Tercera	14,0	1,711
Cuarta	16,0	1,726
Quinta	18,2	1,681

Ensayo proctor de 35 golpes

Determinación	Humedad (%)	P.U.V.S. (kg/dm ³)
Primera	10,0	1,611
Segunda	11,7	1,681
Tercera	13,4	1,739
Cuarta	15,1	1,767
Quinta	17,2	1,714

Ensayo de valor soporte (método C.B.R.)

	Proctor normal	Proctor 35 golpes
Penetraciones, sin embeber:		
2,5 mm	30,9	60,8
5,0 mm	32,4	62,1
7,5 mm	34,0	66,9
10,0 mm	34,0	65,2
12,5 mm	36,5	64,0
Penetraciones, embebido:		
2,5 mm	15,3	23,2
5,0 mm	16,7	23,2
7,5 mm	16,2	23,8
10,0 mm	15,6	22,4
12,5 mm	12,1	19,8
Absorción de agua 0-1,5 cm (%)	19,8	18,3
Absorción de agua 1,5-3 cm (%)	18,2	17,4
Hinchamiento	0,95	1,16

CARACTERISTICAS DE LA EMULSION ANIONICA UTILIZADA

Sobre la emulsión asfáltica

Viscosidad Saybolt furol a 25°C, seg.	16
Contenido de betún y emulsivo, por 100 ...	61,0
Residuo sobre tamiz nº 20, por 100	0,0
Ruptura con cemento, por 100	0,0
Mezcla con agua, coagulación apreciable durante 2 horas	Ninguna
Asentamiento, 5 días	2
Ensayo de recubrimiento	Satisfac.

T A B L A II

SERIE II.- EMULSION ASFALTICA EBL₂ : 10 %

Humedad de mezclado (%)															
A															
Probeta nº															
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	12			
Peso inicial, g	204,1	204,1	204,4	204,0	204,1	202,8	203,2	204,4	203,7	200,8	210,5	206,6	201,8	207,8	206,7
Peso a los 5 días, g	189,3	189,3	189,6	190,1	190,1	189,0	185,6	186,5	186,2	180,7	189,3	185,8	180,5	185,2	184,2
Peso a los 7 días, g	189,2	189,2	189,5	190,0	190,0	189,0	185,5	186,5	186,2	180,7	189,3	185,8	180,4	185,1	184,1
Peso constante, g	188,8	188,8	189,1	189,6	189,6	188,5	185,2	186,2	185,7	180,4	189,0	185,5	180,2	184,7	183,7
Volumen (promedio), cm ³	107,9			109,1			108,5			109,3			109,9		
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,751			1,735			1,712			1,693			1,664		

Sobre el residuo bituminoso

Penetración a 25°C (100 g, 5 seg.)	155
Ductilidad a 25°C, cm	+150

ENSAYOS PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO CON EMULSION ASFALTICA EBL₂

Como se dijo anteriormente, se pretende estabilizar el suelo local con una emulsión adfáltica superestable (EBL₂), a los efectos de conseguir una estructura adecuada para actuar como sub-base o base de pavimento flexible.

Una emulsión bituminosa, normalmente posee dos fases inmiscibles, una constituida por agua, que es el medio de suspensión, y otra discontinua formada por el asfalto en forma de pequeñísimas esferas, que se encuentran dispersadas en la fase acuosa.

Estas partículas de betún, merced a la acción del agua que actúa como vehículo, se depositan sobre los áridos formando una película más o menos uniforme cuando aquélla se evapora. Es decir las partículas de asfalto se unen constituyendo una película de asfalto puro; esto es lo que comunmente se denomina el "corte" o "rotura" de la emulsión.

Cuando el contenido de agua sobre los áridos es excesivo, una emulsión aniónica, de las características de la que se está empleando, puede llegar a diluirse y demorar seriamente su "rotura".

Por otra parte puede suceder que, ante una falta de humedad para el mezclado, la emulsión rompa demasiado rápido, trayendo aparejada una distribución no uniforme del asfalto en la mezcla.

En la primera etapa del trabajo se trató de investigar la influencia que tiene en las características físico-mecánicas de las mezclas, la humedad empleada en la elaboración y compactación de las mismas. Esto se estudió para diferentes cantidades de ligante bituminoso.

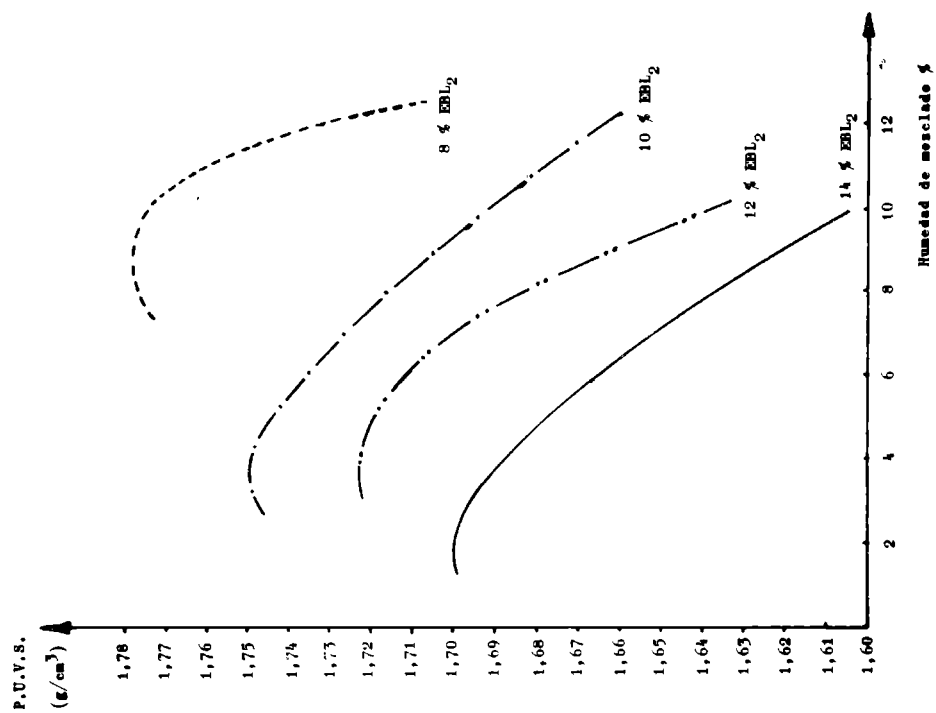


Figura 1

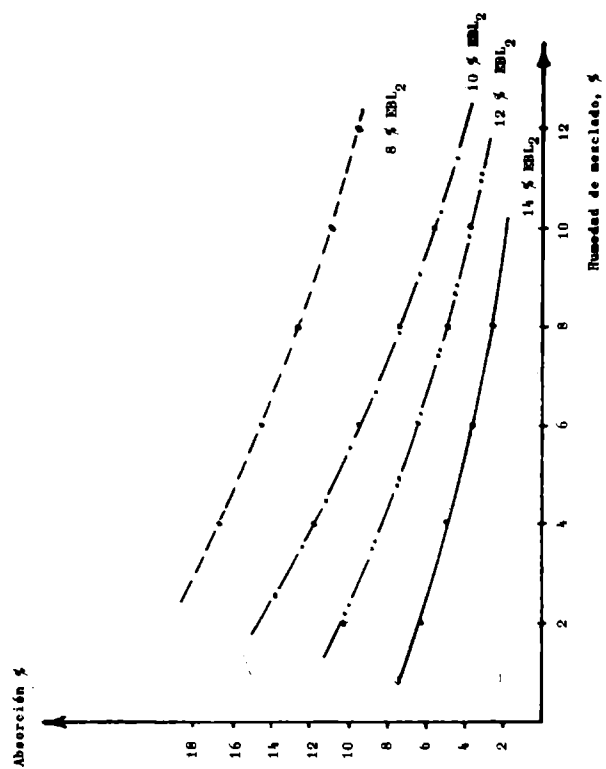


Figura 2

a) Influencia de la humedad de mezclado y del porcentaje de emulsión en la densidad, absorción y estabilidad de las mezclas.

Como paso previo se procedió a airear y pulverizar el suelo a los efectos de preparar diferentes mezclas con emulsión asfáltica super-estable tipo EBL₂.

Se moldearon series de probetas, cilíndricas de 50,8 mm de diámetro por 50,8 mm de altura, de suelo con diferentes porcentajes de emulsión y distintos porcentajes de agua de mezclado, partiendo de exprofeso de porcentajes de humedad inferiores a los necesarios para que la emulsión no rompa. En todos los casos se mantuvo constante el tiempo de mezclado que fue de 5 minutos al incorporar el agua y 5 minutos más al incorporar la emulsión. La compactación inicial de las mezclas se logró mediante 25 golpes de pisón de hoja, aplicando luego una carga estática de 6 000 libras a una velocidad de 25,4 mm por minuto. El tiempo en que esta carga se mantuvo aplicada fue siempre de dos minutos.

Una vez preparadas las probetas se pesaron y se colocaron en estufa a 60°C, hasta peso constante.

Los valores que se obtuvieron sobre las diferentes series son los que se indican en las tablas I, II, III y IV.

En la figura 1 se resumen los valores de las tablas anteriores, habiéndose volcado en ordenadas los pesos de la unidad de volumen del suelo solo (P.U.V.S.) y en abscisas los diferentes porcentajes de humedad de mezclado.

Se observa que, en general, en las cuatro series, el porcentaje de "líquido" necesario para lubricar correctamente a las partículas y permitir la correcta densificación de la mezcla durante el proceso de compactación, oscila entre 14 % y 16 %.

La serie de 14 % de emulsión bituminosa, requiere una cantidad de humedad de mezclado de 2 %, lo que hace un total de 16 %.

El mayor peso de la unidad de volumen del suelo solo, se logra con 8 % de humedad de mezclado y 8 % de emulsión.

T A B L A III
SERIE III.- EMULSION ASFALTICA EBL₂: 12 %

		Humedad de mezclado (%)											
		2			4			6			8		
Prueba nº		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso inicial, g	200,1	199,0	200,3	200,4	200,4	200,4	200,2	202,0	201,5	201,5	207,3	207,1	207,2
Peso a los 5 días, g ...	189,3	188,2	189,6	186,1	186,1	186,1	186,1	188,5	187,9	187,9	189,7	189,5	190,0
Peso a los 7 días, g ...	189,2	188,1	189,5	186,0	186,0	186,0	186,0	188,4	187,8	187,8	189,6	189,4	189,7
Peso constante, g	188,8	187,6	189,1	185,6	185,3	185,3	185,5	187,8	187,4	187,4	189,2	189,0	189,4
Volumen (promedio), cm ³ .	110,8			107,7				109,2			112,4		112,1
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,701			1,723				1,710			1,684		1,639

T A B L A IV

SERIE IV.- EMULSION ASFALTICA ERL₁₀: 14 g

Humedad de mezclado (%)													
		4		6		8		10					
Probeta nº		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso inicial, g	200,5	200,4	200,4	203,8	203,4	202,7	203,1	204,0	204,1	204,6	198,5	203,4	199,2
Peso a los 5 días, g	187,9	188,2	188,4	188,5	188,2	187,6	188,9	188,5	188,6	186,2	178,6	182,6	179,5
Peso a los 7 días, g	187,3	187,3	187,5	187,8	187,5	186,9	188,2	187,7	187,8	185,4	185,5	178,2	179,1
Peso constante, g	187,3	187,3	187,5	187,8	187,5	186,9	188,2	187,7	187,8	185,4	185,5	178,2	179,1
Volumen (promedio), cm ³	110,2				111,0			112,6		113,7		112,0	
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,701				1,689			1,668		1,632		1,606	

T A B L A V

Mezcla	Emulsión EBL ₂ (%)	Agua de mezclado (%)	Estabilidad (kg)	Absorción (%)
A	10	12	1.550	3,8
B	12	10	1.600	3,8
C	14	6	1.520	3,6
D	14	8	1.650	2,9
E	14	10	1.800	1,9

No obstante debe aclararse que el logro de buenas densidades no es suficiente, en este tipo de estabilización, para garantizar un buen comportamiento de la mezcla, sino que es necesario relacionarlas con las características de impermeabilidad y resistencia, las cuales se indican en la tabla VI y en las figuras 2 y 3. En base a éstas, surge que la serie I, con 8 % de emulsión, debe descartarse por poseer elevados porcentajes de absorción y baja estabilidad.

Se observa asimismo, que la impermeabilidad y la estabilidad aumentan al incrementar el porcentaje de emulsión en esta serie de probetas, que permanecieron 7 días en cámara húmeda.

Considerando aceptables estabilidades del orden de 1 500 kilogramos, identificaremos a las mezclas de la tabla V, que cumplen con esta condición con las letras A, B, C, D y E; estas mezclas están elaboradas según se indica en la tabla V.

Comparando estas mezclas entre sí, no se observa un aumento importante de la estabilidad al aumentar el porcentaje de emulsión. Tampoco la absorción ha variado en forma sustancial en las mismas, al incrementarse el ligante.

Por consiguiente, en base a estos elementos de juicio se deduce la conveniencia, desde el punto de vista técnico-económico de emplear para la estabilización del suelo en estudio, la mezcla A, elaborada con 10 % de EBL₂ y 12 % de humedad de

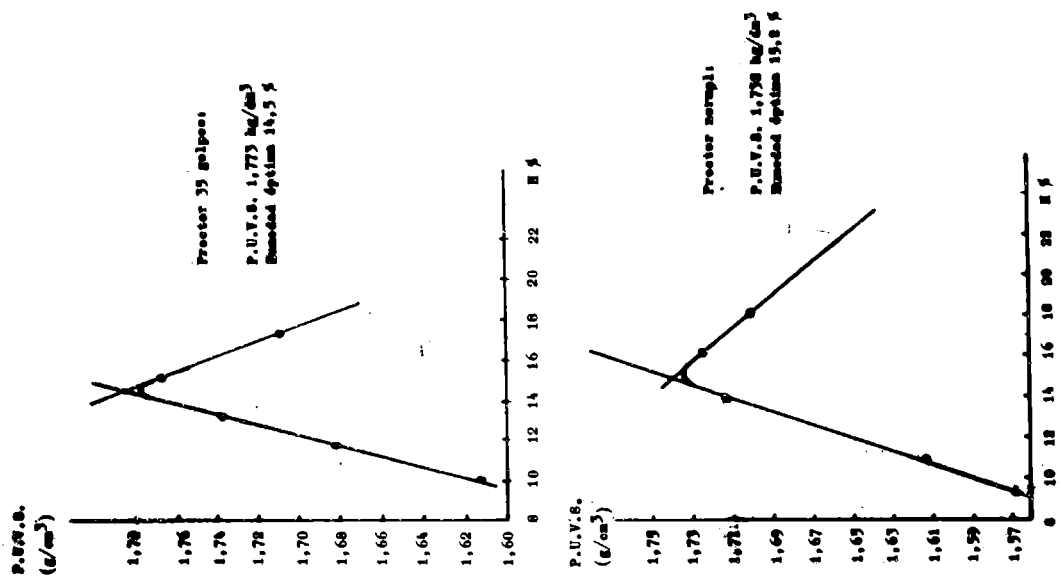


Figura 4

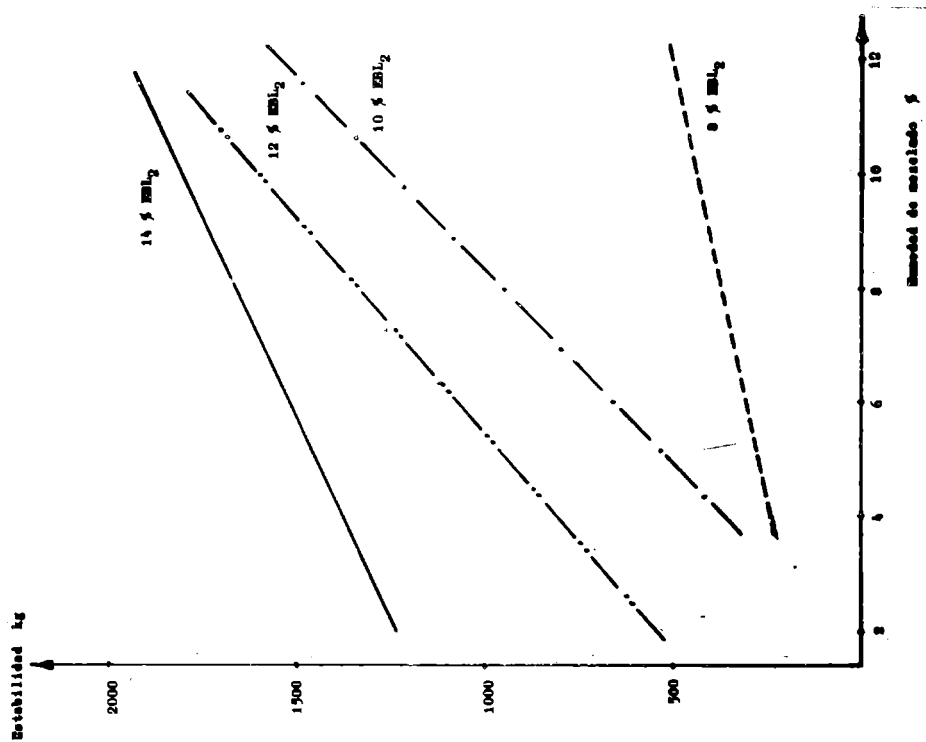


Figura 3

T A B L A VI

Humedad de mezclado (%)	Absorción luego de permanecer 7 días en cámara húmeda								Estabilidad			
	(%)								(kg)			
	Serie I 8 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie III 14 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂	Serie I 8 % EBL ₂	Serie I 10 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie III 14 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂
2	-	-	10,0	6,2		-	-	-	550	1.250		
4	16,4	11,9	8,3	5,0		250	372	800	1.370			
6	14,7	9,6	6,6	3,6		300	660	1.070	1.520			
8	12,8	7,8	4,8	2,9		360	950	1.330	1.650			
10	10,9	6,0	3,8	1,9		438	1.250	1.600	1.800			
12	9,7	3,8	-	-		510	1.550	-	-			
Promedio						372	956	1.070	1.518			

mezclado, la cual es aproximadamente un 40 % más económica que las C, D y E, y un 20 % menor que la B, teniendo características técnicas semejantes.

No obstante debe aclararse que esta mezcla A debe trabajarse con sumo cuidado pues, como puede comprobarse en la tabla V, es más susceptible a la disminución de estabilidad y aumento de absorción, al reducirse el porcentaje de agua de mezclado, que cualquiera de las otras, sobre todo de la serie de 14 % de EBL₂.

La tabla VII resume las estabilidades promedio de probetas correspondientes a las series I, II, III y IV, no sometidas a cámara húmeda. Relacionando éstas, con las de la tabla VI, que fueron ensayadas luego de ser sometidas al ensayo de absorción durante 7 días, se observa que, cuanto mayor es el porcentaje de ligante se hace menor la diferencia de estabilidades promedio entre probetas secas y húmedas correspondientes.

Resumiendo, el porcentaje de emulsión que brinda una estabilización más efectiva, técnica y económicamente, surge después de analizar el "conjunto" de características físico-mecánicas que pueden obtenerse en las distintas mezclas.

De aquí que, aunque aparentemente la elaborada con 8 % de emulsión parecía ser la más apropiada por dar mayor densidad, posteriormente se descartó por exceso de absorción y baja estabilidad.

Esta mezcla que también posee alta estabilidad estando seca, sufre una caída brusca al ponerse en contacto con el agua.

Esta caída de estabilidad en condiciones húmedas, se va haciendo cada vez menor, cuanto mayor es el porcentaje de ligante.

El equilibrio técnico-económico lo da la mezcla con 10 % de emulsión y 12 % de humedad de mezclado (que a la vez fue también la humedad de compactación).

Queda por investigar la forma como influye en las características de absorción y estabilidad, la mejor distribución del asfalto en el seno de las mezclas. Esta homogeneidad es-

T A B L A VII

PROBETAS NO SOMETIDAS A ABSORCION

	Serie I 8 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂
Estabilidad promedio, kg	3.050	2.790	2.746	2.460
Diferencias de estabildades respecto a las probetas so- metidas a absorción, kg	2.678	1.834	1.676	942

té íntimamente vinculada con la humedad incorporada al suelo para efectuar el mezclado con la emulsión. En general se estima que cuanto mayor es esta humedad, se logra una mejor distribución del ligante en el seno de la mezcla, es decir que las partículas del árido se recubren mejor, pues existe humedad suficiente que actúa como vehículo para distribuir las pequeñas esferas de asfalto emulsionado.

INFLUENCIA DEL AUMENTO DE HUMEDAD DE MEZCLADO

Se estudia a continuación la influencia de una mejor distribución del asfalto en la mezcla. El mejor recubrimiento de las partículas de suelo por el ligante, se logra con un aumento de la humedad de mezclado.

Lo que se quiere poner en evidencia es cómo influye una distribución más homogénea aún de la emulsión, en la estabilidad y absorción de las probetas.

Todo esto se ha estudiado para tres porcentajes distintos de emulsión: 10 %, 12 % y 14 % y para diferente humedad de compactación (8 %, 10 % y 12 %).

Las series de probetas empleadas en estas determinaciones se moldearon con la técnica general indicada anteriormente, y los valores obtenidos se han volcado en la tabla VIII.

De esta tabla pueden deducirse varias conclusiones. En primer término se aprovechó la disponibilidad de gran número de probetas moldeadas y se verificó como se iba produciendo el secado de la mezcla. Así pudo comprobarse que en términos generales, a las 48 horas de moldeadas, y luego de haber permanecido a temperatura ambiente, las probetas perdieron aproximadamente el 52 % de la humedad total que poseían, y a las 96 horas, la pérdida fue en promedio del 70 %. El peso constante, o sea la pérdida total de la humedad, se alcanzó luego de haber permanecido las probetas 10 días en estufa a 60°C.

Otra característica general observada fue que la estabilidad de las probetas con diferentes contenidos de humedad, va aumentando a medida que se produce el secado de las mis-

TABLE VIII

Humedad de muestreo	Humedad de compactación	Pérdida de humedad a las 48 h	Estabilidad a las 48 h	Pérdida de humedad a las 96 h	Estabilidad a las 96 h	Pérdida de humedad (pe- so constante)	Estabilidad (peso cons- tante)	Absorción 7 días	Estabilidad luego de absorción
ML ₂ , 10 %	15	12	1183	73	1929	100	1950	3,7	1565
	10	10	1205		1939		1975	3,7	1590
	8	8	1726		2328		2350	3,6	1592
	12	10	919	69	1497	100	2050	2,3	1826
	10	10	1427		1657		2348	2,1	2138
	8		1840		2086		2570	2,2	2487
ML ₂ , 15 %	15	12	1051	72	1405	100	1450	3,4	1306
	10	10	1161		1317		1630	2,9	1534
	8	8	1427		1545		1950	2,3	1874
	12	10	941	69	1543	100	1970	2,4	1600
	10	10	1205		1907		2108	2,7	1862
	8		1588		2218		2290	2,2	2075
ML ₂ , 15 %	15	12	459	70	853	100	1300	2,1	1262
	10	10	678		1051		1543	2,0	1320
	8	8	897		1227		1840	2,1	1794
	12	10	612	65	1272	100	1850	2,6	1518
	10	10	855		1497		1862	2,0	1611
	8		919		1771		1950	2,0	1748

mas.

Sin embargo no se nota un aumento muy significativo de las estabilidades (secas) luego de peso constante, frente a las estabilidades promedio que poseían mezclas semejantes con menor contenido de agua de mezclado. Características similares se observan en las determinaciones de estabilidad luego de absorción, en las cuales las mejores homogeneidades de las mezclas debidas al aumento del agua de mezclado no se traduce en incrementos notables en las estabilidades.

Tampoco se observa una mejora sustancial de las características de impermeabilidad, ya que la absorción se mantiene en general dentro de los valores obtenidos en la primera parte del trabajo, con menores contenidos de humedad de mezclado.

Cómo conclusión luego del análisis de los valores de la tabla VIII surge que mezclas más homogéneas, logradas con aumento del agua de mezclado no mejoran sus características de estabilidad e impermeabilidad en forma muy marcada, frente a las que poseían las mezclas A, B, C, D y E respectivas de la tabla V.

En la práctica, por el contrario, un aumento de la humedad de las mezclas complica el proceso constructivo y produce demoras para el ingreso del equipo de compactación, no justificables por las pequeñas mejoras de características que se obtienen.

Por lo tanto, la mezcla que resulta más aceptable desde el punto de vista técnico-económico, sigue siendo la elaborada con 10 % de emulsión EBL₂ y 12 % de humedad de mezclado referida al peso del suelo seco, con la cual pueden obtenerse (compactándola también con el 12 % de humedad) estabilidades del orden de 1 550 kilogramos y absorciones de 3,8 %.

Se estima que mezclas de este tipo pueden llegar a constituir sub-bases y bases aceptables, para pavimentos locales económicos, sustituyendo a otras estructuras más costosas y pudiendo competir ventajosamente con el suelo-cemento, desde el punto de vista técnico, ya que al ser de naturaleza bituminosa como la carpeta, contribuye a brindar la flexibilidad necesaria que debe tener este tipo de pavimento. Al mismo tiempo evita un problema que desde antaño se produce en las

bases de suelo-cemento, que es el de la fisuración por contracción de fragüe, problema que si bien es principalmente estético ya que las fisuras se transmiten a la carpeta, puede llegar a tornarse grave si el suelo-cemento ha sido mal dosificado.

SUELO-CEMENTO

A los efectos de realizar una comparación económica de mezclas de los suelos estudiados con emulsión bituminosa y con cemento, se ha procedido a dosificar también mezclas de suelo-cemento obteniéndose los resultados que se informan a continuación:

Compactación Proctor Normal

P.U.V.S. (kg/dm^3)	1,732					
Humedad óptima (%)	15,2					
Curado en	Cámara húmeda (7 días)			Cámara húmeda (7 días) 1 hora sumergida en agua		
Cemento (%)	6	8	10	6	8	10
Resistencia a compresión (kg/cm^2)	12,8	17,0	21,5	11,4	14,3	18,5

Compactación Proctor reforzado (35 golpes)

P.U.V.S. (kg/dm^3)	1,773
Humedad óptima (%)	14,5

Curado en:	Cámara húmeda (7 días)			Cámara húmeda (7 días) 1 hora sumergida en agua		
Cemento (%)	6	8	10	6	8	10
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	12,8	18,8	20,8	11,9	16,9	19,6

POSIBLES SOLUCIONES DE PAVIMENTO

Comparando los dos tipos de estructuras para base estudiadas, es decir la de suelo-cemento y la de suelo-emulsión, pueden hacerse las siguientes consideraciones para arribar a las posibles soluciones de pavimento para zonas próximas a la localidad de 25 de Mayo.

Considerando un valor portante promedio de la subrasante natural de Valor Soporte 15; y además las condiciones de tránsito, tipo de vehículos, clima, etc. y adoptando una carga por rueda de 5,450 kilogramos, surge de acuerdo con las curvas de California, un espesor combinado de base y carpeta de 23 centímetros.

Para el suelo-cemento se establece un perfil constituido por 18 centímetros de suelo cemento (con el 10 % de cemento) y 5 cm de carpeta asfáltica (concreto asfáltico en frío).

Para el suelo-emulsión adoptamos una sub-base de 10 centímetros de espesor con el 9 % de emulsión EBL₂, y una base también de 10 cm con el 11 % de emulsión EBL₂ (ambas con el 12 % de humedad de mezclado) sobre esta última una carpeta de concreto asfáltico en frío de 5 cm de espesor.

Desde el punto de vista del análisis de precios para la ejecución de 1 metro cuadrado de pavimento de 10 metros de ancho, en ambos casos consideramos que los perfiles propuestos se complementan con un cordón cuneta de cemento portland (0,125 m³/m

Considerando material, mano de obra y maquinarias, se comprueba que el costo del suelo-emulsión es aproximadamente,

un 6 % menor que el suelo-cemento.

CONCLUSION

Vemos en definitiva que existe una leve ventaja económica en favor de la base de suelo-emulsión respecto a la de suelo cemento; si a ello agregamos la conveniencia técnica que significa eliminar el fisuramiento por contracción, tan característico en el suelo-cemento, y una mayor compatibilidad de esta base bituminosa y flexible con la carpeta asfáltica, se deduce que resulta factible y ventajosa la ejecución de la infraestructura del pavimento con suelo natural del lugar y emulsión bituminosa superestable tipo EBL₂.

MODIFICACION DE UN EQUIPO DE MEDICION DE
ABSORCION E IMPEDANCIA ACUSTICA PARA
ADAPTARLO A LA NORMA ASTM C-384

Ing. Antonio M. Méndez *

Ing. Ricardo Sarti

Ing. Dardo Guaraglia

Tco. Alberto Vanina

*** Jefe de la Sección Acústica y Vibraciones del LEMIT.**

INTRODUCCION

Es indudable la importancia que tiene conocer con precisión las características de los materiales absorbentes acústicos, cuando se requiere el tratamiento adecuado de un recinto. Se sabe que si se pretende lograr una buena inteligibilidad o una correcta audición de la música, el tiempo de reverberación de la sala, producido por las sucesivas reflexiones del sonido, debe ajustarse a los valores óptimos.

El método más conocido empleado en la determinación de coeficientes de absorción, es el de la cámara reverberante. Este método posee la ventaja de simular más exactamente la incidencia aleatoria de las ondas sonoras sobre el espécimen en ensayo y por consiguiente resulta el más recomendable.

Tiene como contrapartida las desventajas de requerir una cámara especialmente construída, muestras a ensayar de tamaño considerable y una pérdida de tiempo apreciable en las mediciones.

Otro método utilizable es el del tubo de onda estacionaria, que posibilita determinaciones fáciles y rápidas de los coeficientes de absorción y la utilización de muestras pequeñas del material acústico en ensayo.

Adolece sin embargo del problema de que la medición se realiza solamente para sonidos de incidencia normal, lo cual es en la práctica una limitación importante.

TUBO DE ONDA ESTACIONARIA

El equipo usado consiste esencialmente de un tubo largo, usualmente redondo o cuadrado, de longitud fija y sección transversal uniforme, con paredes rígidas que transmiten o absorben energía sonora despreciable. En uno de sus extremos hay

una fuente de onda sinusoidal plana, y en el otro se monta el espécimen a ensayar.

El equipo requerido para el ensayo se observa esquemáticamente en el diagrama en block de la fig. 1.

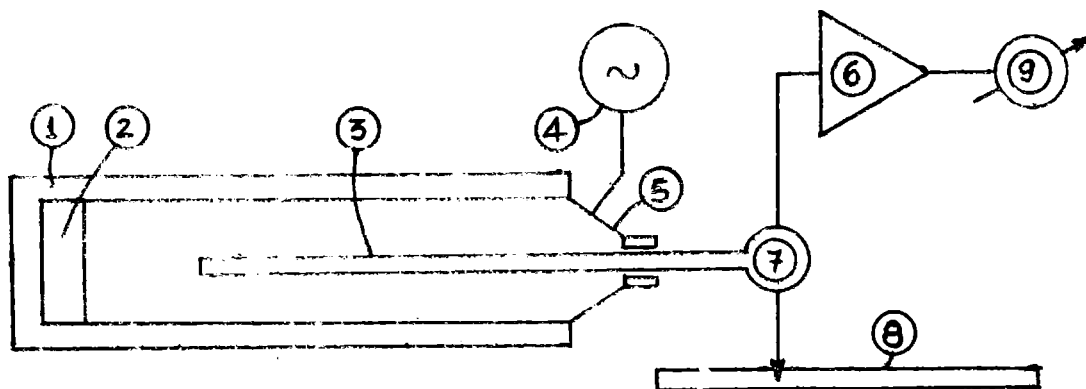


Fig. 1

Se conecta un generador de señal de audio a un parlante, el cual transmite ondas planas longitudinalmente a lo largo del tubo. Una onda de amplitud reducida es reflejada por la muestra en ensayo y combinada con la onda incidente, forma una onda estacionaria a lo largo del tubo.

Esta onda es explorada por el micrófono móvil o sonda, sobre el eje del tubo. La señal de salida se amplifica y filtra, enviándola a un dispositivo medidor, el cual indica las amplitudes relativas entre máximos y mínimos de la onda estacionaria. Con estos valores puede llegar a calcularse el coeficiente de absorción acústica " α " del material.

Un requerimiento adicional, para la medida de la impedancia acústica, es una escala calibrada que indica la posición del micrófono móvil, con respecto a la superficie de la muestra.

JUSTIFICACION TECNICA DE LA MODIFICACION REALIZADA

La Sección Acústica y Vibraciones del LEMIT cuenta con un medidor de absorción marca Brüel & Kjaer, modelo 4 002 (figura 2) que no cubría todas las necesidades de mediciones que habían sido solicitadas. En especial resultaba imposible determinar el índice de absorción de muestras tales como pinturas, distintos tipos de revoques y otros recubrimientos usados en la construcción, cuyos coeficientes de absorción son pequeños.

Aplicando el método de medición explicado, aparecen ciertas incertidumbres en la lectura de los valores obtenidos. Las mismas nacen de la no repetibilidad de los valores obtenidos en ciertas bandas de frecuencia y del cambio notable del valor leído al tocar alguna de las partes componentes del aparato original.

Se observó que el tubo empleado en la fabricación del medidor vibraba considerablemente dentro del rango de frecuencias utilizado en el ensayo, introduciendo una absorción elevada.

Consultadas las normas ASTM C-384-58 (Part. 14) acerca de los requerimientos que debe cumplir el tubo, se obtuvieron los siguientes datos de diseño:

1. Cuando las medidas son hechas entre dos mínimos sucesivos se recomienda, para una mayor exactitud, que la longitud del tubo en pies, no debería ser menor que la relación siguiente:

$$L = \frac{1\,000}{f_{\text{mín.}}} \quad (\text{pies})$$

donde $f_{\text{mín.}}$ es la menor frecuencia a la cual se desea medir.

Luego:

$$L = \frac{1\,000}{f_{\text{mín.}}} \times 30,5 \quad (\text{cm})$$

2. El diámetro de un tubo cilíndrico, en pulgadas, no deberá ser mayor que el valor dado por la siguiente relación:

$$d = \frac{8\,000}{f_{\text{máx.}}} \quad (\text{pulg.})$$

donde $f_{\text{máx.}}$ es la frecuencia más alta a la cual se desea medir.

$$d = \frac{8\,000}{f_{\text{máx.}}} \times 2,54 \quad (\text{cm})$$

3. Las paredes del tubo deberán ser suficiente macizas y rígidas, de tal modo que la disipación de energía sonora a través de ellas, por vibración, sea despreciable. Para un diámetro de aproximadamente 3 pulgadas, resulta satisfactorio un tubo de acero o bronce con paredes de espesor no menor que 1/4 de pulgada. Para diámetros menores, los espesores deben ser proporcionales. Para tubos mayores, es aconsejable usar espesores tan grandes como sea posible. Para proveer amortiguamientos adicionales de las vibraciones, conviene emplear una caja con arena rodeando al tubo, formando una capa de un espesor no menor de una pulgada.

4. El área de la sección transversal interior deberá, ser uniforme de punta a punta dentro del 0,2 %.

En general, interesa medir la absorción en el rango de frecuencia que va, como máximo de: $f_{\text{mín.}} = 100 \text{ Hz}$ hasta $f_{\text{máx.}} = 1\,800 \text{ Hz}$.

Según lo expuesto precedentemente, para estas frecuencias límites se necesita un tubo que cumpla con las siguientes dimensiones:

$$L = \frac{1\,000 \times 30,5}{100} = 305 \text{ cm}$$

Como es imaginable, un tubo de semejantes dimensiones no es práctico de realizar ni utilizar y resultaría de elevado costo. Por lo tanto, sus principales ventajas frente al método de la cámara reverberante, es decir, la facilidad con que se realizan los ensayos y el bajo costo de adquisición, se perde-

rían.

Para salvar este aparente problema, se recurre a una variante del método, que consiste en medir en el primer mínimo, conservando la exactitud, si es que el tubo está libre de vibraciones. Esto se asegura con adecuado espesor de las paredes y con un cajón de arena que rodee al tubo.

Para las bajas frecuencias y utilizando la variante del método mencionado, se requiere solamente una longitud:

$$L = \frac{330}{f_{\text{mín.}}} \times 30,5 \quad (\text{cm})$$

que en este caso resulta:

$$L = \frac{300}{100 H_z} \times 30,5 = 91,5 \text{ cm}$$

El diámetro deberá ser menor que:

$$d = \frac{8\,000}{1\,800 H_z} \times 2,54 = 11,3 \text{ cm}$$

El espesor de la pared correspondiente, para un tubo de 4 pulgadas (10 cm) de diámetro, recordando que según las normas ASTM un tubo de 3 pulgadas de diámetro debe tener un espesor mínimo de 1/4 de pulgada, sería:

$$\frac{3''}{1/4''} = \frac{4''}{ex}$$

$$\frac{4'' \times 1/4''}{3''} = 1/3'' = 0,8 \text{ cm}$$

El tubo Brüel & Kjaer posee las siguientes características:

$L = 101 \text{ cm}$; diámetro interno = 9,85 cm; espesor = 0,21 cm

De acuerdo a este diámetro interno, le correspondería tener un espesor, según las normas de aproximadamente 0,8 centímetros. Se observa que el tubo no cumple lo aconsejado por las normas ASTM, por lo que sólo sirve para medir materiales que poseen altos coeficientes de absorción. Para medir tales materiales no se necesita tanta potencia sonora, por lo cual el tubo no llega a vibrar, pudiendo considerarse que las mediciones obtenidas no poseen un error apreciable.

De lo expuesto surgió la necesidad de construir un nuevo tubo, modificando el equipo original y adecuándolo a las mediciones de materiales que poseen coeficientes de absorción pequeños.

DISEÑO DEL NUEVO MEDIDOR

Estudiada la bibliografía sobre el tema, la Sección Acústica y Vibraciones del LEMIT adoptó los pasos a seguir para la construcción del nuevo tubo. Se adecuaron los componentes del proyecto a las posibilidades tecnológicas del Laboratorio, así como a los materiales existentes en el mercado nacional.

El tubo que se adoptó posee las siguientes características:

$L = 1$ metro; diámetro interno = 10 cm; $e_x = 0,6$ cm

Si bien se observa que, según norma, el espesor óptimo sería de 0,8 cm, se consideró aceptable el tubo conseguido en el mercado nacional, tomando la precaución de mejorar el amortiguamiento mediante un cajón de arena.

MATERIALES UTILIZADOS Y CONSTRUCCION

El tubo a utilizar debe poseer diámetro interno perfec-

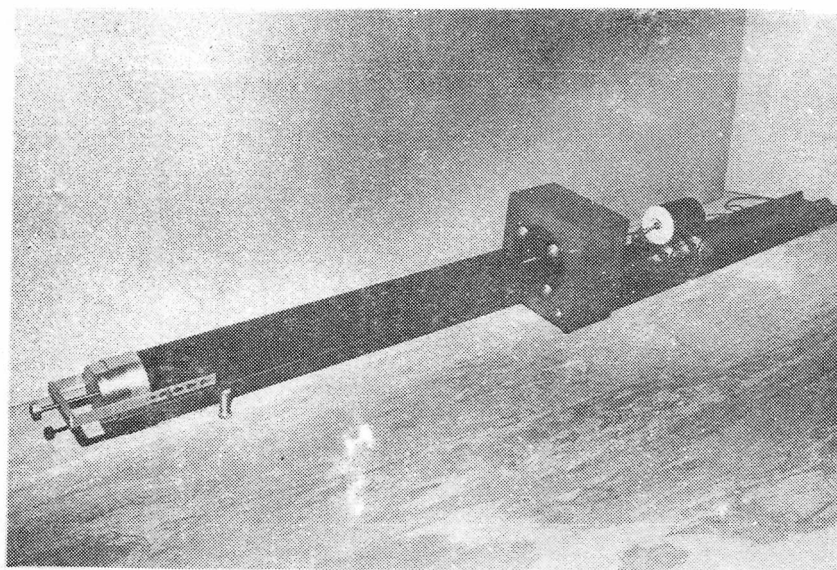


Fig. 2

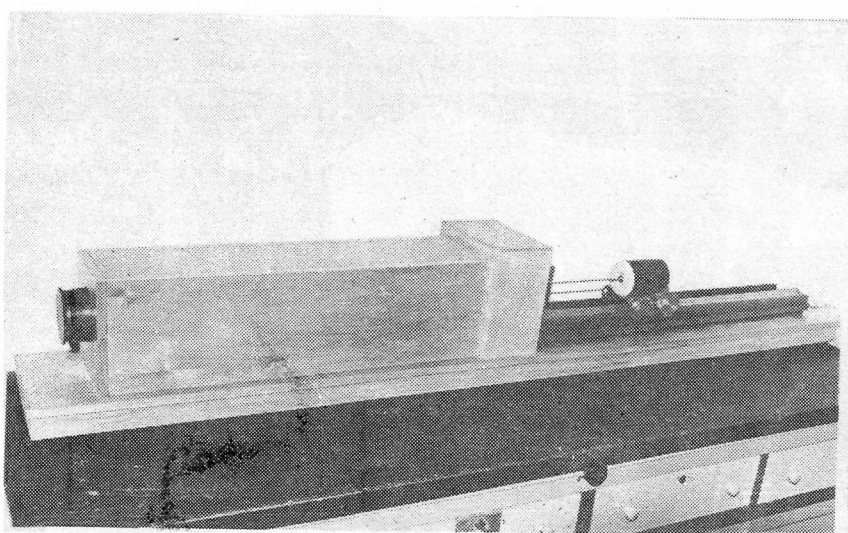


Fig. 3

tamente uniforme, por lo cual se adoptó al tipo de tubo que comunmente se usa para equipos hidráulicos, que es de acero y tiene una superficie interior bruñida. Para poder mantener las características superficiales deseadas, con el transcurso del tiempo, se lo trató químicamente. En el taller del Laboratorio se construyó el porta-muestras, roscado en uno de los extremos. El parlante utilizado es de características especiales y fue encargado a la firma LEEA.

El cajón donde va montado el tubo, el cual se llena de arena para los fines que se explicó y el baffle para el parlante fueron contruidos en la Sección, con panel aglomerado enchapado. El ensamble final, terminación y colocación de bornes de conexión fue el último paso de la construcción. Su apariencia externa se observa en la figura 3.

MEDICIONES EFECTUADAS

La relación de onda estacionaria para el tubo vacío, terminado en una superficie totalmente reflejante, debe ser, por lo menos, 5 dB mayor que la relación de onda estacionaria correspondiente al menor coeficiente de absorción que se desea medir.

Las mediciones efectuadas demuestran que el coeficiente de absorción para el tubo vacío, debido a la disipación de energía a través de las paredes del tubo o del extremo reflejante, se halla en el orden del 2 al 3 %. Esto significa que materiales absorbentes acústicos con coeficientes de absorción tan bajos como 6 a 7 % podrán medirse ahora con una precisión de una cifra significativa.

Determinaciones realizadas sobre muestras de materiales tipo soft-board utilizando el equipo original y posteriormente el equipo modificado, muestra la factibilidad del método en la medición de los coeficientes de absorción acústica para incidencia normal. Por otro lado, las determinaciones tienen ahora una mejor repetibilidad y no dependen del manipuleo que

el operador haga del instrumento.

**MEJORAMIENTO DE LA REFRACTARIEDAD DE
ARCILLAS POR LAVADO O INTERCAMBIO IONICO**

Dr. Juan C. Varela

Dr. Angel Rossini

Tco. Ricardo G. Guerrero

Tco. Juan C. Fiol

SERIE II, Nº 309

FUNDAMENTACION

En los diagramas de fases del sistema sílice-alúmina, la presencia de ciertos iones hace descender la temperatura de equilibrio sólido-líquido (1, 2, 6).

Los materiales arcillosos constituyen la fuente principal de sílice-alúmina en la utilización de materias primas para la industria de refractarios sílico-aluminosos.

El punto de fusión de estos materiales, evidentemente se encuentra afectado negativamente por la presencia de aquellos iones que disminuyen la temperatura de equilibrio sólido-líquido.

En la naturaleza, los materiales arcillosos frecuentemente se encuentran contaminados por iones como sales u ocupando posiciones de intercambio en el enrejado cristalino (7, 9). Esto genera un bajo punto de fusión en materiales que por su elevado contenido de alúmina podrían comportarse mucho mejor (del punto de vista de la refractariedad).

Tres son los caminos para solucionar tal defecto, los normales en la industria argentina son dos de ellos: uno, descartar el material, y dos, agregar otro material de alta refractariedad (costoso), que con el primero produzca una mezcla de mejores características, y un tercero, no usado aquí, pero capaz de lograr mejoría: lavar para eliminar los iones perjudiciales.

En este trabajo se ha intentado que por lavado, materiales arcillosos con las características indicadas, logren una mayor refractariedad que la que naturalmente poseían.

El lavado para eliminar iones en la muestra original, que disminuyen la refractariedad, puede realizarse, entonces, con el objeto de:

- a) eliminar iones de intercambio;
- b) eliminar sales solubles presentes en la muestra.

En el primer caso, los iones pueden ser altamente hidra-

tables (tales como sodio y potasio) o no (como calcio y magnesio) (9). De ellos, los primeros son los más perjudiciales en cuanto a la refractariedad, pero por ser hidratables son más fácilmente eliminados por lavado.

La resistencia de todos estos iones a ser extraídos depende de la energía de adsorción que ejerce la partícula de arcilla, la cual además de estar determinada cualitativamente por la serie de Hofmeister en cuanto al ión se refiere (3, 4, 5, 7, 8, 9), depende también de las características electroquímicas de las partículas de arcilla, ligadas a: desarrollo cristalino, grado de molienda (rotura de cristales), reemplazos iónicos en el retículo, etc. (10).

La eliminación de sales por lavado, depende obviamente de la solubilidad de las mismas en el medio de lavado.

Las sales que generalmente están presentes en estos minerales, son sales de metales alcalinos o alcalino térreos y las primeras, cuya influencia sobre la refractariedad ya fue mencionada, son las más solubles.

De lo dicho se desprende que cuando la refractariedad de una muestra se encuentra afectada por la presencia de iones alcalinos, el lavado es posible así provengan los mismos de las posiciones de intercambio de las partículas arcillosas, o de las sales presentes. Sin embargo, teniendo en cuenta la numerosa cantidad de variables que afecta la solubilización, resulta imprescindible en cada muestra determinar las condiciones óptimas para lograr el fin buscado, aún cuando las reglas generales sean las mismas.

En esta parte del trabajo se ha determinado la influencia de:

- a) Número de lavados en "batch".
- b) Tipo de iones en el agua para el lavado.
- c) Concentración de dichos iones en el agua de lavado.

La técnica utilizada para el lavado es la estudiada como óptima en un trabajo anterior (9), adaptada a los fines aquí buscados utilizando distintos líquidos de lavado.

MATERIAL UTILIZADO

Se trabajó sobre dos muestras arcillosas, denominadas A y B. Sus características se establecen a continuación.

ARCILLA A

Esta muestra de arcilla fue extraída en la localidad de Barker (Provincia de Buenos Aires). Se presenta como una arcilla blanco-verdosa, untuosa al tacto, en un manto de tres metros de espesor que se contamina hacia abajo con abundante óxido de hierro. Está cubierta por 10,8 m de destape, formado en la parte superior por 2,8 m de cuarcita compactada, seguida por 8 m de alternancias de Psamitas y Pelitas.

Ensayos realizados sobre la arcilla A

Análisis químico. Presenta la siguiente composición:

Anhídrido silícico	44,7	%
Oxido de aluminio	36,5	%
Oxido de titanio	0,6	%
Oxido de hierro	0,9	%
Oxido de calcio	0,5	%
Oxido de magnesio	0,8	%
Oxido de sodio	0,26	%
Oxido de potasio	5,30	%
Pérdida por calcinación a 1000°C	7,50	%

Análisis mineralógico cualitativo por difracción de Rayos X. El difractograma presenta los picos característicos de caolinita e illita, en similares proporciones, impurificados con muy pequeña cantidad de pirofilita y cuarzo.

Análisis térmico diferencial. El termograma indica la presencia de caolinita e illita como constituyentes de este mineral (fig. 1).

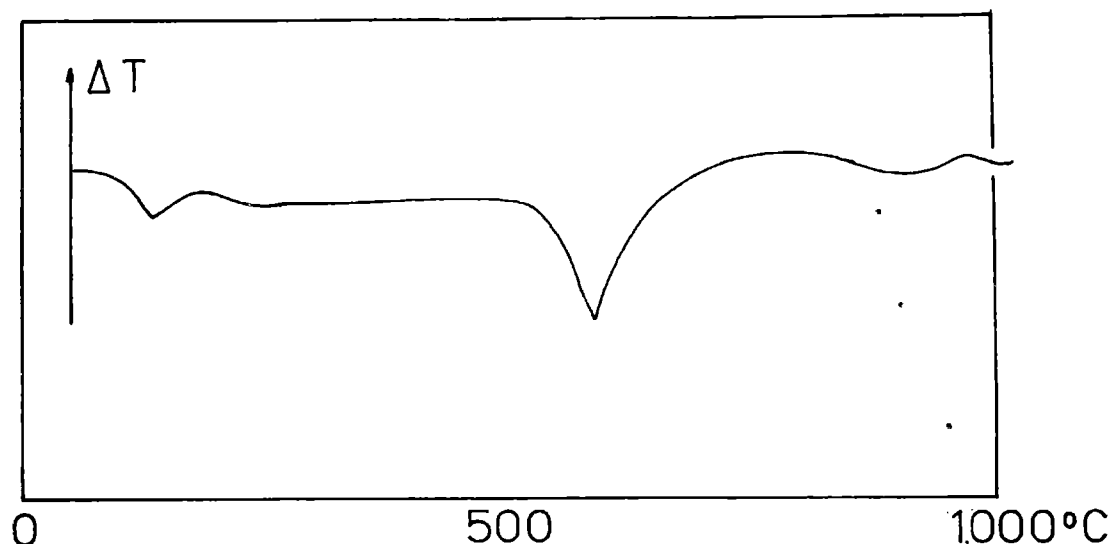


Figura 1.- Arcilla A, análisis térmico diferencial

Análisis dilatométrico. El dilatograma tiene la forma característica de las arcillas que contienen minerales del grupo de las micas, que presentan una expansión característica entre 600 y 900°C. Esta arcilla se hace expansiva a temperaturas superiores a 1300°C (fig. 2).

Refractariedad. Cono pirométrico equivalente, 26; temperatura equivalente, 1620°C.

Capacidad de intercambio. Valor T, 6,13 mEq/100 g.

Ensayos de intercambio iónico por lavado. Se hicieron suspensiones de 50 g de arcilla en 500 ml de solución de lavado. Se mantiene la suspensión mediante agitación durante 24 horas a 70°C y luego se filtra con ayuda de vacío, se percola sobre el sólido filtrado, un litro de solución lavadora, para arrastrar la solución que se encuentra en los poros de la torta, y que contiene los iones lavados (9, 10).

Se realizaron los siguientes tratamientos de lavado: lavado con agua destilada variando el número de lavados; lavado con solución de ácido clorhídrico variando el número de lavados y la concentración del ácido; y lavado con solución de acetato de amonio, variando el número de lavados.

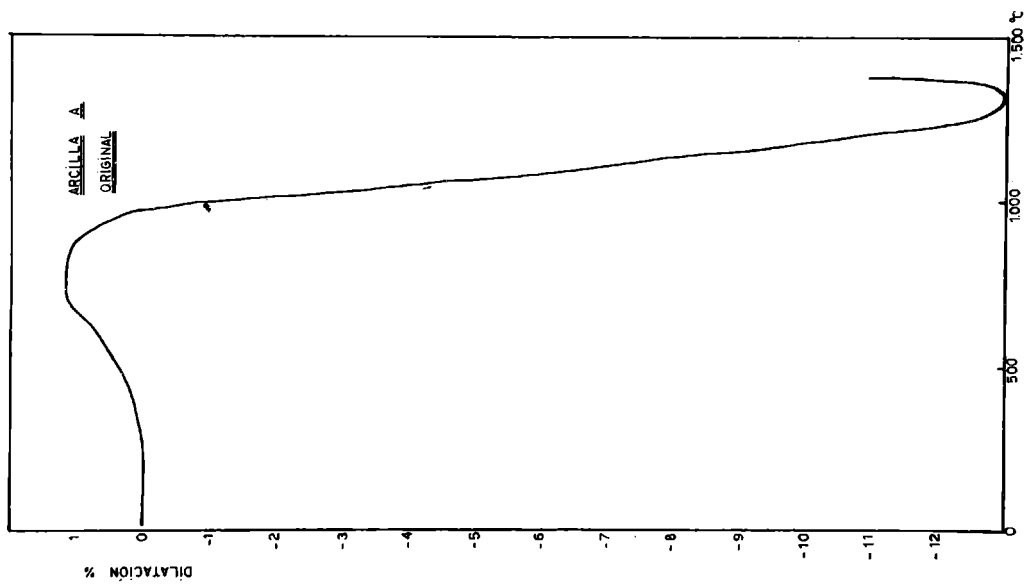


Figura 2

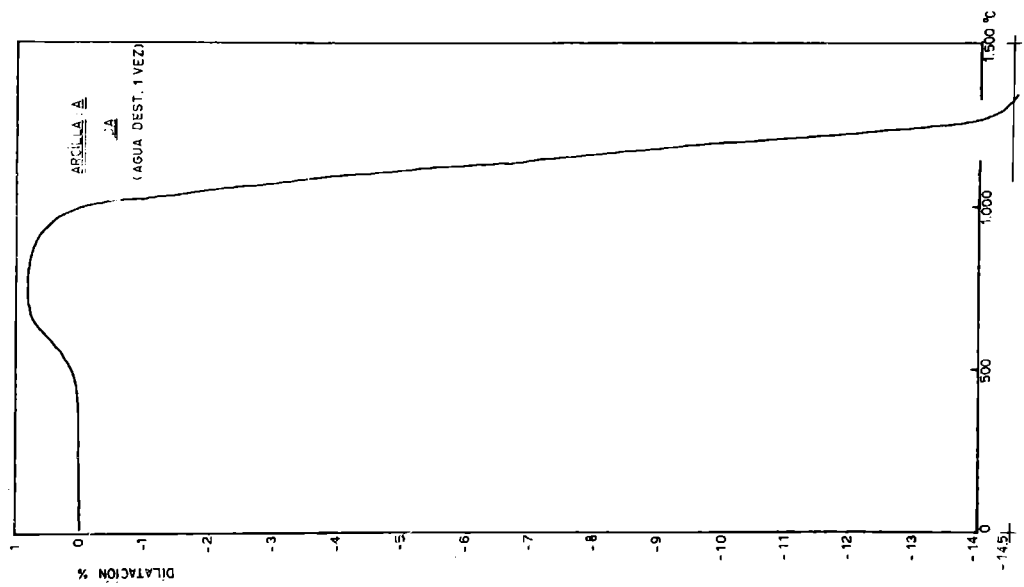


Figura 3

Los resultados del efecto de los distintos lavados frente a la refractariedad se observan en la tabla I y gráficos 7 y 9 correspondientes.

Ensayo dilatométrico de la muestra A, lavada. En el dilatograma de la muestra original A (fig. 2) podemos observar que a 1325°C los procesos que generan la expansión superan a los que producen contracción y la curva dilatométrica pasa por un mínimo. La comparación de este dilatograma con el de la muestra A lavada una vez con agua destilada (fig. 3), indica que la eliminación de una parte de los iones alcalinos, primero por un lado disminuye la acción sinterizante debido a fusión, a 1100°C la muestra original ha contraído a -6,6 %, la lavada a -4,6; y segundo retarda la aparición de procesos expansivos, a 1300°C el dilatograma de la muestra original indica -12,95 %, la muestra lavada -14,35 %.

ARCILLA B

Esta muestra de arcilla fue extraída de la localidad de Barker (Provincia de Buenos Aires). Se presenta como una arcilla blanco-verdosa con tonalidades rosadas, en un manto de 0,65 m de espesor, cubierta por un destape de aproximadamente 10 m, constituido por 2,30 m de cuarcita compacta blanca de grano mediano, en la parte superior, seguida por 7,80 m de alternancias de Psamitas y Pelitas, y una delgada capa de 0,20 m de espesor de un conglomerado de Ftanita con matriz arcillosa de color verde, que está en contacto con la arcilla blanco-verdosa que se estudia.

Ensayos realizados sobre la arcilla B.

Análisis químico

Anhídrido silícico	44,9	%
Oxido de aluminio	37,4	%
Oxido de titanio	0,8	%
Oxido de hierro	0,3	%
Oxido de calcio	0,6	%
Oxido de magnesio	0,5	%
Oxido de sodio	0,73	%
Oxido de potasio	6,80	%
Pérdida por calcinación a 1000°C	7,00	%

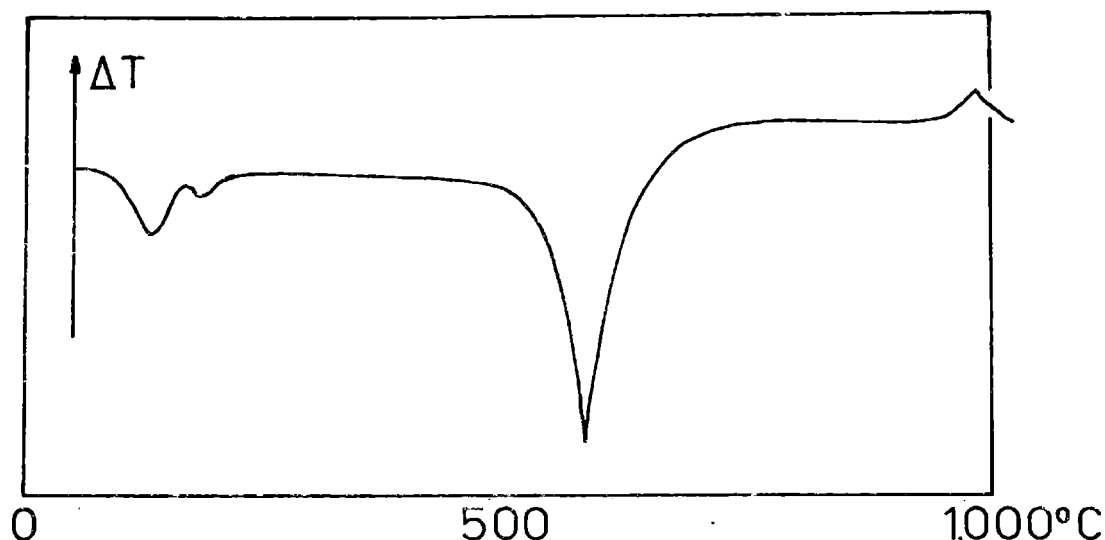


Figura 4.- Arcilla B, análisis térmico diferencial

Análisis mineralógico cualitativo por difracción de Rayos X. El estudio del difractograma permite establecer que este mineral es una mezcla de caolinita e illita impurificada con pirofilita y cuarzo.

Análisis térmico diferencial. El termograma indica la presencia de un material caolinítico con elevada proporción de illita (fig. 4).

Análisis dilatométrico. El dilatograma (figura 5) corresponde a una arcilla con alta proporción de material illítico, con la expansión característica de estos materiales entre 600 y 900°C, seguida por una rápida contracción que continúa hasta la temperatura alcanzada en el ensayo.

Refractariedad. Cono pirométrico equivalente, 19; temperatura equivalente: 1541°C.

Capacidad de intercambio. Valor T: 4,62 mEq/100 g.

Ensayos de intercambio iónico por lavado. El tratamiento es el mismo que el realizado sobre la muestra A.

TABLA I.- REFRACTARIEDAD EN C.P.E. EN FUNCION DEL NUMERO DE LAVADOS

Número de lavados	Solución de lavado		Muestra A		Muestra B	
	agua destilada	HCl 1N	acetato de amonio, 1N	agua destilada	HCl 1N	acetato de amonio, 1N
1	31 1/2	+ 31 1/2	31	30	31 1/2	30
2	32 1/2	32 1/2	32	32	32 1/2	30
3	32 1/2	33	32 1/2	32 1/2	32 1/2	31
4	33	33	32 1/2	32 1/2	32 1/2	31

TABLA II.- REFRACTARIEDAD EN C.P.E. EN FUNCION DE LA CONCENTRACION
DE HCl EN LA SOLUCION DE LAVADO

Normalidad de la solución de HCl	Muestra A	Muestra B
0,1	31 1/2	31
0,5	31 1/2	31 1/2
1,0	31 1/2	31 1/2

Nota.- El signo + precediendo el número de C.P.E. significa que el valor determinado es superior al mismo, pero inferior al cono patrón inmediato superior de que dispone el laboratorio.

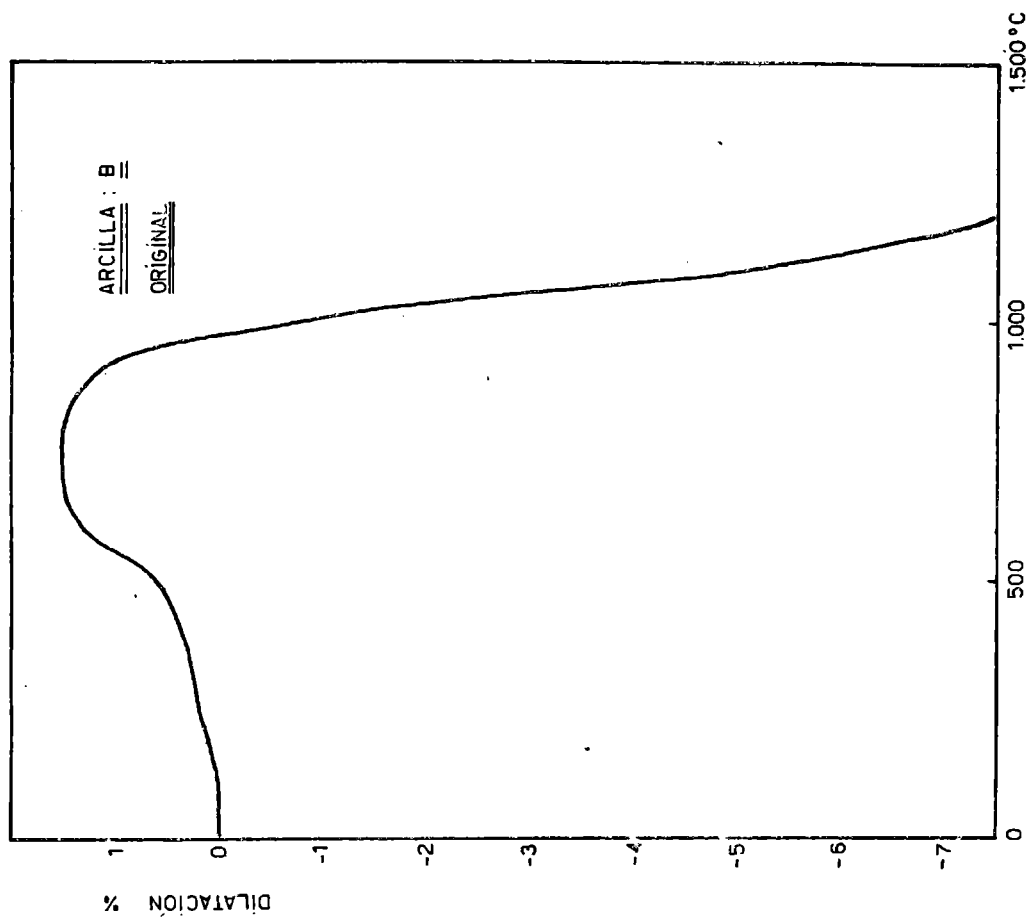


Figura 5

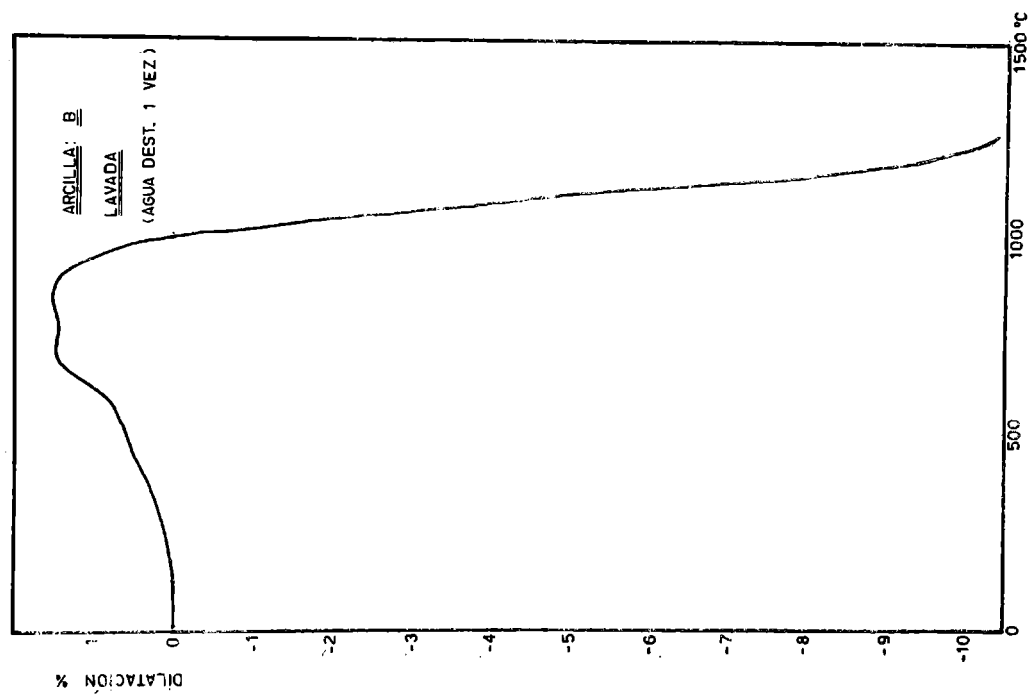


Figura 6

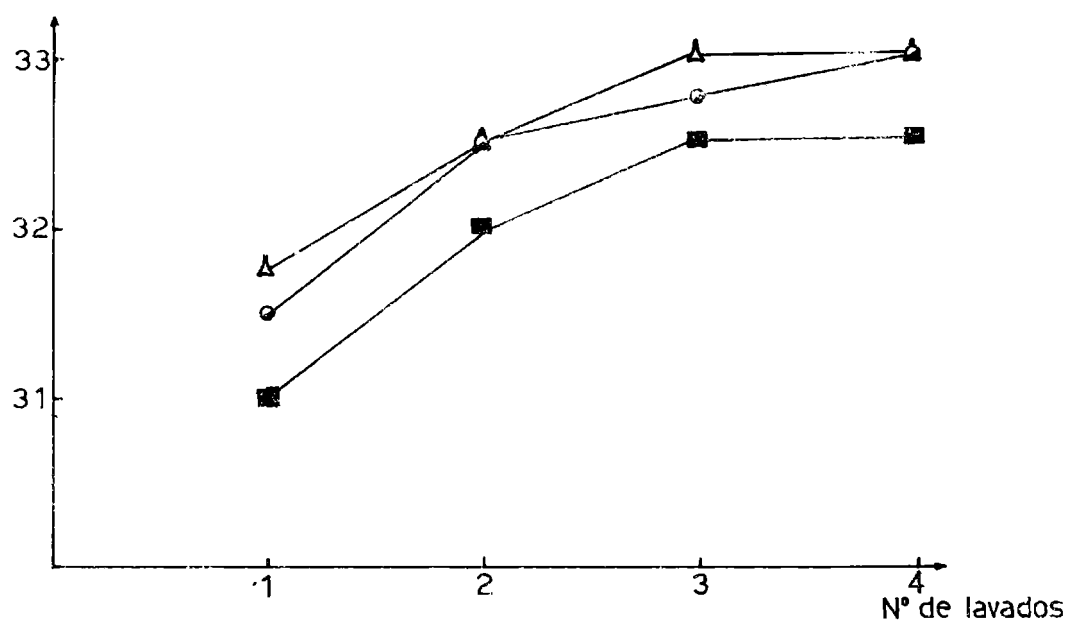


Figura 7.- Arcilla A

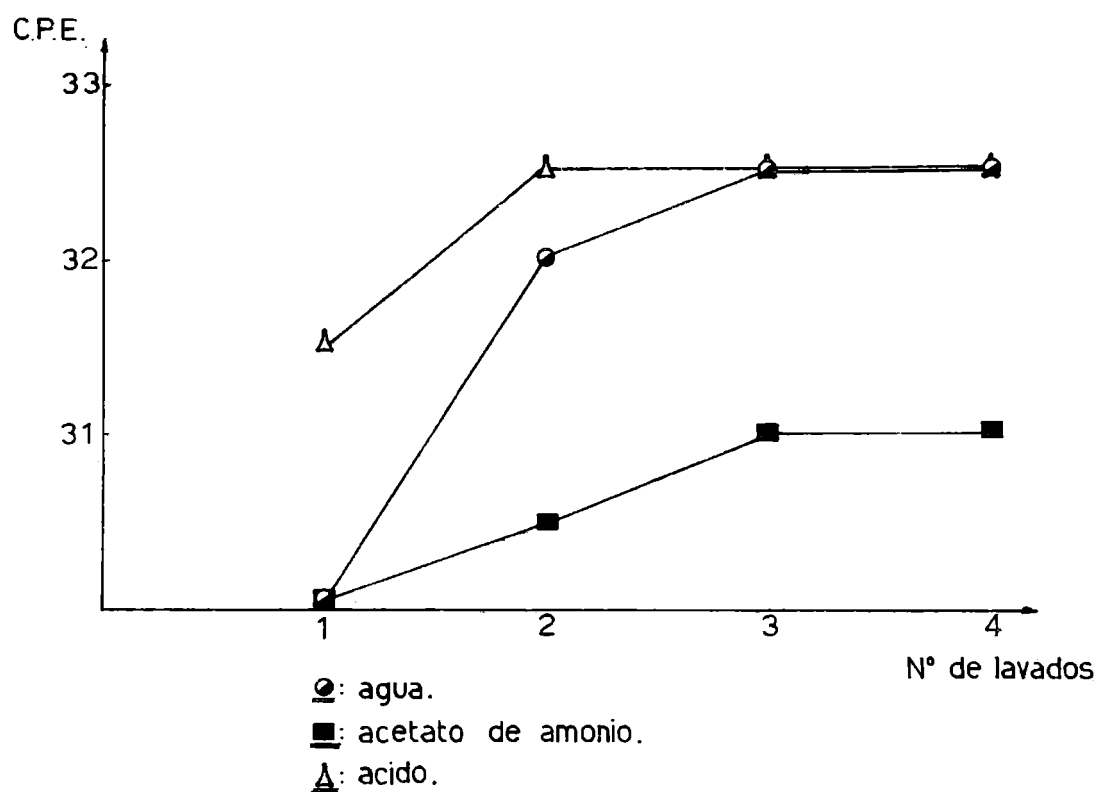


Figura 8.- Arcilla B

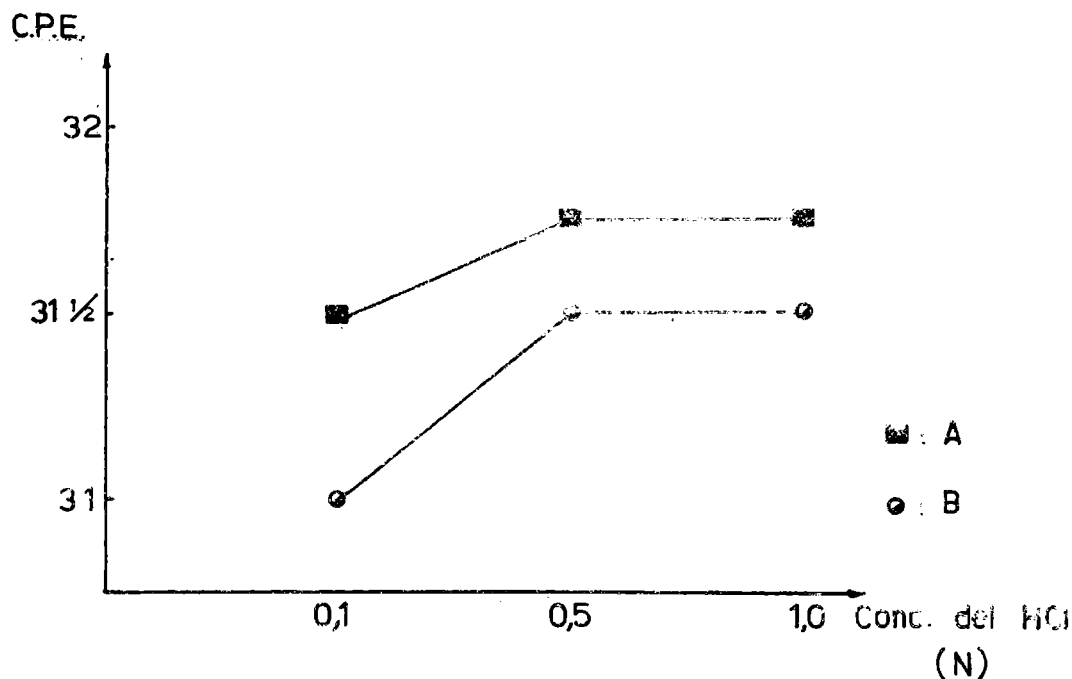


Figura 9.- Muestras A y B

Ensayo dilatométrico de la muestra B, lavada. En los dilatogramas de la muestra B, original y lavada (fig. 6), el panorama es similar al indicado para la A. Mientras que la contracción observada a 1100°C en la muestra original y lavada alcanza a -5,3 % y -4,6 % respectivamente, a 1200°C el proceso se invierte y los valores son -7,4 % y -9,4 %; debido, como se explicó anteriormente, a los procesos primero de fusión y luego de expansión, generados por los iones alcalinos.

Aquí no se llegó a la temperatura en que la curva dilatométrica pasa por un mínimo como con la muestra A, debido a que el bajo cono pirométrico equivalente de la muestra B, impide, para proteger el equipo, llegar a tales valores.

Los dilatogramas de las arcillas lavadas con agua, ácido clorhídrico y acetato de amonio, son tan similares, que aquí únicamente se presentan las curvas obtenidas cuando se ensayaron las muestras lavadas con agua.

Los resultados de las experiencias realizadas se observan en las tablas I y II y en las figuras 7, 8 y 9.

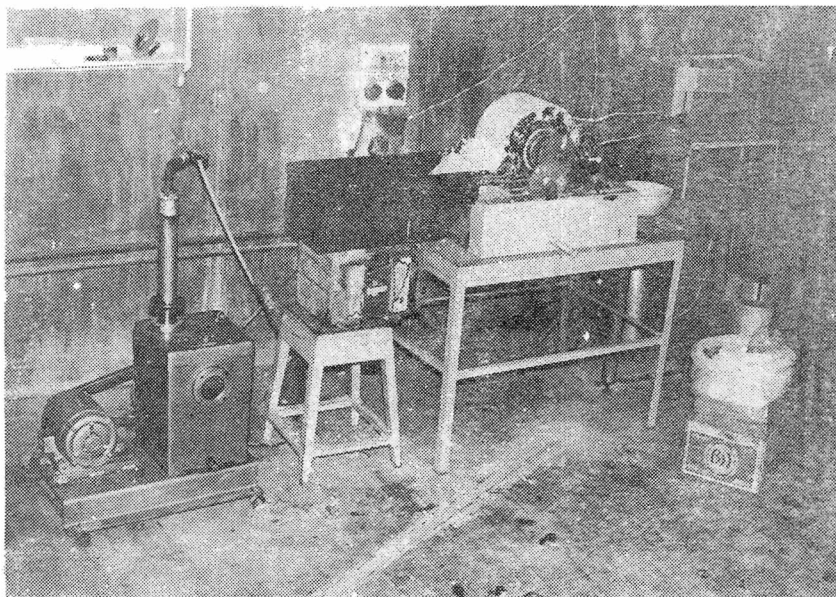


Figura 10

ESTUDIO EN PLANTA PILOTO

Los resultados obtenidos en laboratorio se llevaron a planta piloto empleando, por razones prácticas y económicas, únicamente agua destilada como agente lavador. Debido al volumen de agua destilada a emplear se montó una pequeña caldera con condensador de vidrio, para el suministro de agua destilada a la instalación.

De acuerdo a lo programado se armó y puso en funcionamiento una planta piloto que tiene posibilidad de funcionar en forma continua. La misma consta de un filtro rotativo tipo Oliver, con cámara de vacío, que gira a velocidad regulable mediante un sistema de motor eléctrico y polea de diámetro variable.

La arcilla se muele en molino a martillos tipo Raymond a una granulometría inferior a malla 70 (210 micrones) y se la coloca en un recipiente agitado para formar una suspensión de agua-arcilla (una parte de arcilla en diez partes de agua).

Esta suspensión se mantiene mediante agitación durante un día y luego se va vertiendo en el depósito agitado del filtro de forma tal que se mantenga un nivel constante de suspensión en dicho depósito. A diferencia del método de laboratorio toda esta operación se realiza a temperatura ambiente.

El filtro posee un sistema de lavado de la torta mediante lluvia de agua y una etapa de secado por succión de aire a través de la torta, la que luego es desprendida por una cuchilla rascadora que apoya sobre el cilindro rotatorio, cayendo en forma de pasta a un recipiente colector. Una vista general de la planta piloto se observa en la figura 10.

La arcilla lavada en planta tiene una refractariedad similar o equivalente a la muestra lavada en laboratorio una vez.

Los resultados obtenidos son los siguientes: refractariedad en C.P.E. de la muestra A lavada con agua destilada en planta piloto = $31\frac{1}{2}$; refractariedad en C.P.E. de la muestra B lavada con agua destilada en la planta piloto = 30.

Ello indica que la técnica utilizada en la planta piloto tiene una eficiencia similar a la de laboratorio.

CONCLUSIONES

1. El lavado de arcillas con características adecuadas, aumenta la refractariedad de las mismas.

2. El ión utilizado para el intercambio es determinante del grado de reemplazo logrado en los iones que posee la arcilla (ligado a volumen iónico, hidratación, etc.).

BIBLIOGRAFIA

1. Budoikov P. P. - The Technology of Ceramics and Refracto-

- ries. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
2. Kingery W. D. - Introduction to ceramics. Hohn Wiley y Sons, Inc. New York, 1960.
 3. Marshall C. E. - The Colloid Chemistry of the Silicate Minerals. Academic Press New York, 1949.
 4. Deryagyn B. V. (editor). - Research in Surface Forces. New York, 1967.
 5. Searls A. B. and B. W. Grimshaw.- The Chemistry and Physics of Clays and other Ceramics Materials. E. Benn Ltda., London, 1960.
 6. Searls A. B. - Refractory Materials. I. This Manufacture and Uses. C. Griffin y Co. Ltd. London, 1940.
 7. Tschpek M. - Química Coloidal del Suelo. I. Fenómenos de superficies. Museo Rivadavia. Buenos Aires, 1949.
 8. Tschapek M. - El agua en el suelo. Manuales de Ciencias Actual. Madrid, 1966.
 9. Varela J. C., E. Pereira y T. G. Krenkel. - Acción de los iones de cambio (Ca y Na) y los electrolitos del medio sobre la reología del sistema bentonita-agua. Anales de la Sociedad Científica Argentina, Tomo CIC-123/143; set-oct. 1970.
 10. Varela J. C. y E. Pereira, - Propiedades de superficie de materiales arcillosos argentinos. IX Sesiones Químicas Argentinas, Bahía Blanca, 1965.

Abstracts of Papers in this Issue

U.D.C. 543.423:546.19

Sosa J. P. and M. Sajavicius

SPECTROCHEMICAL ANALYSIS OF ADMIRALTY METAL FOR ARSENIC

LEMIT - ANALES, 4-1975, 1/16 (Serie II, n° 299).

Brass tubes were chemically analysed looking for those suitable as spectrographic standards because of their composition and arsenic contents.

The point-to-plane electrode system was used for the spectrographic analysis, i.e., a piece of flattened tube to obtain a smooth surface, and graphite as counterelectrode.

The material was excited by means of the Uni-Arc of a Jaco SP Custon Varisource.

Precision thus obtained was poorer than that attained via chemical methods, but keeps within allowable limits for the material specifications. The method is definitely time-saving.

U.D.C. 543.253

Vetere V. F. and M. I. Florit

DETERMINATION OF ALUMINIUM IN NON-ALLOYED STEELS BY MEANS OF POLAROGRAPHY WITH ALTERNATING CURRENT

LEMIT - ANALES, 4-1975, 17/43 (Serie II, n° 300).

The determination of aluminium in the presence of large amounts of iron is a problem of difficult analytical resolution involving cumbersome techniques, as it imposes the previous separation of iron.

Chrome-azurol-S is introduced for the first time in this paper in connection with a polarographic technique. Due to this reagent properties and the characteristics of polarography with alternating current it is possible to determine aluminium without needing the previous separation of iron, through a simple and rapid procedure.

U.D.C. 555.574

Calatroni J. A. E., J. J. Lunazzi, H. J. Rabal and M. Garavaglia

SOME LASER APPLICATIONS. PHOTOELASTICITY, INTERFEROMETRY AND HOLOGRAPHY

LEMIT - ANALES, 4-1975, 45/82 (Serie II, n° 301).

This paper describes some laser applications. Section I (Photoelasticity) is devoted to the observation of isochromatic fringes in a loaded plastic model by using the scattered light technique.

Two interferometric applications have been included in Section II. The first one, is related with measurements of thickness or refractive index of a translucent plane parallel plate by using an open Fabry-Perot interferometer. The second one, describes a laser grazing incidence triangular single-pass interferometer to be used in checking-out surfaces of non-optical quality.

The Section III deals with holography and its applications in interferometric measurements of deformations in a loaded steel bar.

U.D.C. 543.422.8:669.65

Miniussi C. L., J. Meda and C. Popovsky

STUDY OF A TECHNIQUE APPLYING X-RAY SPECTROMETRY TO THE ANALYSIS OF TIN-LEAD ALLOYS

LEMIT - ANALES, 4-1975, 83/96 (Serie II, n° 302).

A new technique for the analysis of binary alloys by means of X-ray fluorescence is described, as applied to the system tin-lead. Surface determination is avoided making use of intensities'ratio of intervening elements. This allows the direct analysis of turnings.

The technique is compared with that using polished plates. It has been found that dispersion parameters, on using the method described, are lower than those obtained with the conventional method; this is attributed to segregation.

C.D.U. 543.423:546.19

Sosa J. P. y M. Sajavicius

DETERMINACION ESPECTROQUIMICA DE ARSENICO EN LATONES TIPO ALMIRANTAZGO

LEMIT - ANALES, 4-1975, 1/16 (Serie II, nº 299).

Se analizaron tubos de latones por método químico para seleccionar aquéllos que por su composición y contenido en arsénico podían ser usados como patrones espectrográficos.

Para el análisis espectrográfico se empleó como sistema de electrodos el de punta-plano: un trozo de tubo aplastado para formar una superficie plana, y como contraelectrodo, grafito. La excitación empleada es la de uni-arc de la Fuente "Jaco SP Custom Varisource".

La precisión obtenida es inferior a la lograda por vía química, pero está dentro de los límites tolerables con las exigencias del material. Se obtiene una ganancia apreciable de tiempo en la información de los resultados.

C.D.U. 543.253

Vetere V. F. y M. I. Florit

DETERMINACION DE ALUMINIO EN ACEROS NO ALEADOS MEDIANTE POLAROGRAFIA CON CORRIENTE ALTERNA

LEMIT - ANALES, 4-1975, 17/43 (Serie II, nº 300).

La determinación de aluminio en presencia de grandes cantidades de hierro es un problema de difícil solución analítica que involucra metodologías engorrosas, pues es imprescindible la separación previa del hierro.

En el presente trabajo se introduce, por primera vez, el reactivo cromo-azurol-S en una técnica polarográfica. Debido a las propiedades de este reactivo y a las características de la polarografía por corriente alterna se logra, mediante una sistemática simple y rápida, la determinación del aluminio sin separación previa del hierro.

C.D.U. 535.374

Calatroni J. A. E., J. J. Lunazzi, H. J. Rabal y M. Garavaglia

ALGUNAS APLICACIONES DEL LASER. FOTOELASTICIMETRIA, INTERFEROMETRIA Y HOLOGRAFIA

LEMIT - ANALES, 4-1975, 45/82 (Serie II, nº 301).

Este artículo describe algunas aplicaciones del láser. La Sección I, Fotoelasticimetría, está dedicada a la observación de franjas isocromáticas en un modelo de plástico cargado usando la técnica de luz dispersada.

En la Sección II se incluyen dos aplicaciones interferométricas. La primera está relacionada con medidas de espesor o índice de refracción de una lámina traslúcida plano paralela usando un interferómetro de Fabry-Perot. La segunda describe un interferómetro triangular a incidencia rasante para ser usado en el control de superficies de calidad no óptica.

La Sección III trata sobre holografía y sus aplicaciones en la medida interferométrica de la deformación de una barra de acero cargada.

C.D.U. 543.422.8:669.65

Miniussi C. L., J. Meda y C. Popovsky

ESTUDIO DE UNA TECNICA QUE APLICA LA ESPECTROMETRIA DE RAYOS X AL ANALISIS DE ALEACIONES DE ESTAÑO-PLOMO

LEMIT - ANALES, 4-1975, 83/96 (Serie II, nº 302).

Se describe una nueva técnica para el análisis de aleaciones binarias por fluorescencia de Rayos X, estudiada en principio para el sistema estaño-plomo. Mediante el uso de la relación de intensidades de los elementos intervinientes se independiza la determinación de la superficie. Ello permite el análisis directamente sobre virutas.

Se compara esta técnica con la que utiliza placas pulidas. Se ha encontrado que los parámetros de dispersión, mediante el método descrito, son menores que los obtenidos por el método tradicional (debido a la segregación producida).

U.D.C. 674.035

Borlando L. A. and D. Arcelús

RELATIONSHIP OF DENSITY TO NATURAL DECAY RESISTANCE IN PALMA CARANDAY

LEMIT - ANALES, 4-1975, 97/114 (Serie II, nº 303)

This study was realized with the purpose of measuring the natural decay resistance of Palma Caranday (Copernicus alba, Morong et. Britt) to wood-rotting fungi attack by means of a laboratory test in accordance with ASTM D-2017-71 and to determinate the effect of the density variations on this state.

It were tested about 400 samples with densities from 0,50 to 1,00 g/cm³ obtained from the cortical zone up to 25 cm of depth, taken of about 200 different specimens in front to 8 test fungi, three of them isolated from the Palma decayed. Picnoporus sanguineus is the most destructive fungi, and according the data obtained this material in every tested density is considered as resistant or highly resistant.

U.D.C. 666.972.52

Wainsztein M. and J. D. Sota

PERMEABILITY OF CONCRETES

LEMIT - ANALES, 4-1975, 115/133 (Serie II, nº 304)

In view of the increment of many civil engineering works of top level, including large dams, bridges and hydraulic structures, and for obtain the coefficient of permeability in concretes, LEMIT has tested a permeability equipment, the first one operating in this country.

Results are given related to different types of concretes. According to them, it is possible to determine the more convenient water/cement ratio, the types of cement and the use of additives for the obtention of a low coefficient of permeability. Bibliographic references are given.

Borlando L. A. y D. Arcelús

RESISTENCIA NATURAL DE PALMA CARANDAY EN RELACION CON SU DENSIDAD

LEMIT - ANALES, 4-1975, 97/114 (Serie II, nº 303).

Este estudio se realizó con la finalidad de medir la resistencia natural relativa de Palma Caranday (Copernicis alba, Morong et Britt) al ataque de hongos xilófagos mediante un ensayo de laboratorio, según la norma ASTM, D 2017-71, y determinar el efecto de las variaciones de densidad en esa propiedad.

Se ensayeron aproximadamente 400 probetas, de densidades comprendidas entre 0,50 y 1,00 g/cm³, extraídas de la zona cortical, hasta 25 cm de profundidad, de unos 200 ejemplares diferentes, frente a 8 cepas de hongos, 3 de ellos aislados de Palma atacada.

Picnoporus sanguineus resulta el hongo más agresivo y según los datos obtenidos, este material, en todas las densidades ensayadas, se comporta como resistente o muy resistente.

Wainzstein M. y J. D. Sota

PERMEABILIDAD DE HORMIGONES

LEMIT - ANALES, 4-1975, 115/133 (Serie II, nº 304).

Al intensificarse en los últimos años las grandes obras en nuestro país y principalmente en lo referente a la construcción de diques y presas, se encaró en el LEIMIT la puesta en marcha de un equipo de permeabilidad, que hasta el presente es el único en el país. Con esto se posibilita la obtención de coeficientes de permeabilidad en hormigones sin necesidad de recurrir por este ensayo a otros países.

En este trabajo se vuelcan antecedentes bibliográficos y los ensayos sobre diferentes tipos de hormigones, pudiendo con los resultados obtenidos dar algunas pautas sobre conveniencias de razones agua-cemento, tipos de cemento y uso de aditivos, en la obtención de hormigones de bajos coeficientes de permeabilidad.

U.D.C. 543.422:546.56

Íasi R., O. Rolla, R. H. Pérez and C. Alí

ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRIC DETERMINATION OF COPPER IN
STEELS AND CAST-IRON

LEMIT - ANALES, 4-1975, 135/152 (Serie II, nº 305).

As iron, the main component of the alloys intended to be analysed, interferes depressing copper absorption and its resonance wavelenght, a series of calibration curves were prepared for copper in synthetic mixtures with iron, as a previous step while attempting to apply atomic absorption spectrometry to the determination of copper in steels and cast-iron.

Solutions of NBS standard steels with 0,0-0,20 % Cu, and of steels with 0,20-2,00 % Cu, were checked against such calibration curve.

The interference of other alloying elements, namely chromium, nickel, molybdenum and vanadium, was equally studied.

U.D.C. 631.421.1

Fossa, L. M. and O. R. Arrechea

EVALUATION CRITERION OF ACTIVE SOILS AND ITS POSSIBLE CORRELATION

LEMIT - ANALES, 4-1975, 153/164 (Serie II, nº 306)

In this paper the characteristics of some samples of plastics soils were studied. Tests for the determination of liquid limit, plastic index, free swell test, were used, and other more complete techniques as X-ray determinations of clay minerals, ionic interchange and pressure of expansion were developed in the Central Laboratory.

The results obtained were compared to establish a correlation with the simple tests for rapid identification of active soils, which are performed in a Field Laboratory.

C.D.U. 543.422:546.56

Iasi R., O. Rolla, R. H. Pérez y C. Alf

DETERMINACION DE COBRE EN ACEROS Y FUNDICIONES POR ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

LEMIT - ANALES, 4-1975, 135/152 (Serie II, nº 305).

Para la aplicación de la espectrometría de absorción atómica al análisis de cobre en aceros y fundiciones, se procedió previamente a la preparación de una serie de curvas calibradas sintéticas del elemento en cuestión, con el agregado de hierro, componente mayoritario de las aleaciones que se pretende analizar, y que interfiere deprimiendo la absorción del cobre en su longitud de onda de resonancia.

Contra esa curva se contrastaron disoluciones de aceros patrones del NBS, con contenido de cobre entre 0,0 y 0,20 %, y aceros con contenido de cobre entre 0,20 y 2,00 %.

Se estudió además la interferencia producida por otros elementos de aleación, tales como cromo, níquel, molibdeno y vanadio.

C.D.U. 631.421.1

Fossa, L. M. y O. R. Arrechea

CRITERIO DE EVALUACION DE SUELOS ACTIVOS Y SU POSIBLE CORRELACION

LEMIT-ANALES, 4-1975, 153/164 (Serie II, nº 306).

En el presente trabajo se han determinado las características de un cierto número de suelos plásticos en base a ensayos de técnicas simples y rápidas, tales como límite líquido, límite plástico, índice plástico, expansión libre (free swell test) y otros de técnicas más complejas. Entre estos últimos se deben citar el tipo mineralógico de la arcilla, la capacidad de intercambio iónico, la presión de expansión.

Se ha buscado una correlación entre los resultados, de tal manera de poder identificar los suelos potencialmente activos en base a determinaciones simples, factibles de ejecutar en laboratorios de campaña.

U.D.C. 625.712:631.4 (821.2)

Massaccesi D. D., H. Langard, E. Agosti y O. A. Iosco

THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF LOCAL MATERIALS IN THE STRUCTURE OF ECONOMICAL URBAN PAVEMENTS.

LEMIT-ANALES, 4-1975, 165/188 (Serie II, nº 307).

In this paper were studied the properties of a representative soil of 25 de Mayo district, in the Buenos Aires Province, with the object to establish the possibility of its use as a base and sub-base in urban pavements.

The soil behaviour was analyzed making mixtures with superstable EBL2 bituminous emulsions and also with soil-cement mixtures.

The results obtained with both mixtures were compared and technical and economical considerations were given.

U.D.C. 534.286.2

Méndez, A. M., R. Sarti, D. Guaraglia and A. Vanina.

THE MODIFICATION OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING THE ACOUSTIC ABSORPTION COEFFICIENT (ASTM C-384).

LEMIT-ANALES, 4-1975, 189/200 (Serie II, nº 308).

The Acoustics and Vibration Laboratory of LEMIT has a Brüel & Kjaer instrument, model 4002, that allows the fast and easy determination of acoustic absorption coefficients.

Trying to measuring materials with low coefficients there is some uncertainty in the obtained values, that shows the impossibility of reliable results.

An analysis of this deficiency shows that the instrument vibrates excessively introducing an additional absorption, pointing out the convenience of redesign the equipment to measure low absorption coefficients.

C.D.U. 625.712:631.4 (821.2)

Massaccesi, D. D., H. Langard, E. Agosti y O. A. Iosco

APROVECHAMIENTO DE MATERIALES LOCALES EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS URBANOS ECONOMICOS

LEMIT-ANALES, 4-1975, 165/188 (Serie II, nº 307).

Se estudiaron las propiedades de un suelo representativo del partido de 25 de Mayo (Prov. de Buenos Aires) y su zona de influencia, con el objeto de conocer la posibilidad de utilizarlo como base y sub-base de pavimentos urbanos.

Se analizó el comportamiento del suelo, realizando mezclas con emulsión bituminosa superestable EBL2, como así también mezclas de suelo-cemento.

De la comparación de ambos casos surgen consideraciones técnico-económicas, en base a las cuales se dan posibles soluciones de pavimento.

C.D.U. 534.286.2

Méndez A. M., R. Sarti, D. Guaraglia y A. Vanina

MODIFICACION DE UN EQUIPO DE MEDICION DE ABSORCION E IMPEDANCIA ACUSTICA PARA ADAPTARLO A LA NORMA ASTM C-384.

LEMIT-ANALES, 4-1975, 189/200 (Serie II, nº 308).

La Sección Acústica y Vibraciones del LEMIT cuenta con un equipo marca Brüel & Kjaer, modelo 4002, que permite la rápida y fácil determinación de los coeficientes de absorción acústica. Al tratar de medir materiales con bajos coeficientes de absorción, aparecen ciertas incertidumbres en la lectura de los valores obtenidos, que ponen en evidencia la imposibilidad de obtener resultados confiables.

Un análisis de este funcionamiento deficiente demostró que se producían excesivas vibraciones en el instrumento, introduciéndole una absorción a la del material a medir, lo cual mostró la conveniencia de rediseñar el equipo para adecuarlo a la medida de bajos coeficientes de absorción.

U.D.C. 666.76

Varela, J. C., A. Rossini, R. Guerrero and J. C. Fiol

IMPROVEMENT OF CLAY REFRACTORINESS THROUGH IONIC EXCHANGE

LEMIT-ANALES, 4-1975, 201/216 (Serie II, nº 309).

The improvement of the refractoriness of clays having a high content of aluminium oxide and a very low P.C.E. was studied after treating them by water and by ionic exchange.

As it was expected the P.C.E. of the clays under treatment was improved not only by ionic exchange with aqueous solutions of hydrochloric acid and ammonium acetate, but also washing them with water.

The experimental conditions and the results obtained were presented in this paper.

Varela, J. C., A. Rossini, R. Guerrero y J. C. Fiol

MEJORAMIENTO DE LA REFRACTARIEDAD DE ARCILLAS POR LAVADO E INTERCAMBIO IONICO.

LEMIT-ANALES, 4-1975, 201/216 (Serie II, nº 309).

Se estudió el mejoramiento de la refractariedad de arcillas que, a pesar de tener un elevado contenido de alúmina, presentaban un bajo cono pirométrico equivalente. El tratamiento se realizó por lavado con agua y por intercambio iónico.

Como se esperaba, después de los tratamientos mencionados, se logró mejorar el C.P.E. de las arcillas tratadas, tanto por lavado como por intercambio iónico con soluciones acuosas de ácido clorhídrico y acetato de amonio.

Se indican en el texto las condiciones experimentales y se proporcionan los resultados obtenidos.

Este ejemplar se terminó de
imprimir en los Talleres Grá-
ficos del M. O. P., el día 26
de febrero de 1976

Se permite la publicación total o parcial de estos trabajos
siempre que se deje constancia de la fuente de origen