

ISSN 0302-5756

LEMIT

ANALES



Provincia de
Buenos Aires



Ministerio de
Obras Públicas



LEMIT

4-1976

ISSN 0302-5756



ANALES



Provincia de
Buenos Aires

Ministerio de
Obras Públicas

LEMIT

4-1976

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministro, Ing. Pablo R. Gorostiaga

Subsecretario de Obras Públicas, Ing. Rodolfo F. Martoccia

Subsecretario de Urbanismo y Vivienda, Arq. Alberto E. Mendonça Paz

Subsecretario de Programación, Ing. Silvano J. Trevisán

L E M I T

Director, Ing. Luis A. Bonet

Sub-Director, Dr. Vicente J. D. Rascio

Jefe del Departamento Ingeniería Mecánica, Eléctrica 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. Borlando

Jefe del Departamento Análisis y Ensayo de Materiales,
Dr. en Química Justo P. Sosa

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

Diagramación: Sra. Elba D. Ardenghi de Lacabe

Fotografía: Quím. Sr. Francisco Da Cruz

Impresión: Dirección de Impresiones

del Estado y Boletín Oficial

L. E. M. I. T.

52, entre 121 y 122

LA PLATA - ARGENTINA

I N D I C E

pág. 1	PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS QUE AFECTAN SU ESTABILIDAD	Ing. Washington Cano Olazábal Ing. Luis P. Traversa
pág. 37	ESTUDIO DE LABORATORIO Y EN TRAMO EXPERIMENTAL DE ASFALTOS PARA PAVIMENTACION OBTENIDOS DE PETROLEOS NACIONALES	Dr. Jorge O. Agnusdei
pág. 65	PREDICCION DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND POR EL METODO DE CURADO ACELERADO	Ing. Washington Cano Olazábal Ing. Luis P. Traversa Ing. Jorge H. Giussi
pág. 83	ACEROS PARA HORMIGON	Ing. Marcelo Wainsztein Ing. Luis P. Traversa
pág. 123	DETERMINACION POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LOS CONSTITUYENTES METALICOS EN ACEITES ADITIVADOS	Dr. Claudio Miniussi Tco. Qco. Jorge F. Meda Tco. Qco. Raúl H. Pérez
pág. 143	PROBABILIDAD DE TRANSICION K_{β}/K_{α} PARA ELEMENTOS COMPRENDIDOS ENTRE $Z = 13$ Y $Z = 56$ EN FILMS GRUESOS	Dr. Alberto G. Alvarez Tco. Qco. Jorge F. Meda Electrotéc. Héctor Negri

- pág. 153 SOBRE LA DETERMINACION DE LA RELACION DE INTENSIDADES K_{β} Y K_{α} EN EL ESPECTRO DE RAYOS X
Dr. Alberto G. Alvarez
Electrotéc. Héctor Negri
Tco. Qco. Jorge F. Meda
- pág. 163 SOBRE LA RELACION DE INTENSIDADES CARACTERISTICAS DEL ESPECTRO K DE RAYOS X
Dr. Alberto G. Alvarez
Electrotéc. Héctor Negri
Tco. Qco. Jorge F. Meda
- pág. 173 MAPA GEOTECNICO DE LA REGION SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
Dr. Víctor Mauriño
Lic. María C. García
Lic. Vicente Muglia

**PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS QUE
AFECTAN SU ESTABILIDAD**

Ing. Washington Cano Olazábal *

Ing. Luis Traversa **

- * Jefe de la Sección Tecnología del Hormigón del LEMIT.
- ** Jefe de la Sección Estructuras del LEMIT.

INTRODUCCION

La experiencia de más de cien casos estudiados en el LEMIT, de estructuras de formas y características variadas, que presentaban diversos problemas, ha motivado la realización de este trabajo, en el cual se detallan en parte los métodos a seguir y el gran apoyo que prestan las técnicas modernas para esclarecer en forma eficaz las causas que motivaron las fallas estructurales. Pero fundamentalmente nuestro interés es alertar a los profesionales de la ingeniería, sobre el porcentaje de incidencia de las causas que en mayor medida se presentan y perjudican las estructuras, haciendo temer su estabilidad.

En las Secciones Estructuras y Tecnología del Hormigón, se desarrollan y se practican técnicas adecuadas para encarar en cada caso los estudios y, en base a éstos, programar los ensayos correspondientes. Además la experiencia de casos ya estudiados ha servido para los similares posteriores en los cuales se han mejorado los métodos y por ende se han obtenido resultados más completos. Es importante también mencionar el gran aporte de la bibliografía existente sobre el tema, como así también el valioso apoyo del Proyecto Argentino de Estructuras de Hormigón "PRAEH", el cual da los lineamientos adecuados para tales estudios.

Para ejecutar los distintos ensayos, los cuales pueden ser variados, y que además respondan a las características particulares de la estructura en estudio, es necesario luego del minucioso análisis visual, estudio de la documentación de obra y de cualquier otro dato que se considere de importancia en el caso, estimar las posibles causas de los problemas que presenta dicha estructura, tal estimación nos lleva a una programación de ensayos y en base a los resultados de los mismos una vez analizados, seleccionados e interpretados, se obtendrán las conclusiones del caso.

Los estudios de estabilidad estructural requieren de la cooperación de una serie de especialidades y exigen, de los profesionales a cuyo cargo se ejecutan, experiencia y cono-

cimientos para la correcta interpretacion realizando además con las otras disciplinas una adecuada coordinación. Un gran numero de estudios estructurales, se realizaron con la colaboración de otras secciones del LEMIT tales como: Química Analítica, Corrosión, Geología, Rayos X, Ensayos Mecánicos, Metalografía, Pinturas, Ensayos No Destructivos, Edificios, Ligantes Aéreos e Hidráulicos, Maderas, Suelos, Cálculo Estadístico y otras.

CAUSAS QUE HAN DETERMINADO LOS DISTINTOS PROBLEMAS DE ESTABI- LIDAD ESTRUCTURAL ANALIZADOS

Realizando un análisis de los múltiples problemas de estabilidad estructural presentados al LEMIT, se ha podido en primera instancia clasificar los distintos casos en función de las causas que han sido las responsables directas de las fallas estructurales. Téngase además en cuenta que en algunas estructuras los problemas se han presentado como acción de dos o más causas.

1. Causas de orden tecnológico

- a) Características inadecuadas del hormigón.
- b) Problemas de ataques y reacciones químicas sobre los hormigones.
- c) Corrosión de armaduras debido a la existencia de hormigones defectuosos y de ataques químicos.
- d) Problemas ocasionados por el uso de materiales inadecuados.

2. Causas de orden constructivo

- a) Descuido en el control de obra; como ser encofrados defectuosos, inadecuada colocación de armaduras, incorrecta utilización de materiales y falta de precauciones en el cumplimiento de las distin-

tas etapas de las técnicas constructivas.

- b) Ausencia de control de obra y desconocimiento de las buenas técnicas constructivas.

3. Causas de orden estructural

- a) Deficiencia de los cálculos estructurales, como ser acciones no consideradas (cargas dinámicas, vibratorias, acción del viento y otras).
- b) Cálculos insuficientes para un comportamiento estructural adecuado, la no consideración de juntas de dilatación, la utilización de inadecuados criterios en la elección de sustentación, apoyos y empotramientos.

4. Causas originadas por sobrecarga

En estructuras concebidas originalmente para un uso distinto al que produjo los inconvenientes.

5. Causas por inadecuadas fundaciones.

6. Problemas de estabilidad estructural causadas por siniestros (incendios).

7. Fallas o derrumbes.

- a) Ocasionados por acción de una o más causas ya enunciadas.
- b) Por efecto de inconvenientes de construcciones o acciones linderas.

1. Causas de orden tecnológico.

Las múltiples características del hormigón de cemento portland, en el estado fresco como en el endurecido, son aprovechadas para satisfacer en cada caso las condiciones, sollicitaciones y otros factores a que estará expuesta una estructura. Dentro de las características del hormigón que usualmente se buscan, nombraremos su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

En toda estructura de hormigón armado, que se trata

CAUSAS	NATURALEZA	CANTIDAD PARCIAL	CANTIDAD TOTAL	PORCENTA- JE
DE ORDEN TECNOLOGICO	a) Características inadecuadas del hormigón	31	58	42
	b) Problemas de ataques y reacciones químicas sobre hormigones.	12		
	c) Corrosión de armaduras debido a la existencia de hormigones defectuosos y ataques químicos.	9		
	d) Problemas ocasionales por uso de materiales inadecuados.	6		
DE ORDEN CONSTRUCTIVO	a) Descuido en el control de obra.	19	31	22
	b) Ausencia de control de obra, desconocimientos de Técnicas constructivas.	12		
DE ORDEN ESTRUCTURAL	a) Deficiencia de cálculos estructurales, acciones no tenidas en cuenta.	11	16	12
	b) Cálculos insuficientes para un comportamiento estructural adecuado.	5		
SOBRECARGAS	Causas originadas por sobrecargas de estructuras concebidas originariamente para otro uso.	11	11	8
FUNDACIONES	Fundaciones inadecuadas.	10	10	7
SINIESTROS	Por efecto y acción del fuego.	6	6	4
DERRUMBES	a) Por acción de la suma de dos o más causas ya enunciadas.	5	7	5
	b) Inconvenientes o fallas en construcciones linderas.	2		

Cuadro de incidencia y porcentaje en el cual figuran numéricamente las estructuras que han presentado problemas de estabilidad, luego del estudio se han determinado las causas que los originaron.

por problemas de estabilidad, para iniciar los estudios se deberá indagar toda información posible sobre su ejecución y características de los materiales utilizados. En el caso específico del hormigón es sabido que su calidad dependerá, entre otros factores, del tipo de cemento utilizado, de la calidad y proporciones de los materiales, de la razón peso de agua/peso de cemento y de las condiciones de elaboración, colocación, compactación y tratamientos posteriores. En cambio para el acero, debido a su proceso de elaboración controlada, se tiene una mayor y más segura información de sus características cualitativas y cuantitativas, lo que nos facilita la investigación dado que con pocas muestras representativas es posible determinar las características del acero utilizados.

Las barras de acero para construcción de producción nacional, que son utilizadas oficialmente en la provincia de Buenos Aires, poseen un "Certificado de Empleo" que autoriza su uso. Además, en dicho certificado, se da en forma detallada las especificaciones de orden técnico a las cuales deben ajustarse para ser empleados.

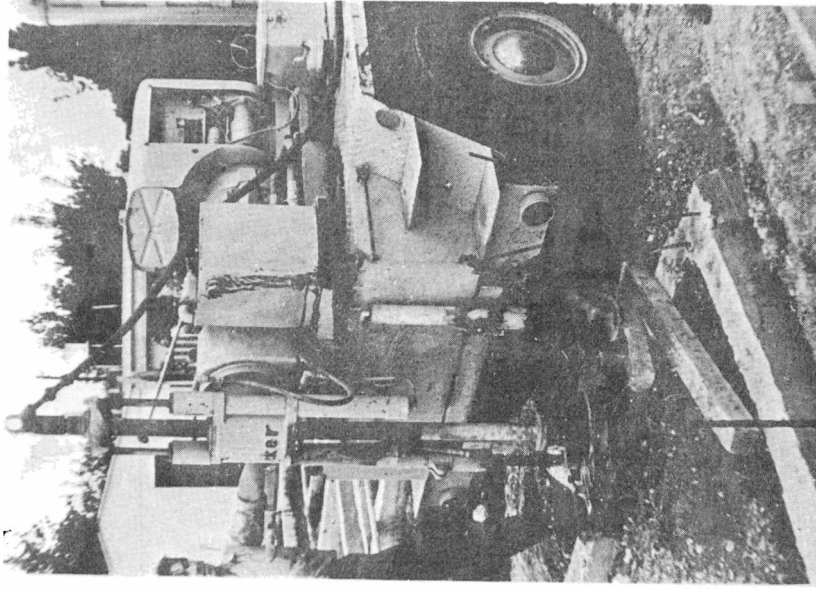
El Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, LEMIT, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, tiene como atribución la de extraer muestras de fábricas, realizar los ensayos y extender los Certificados. La firma elaboradora a quien ha extendido un Certificado asume el compromiso de fabricar aceros de características no inferiores a las que motivaron la extensión y además se compromete a informar cualquier modificación. Dichos certificados de aprobación tienen validez de dos años, lapso en el cual se pueden realizar uno o más muestreros para constatar la bondad de dichos valores. En el LEMIT se encuentran archivados los resultados de ensayos de vigilancia y todas las actuaciones relacionadas con la vigencia o suspensión de los Certificados de Empleo.

Dentro de los procedimientos de indagación de los factores influyentes en las deficiencias que presentan ciertas estructuras de hormigón armado, en primera instancia podemos contar con las probetas testigos, extraídas de la estructura con un equipo portátil de broca diamantada rotativa, en sectores que no afecten de un modo peligroso la estabilidad de

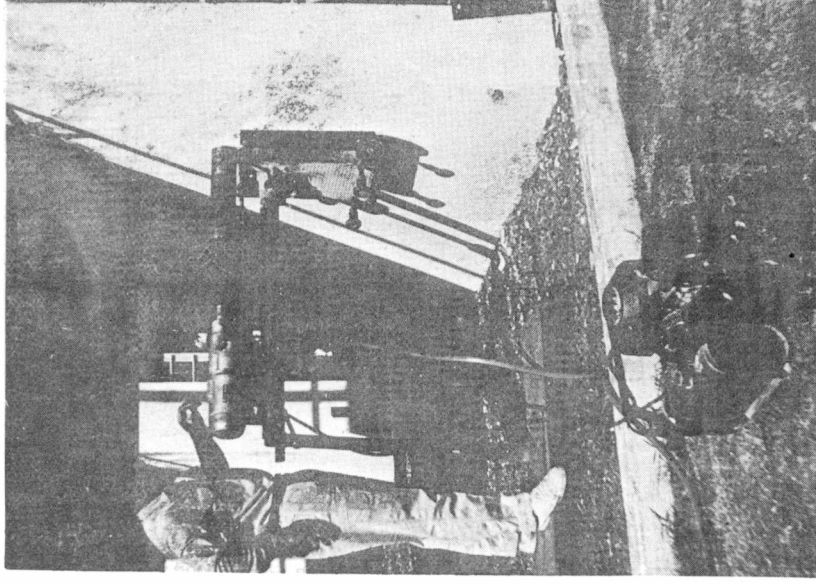
la misma. El número de testigos a extraer tiene relación directa con el volumen de hormigón, tipo de estructura y características de las deficiencias que ésta presenta. Las probetas testigo, se prestan para ejecutar en las mismas ensayos mecánicos, físicos y químicos; por lo general los resultados que se obtienen pueden ser en algunos casos definitivos de los problemas que presenta la estructura y otras veces el apoyo para detectar indicios y continuar los estudios originados por otras causas.

En un gran porcentaje de estudios realizados, se ha constatado que durante la ejecución de la obra no se había efectuado ningún tipo de control para determinar las características del hormigón, ya sea en estado fresco o endurecido. La carencia de estos hace dudar de inmediato sobre la calidad del mismo. En todos estos casos los ensayos que se practican sobre las probetas testigos por lo general resultan aclaratorios, pero fundamentalmente nos permiten determinar algunas características del hormigón utilizado.

Con los valores obtenidos en el ensayo a compresión de los testigos, se trata de hallar las variaciones normales para luego obtener un dato más general de las características del hormigón. Las variaciones normales de las resistencias a compresión del hormigón se adaptan bien a la curva de distribución normal o curva teórica de Gauss, que ha sido adecuadamente estudiada. La práctica ha demostrado que los valores que de ella se obtienen, aunque teóricamente corresponden a un número muy grande de resultados, también permiten sacar conclusiones suficientemente satisfactorias si el número de valores o datos que se considera es pequeño. El estudio de la distribución queda perfectamente definido conociendo el valor de la resistencia media total de los resultados disponibles y la desviación normal de los mismos. Podrá calcularse entonces la resistencia característica, que definiremos como aquella que es superada por el 95 % de los valores resultantes de los ensayos. Si bien la resistencia a compresión y tracción son requisitos importantes, exigidos en cada caso estructural por sus respectivos pliegos y especificaciones, muchas veces estas condiciones son verificadas en forma favorable. No obstante los problemas suelen presentarse por efecto de otras causas, como ser falta de impermeabilidad u otras, que pueden ser factores de orden químicos o físico-



Equipo portátil con broca diamantada para extraer probetas-testigos, utilizado especialmente para la obtención de muestras en estructuras (opera en distintos ángulos)



Equipo montado sobre trailer con broca diamantada, utilizado para extraer probetas-testigos en pavimentos y bases

químicos.

Para tener una idea correcta de las características generales del hormigón de toda la estructura, sería necesario obtener un número elevado de probetas testigos, lo cual muchas veces es impracticable dadas las características de la obra y los deterioros que esta sufriría.

Para comprobar el grado de uniformidad del hormigón empleado, el LEMIT posee un equipo ultrasónico, el cual determina el intervalo de tiempo en microsegundos, en que una onda ultrasónica va del emisor al receptor. Conociendo la distancia que recorre la onda a través de la masa de hormigón podemos calcular la velocidad de propagación de la misma. Este ensayo es realizado en las probetas testigos de la estructura en las cuales conoceremos también su resistencia mecánica, de tal manera que auscultando la estructura y tomando los recaudos necesarios que esta técnica requiere, podemos en forma muy aproximada comprobar el grado de uniformidad del hormigón empleado y por extrapolación tener una idea de la resistencia en los distintos sectores de la misma. Las ventajas que otorga el uso de este equipo son enormes ya que además se puede detectar oquedades, nidos de pedregullo y fisuras, no apreciables a simple vista.

Sobre las probetas testigos de hormigón, antes de realizarse los ensayos mecánicos correspondientes, se pueden practicar ensayos simples como ser los de absorción de agua (en media hora y en 24 horas) y de densidad del hormigón. Los valores obtenidos, nos dan una idea de las características del mismo que luego serán corroboradas por los resultados de los ensayos mecánicos.

Deberá tenerse precaución al realizar los ensayos de que los mismos reproduzcan el estado de las condiciones de exposición de la estructura, como por ejemplo en caso de testigos de bases de fundación o elementos estructurales que están en contacto con suelos o líquidos, los mismos deberán ser sumergidos en agua durante 24 horas antes de ser ensayados.

En base a los resultados de los ensayos y calculada la resistencia característica, se comprobará si ésta es mayor o igual a la resistencia especificada en el cálculo; en caso de que sea inferior, se procederá a analizar tales resultados,

teniendo en cuenta el tipo de estructura y la función que la misma deberá cumplir. Se realizará entonces un nuevo estudio estructural en el cual se incorpora la resistencia característica real del hormigón y del mismo surgirá la necesidad o no de ejecutar los refuerzos.

Durante la ejecución de los refuerzos deberán tomarse precauciones extremas en lo referente a la calidad de los materiales a utilizar, técnicas a emplear y que además los mismos cumplan adecuadamente su función.

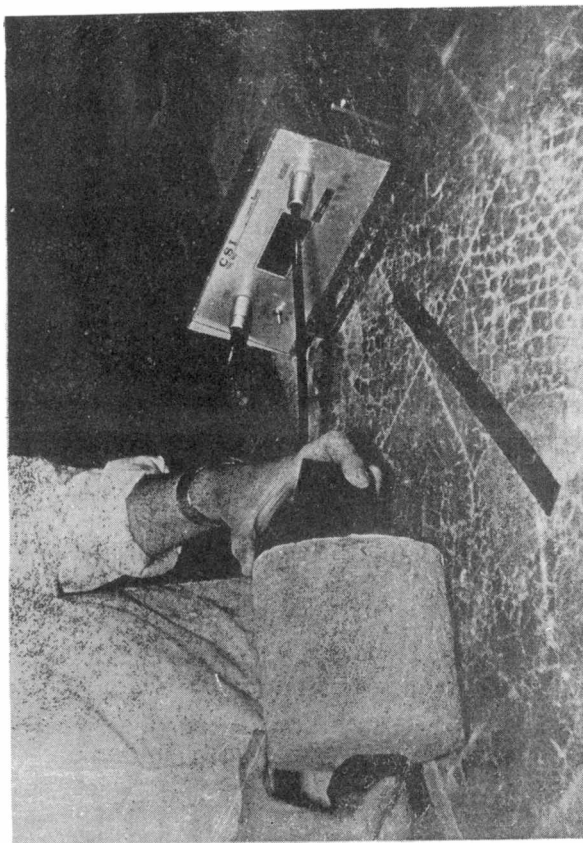
Una vez ejecutados los refuerzos deberán ser verificados, procediéndose luego a la realización de una prueba de carga directa, constatándose de esta manera la eficiencia de los mismos. En aquellas estructuras, en que se ha detectado un proceso de corrosión en las armaduras, se procede a extraer muestras del hormigón, del acero, revoques y contrapisos. Sobre las mismas se realizarán ensayos de absorción, densidad y determinaciones químicas como contenido de cemento, porcentaje de sulfatos, porcentaje de cloruros expresado en ión cloruro y en cloruro de calcio.

Deberá tenerse la precaución de examinar y verificar durante la inspección los espesores de recubrimiento de las armaduras.

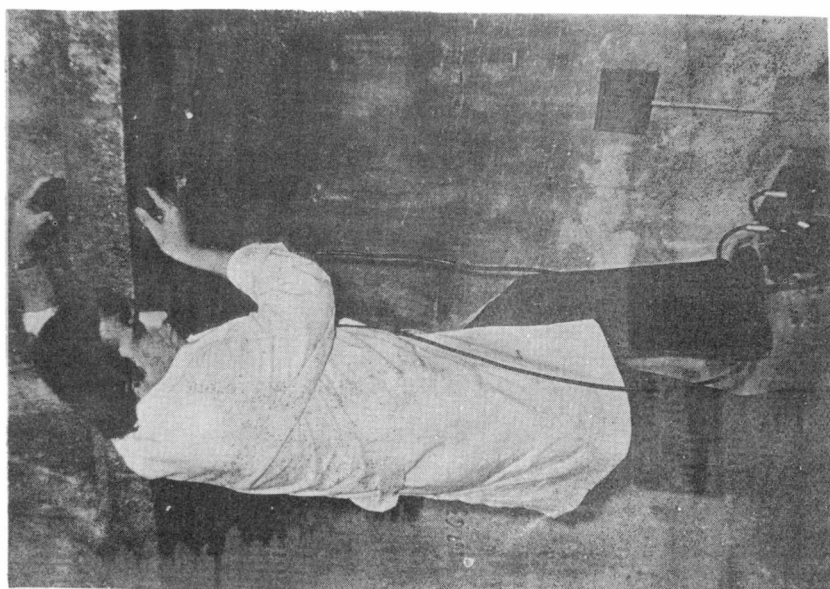
La corrosión puede deberse a un deficiente recubrimiento y verse agravada por una alta porosidad del hormigón, la cual hará fácil el acceso de humedad u otros agentes agresivos.

Una vez iniciada la corrosión de las armaduras, el aumento de volumen por la aparición de los productos característicos de la corrosión, originará tensiones de tracción que el hormigón no está en condiciones de soportar, produciéndose fisuración y desprendimiento en los sectores más afectados.

En numerosos casos, en los cuales el análisis químico realizado sobre las muestras de hormigón indicó la presencia de cloruros, se pudo determinar el porcentaje expresado en cloruro de calcio con respecto al contenido unitario de cemento. Estos porcentajes, en los distintos casos fueron variables desde 1 a 4 %, y en todos ellos se determinó que la causa del proceso de corrosión fue originada por la incorporación de cloruro de calcio como aditivo acelerador de resistencia. Por lo general estos casos se han presentado en estructuras con una



Determinación de la propagación de onda ultrasónica en probeta-testigo de hormigón (equipo ultrasónico)



Auscultación de elementos estructurales con equipo ultrasónico

antigüedad mayor de 10 años.

Actualmente, el conocimiento aportado por la bibliografía sobre problemas de corrosión por dicha causa, como así mismo la experiencia en procesos corrosivos estudiados en el LEMIT, han servido de base en la revisión de normas del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), correspondientes a aditivos para hormigones, para indicar la prohibición del uso de este producto en estructuras de hormigón armado, y aún se encuentra en estudio hasta tanto se reuna más información sobre la utilización en hormigones simples.

La presencia de sulfatos, como posible material de relleno en el hormigón (yeso) o en contacto con el hormigón debido a la existencia de suelos o aguas sulfatadas, origina procesos de corrosión, especialmente si el hormigón no reúne las características adecuadas para soportar ataque por la acción de los sulfatos. Citaremos, además dentro de las causas de orden tecnológico, el uso de materiales de características inadecuadas, como ser materiales reactivos, agregados con exceso de polvo y presencia de arcillas u otros que en contacto con humedad provocan expansiones que originan el desprendimiento de mampostería, levantamiento de pisos, fisuraciones, etc. En todos estos casos, mediante ensayos mecánicos, físicos y químicos, se pudo establecer la causa que originó las deficiencias.

2. Causas de orden constructivo

En algunas estructuras se constató que las fallas presentadas se originaron por descuidos en el control de las etapas constructivas de la obra, como ser: la no verificación de la correcta posición de la armadura de acuerdo con lo indicado en los planos, falta de precaución durante el proceso de hormigonado para que las mismas no sufrieran desplazamientos, incorrectos apuntalamientos de los encofrados (produciendo descensos de elementos estructurales), uso de encofrados defectuosos, empleo de mano de obra deficiente.

En estas estructuras, por lo general, los inconvenientes que se presentan son debido a una suma de causas cuya acción motivó la fisuración de algunos elementos estructu-

les y en otros casos la llevaron al colapso.

Como caso típico de descuido de control citaremos una estructura de catorce pisos en la cual se produjeron en forma sistemática en varias plantas, fisuras que recorrían los sectores laterales de vigas. Realizando el estudio general se encontró con la ayuda de un equipo electromagnético y descubrimiento de algunos sectores, que las armaduras destinadas a absorber los esfuerzos de momentos negativos, se encontraban por debajo del eje neutro. Indagando sobre el proceso constructivo utilizado se corroboró que durante el hormigonado se colocaron tableros apoyados directamente sobre la armadura; los mismos facilitaban el tránsito de obreros y de los carros hormigoneros y el peso de éstos produjo el volcamiento de la armadura, dando como resultado la nueva posición de la misma.

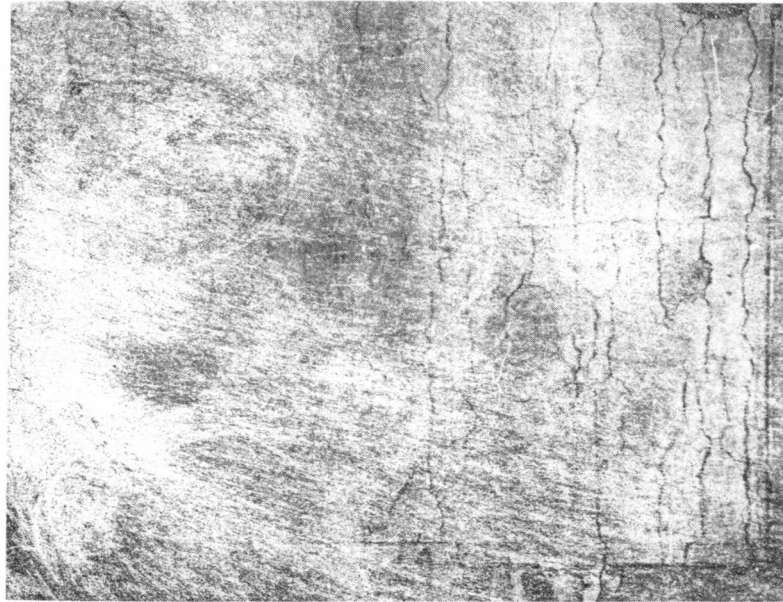
En otras estructuras los inconvenientes se originaron debido a la ausencia total de control, agravándose además por la utilización de personal poco práctico y sin los conocimientos técnicos adecuados. En un gran porcentaje de estructuras que presentaban fallas de orden constructivo, luego del estudio realizado, se dictaminó la demolición de las mismas ya que el grado de peligrosidad no hacía factible proceder a su reparación.

3. Causas de orden estructural

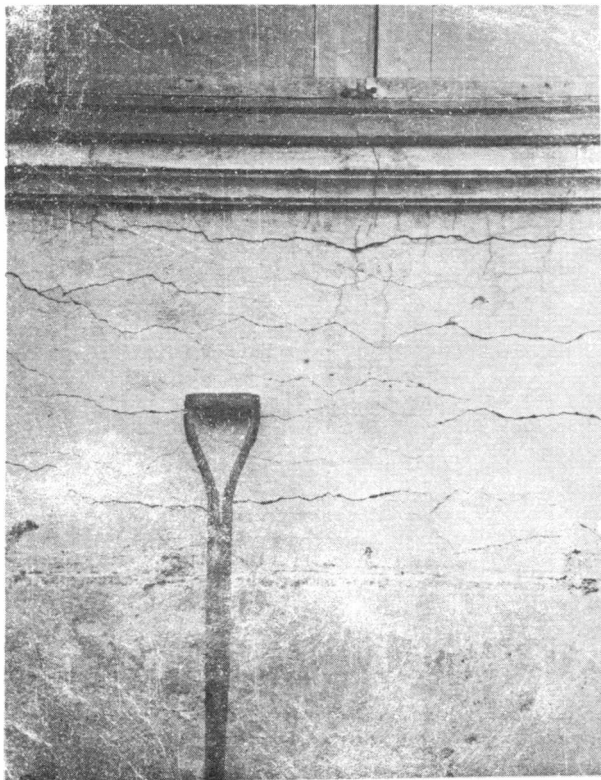
Para iniciar el estudio en el LEMIT de las estructuras afectadas por causas a indagar, es necesario contar con la correspondiente documentación de la obra, con la cual se realiza una verificación parcial de los cálculos, generalmente de las zonas afectadas. En muy pocas oportunidades se han encontrado errores importantes en los mismos. Las deficiencias se han verificado en general en aquellas estructuras que han sido proyectadas y ejecutadas por prácticos de la construcción que han utilizado en forma imperfecta los métodos de cálculo y durante la ejecución han demostrado un desconocimiento parcial de las técnicas constructivas.

4. Causas originadas por sobrecargas en estructuras concebidas originalmente para otro uso.

Han sido varios los casos de estructuras en cuyo proyec-



Fisuración producida por efecto de la expansión del mortero de asiento de mampostería



La presencia de sulfato de calcio (yeso) como elemento integrante en el mortero de asiento de mampostería produjo grandes expansiones

to original y por el uso específico a las que estaban destinadas se calcularon con las sobrecargas normales para vivienda. Pero al emplearse para oficinas públicas, privadas o depósitos, etc., cuyos montos de sobrecarga son mucho mayores, se presentaron entonces los típicos problemas de fisuración originados por exceso de carga. En otros casos se ha llegado al colapso de alguno de los elementos estructurales. En tal sentido se deberán tomar las precauciones necesarias para proceder a habilitar una estructura para un uso distinto para el cual fue originalmente proyectada.

Es importante tener en cuenta la fisuración tipo que presentan las vigas y losas de estructuras sobrecargadas estáticamente. En las mismas se producen las fisuras en la zona central o de máximo momento, las cuales son perfectamente visibles y además se puede medir su magnitud con el auxilio de una lupa milimetrada. En cambio los efectos de cargas dinámicas o vibratorias producen microfisuras que abarcan también las zonas laterales de vigas y losas.

5. Causas por inadecuadas fundaciones

La importancia que ha alcanzado en nuestros días la mecánica de suelos, ha hecho de ella un auxiliar fundamental para que los ingenieros calculistas puedan, en forma segura y de acuerdo a las indicaciones del estudio de suelos, fundar con la tensión admisible correspondiente.

Entre los casos estudiados por efecto de descenso de apoyos, citaremos el ocurrido en una estructura de 10 pisos, en la cual se produjeron fisuras sistemáticas en todas las plantas y en especial en la zona de unión de vigas y columnas correspondiente a la base que sufrió el descenso. A la altura del séptimo piso se observó el corte transversal de la columna afectada. El LEMIT elevó en esa oportunidad una serie de recomendaciones y recaudos a tomar para que, luego de realizarse un estudio de suelos, un grupo de especialistas ejecutara el estudio estructural adecuado del cual surgirían las posibles reparaciones.

6. Problemas de estabilidad estructural causada por siniestros (incendios)

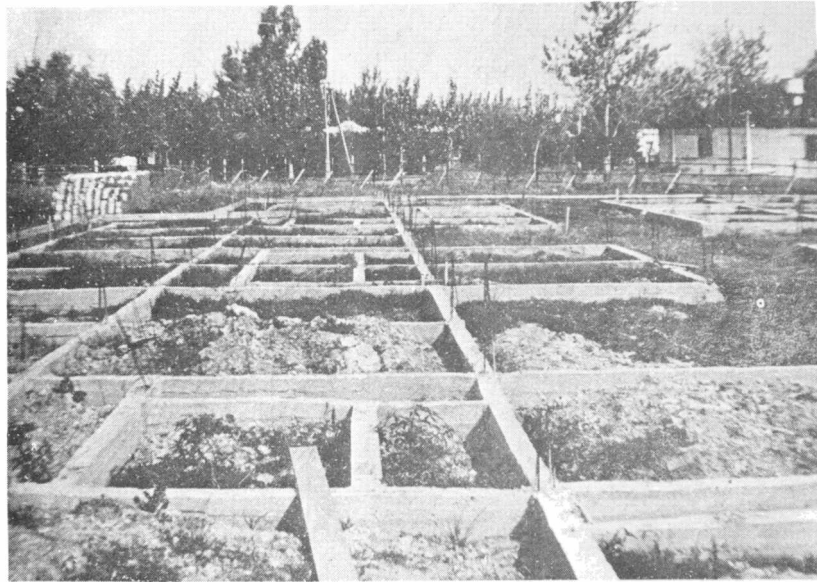
En estructuras de hormigón armado afectadas por altas temperaturas, el LEMIT encara una serie de ensayos para obtener los datos adecuados y, de esta forma, constatar el grado de deterioro que han sufrido. Sobre las muestras de hormigón se efectúan determinaciones químicas y ensayos mecánicos y en las de acero se determinan sus características cuantitativas y la determinación de la estructura y tamaño de grano. La estructura es auscultada en su totalidad mediante el equipo de ondas ultrasónicas para detectar la presencia de fallas o fisuras.

En las estructuras de hormigón armado, que son afectadas por el fuego, se observa la calcinación del hormigón, el cual se desprende con espesores variables, quedando la armadura principal y la de repartición al descubierto. Este hecho nos da una idea inmediata de la temperatura a que estuvo sometida la estructura.

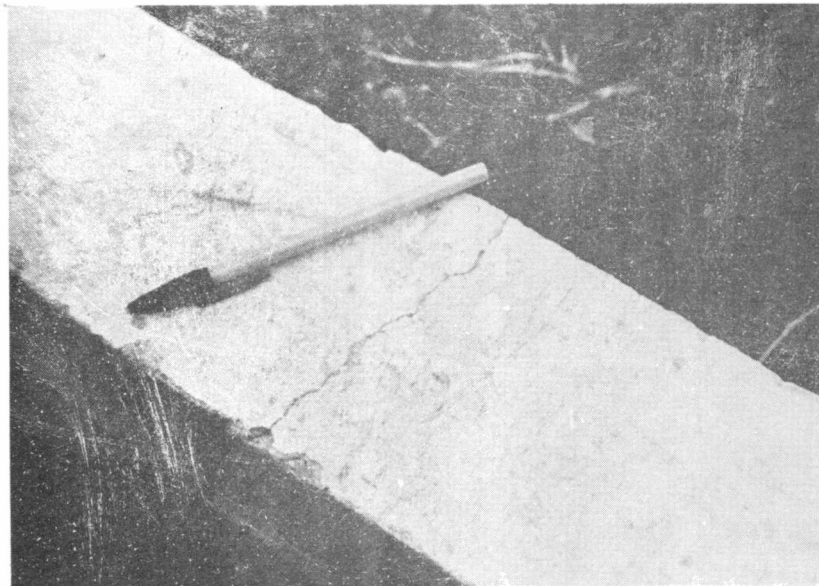
Si el acero utilizado pertenece a los endurecidos mediante algún tratamiento en frío (torsionado, estirado o trefilado) y la temperatura y el tiempo de exposición han sido suficientes, se apreciará, analizando los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, que sus características se han visto apreciablemente afectadas. El examen microscópico de las muestras permitirá comprobar el crecimiento de los granos del metal en las zonas periféricas de las barras y visualizar signos de recristalización en la masa metálica.

Con estos resultados se debe proceder a realizar un estudio integral y verificar la posibilidad técnica y/o económica de proceder a la reparación de la estructura.

Es de importancia que se tomen todos los recaudos necesarios en lo referente al hormigón y aceros, cuando se proyecta y construye una estructura que estará expuesta durante su vida útil a la posibilidad de incendios o altas temperaturas.



Vista general de vigas de fundación que presentaron fisuras por acción del empuje de suelos activos



Típica fisuración producida en el sector central de una viga de fundación por acción de presiones del suelo activo. Se determinó que las características mecánicas del hormigón estaban por debajo de los mínimos especificados

7. Fallas o derrumbes ocasionados por acción de una o más causas ya enunciadas o por efecto de inconvenientes de construcciones o acciones linderas

En las actuaciones que ha tenido el LEMIT en los casos de colapso de elementos estructurales y derrumbes de estructuras, ha procedido, juntamente con la realización de un muestreo representativo del sector, a ejecutar ensayos y procesos indagatorios de las posibles causas. Por lo general en estas estructuras se ha corroborado que los inconvenientes se han producido por una suma de causas. En otros casos han sido responsables los efectos debido a negligencias en procesos constructivos de construcciones linderas.

ENSAYO DE CARGA DIRECTA EN ESTRUCTURAS

Se ha procedido al ensayo de carga directa en estructuras o en sectores de ella, cuando se ha comprobado mediante las probetas testigos extraídas, que el hormigón no reunía los requisitos de resistencia exigidos en los pliegos, cuando la existencia de fisuras hacía dudoso el comportamiento estructural y en el caso de vicios constructivos.

En otras ocasiones se ha procedido a verificar los esfuerzos ejecutados en estructuras afectadas por distintas causas. Además se han ejecutado pruebas de carga directa, de aparejos o grúas, cuando por las condiciones particulares de trabajo se hizo necesario proceder a la ejecución de dicho ensayo. Para la realización de los ensayos de carga directa se siguen los lineamientos generales que especifica el PRAEH, acondicionándolos para cada caso en particular, aplicando una "carga de ensayo" que es igual a 1,25 veces la sobrecarga útil prevista en los cálculos. La carga es ubicada de modo tal que actúe distribuida en la forma que más se aproxime a la prevista en los cálculos y creando los máximos esfuerzos en las secciones más críticas de la estructura que se analiza.

Previamente a la aplicación de las cargas de ensayo, que pueden ser bolsas de arena, cal o cemento o en su defec-

to piletas con agua, se tomarán todas las medidas necesarias para evitar durante la realización del ensayo que se produzcan accidentes. Se colocará, independientemente de los elementos estructurales en estudio, una estructura rígida auxiliar metálica o de madera que pueda transmitir a tierra, si fuera necesario, la totalidad de las cargas, dejando el espacio suficiente como para permitir la libre deformación de los elementos.

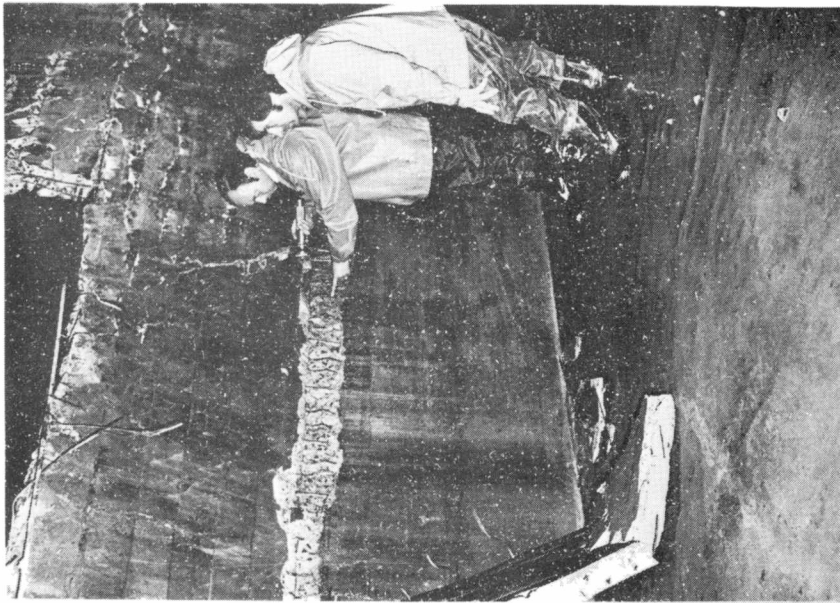
El instrumental que se emplea habitualmente para medir las deformaciones son flexímetros, en los cuales se puede leer directamente el 0,05 mm. Son insensibles a las acciones de la humedad y tienen coeficientes de dilatación por temperatura despreciables.

Los mismos se colocan sobre plataformas estables e indeformables, no expuestas a la acción del viento ni de la intemperie.

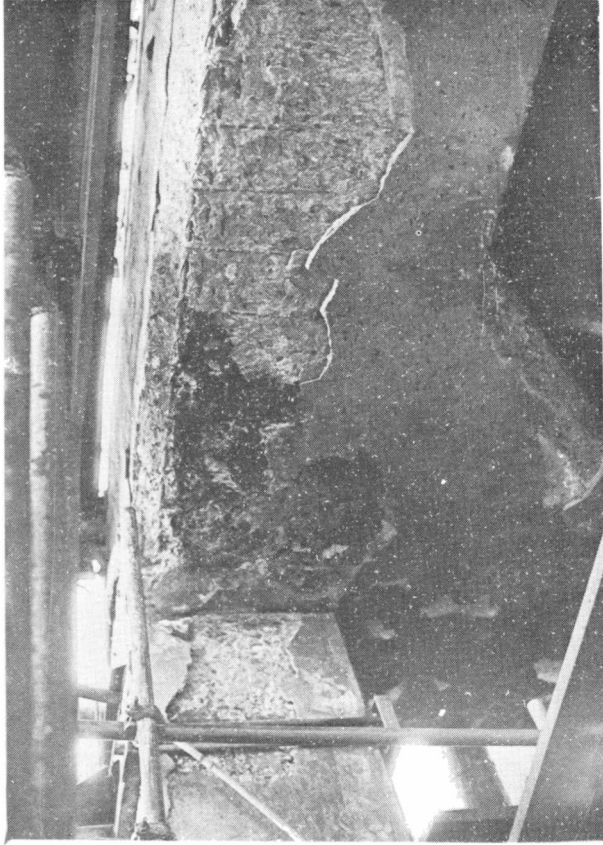
En casos especiales se han utilizado extensómetros eléctricos. La carga de ensayo se aplica dividida en cinco fracciones iguales entre sí. Entre cada aplicación se deja transcurrir un determinado período de tiempo para permitir la estabilización de las deformaciones.

La carga total de ensayo se mantendrá hasta la estabilización total de las deformaciones; este tiempo no podrá ser nunca menor de 24 horas. La descarga se realiza retirando sucesivamente de la estructura las cinco fracciones. La lectura final del instrumental se ejecuta nunca antes de que transcurran 24 horas contadas a partir del momento en que se completó la descarga.

El ensayo es interrumpido de inmediato si se observa la aparición de fisuras de magnitud excesiva o cualquier otra manifestación externa que nos haga pensar en un peligro para la estabilidad de la estructura. La prueba de carga se considera satisfactoria si la deformación máxima registrada y la residual se encuentran comprendidas, según el elemento que se considera, dentro de determinados límites que especifican los reglamentos en vigencia. En caso de que la deformación residual no sea verificada en el ensayo, puede procederse a cargar nuevamente y se considera aceptable si la nueva flecha residual resulta un octavo ($1/8$) de la máxima regis-



Fractura de la pared de un conducto de agua, debido a la fuerte presión de agua. La fisuración existente en la pared, permitió la corrosión de las barras de acero



Incendio en estructura de hormigón armado. Obsérvese el descascaramiento del hormigón y las armaduras principales y secundarias al descubierto

trada.

Si ello no ocurre deberá procederse a ejecutar refuerzos y, con posterioridad, una nueva prueba de carga.

En el caso de que se hubiera procedido a interrumpir el ensayo, la naturaleza y magnitud de las lesiones indicarán si es posible proceder a la ejecución de refuerzos para un posterior ensayo o, si ya es imposible considerar la reparación de la estructura, deberá procederse a su demolición.

ENSAYO DE CARGA DIRECTA EN PILOTES

La prueba de carga directa en pilotes, se ejecuta siguiendo los lineamientos generales especificados en el año 1970 por el LEMIT.

En general se ejecutan cuando los pliegos particulares de condiciones de las obras lo exigen, o en otros casos porque existen dudas sobre las características especiales del suelo.

Se aplica una carga total de $1,5 Q$, siendo Q la carga útil de trabajo del pilote, mediante incrementos de $0,05 Q$; cada incremento se mantiene durante 15 minutos, leyendo las deformaciones después de la aplicación total del incremento de carga y cuidando especialmente de mantenerla constante.

La lectura será el promedio de las registradas en los flexímetros colocados simétricamente respecto al eje del pilote. Los mismos permiten leer directamente el $0,05 \text{ mm}$.

Al llegar al 25, 50, 75, 100, 125 y 150 de Q la carga se mantendrá hasta la estabilización, conforme al siguiente criterio: se mide el asentamiento a 1, 2, 4, 8, 15, 30 y 60 minutos y luego a cada hora. Se representa la curva $S - \log t$, siendo S el asentamiento en milímetros y t el tiempo en minutos. Se considera que el asentamiento se ha estabilizado cuando la curva se hace recta.

Cuando se ha llegado a la carga $1,5 Q$, se procede a la descarga mediante tres etapas iguales: Q , $0,5 Q$ y $0,00$. Las dos primeras serán mantenidas durante no menos de una hora y la carga 0 hasta la estabilización, puesto que ella indica la deformación permanente del suelo bajo la carga total de ensayo.

Se considera que el ensayo es satisfactorio cuando la deformación del suelo (elástica más plástica) no es mayor de 20 mm para $1,5 Q$ y de 6 mm para la carga 0 final.

CONCLUSIONES

Los estudios de estabilidad estructural requieren del concurso de otras especialidades, las cuales deberán coordinarse adecuadamente. Si bien los profesionales especializados serán los responsables de organizar y evaluar los estudios, la formación de equipos de trabajo es fundamental; sólo así podrán obtenerse las conclusiones que más se acerquen a la realidad. El apoyo de técnicas modernas como ser el uso de equipo ultrasónico, electromagnético, de rayos X, análisis térmico diferencial y otros, que requieren de personal capacitado, aporta datos valiosos para la resolución del problema encarado.

Del resumen de casos estudiados, hacemos notar que las causas de mayor incidencia son las de orden tecnológico y en especial el de la falta de control y de aplicación de técnicas adecuadas en el proceso de hormigonado (calidad de materiales, elaboración, transporte, colocación, compactación y curado de los hormigones). Considerando el porcentaje de problemas estructurales debidos a esta causa con respecto a las demás, indica claramente que las precauciones y controles deberán ser extremados.

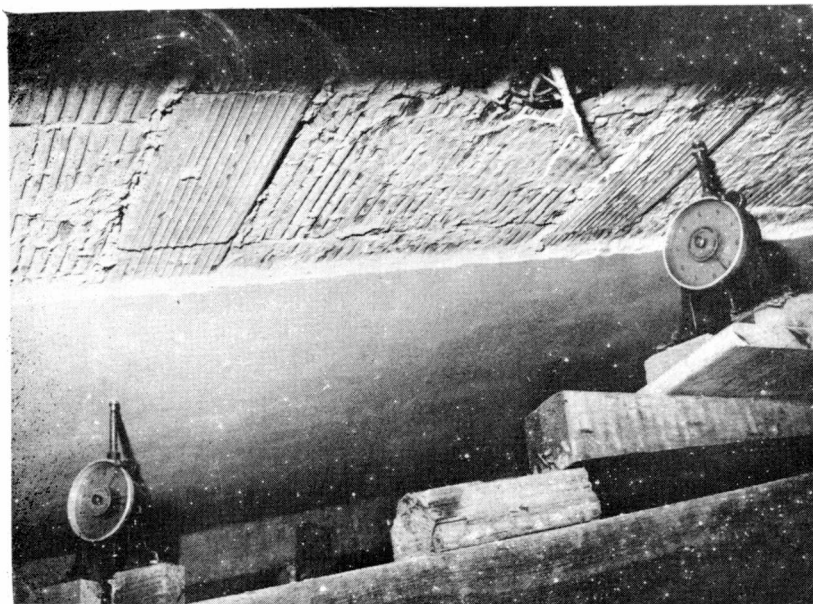
Los factores de orden constructivo, ya sea por descuido o ausencia del control en obra, es la causa que toma el segundo lugar en importancia.



Proceso de corrosión de armadura. Nótese el levantamiento producido en el hormigón por efecto del aumento de sección en las barras de acero



Fisuración producida en soportes de hormigón armado. Se determinó que las características del hormigón (especialmente el alto grado de porosidad) no eran aptas para soportar efectos de congelación



Registro de deformaciones en losas (ensayo de carga directa)



Ensayos de carga directa en pilotes

RECOMENDACIONES

Del análisis de las conclusiones surgen algunas recomendaciones a efectuar. Es necesario que antes y durante la ejecución de la estructura se realice una verificación de la calidad de los materiales a emplear; los mismos deberán cumplir en un todo las normas y reglamentos vigentes. La tecnología pone al alcance de los profesionales y de las empresas constructoras una serie de conocimientos, que no siempre son bien utilizados. Consideramos que ello ocurre por desconocimiento de los mismos y en otros casos por negligencia. En obras de pequeño o mediano volumen casi siempre se han encontrado problemas originados por un desconocimiento total o parcial de las normas vigentes con respecto a las calidades de los materiales y a las técnicas constructivas. A ellas se suma el utilizar una mano de obra no especializada y un control de calidad deficiente. En obras de gran volumen o de importancia especial, por ser casi siempre sus ejecutoras empresas de capacidad técnica y experiencia aceptable, las etapas de construcción se desarrollan en un todo de acuerdo con las especificaciones contenidas en pliegos y reglamentos.

En estas obras deberán extremarse los estudios tecnológicos y especialmente los de carácter preventivo. Los esfuerzos y la incidencia económica por la acción de este rubro, serán insignificantes frente a la seguridad y beneficios técnico-económicos que la misma reportará. Cuando en una obra se le da el lugar que la tecnología requiere por su importancia, los beneficios obtenidos son aún mayores y, contemplando la inversión y vida útil de dicha obra, los costos son menores.

Se hace por lo tanto necesario corregir los factores que alteran el proceso y no proceder luego a lamentarnos por las fallas que por negligencia o desconocimiento se originan en la estructura, que casi siempre traen aparejados innumerables inconvenientes para su reparación, con un elevado costo adicional.

Es cierto que casi siempre para la ejecución del hormigón armado se emplea personal obrero de muy bajo nivel técnico, por lo cual se hace necesario efectuar por parte de los

profesionales a cuyo cargo está la ejecución de la obra, un control estricto del proceso total de hormigonado, o sea controlar dimensiones y apuntalamientos de encofrados, colocación, compactación del hormigón, como así también el posterior proceso de curado del mismo. La ejecución de las probetas de hormigón para el control de la calidad, deberá ser realizada por personal especializado y tomando todos los recaudos posibles para que las mismas nos den, al ser ensayadas, las características reales del hormigón utilizado.

Considerando el adelanto logrado en lo referente a conocimientos tecnológicos y nuevas técnicas constructivas, se hace necesario proceder a la revisión y actualización de los pliegos de especificaciones vigentes. Al LEMIT se le ha encomendado en diversas ocasiones la ejecución de pliegos y especificaciones para obras públicas de características especiales, en los cuales se han volcado los conocimientos y experiencias desarrolladas. Además ha realizado cursillos de capacitación para personal de inspección de obras públicas, con resultados ampliamente satisfactorios. Es de suma importancia que esta idea se afiance y se realicen cursos sistemáticos de capacitación y actualización para el personal de inspección, supervisores y capataces. Es necesario recalcar que cualquier iniciativa que en este sentido se tome, resultará en definitiva un beneficio para las empresas constructoras y los usuarios finales de la obra.

La experiencia de más de cien casos con problemas estructurales ha demostrado que los errores cometidos por lo general no son debidos a insuficiencias de proyecto y cálculo, sino a la incorrecta utilización de los materiales y descuidos de orden constructivo.

BIBLIOGRAFIA

1. Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, PRAEH, 1964.
2. Fava, A. S. C. - Procedimientos y medios disponibles para

incrementar la productividad en el campo de la tecnología del hormigón. LEMIT, Serie II, nº 129, 1968.

3. Fava, A. S. C. - Destrucción de las estructuras de hormigón por la acción agresiva de los sulfatos contenidos en aguas y suelos en contacto con las estructuras. Revista La Ingeniería, nº 1029, 1973.
4. Taylor, H. F. W. - La química de los cementos. Ediciones URMO, Bilbao, 1967.
5. Hummel, A. - Prontuario del hormigón. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona, 1966.
6. Venuat, M. y Papadakis, M. - Fabricación y utilización de ligantes hidráulicos. París, 1964.
7. Manuele, R. J. y Rozados, E. - Corrosión del hierro en edificios. LEMIT, Serie II, nº 111, 1967.
8. Manuele, R. J. y Rozados E. - Corrosión del hierro en estructuras de hormigón. Revista de Ingeniería, nº 62, julio-setiembre 1968.

**ESTUDIO DE LABORATORIO Y EN TRAMO EXPERIMENTAL
DE ASFALTOS PARA PAVIMENTACION OBTENIDOS DE
PETROLEOS NACIONALES**

Dr. Jorge O. Agnusdei **

SERIE II, Nº 332

- * Trabajo presentado a la XIX Reunión del Asfalto; publicado en la Revista Carreteras, 21 (77), enero/marzo 1976.
- ** Ex-Jefe de la División Derivados del Petróleo del LEMIT.

INTRODUCCION

En el año 1970 la Comisión de Refinación del Instituto Argentino del Petróleo decidió encarar un estudio sobre asfaltos para pavimentación obtenidos de petróleos nacionales con el objeto de lograr un aprovechamiento integral de estos crudos ya sea empleándolos solos o mezclados entre sí, de manera de obtener asfaltos que cumplan con las exigencias de calidad requeridas.

Como objetivo final se preveía la revisión de las actuales especificaciones de asfaltos para pavimentación.

Inicialmente se decidió estudiar mediante ensayos de laboratorio, el asfalto proveniente del crudo Medanita. Este yacimiento está situado en la provincia de Río Negro, lindando con las de La Pampa y Neuquén y forma parte de la denominada Cuenca Neuquina. Los otros dos asfaltos ensayados derivan del crudo Escalante, proveniente de la provincia de Chubut y del crudo Cañadón Seco, yacimiento éste ubicado al norte de la provincia de Santa Cruz. Estos petróleos pertenecen a la Cuenca del Golfo San Jorge (figura 1).

Es de destacar que los petróleos de los yacimientos citados anteriormente son de base mixta.

En total se estudiaron 8 muestras de asfalto, procesadas por las destilerías locales y mezclas preparadas en laboratorio. Las técnicas de ensayo empleadas son las de la norma IRAM 6604, siendo complementadas por ensayos reológicos y de consistencia a distintas temperaturas.

Como consecuencia de los resultados obtenidos y en razón de los nuevos conceptos en lo referente a especificaciones y técnicas de preparación y colocación de las mezclas asfálticas, se decide, a fin de arribar a un juicio definitivo sobre las bondades de estos asfaltos, realizar una prueba en escala real mediante la ejecución de un tramo experimental.

Esta parte del trabajo se realiza con la cooperación de la Comisión Permanente del Asfalto, de la Dirección Nacional

de Vialidad, del LEMIT y de las empresas productoras de asfalto.

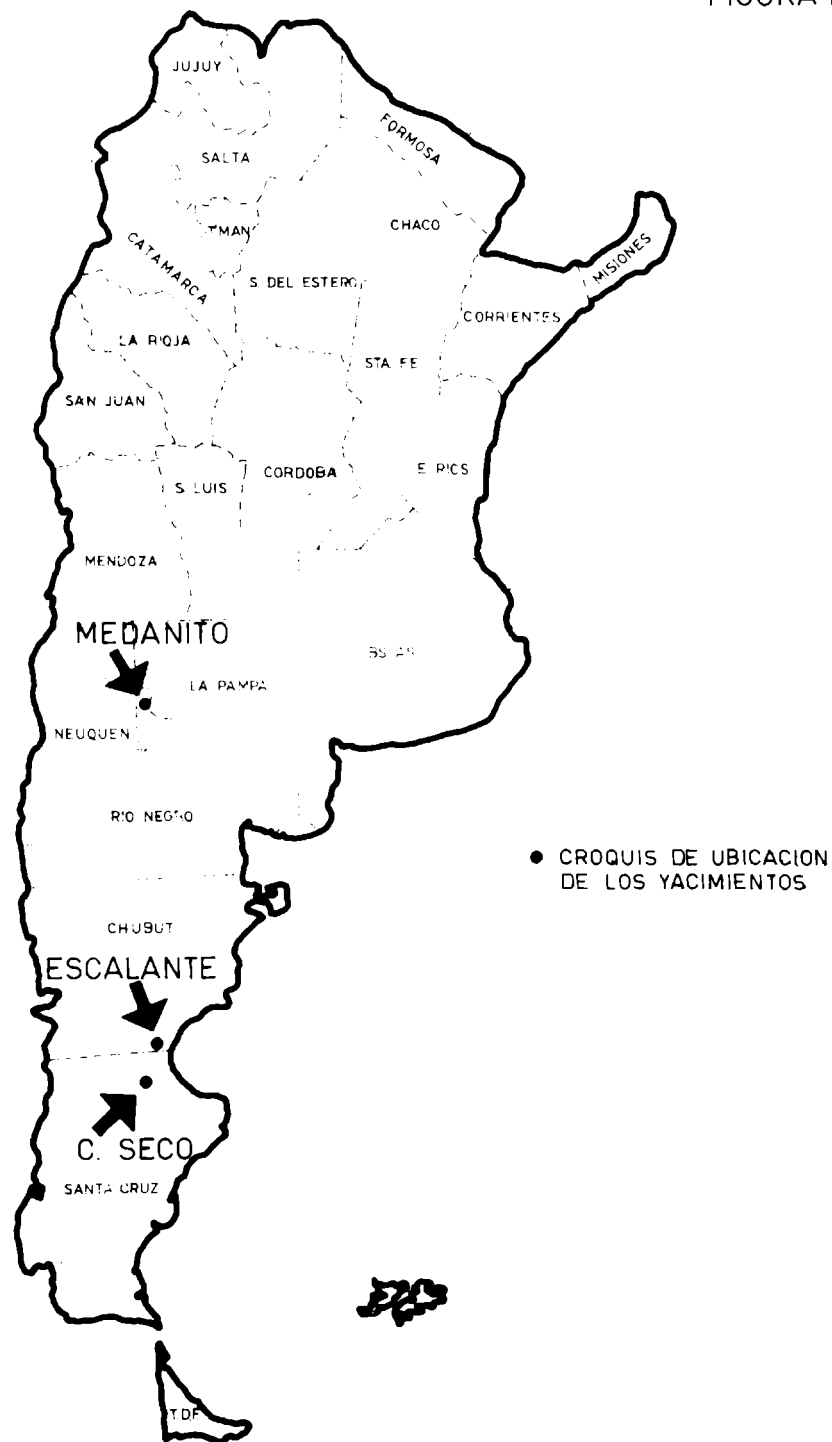
La finalidad del presente trabajo es la de informar todo lo realizado desde el punto de vista de ensayos de laboratorio y lo referente a la construcción del tramo experimental. Hasta el momento, no se pueden emitir conclusiones definitivas, por el escaso tiempo transcurrido desde la finalización de la obra hasta la redacción del presente informe.

ANTECEDENTES DE ESTUDIOS REALIZADOS CON ASFALTOS NACIONALES

En nuestro país son numerosos los trabajos de laboratorio que se han realizado con asfaltos argentinos en lo referente a composición (1, 2, 3); comportamiento reológico (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11); propiedades fisicomecánicas (12) y especificación (13, 14). Algunos de estos trabajos contribuyeron a aportar ideas a la industria petrolera local para solucionar problemas en la elaboración de asfaltos para uso vial.

En lo que respecta al estudio del comportamiento de asfaltos en servicio, no hay antecedentes en nuestro país de trabajos sistemáticos efectuados con productos nacionales.

En un trabajo realizado por el autor (15) se ha podido estudiar el comportamiento de un pavimento urbano luego de 27 años de funcionamiento. Este pavimento fue construido con un asfalto de características similares a los obtenidos de petróleos provenientes de la zona de Comodoro Rivadavia y no cumplía con las exigencias de la norma IRAM 6604. El pavimento a que hacemos referencia se comportó satisfactoriamente durante largo tiempo, si bien hay que tener en cuenta en este caso, el tipo de mezcla fina empleada y el buen comportamiento de las capas de base. Sin embargo, pavimentos de concreto asfáltico en caliente, construidos en la misma época del pavimento urbano antes citado y con asfaltos de ca-



T A B L A I

CARACTERISTICAS DE LOS ASFALTOS ARGENTINOS UTILIZADOS EN EL
TRAMO EXPERIMENTAL DEL GRAND MANIL, BELGICA, 1958 (Ref. 17 y 19).

	Asfasol A50	Challacó A80
Contenido de asfaltenos (%)	13,3	11,0
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	53	68
Peso específico a 25/25°C	1,012	1,017
Punto de ablandamiento (A y E) (°C)	52,3	48,6
Viscosidad a 25°C (Poisés)	5,18	2,65

racterísticas similares, se comportaron en forma deficiente, deteriorándose al poco tiempo de construidos (16).

Resulta interesante mencionar una experiencia llevada a cabo por el Centre des Recherches Routieres de Bélgica, el que en el año 1958 construyó una serie de tramos experimentales con asfaltos de distintas procedencias. Entre los asfaltos estudiados había dos provenientes de nuestro país, identificados como "Asfasol A50 y Challacó A80". La experiencia a que nos referimos fue realizada en la ruta N° 21 entre Gemblour y Tongrines, sobre el territorio del Grand-Manil y de Corroy-le-Chateau (17, 18, 19, 20), comprendiendo 34 secciones de ensayo que cubrían una superficie de 1 260 m de largo por 7 m de ancho, y un espesor de 4 cm. En total se estudiaron 18 asfaltos, de los cuales 8 se agrupaban dentro del rango de penetración 40/60 y los 10 restantes como 70/100. Algunas de las características de los asfaltos argentinos se presentan en la tabla I.

La experiencia del Grand-Manil tenía por objetivo poner en evidencia el comportamiento de distintos betunes en un concreto asfáltico tipo. Los resultados obtenidos se circunscriben fundamentalmente a medidas de rugosidad de la superficie, mediante determinaciones periódicas del coeficiente de frotamiento transversal. Después de 9 años de prueba, las secciones construidas con los asfaltos argentinos no presentan alteraciones desde el punto de vista de su aspecto superficial y poseían coeficientes de frotamiento transversal elevados.

Los dos asfaltos fueron encuadrados dentro del grupo que mejor comportamiento presentaron a lo largo de la experiencia.

ESTUDIO DE LOS ASFALTOS MEDIANTE
ENSAYOS DE LABORATORIO

En total se estudiaron 8 muestras de asfalto de las cuales 7 se encuadran dentro del rango de penetración 70-100 y la restante en el de 50-60. Con excepción de dos muestras, que fueron preparadas en laboratorio, el resto fue suministrado directamente por productores locales. Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

- A: Asfalto Medanito (70-100). Productor Shell.
- B: Asfalto Medanito (70-100). Productor YPF.
- C: Asfalto Medanito (50-60). Productor YPF.
- D: Asfalto Escalante (70-100). Productor ESSO.
- E: Asfalto Cañadón Seco (70-100). Productor ESSO.
- F: Mezcla de asfaltos de Cañadón Seco y Escalante (70-100). Productor ESSO.
- G: Mezcla de 70 % de asfalto de Cañadón Seco y 30 % de asfalto Medanito B (70-100). Preparada en laboratorio.
- H: Mezcla de 50 % de asfalto Escalante y 50 % de asfalto Medanito B (70-100). Preparada en laboratorio.

En la tabla II se presentan los valores obtenidos cuando los asfaltos son ensayados de acuerdo con la norma IRAM 6604. Tal como se dijo anteriormente, los asfaltos A y B han sido procesados a partir del mismo petróleo pero por diferentes elaboradores. Ambos cumplen en la totalidad con lo especificado por la norma IRAM 6604 para el tipo IV (penetración 70-100). Para este caso particular las diferencias que pueden existir en las distintas plantas de elaboración no se ponen de manifiesto en las propiedades de los productos elaborados.

El asfalto C, también procesado con el mismo crudo que los anteriores, cumple con lo especificado por la norma IRAM,

T A B L A II
CARACTERISTICAS DE LOS ASFALTOS DE ACUERDO A LA NORMA IRAM 6604

E N S A Y O	A S F A L T O							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	99	89	57	88	81	83	83	90
Peso específico relativo a 25/25°C	0,998	0,996	1,003	0,981	0,984	0,982	0,991	0,991
Ductilidad a 25°C (5 cm/min) (cm)	+ 150	+ 150	+ 150	42	59	54	110	103
Punto de inflamación (Cleveland vaso abierto) (°C)	330	316	340	328	354	354	340	325
Ensayo en película delgada:								
Pérdida por calentamiento a 163°C, durante 5 hs. (%)	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,20
Penetración retenida a 25°C (100 g-5 seg) (%) del original)	71	73	80	73	77	75	75	68
Ductilidad del residuo a 25°C (5 cm/min) (cm)	+ 150	+ 150	+ 150	12	35	21	95	89
Solubilidad en sulfuro de carbono (%)	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,8
Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)	99,8	99,9	99,9	99,9	99,8	99,9	99,8	99,8
Indice de penetración (Pfeiffer)	— 05	— 0,4	0,0	+ 1,2	+ 0,6	+ 0,9	— 0,3	— 0,1
Ensayo de Oliensis	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.	Neg.

T A B L A III

ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

E N S A Y O	A S F A L T O							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Contenido de asfaltenos (ASTM D2008-65 T) (%)	17,9	18,6	20,4	28,7	24,9	25,5	23,0	24,5
Viscosidad a 135°C (ASTM D-2170) (cS)	372	410	547	1164	806	855	637	560
Viscosidad a 60°C y vacío equivalente a 30 cm de Hg (ASTM D-2171) (Poise)	1360	1710	3215	9180	4832	5530	3192	2308
Viscosidad a 25°C y 5×10^{-2} seg ⁻¹ (Megapoise)	1,00	1,16	4,46	4,78	2,40	2,80	2,30	1,55
Indice de flujo complejo	0,86	0,86	0,70	0,29	0,60	0,45	0,79	0,73
Sobre el residuo del ensayo de pérdida por calentamiento a 163°C:								
Viscosidad a 60°C y vacío equivalente a 30 cm de Hg (ASTM D-2171) (Poise)	2000	2480	5614	41960	10860	22460	6319	5033
Viscosidad a 25°C y 5×10^{-2} seg ⁻¹ (Megapoise) ..	—	—	9,20	7,18	3,39	4,60	4,80	4,40
Indice de flujo complejo	—	—	0,61	0,16	0,46	0,36	0,66	0,69

pero en este caso para el tipo II (penetración 50-60).

En cuanto a los asfaltos D, E y F, no cumplen con las especificaciones vigentes por sus bajos valores de peso específico y ductilidad, ya sea en el asfalto original como en el residuo del ensayo de calentamiento en película delgada. Además el índice de penetración Pfeiffer es superior al especificado.

Con el objeto de mejorar las características de los asfaltos D y E, se preparan en laboratorio mezclas de los mismos con asfalto B. Esto dio origen a los asfaltos G y H. Estos asfaltos si bien no llegan a cumplir totalmente con la especificación IRAM, sus valores se aproximan bastante a los límites mínimos requeridos por la misma.

En la tabla III se presenta una serie de ensayos complementarios no contemplados por la especificación IRAM pero que contribuye a juzgar de una forma más racional a los asfaltos en estudio.

Las nuevas tendencias imperantes para clasificar los betunes asfálticos, se basan principalmente en el ensayo de viscosidad absoluta 60°C (14), en razón del hecho ya conocido y comprobado que el ensayo de penetración a 25°C no mide la consistencia real de los asfaltos. Es así que en los EE. UU. gran número de sus Estados e inclusive la AASHO han adoptado el ensayo de viscosidad para clasificar a sus asfaltos. Estas especificaciones también incluyen la determinación de viscosidad a 135°C. La importancia de conocer el valor de la viscosidad a esa temperatura, radica en el hecho de que la misma está muy próxima a la de mezclado en usina. La viscosidad de los asfaltos a esa temperatura deberá ser tal que permita un mezclado rápido y eficiente.

Dentro del grupo de asfaltos 70-100, los identificados como A y B son los que presentan valores más bajos de viscosidad; por el contrario los asfaltos D, E y F dan los valores más altos, ocupando las mezclas un lugar intermedio. Los valores elevados de consistencia están en estrecha relación con los también elevados valores del índice de penetración de Pfeiffer y contenido de asfaltenos.

Un ensayo que se considera de suma importancia es el

comportamiento reológico de los asfaltos. Esta determinación se efectuó a 25°C empleando el microviscosímetro de placas deslizantes. Mediante este dispositivo es posible obtener las curvas de flujo de los asfaltos, que resultan de graficar los esfuerzos de corte aplicados en función de las velocidades de fluir obtenidas. La pendiente de la recta que se logra para cada caso, se denomina índice de flujo complejo de Traxler y el mismo permite conocer el apartamiento del fluir simple o newtoniano de los asfaltos. Es así que una pendiente igual a 1 corresponde a un fluir newtoniano; mientras que pendientes menores a 1 indican comportamiento complejo o no newtoniano. Valores bajos del índice de flujo complejo son indicadores de alto grado de elasticidad, tixotropía y gran tendencia al envejecimiento, entendiéndose por esto último aumento de la consistencia con el correr del tiempo.

Por lo general los asfaltos para pavimentación de comportamiento normal presentan valores del índice de flujo complejo entre 0,85 y 1,00. En razón del fluir no newtoniano de los asfaltos aquí estudiados, su consistencia depende tanto del esfuerzo de corte aplicado como de la velocidad de fluir; por lo tanto es usual referir los valores de consistencia a 25°C a una determinada velocidad de fluir, que en este caso es $5 \times 10^{-2} \text{ seg}^{-1}$.

Finalmente en lo referente al contenido de asfaltenos, los valores obtenidos pueden considerarse normales para el tipo de solvente empleado en el ensayo (n-pentano). En el caso particular de estos asfaltos se cumple que, al aumentar el contenido de asfaltenos, se produce un incremento en la complejidad de los asfaltos que viene dado por una disminución del índice de flujo complejo.

Desde el punto de vista reológico, los únicos asfaltos que serían aptos para ser empleados en pavimentación son los asfaltos A y B. Por el contrario los asfaltos D, E y F, por su naturaleza compleja y la elevada consistencia que poseen a cualquiera de las temperaturas consideradas, 25°, 60° y 135°C tanto en su forma original como envejecidos no serían aptos. Las características que poseen ponen en evidencia efectos elásticos y tixotrópicos, que hacen suponer que el período de vida útil de un pavimento construido con este tipo de asfalto pueda llegar a ser menor del que se obtendría con asfaltos normales.

En lo referente a las mezclas, el asfalto B de Medani-
to, mejora notoriamente las características reológicas de
los asfaltos D y E. En efecto, las propiedades que presentan
los asfaltos G y H se acercan lo suficiente a la de aquellos
considerados aptos, como para intentar su utilización sin co-
rrer riesgos exagerados.

Como es sabido, la alteración que sufren los asfaltos
durante el mezclado en la planta asfáltica, es reproducida
con bastante aproximación en laboratorio, por el ensayo de
pérdida por calentamiento en película delgada. Es así que un
elevado aumento de la consistencia de los asfaltos durante el
mezclado, ha de redundar en una menor durabilidad de la es-
tructura asfáltica en que intervenga. Algunas especificacio-
nes americanas fijan un máximo de consistencia, luego del en-
sayo de pérdida en película, igual a cuatro veces su valor
original. De todos los asfaltos estudiados el D es el que mayor
alteración ha sufrido, como lo demuestra el elevado valor de
la viscosidad del residuo a 60°C.

De lo expuesto se deduce a través de los ensayos reali-
zados de acuerdo a la norma IRAM 6604 y las determinaciones
reológicas, que el único asfalto que sería apto para ser em-
pleado en pavimentación es el Medanito, mientras que los de Es-
calante y Cañadón Seco quedarían excluidos. Sin embargo, con
los nuevos criterios que imperan en cuanto a especificacio-
nes se refiere y teniendo en cuenta el comportamiento logrado
con un asfalto de características similares a los de Escalan-
te y Cañadón Seco (15), la prueba definitiva para comprobar
su real comportamiento sería la que se obtiene mediante la
ejecución de tramos experimentales.

ESTUDIO DE LOS ASFALTOS EN UN TRAMO EXPERIMENTAL

Esta etapa del estudio fue analizada y discutida por un
grupo de trabajo formado por miembros de la comisión de re-
finación del Instituto Argentino del Petróleo y de la Comi-
sión Permanente del Asfalto, actuando el autor como coordina-

dor del grupo.

En un principio se pensó en construir una serie de secciones experimentales de concreto asfáltico en caliente, diseñadas de manera tal de independizar la variable asfalto del resto de variables que pueden incidir en el comportamiento de la carpeta asfáltica y de lograr en un tiempo relativamente corto, poner en evidencia defectos o virtudes de los asfaltos en estudio.

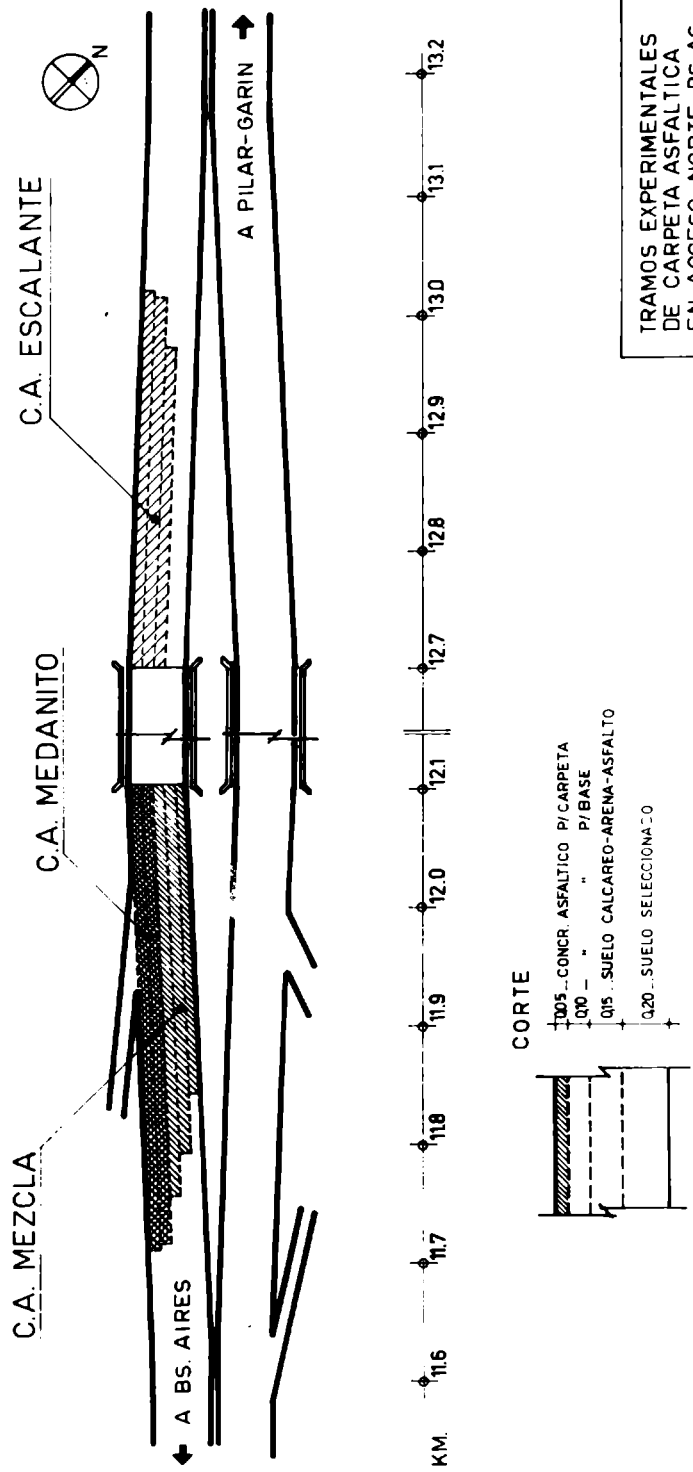
Al no disponer en ese momento de los medios económicos necesarios para llevar a cabo la construcción de un número mínimo de secciones experimentales en las condiciones antes mencionadas, se decidió, en una primera etapa y a los fines de ir obteniendo experiencia en este tipo de pruebas, aprovechar un camino en construcción a la altura de la capa de rodamiento y construir una serie de tramos de la misma con los asfaltos en cuestión. Se es conciente de los riesgos que se corren para la interpretación final de los resultados que se obtengan, pero seguramente los mismos han de contribuir a aumentar el conocimiento de las propiedades de estos asfaltos.

El rasgo principal que caracterizó la construcción de este tramo experimental fue la de trabajar, tanto en la preparación como compactación de las distintas mezclas, con las temperaturas de equiviscosidad de los asfaltos. De esta manera se pretende colocar inicialmente a los asfaltos en igualdad de condiciones en las respectivas mezclas en que intervienen.

UBICACION DEL TRAMO EXPERIMENTAL

El tramo experimental se construyó en la Obra de la Dirección Nacional de Vialidad ubicada en el Acceso Norte a la Capital Federal, en su intersección con las vías del FCNGBM y Río Reconquista. La zona elegida para la colocación de la carpeta asfáltica fue la calzada principal Sur (de ingreso a Buenos Aires) entre las progresivas 11700 a 12100 (Sector II)

FIGURA 2



TRAMOS EXPERIMENTALES
DE CARPETA ASFALTICA
EN ACCESO NORTE BS. AS.

y 12710 a 13070 (Sector III). En la figura 2 se muestra un detalle con la ubicación del tramo experimental.

ASFALTOS ESTUDIADOS

Del total de asfaltos estudiados en la primera parte del trabajo, se decidió someter a prueba al asfalto de Escalante, en razón del considerable volumen de que se dispone; al de Medanito por ser el único que cumple con todo lo especificado y además haber demostrado hasta el presente un buen comportamiento en servicio y un tercer asfalto constituido por una mezcla en partes iguales de los dos asfaltos antes citados. El objeto de realizar esta mezcla es mejorar las características del asfalto Escalante.

En la tabla IV se exponen las características de los asfaltos empleados en el tramo experimental cuando son ensayados de acuerdo con la norma IRAM 6604 y en la tabla V el resultado de los ensayos complementarios de consistencia y comportamiento reológico.

Tal como puede apreciarse del análisis de estas tablas, el asfalto de Medanito cumple con el total de los ensayos especificados por la norma IRAM y sus características son similares a las del asfalto estudiado en la primera parte del trabajo. En cambio, el asfalto Escalante presenta mayor consistencia que el anteriormente ensayado e inclusive su penetración está por debajo del límite especificado para el tipo IV (penetración 70-100), junto con su ductilidad y peso específico.

En cuanto a las características del asfalto mezcla constituido por partes iguales de los asfaltos antes mencionados, puede decirse que, si bien el mismo no cumple con la especificación vigente en su totalidad, su apartamiento no es muy grande y podría ser considerado como un asfalto normal.

Tal como fue dicho anteriormente, para aplicar el criterio de temperatura de equiviscosidad en la preparación y

T A B L A IV

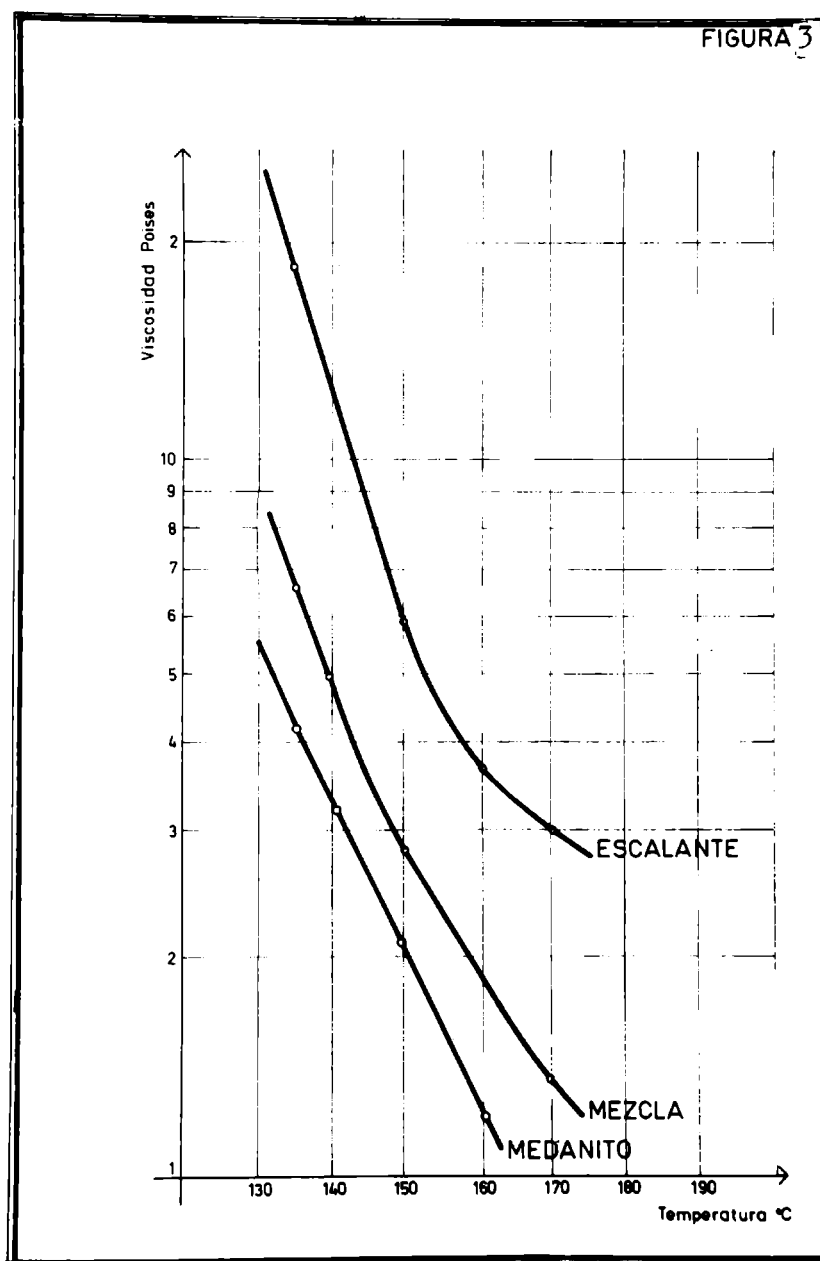
**CARACTERISTICAS DE LOS ASFALTOS EMPLEADOS EN EL TRAMO EXPERIMENTAL DE ACUERDO A LA
NORMA IRAM 6604**

E N S A Y O	A S F A L T O		
	Medanito	Escalante	Mezcla
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	75	60	70
Peso específico relativo a 25/25°C	1,002	0,991	0,993
Ductilidad a 25°C (5 cm/min) (cm)	+ 150	22	+ 150
Punto de inflamación (Cleveland vaso abierto) (°C)	340	346	340
Ensayo de película delgada:			
Pérdida por calentamiento a 163°C, durante 5 horas (%)	0,00	0,00	0,00
Penetración retenida a 25°C (100 g-5 seg) (% del original)	69	76	71
Ductilidad del residuo a 25°C (5 cm/min) (cm)	+ 150	7	91
Solubilidad en sulfuro de carbono (%)	99,9	99,8	99,8
Solubilidad en tetracloruro de carbono (%)	99,9	99,9	99,8
Índice de penetración (Pfeiffer)	- 1,0	+ 1,3	+ 0,1
Ensayo de Oliensis	Negativo	Negativo	Negativo

T A B L A V

**ENSAYOS COMPLEMENTARIOS SOBRE LOS ASFALTOS EMPLEADOS EN EL TRAMO EXPERIMENTAL
A S F A L T O**

E N S A Y O	A S F A L T O		
	Medanito	Escalante	Mezcla
Contenido de asfaltenos (ASTM D-2008-65 T) (%)	18,8	28,3	24,3
Viscosidad a 135°C (ASTM D-2170) (cS)	428	1872	663
Viscosidad a 60°C y vacío equivalente a 30 cm de Hg (ASTM D-2171) (Poise)	2040	21799	3410
Viscosidad a 25°C y 5 × 10 ⁻² seg ⁻¹ (Megapoise)	1,85	8,40	3,36
Índice de flujo complejo	0,92	0,31	0,81
Sobre el residuo del ensayo de pérdida por calentamiento a 163°C:			
Viscosidad a 60°C y vacío equivalente a 30 cm de Hg (ASTM D-2171) (Poise)	3857	80750	8819
Viscosidad a 25°C y 5 × 10 ⁻² seg ⁻¹ (Megapoise)	5,01	13,8	7,00
Índice de flujo complejo	0,85	0,43	0,55



colocación de las mezclas asfálticas, fue necesario contar con las curvas de susceptibilidad térmica de los asfaltos.

En la figura 3 se presentan las mismas, destacándose, en todo el ámbito de temperatura cubierta, la marcada diferencia en consistencia del asfalto Escalante frente al de Medanita y la Mezcla.

CONSTRUCCION DE LA CARPETA ASFALTICA DE LAS SECCIONES DE ENSAYO

La estructura del pavimento en que se construyó la carpeta asfáltica consta de:

- 20 cm: Suelo seleccionado
- 15 cm: Suelo calcáreo arena asfalto
- 10 cm: Concreto asfáltico para base
- 5 cm: Concreto asfáltico para carpeta de rodamiento.

La mezcla asfáltica de la carpeta de rodamiento respondía a la siguiente dosificación:

- 42,9 %: Piedra granítica de Olavarría, 6-20
- 18,1 %: Arena silícea
- 30,4 %: Arena granítica
- 3,8 %: Filler calcáreo
- 4,8 %: Cemento asfáltico

Para la elaboración de la mezcla asfáltica se empleó una usina Barber Greene 847 con una producción de 120 Tn/h.

La temperatura de mezclado se reguló de acuerdo con la viscosidad de los asfaltos y siguiendo lo recomendado por el Instituto del Asfalto de EE.UU. (21) quien establece que la temperatura de mezclado más adecuada es aquella en que la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 segundos Saybolt Furol (aproximadamente 1,5 a 5,0 Poises).

En el caso que nos ocupa y de acuerdo con las curvas de susceptibilidad térmica de la figura 3, la temperatura de mezclado para el asfalto de Escalante fue 170°C, siendo algo más baja para los otros dos asfaltos.

Para la colocación y compactación de las mezclas se procedió con el mismo criterio que para el mezclado. De acuerdo a resultados obtenidos por Massaccesi (12) con asfaltos de características similares a los aquí empleados, la compatibilidad de las mezclas no se ve afectada hasta una temperatura por debajo de la cual la viscosidad de los asfaltos es superior a 8 Poises. En nuestro caso las condiciones de colocación y compactación de las mezclas fueron las que se muestran

T A B L A VI

CONDICIONES DE COMPACTACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

Mezcla con asfalto de:	Temperatura de compactación (°C)	Viscosidad del asfalto (Poisés)
Medanito	140 - 145	3,2 - 2,7
Escalante	155 - 160	4,5 - 3,7
Mezcla	145 - 150	3,6 - 2,8

T A B L A VII

CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS EMPLEADAS EN EL TRAMO EXPERIMENTAL

Mezcla con asfalto de:	Medanito	Escalante	Mezcla
Densidad Marshall (g/cm ³)	2,38	2,37	2,38
Estabilidad Marshall (kg)	680	1070	840
Fluencia Marshall (mm)	2,7	2,7	2,7
Betún recuperado (%)	4,8	4,6	4,7
Vacios (%)	3,2	3,7	3,2

en la tabla VI. Tal cual puede apreciarse en esta tabla, la viscosidad de los asfaltos a las respectivas temperaturas de trabajo, están muy por debajo de los 8 Poises, descartándose de esta manera la posible incidencia de las diferentes viscosidades de los asfaltos en la compactación de las mezclas.

El 18 de febrero de 1974 se comenzó a colocar en el sector II del tramo experimental, la mezcla fabricada con el asfalto de Medanito. Para ello se utilizó una terminadora Barber Green 873 con un ancho de colocación de 3,05 metros. La compactación se efectuó con un rodillo neumático Tampo de 9 ruedas y 18 t (presión de neumático variable de 40 a 90 lb/pulg²), junto con una aplanadora Tandem Haber Warco de 8 Tn y una aplanadora Tandem Ingran de 8 Tn.

La cantidad de mezcla asfáltica colocada fue de 315 Tn, abarcando una superficie de 2591 m² con una longitud aproximada de 390 m.

El 22 de febrero, también en el sector II, se colocó la mezcla asfáltica fabricada con una mezcla de 50 % de asfalto Medanito y 50 % de asfalto Escalante. Esta mezcla de asfaltos fue preparada previamente en la planta asfáltica. La cantidad de mezcla colocada fue de 433 Tn cubriendo una superficie de 2925 m² y un largo de aproximadamente 325 m.

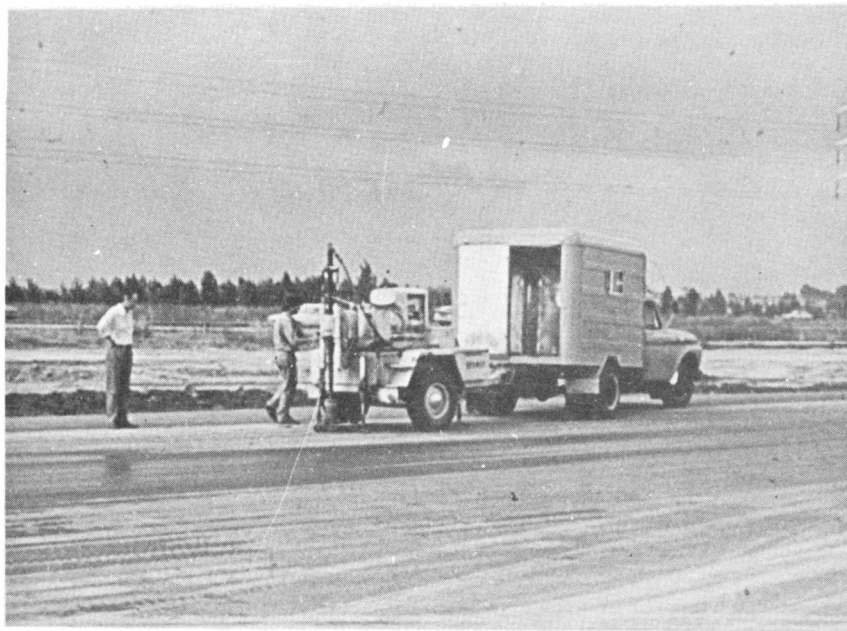


Fig. 4



Fig. 5

Finalmente el 27 de febrero se colocó la mezcla correspondiente al asfalto Escalante en el sector III. En este caso la cantidad de mezcla asfáltica colocada fue de 358 Tn en una superficie de 2681 m² y una longitud de 300 m aproximadamente.

En los tres casos se utilizó el mismo equipo de compactación y terminación; la única variable fue, como se dijo anteriormente, las diferentes temperaturas de compactación de las mezclas. En las figuras 4 y 5 se observa parte del tramo construido.

Durante la ejecución de los trabajos, en el laboratorio de obra se moldearon probetas Marshall de las distintas mezclas, para determinar sus características fisicomecánicas. Parte de estas probetas fueron ensayadas por la Inspección de Vialidad Nacional y otras enviadas al LEMIT. Al ser ensayadas estas últimas arrojaron los valores promedio que se muestran en la tabla VII. Tal como puede apreciarse en dicha tabla, la mezcla con asfalto Escalante es la que presenta el valor más elevado de estabilidad, si bien las diferencias que se observan con las otras mezclas no son tan pronunciadas como lo hacían suponer las viscosidades a 60°C de los respectivos asfaltos. Esto podría ser explicado considerando el diferente comportamiento reológico de los mismos.

Es así que cuando a un asfalto del tipo de Escalante se le aplican esfuerzos de corte en forma creciente, su consistencia disminuye en forma pronunciada tal como lo indica su bajo índice de flujo complejo.

En cambio asfaltos del tipo de Medanita o la Mezcla no son tan susceptibles a los cambios de consistencia por acción de los esfuerzos cortantes (índice de flujo complejo alto). Ello significa que la marcada diferencia de viscosidad a 60°C del asfalto de Escalante frente a los otros dos, sólo se revela con cargas pequeñas.

Cabe señalar que en el ensayo de estabilidad Marshall los esfuerzos de corte son elevados y en tal caso la consistencia del Escalante no se diferencia en mucho de los otros asfaltos, como lo demuestran los valores de estabilidad.

Para una mezcla con distintos asfaltos de fluir newtonia-

T A B L A VIII
VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE LOS TESTIGOS DE PAVIMENTO

Mezcla con asfalto de	Medanito		Escalante		Mezcla	
	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses
Período	2,35	2,38	2,35	2,37	2,34	2,34
Densidad del testigo (g/cm ³)	4,8	4,8	4,6	4,4	4,7	4,8
Betún recuperado (%)	4,5	3,3	4,5	3,4	4,9	4,9
Vacíos (%)						
Granulometría de los agregados recuperados:						
Pasa tamiz 1"	100	100	100	100	100	100
Pasa tamiz 3/4"	96,0	100	97,7	97,2	99,2	100
Pasa tamiz 3/8"	78,3	82,0	75,4	77,8	78,0	84,3
Pasa tamiz Nº 4	64,4	66,2	64,1	64,0	65,0	70,4
Pasa tamiz Nº 10	50,4	54,4	50,0	52,5	51,0	56,9
Pasa tamiz Nº 40	34,0	36,1	32,4	33,4	32,7	36,0
Pasa tamiz Nº 80	13,0	13,8	12,6	12,4	12,5	14,4
Pasa tamiz Nº 200	6,2	6,4	5,7	5,2	5,7	6,3

no, las estabilidades Marshall a 60°C, crecen en relación con la mayor viscosidad del asfalto, y se igualan cuando la estabilidad se determina a la temperatura de igual viscosidad de los asfaltos.

En general los valores obtenidos en el LEMIT, fueron coincidentes con los que se lograron en el laboratorio de obra.

COMPORTAMIENTO DE LA CARPETA ASFALTICA EN LOS TRAMOS DE ENSAYO

En razón de las limitaciones impuestas para la realización del tramo experimental, las determinaciones y observaciones a realizar en el mismo se reducen a comparar el desempeño de las carpetas para establecer el comportamiento de los tres asfaltos, aceptando que el resto de las variables que regulan el comportamiento de las carpetas son prácticamente iguales.

Al finalizar la construcción de los tres tramos de carpeta asfáltica, el aspecto de los mismos no presentaba diferencias notables a simple vista en lo que a color y textura se refiere. A los pocos días se tomaron muestras del pavimento, efectuándose la extracción de las mismas con máquina caladora Acker con broca de diamante de 15 cm de diámetro, cubriendo diferentes zonas de la superficie pavimentada. Esta operación se repitió luego de ocho meses de construido el tramo.

Los valores promedio que se obtuvieron al ensayar los testigos se exponen en la tabla VIII. Tal como era de esperar por el poco tiempo transcurrido, no se han producido cambios notables en las características de las distintas mezclas, ya que las variaciones que se aprecian son normales para este tipo de ensayos. En lo referente a los vacíos de la mezcla se observa que el grado de compactación logrado está dentro de las exigencias vigentes y en un mismo orden para las tres mezclas, pese a las diferentes características de los asfaltos.

T A B L A IX
CAMBIOS PRODUCIDOS EN EL ASFALTO MEDANITO

	Original	Después de 5 hs. a 163°	Recuperado del Pavimento	
			Inicial	8 meses
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	75	52	54	54
Punto de ablandamiento (A y E) (°C)	46,8	—	49,8	50,0
Ductilidad a 25°C (cm)	+ 150	+ 150	+ 150	+ 150
Viscosidad a 60°C (Poises)	2040	3857	3690	3866
Viscosidad a 25°C, y 5 x 10 ⁻² seg. ⁻¹ (Megapoise)	1,85	5,00	4,82	5,81
Indice de flujo complejo	0,92	0,85	0,83	0,77
Contenido de asfaltenos (%) ..	18,8	—	23,4	23,6

T A B L A X
CAMBIOS PRODUCIDOS EN EL ASFALTO ESCALANTE

	Original	Después de 5 hs. a 163°	Recuperado del Pavimento	
			Inicial	8 meses
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	60	46	44	39
Punto de ablandamiento (A y E) (°C)	59,0	—	68,0	73,0
Ductilidad a 25°C (cm)	22	7	6	5
Viscosidad a 60°C (Poises) ..	21799	80750	150300	> 150000
Viscosidad a 25°C y 5 x 10 ⁻² seg. ⁻¹ (Megapoise)	8,40	13,8	15,0	22,0
Indice de flujo complejo	0,31	0,43	0,46	0,36
Contenido de asfaltenos (%) ..	28,3	—	31,1	32,5

T A B L A XI
CAMBIOS PRODUCIDOS EN EL ASFALTO MEZCLA

	Original	Después de 5 hs. a 163°	Recuperado del Pavimento	
			Inicial	8 meses
Penetración a 25°C (100 g-5 seg)	70	50	52	48
Punto de ablandamiento (A y E) (°C)	50,8	—	53,4	54,0
Ductilidad a 25°C (cm)	+ 150	91	75	60
Viscosidad a 60°C (Poises) ...	3410	8819	8430	8491
Viscosidad a 25°C, y 5 x 10 ⁻² seg. ⁻¹ (Megapoise)	3,36	7,70	7,62	8,10
Indice de flujo complejo	0,81	0,55	0,58	0,51
Contenido de asfaltenos (%) ..	24,3	—	25,9	27,5

Para verificar los cambios producidos en los asfaltos, se procedió a su extracción y posterior recuperación. Para ello se aplicó el método de Abson (ASTM D 1856-69). El asfalto correspondiente a las muestras individuales de cada tramo se reunió en una sola muestra para su posterior ensayo.

En las tablas IX, X y XI se presentan los valores obtenidos en los asfaltos recuperados del pavimento y los correspondientes a los asfaltos originales y luego del ensayo de calentamiento en película delgada. Tanto el asfalto de Medanito como la Mezcla no presentan cambios significativos en sus propiedades luego de transcurridos ocho meses en servicio, notándose una muy buena concordancia en los valores obtenidos luego del ensayo de pérdida en película fina y la de los asfaltos recuperados del pavimento una vez finalizada su construcción.

Donde se observan mayores cambios es en el Escalante y los mismos vienen dados por un elevado incremento de consistencia a cualquiera de las temperaturas consideradas.

Según Kandhal y colaboradores (22), en observaciones realizadas en tramos experimentales, concluyen que la viscosidad a 25°C y $0,05 \text{ seg}^{-1}$ guarda una estrecha relación con el comportamiento en servicio. Es así que los comportamientos más pobres se obtuvieron con asfaltos de elevada consistencia. Si bien éste es un hecho que no puede generalizarse, debe ser tomado en cuenta en las evaluaciones que se efectúen.

Durante el año 1974 se llevó un control del número de vehículos que circularon por el tramo experimental. Un puesto de registro se ubicó en la zona correspondiente al asfalto Escalante, aproximadamente a 2 m de la banquina y el promedio mensual fue de 5.039 vehículos por día. El otro puesto de registro se encuentra en la zona construida con el asfalto de Medanito, a 5 m de la banquina y el promedio mensual registrado fue de 8.050 vehículos por día.

Tal como fue dicho anteriormente no es posible sacar conclusiones respecto al comportamiento de los asfaltos en razón del escaso tiempo transcurrido desde la ejecución de la obra. Se ha programado una serie de controles y extracción de testigos en forma periódica para seguir la evolución del tramo. Los resultados que se obtengan serán motivo de información posterior.

BIBLIOGRAFIA

1. Pinilla, A. - Composición y estructura de los betunes asfálticos de Comodoro Rivadavia y Challacó. VII Reunión del Asfalto, 203, 1953.
2. Zucherino, D.; García, R. - Comunicación sobre petróleos crudos nacionales para la elaboración de betunes asfálticos. VIII Reunión del Asfalto, 189, 1955.
3. Ruiz, C. L.; Rivara de Ronchi, Y; López, B. - Sobre una medida comparativa de la estabilidad de los asfaltos usados en pavimentación. XVIII Reunión del Asfalto, 109, 1973.
4. Ruiz, C. L. - Reología. Boletín de informaciones petroleras, nº 20, 1943.
5. Elicabe, J. L. - Estudio reológico de betunes asfálticos obtenidos por destilación conservativa de los petróleos de Challacó y Comodoro Rivadavia y de mezclas de aquéllos. VI Reunión Anual del Asfalto, 25, 1952.
6. Pinilla, A.; Agnusdei J. O. - Reología de asfaltos argentinos con el empleo del microviscosímetro. I y II Parte. XIII Reunión Anual del Asfalto, 85, 1964.
7. Agnusdei, J. O.; Anvaria, O. - Reología de asfaltos argentinos a baja temperatura. XVI Reunión Anual del Asfalto, 312, 1969.
8. De Luca, J. C. - Características de viscosidad de asfaltos nacionales. XVIII Reunión Anual del Asfalto, 86, 1973.
9. Agnusdei, J. O.; Frezzini, P.; Rueda Ibáñez, E. - Comportamiento reológico de asfaltos nacionales y de sus componentes. XVIII Reunión Anual del Asfalto, 133, 1973.
10. Ruiz, C. L. - Sobre el índice de penetración de cementos asfálticos argentinos. XVII Reunión Anual del Asfalto, 442, 1971.
11. Pinilla, A.; Agnusdei, J. O.; Gainza, J. A. - Susceptibilidad térmica de asfaltos argentinos y sus mezclas. XI Reunión Anual del Asfalto, 92, 1962.

12. Massaccesi, D. D.; Iosco, O. - Influencia de la viscosidad de algunos asfaltos en la compactabilidad y otras características de un concreto asfáltico. XVIII Reunión Anual del Asfalto, 260, 1973.
13. Pinilla, A. - Nuevos criterios y tendencias sobre especificaciones de asfaltos para uso vial. XVI Reunión Anual del Asfalto, 69, 1969.
14. Pinilla, A.; Agnusdei, J. O.; Frezzini, P. O. - Nuevas tendencias en especificaciones y su aplicación a los asfaltos procesados en el país. XVII Reunión Anual del Asfalto, 160, 1971.
15. Agnusdei, J. O.; Massaccesi, D. D. - Análisis de los componentes estructurales de un pavimento urbano luego de 27 años de servicio. XVII Reunión Anual del Asfalto, 333, 1971.
16. Ruiz, C. L. - Comunicación personal.
17. Davin, J. - Etude des revêtements fermés a liant bitumineux. Revêtements experimentaux. IX Congrès Belges de la Route, Section A. Question A2, Rapport A2/7, Liege, 1959.
18. Hubrecht, L. - Betons asphaltiques experimentaux (Grand Manil 1958). Enseignements après 5 années. La Technique Routiere, IX/1, 40, 1964.
19. Outer, P. - Bitumes et betons asphaltiques. La Technique Routiere, XII/4, 1, 1967.
20. Huet, J. - Enseignements tirés des routes experimentales en betons asphaltiques. La Technique Routière, XVII/1, 1972.
21. The Asphalt Institute. Manual del Asfalto, 102, 1969.
22. Kandhal, P. S.; Sandvig, L. D.; Koehler, W. C.; Wenger, M. E. - Asphalt viscosity related properties of in-service pavements in Pennsylvania. Research report. Commonwealth of Pennsylvania, Department of Transportation, Bureau of Materials Testing and Research, 1972.

AGRADECIMIENTO

Por la valiosa colaboración prestada para el proyecto, ejecución y control del tramo experimental se agradece a los Dres. Celestino Ruiz y Alfredo Pinilla e Ing. Hipólito Fernández García de la Comisión Permanente del Asfalto; a los Ings. Oscar Rivara y O. Petrocelli de la Dirección Nacional de Vialidad; a los Ings. Duilio D. Massaccesi y Eduardo Rueda Ibáñez y Técnicos Omar Iosco y Martín Pucko del LEMIT, al Ing. M. Beccar Varela de la empresa pavimentadora, a las empresas Y.P.F., ESSO S.A.P.A. y SHELL C.A.P.S.A. que suministraron los asfaltos y a todos aquellos que de alguna forma participaron en la realización de este trabajo.

**PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN DE CEMENTO
PORTLAND POR EL MÉTODO DE CURADO ACELERADO**

Ing. Washington Cano Olazábal*

Ing. Luis P. Traversa **

Ing. Jorge H. Giusi

- * Jefe de la Sección Tecnología del Hormigón del LEMIT.
- ** Jefe de la Sección Estructuras del LEMIT.

INTRODUCCION

En este informe se exponen las conclusiones a que se ha arribado empleando el método de curado acelerado, mediante agua en ebullición. Dicho método permite obtener valores de resistencia a la edad de un día, los cuales pueden ser relacionados gráfica y/o analíticamente con los valores de resistencia a compresión a 28 días. La necesidad de predecir a edades tempranas la resistencia del hormigón a 28 días ha sido una inquietud permanente de los técnicos, que no siempre ha arrojado resultados positivos. Los valores de resistencia obtenidos en el ensayo de probetas curadas en forma normal y ensayadas a edades menores de 7 días son difícilmente relacionables con los valores a 28 días.

El interés de conocer la resistencia del hormigón a 28 días se debe a que es la resistencia con que habitualmente se trabaja en cálculos y por lo tanto la que se indica en las especificaciones.

La resistencia del hormigón depende de varios factores y es un índice de su calidad. Diversas propiedades, como ser durabilidad, impermeabilidad, etc., son generalmente mayores cuanto mayor es la resistencia.

Los factores principales relacionados con la resistencia del hormigón, considerando un mismo tipo de cemento, son la razón agua/cemento y las características de los áridos.

El LEMIT, tomando como base los estudios sobre pronósticos de resistencia por métodos acelerados realizados por distintos investigadores y laboratorios, y considerando la necesidad de contar con un método práctico capaz de obtener resultados con una variación razonable, optó por analizar el trabajo realizado por Malhotra, Zoldners y Lapinas, (2) y posteriormente el realizado por Castiarena, (3).

Los ensayos preliminares realizados en este laboratorio adoptando la función hiperbólica:

$$Y = \frac{X}{AX + B}$$

dada por los autores citados en primer término, como así también la adoptada por Castiarena, quien modifica aunque no sustancialmente la constante B de la misma, indica que los pronósticos realizados en estas condiciones arrojaban valores con una dispersión del orden del 25 por ciento con respecto a los resultados de ensayos de probetas curadas en forma normal. Tales pronósticos no son satisfactorios para predecir en forma adecuada la resistencia, especialmente de los hormigones que en forma continua y rutinariamente ensaya el LEMIT.

No obstante, dado lo práctico del método y antes de desecharlo su uso, se estudiaron minuciosamente las posibles causas de este inconveniente. En los estudios realizados por Malhotra y colaboradores (2), se observa que para los hormigones elaborados con áridos de tamaño máximo 38 mm ($1\frac{1}{2}$ "), en la función hiperbólica la constante B tiene un valor de 0,40. Con dicho valor los pronósticos realizados en las dosificaciones ejecutadas mejoraron notablemente, encontrándose una dispersión del 10 por ciento.

En el trabajo citado también se pone énfasis en las posibles variaciones que podrían encontrarse debido al tipo de cemento utilizado y se recomienda realizar estudios y obtener curvas de relación para cada caso en especial.

Este hecho fue el que alentó para proseguir con los estudios y llegar a la conclusión de que la influencia del tamaño máximo, como así también el tipo de cemento, eran factores importantes a tenerse en cuenta. Se eligió un cemento normal, distintos tipos de áridos de uso común en nuestro medio y sobre todo se mantuvo en todos los casos un tamaño máximo de 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ").

Los áridos utilizados fueron canto rodado, piedra partida granítica, piedra partida cuarcítica y arenas naturales de distintas granulometrías.

DESCRIPCION DEL METODO

El método empleado corresponde al especificado en la nor-

ma ASTM C-684-73 T, con algunas variaciones introducidas por razones de uso práctico.

En el procedimiento elegido las operaciones que se efectúan son las que se detallan a continuación:

- a) Moldeo de las probetas en forma similar a las que se someten al curado normal.
- b) Mantenimiento de las probetas en cámara húmeda en las mismas condiciones que para el curado normal, durante un período de 24 horas a contar desde la terminación del moldeo.
- c) Desmolde e inmersión inmediata de las probetas en agua en ebullición, en la que se mantienen durante 3 horas 30 minutos.
- d) Retiro de las probetas del agua, enfriado, encabezado con mezcla plástica de azufre y grafito y ensayo a la rotura por compresión a las 28 horas 30 minutos del moldeo.

Se aclara que por razones prácticas se modificó el procedimiento del encabezado de las probetas, ya que al ejecutarlo con la mezcla plástica se despegaba, dado el grado de humedad de las mismas. Por dicha circunstancia se sustituyó el encabezado por un alisado con mortero en base a cemento de alta resistencia inicial, efectuado 8 horas después del moldeo de las probetas.

El enfriado de las probetas se realizó por medio de un proceso gradual de baño de agua, desde 80°C hasta temperatura normal, en un período de 60 minutos.

EQUIPOS

En las experiencias realizadas se utilizó un recipiente de acero con tapa. En el fondo del mismo se ubicó un piso rejilla separado 3 centímetros, y un quemador a gas regulable. La temperatura del agua fue controlada por termómetro de in-

T A B L A I

CEMENTO NORMAL

Ensayos físicos

Agua para pasta normal.....	22,5 %
Retenido sobre tamiz IRAM 74 μ (Nº 200)....	13,2 %
Expansión en autoclave.....	0,02 %
Tiempo de fraguado:	
Inicial.....	2 h
Final.....	2 h 30 m
Superficie específica (Blaine).....	3 801 cm ² /g
Resistencia a compresión:	
7 días.....	403 kg/cm ²
28 días.....	551 kg/cm ²
Resistencia a flexión:	
7 días.....	82 kg/cm ²
28 días.....	91 kg/cm ²

Análisis químico

Residuo insoluble.....	1,2 %
Pérdida por calcinación.....	1,3 %
Anhídrido sulfúrico (SO ₃).....	2,2 %
Oxido de magnesio (MgO).....	0,8 %
Sílice soluble (SiO ₂).....	21,7 %
Oxido de hierro (Fe ₂ O ₃).....	3,3 %
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃).....	5,8 %
Oxido de calcio (CaO).....	61,9 %
Cal libre en CaO.....	0,34 %
Oxido de sodio (Na ₂ O).....	0,85 %
Oxido de potasio (K ₂ O).....	0,74 %

Composición potencial calculada

Silicato tricálcico (SC ₃).....	37,2 %
Silicato dicálcico (SC ₂).....	34,2 %
Aluminato tricálcico (AC ₃).....	9,8 %
Ferroaluminato tetracálcico (FAC ₄).....	10,0 %

mersión. Para facilitar la introducción y extracción de las probetas del agua en ebullición se confeccionaron unos aros de acero ajustables que permitían, mediante la utilización de ganchos, mover las probetas sin inconvenientes.

MATERIALES

Cemento portland

Se empleó un cemento portland normal cuyas propiedades físicas y análisis químicos se informan en la tabla I.

Aridos

Como árido fino, en las experiencias se emplearon arenas naturales cuya identificación mineralógica es arena silícea (denominada comercialmente "arena argentina") y arena sílico-calcárea (denominada comercialmente "arena oriental"), como así también una mezcla de ambas.

Los ensayos realizados sobre las arenas se informan en la tabla II.

Como áridos gruesos se emplearon los siguientes:

- a) Piedra partida granítica (migmatita granítica).
- b) Canto rodado (rodados de cuarzo y calcedonia).
- c) Piedra partida cuarcítica (arenisca silícea).

Los ensayos realizados sobre estos áridos se informan en la tabla III.

Agua de mezclado y curado

Se empleó el agua de la red de distribución de la ciudad de La Plata.

T A B L A II

Material	Ensayo colorimétrico (p.p.m.)	P.U.V. (t/m ³)	P.e. s y as	P.e. seco	Absorción 24 horas (%)	Tamiz 200 (%)
Arena oriental	100	1,71	2,61	2,59	0,2	0
Arena argentina	100	1,52	2,62	2,58	0,4	1

Granulometría

Material	% que pasa tamiz N°					M.F.
	4	8	16	30	50	100
Arena oriental	100	90	55	34	23	2,96
Arena argentina	-	100	99	93	58	1,43

Nota.- En distintos dosajes se empleó una arena producto de la mezcla constituida por 30 por ciento de arena argentina y 70 por ciento de arena oriental.

T A B L A III

Material	P.U.V. (t/m ³)	P.e. s y s s	Absorción 24 horas (%)	Absorción 30 min (%)
Piedra partida granítica	1,39	2,70	0,5	-
Piedra partida cuarcítica	1,34	2,50	1,9	1,2
Canto rodado	1,53	2,58	0,1	-

Granulometría

Material	% que pasa tamiz					M.F.
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	
Piedra partida granítica	100	97	43	16	6	7,52
Piedra partida cuarcítica	100	92	52	10	1	7,47
Canto rodado	100	95	77	45	24	6,97

NORMAS PARA REALIZAR LOS ENSAYOS

Para la determinación de la consistencia se empleó el método del tronco de cono IRAM 1536, para la preparación y curado de las probetas de 15 x 30 centímetros, el método IRAM 1534 y para determinar la resistencia cilíndrica de rotura a compresión, el método IRAM 1546.

DISPOSICIONES GENERALES REFERENTES A LA MEDICION DE LOS MATERIALES Y AL MEZCLADO DE LOS HORMIGONES

Todos los materiales, incluyendo el agua, fueron medidos antes de ser introducidos en la hormigonera, en peso. El mezclado se realizó en hormigonera mecánica de tambor basculante, girando el tambor a razón de 20 rpm. Los pastones se elaboraron en la siguiente forma:

a) Mezclado durante 2 minutos, contados a partir del momento en que todos los materiales, incluso el agua, ingresaron en la hormigonera.

b) Detención de la hormigonera durante 3 minutos.

c) Remezclado durante 1 minuto y luego descarga; una vez realizada la descarga sobre una bandeja metálica, se procedió a mezclar nuevamente el hormigón manualmente para tratar de corregir cualquier segregación que se hubiera producido durante la descarga.

HORMIGONES PREPARADOS PARA REALIZAR LA EXPERIENCIA

En la tabla IV se detallan las cantidades de materiales

en kilogramos que se utilizaron para preparar un metro cúbico de hormigón. Cada pastón fue repetido en tres días distintos.

A fin de establecer las características del hormigón fresco, sobre el mismo se realizó el ensayo de consistencia (método del tronco de cono). En todos los casos se trabajó con asentamientos comprendidos entre 6 ± 2 cm.

MOLDEO Y CURADO DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Se moldearon 10 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm por pastón, de las cuales 4 fueron sumergidas a la edad de un día en agua en ebullición. Las restantes fueron mantenidas en sus moldes durante 48 horas, y luego hasta la edad de ensayo en la cámara de temperatura y humedad constantes (humedad relativa superior al 95 por ciento y temperatura $21 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$).

RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Los valores graficados que se consignan en este informe corresponden a 84 pastones. Los mismos han permitido relacionar en forma adecuada las resistencias obtenidas a 28 horas 30 minutos, bajo condiciones de curado acelerado, con las ensayadas a la edad de 28 días bajo condiciones normales de curado. Dichos valores se han introducido en la función hiperbólica:

$$Y = \frac{X}{AX + B}$$

donde Y resistencia cilíndrica a compresión con curado normal a la edad de 28 días.

X resistencia cilíndrica a compresión con curado acelerado a la edad de 28 horas 30 minutos.

T A B L A IV

TABLA IV. CANTIDADES DE MATERIALES POR METRO CUBICO DE HORMIGON

Cemento (kg)	Agua (kg)	Pa/Pc	Arido fino (kg)	Arido grueso (kg)	Asentamiento (cm)
1. Arido grueso, piedra partida granfítica; árido fino, arena argentina					
250	172	0,68	786	1 121	4,5
300	175	0,58	744	1 107	4,0
350	174	0,50	752	1 076	4,5
400	178	0,44	710	1 058	5,5
2. Arido grueso, piedra partida granfítica; árido fino, arena oriental					
250	150	0,66	861	1 135	4,0
300	156	0,50	819	1 122	5,5
350	158	0,45	777	1 108	5,5
400	164	0,41	733	1 095	6,0
3. Arido grueso, piedra partida granfítica; árido fino, arena oriental 70 % - arena argentina 30 %					
250	155	0,62	814	1 165	4,0
300	156	0,52	778	1 157	8,0
350	157	0,45	742	1 149	5,5
400	160	0,40	702	1 138	6,0

4. Arido grueso, canto rodado; Árido fino, arena argentina						
250	150	0,60	807	1 180	4,0	
300	169	0,56	762	1 117	4,0	
350	169	0,48	757	1 108	4,0	
400	173	0,43	731	1 069	6,0	
5. Arido grueso, canto rodado; Árido fino, arena oriental						
250	154	0,62	820	1 154	8,0	
300	138	0,46	799	1 176	4,0	
350	148	0,43	773	1 133	6,0	
400	150	0,38	715	1 143	5,5	
6. Arido grueso, canto rodado; Árido fino, arena oriental 70 % - arena argentina 30 %						
250	156	0,62	820	1 159	6,5	
300	143	0,48	797	1 140	4,0	
350	150	0,43	773	1 138	5,0	
400	152	0,38	716	1 148	6,0	
7. Arido grueso, piedra partida cuarcítica; Árido fino, arena oriental 70 % - arena argentina 30 %						
250	160	0,64	810	1 066	6,5	
300	160	0,53	773	1 049	7,5	
350	165	0,47	752	1 029	5,5	
400	168	0,42	713	1 019	6,5	

GRAFICO 1

RELACION ENTRE RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A 28 DIAS
CON CURADO NORMAL - RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A
28,5 HORAS CON CURADO ACELERADO

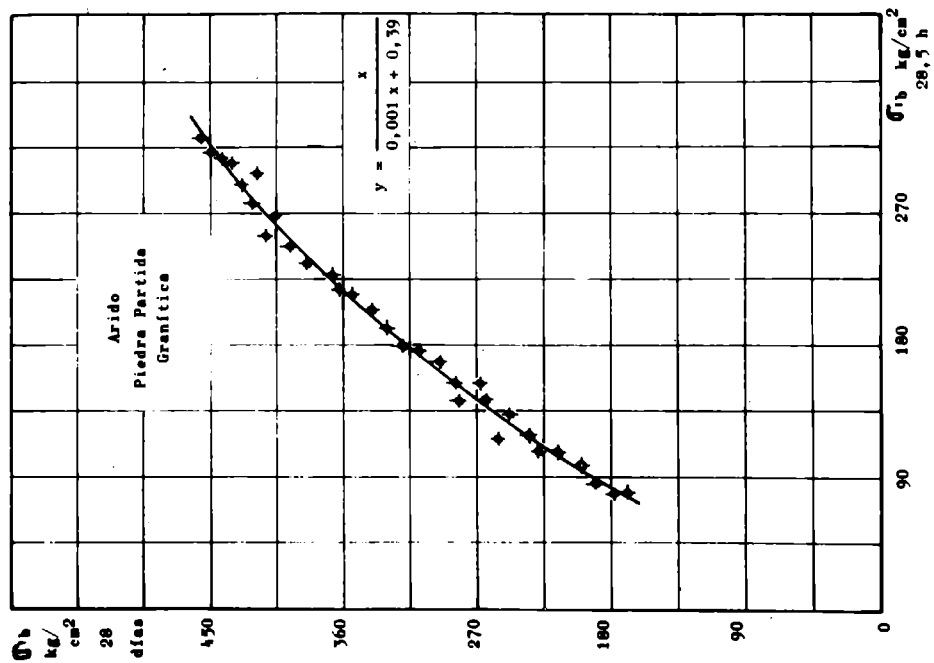
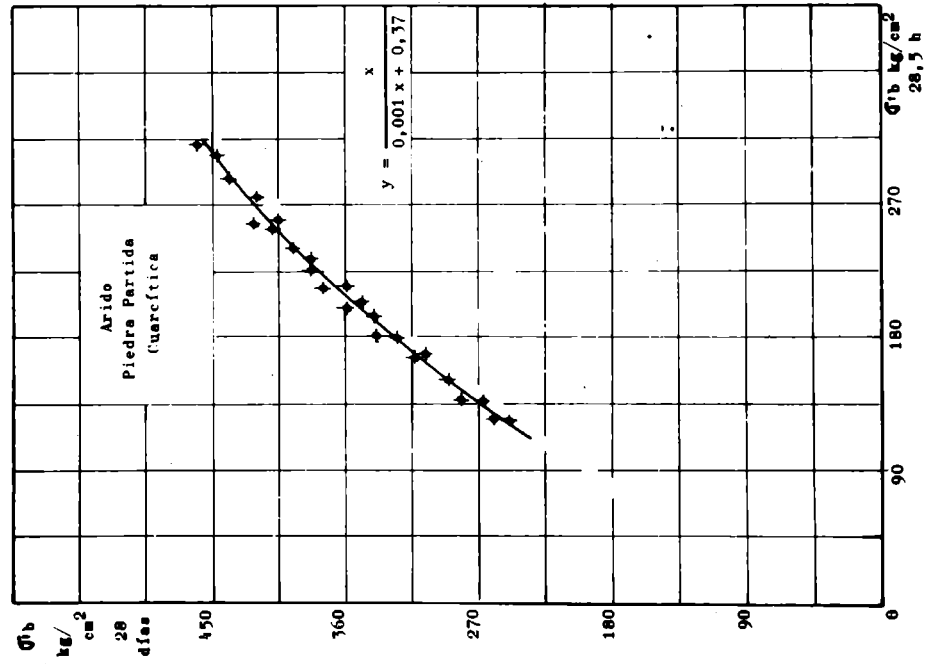


GRAFICO 2

RELACION ENTRE RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A 28 DIAS
CON CURADO NORMAL - RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A
28,5 HORAS CON CURADO ACELERADO



A y B constantes.

La constante A es un coeficiente que define la curvatura y orientación de la función hiperbólica. Los valores que toma la constante A son de muy poca variación y en tal sentido se la utiliza en todos los casos como una constante fija, tomando un valor igual a 0,001. En cambio la constante B toma distintos valores fundamentalmente en función del tipo de cemento, influyendo también el tipo de árido y el tamaño máximo del árido grueso.

Con respecto a las relaciones de los valores entre los ensayos acelerados y los obtenidos con curado normal a la edad de 28 días, se han obtenido para los distintos áridos pequeñas variaciones en torno al valor de la constante B.

Dichos valores, como así también la expresión de la función hiperbólica para los agregados utilizados, se detallan a continuación:

$$\text{Piedra partida granítica} \quad Y = \frac{X}{0,001 X + 0,39} \quad (\text{Gráfico 1})$$

$$\text{Piedra partida cuarcítica} \quad Y = \frac{X}{0,001 X + 0,37} \quad (\text{Gráfico 2})$$

$$\text{Canto rodado} \quad Y = \frac{X}{0,001 X + 0,41} \quad (\text{Gráfico 3})$$

Debe hacerse notar que los hormigones confeccionados con áridos gruesos, piedra partida granítica y canto rodado, fueron proyectados con tres tipos granulométricos distintos de áridos finos y que, de acuerdo al módulo de finura de las arenas, el valor de la constante B varía de 0,39 a 0,41.

Esto significa que la variación de la misma no es de magnitud cuando se emplean áridos finos cuya granulometría va desde arena fina hasta aquéllas correctamente graduadas. Asimismo se ha determinado la función hiperbólica para piedra partida cuarcítica y una mezcla correctamente graduada de árido fino.

Considerando la poca variación obtenida para la constante B, se presenta en el gráfico 4 una curva general de relación de resistencia cilíndrica a compresión a la edad de 28 horas 30 minutos con curado acelerado y la resistencia cilíndrica a compresión a 28 días con curado normal. En la misma se ha introducido

GRAFICO 3

RELACION ENTRE RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A 28 DIAS
CON CURADO NORMAL - RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A
28,5 HORAS CON CURADO ACELERADO

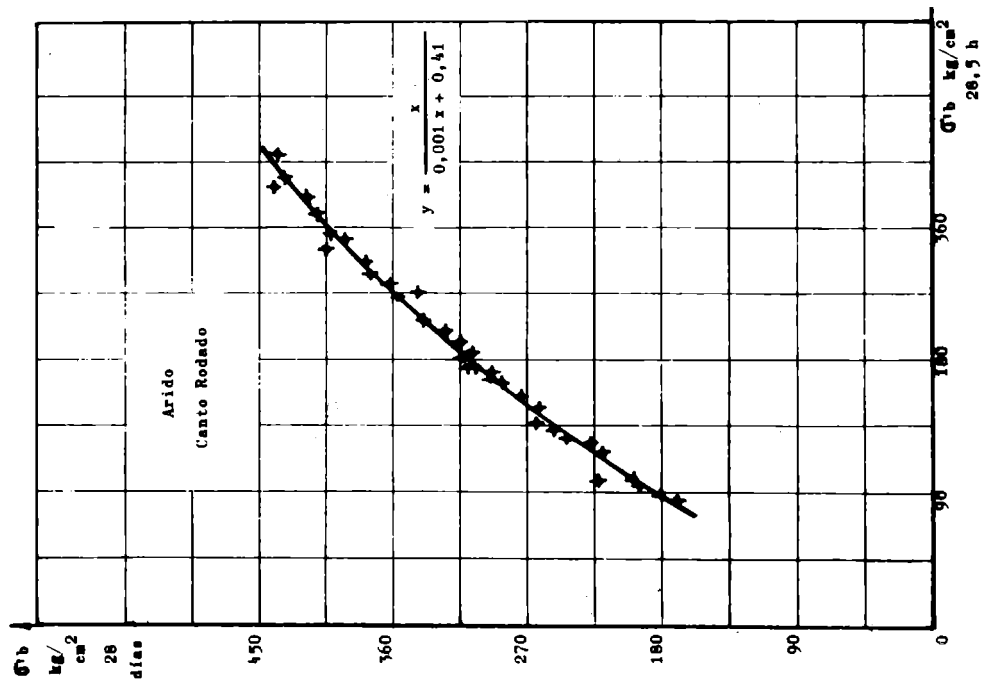
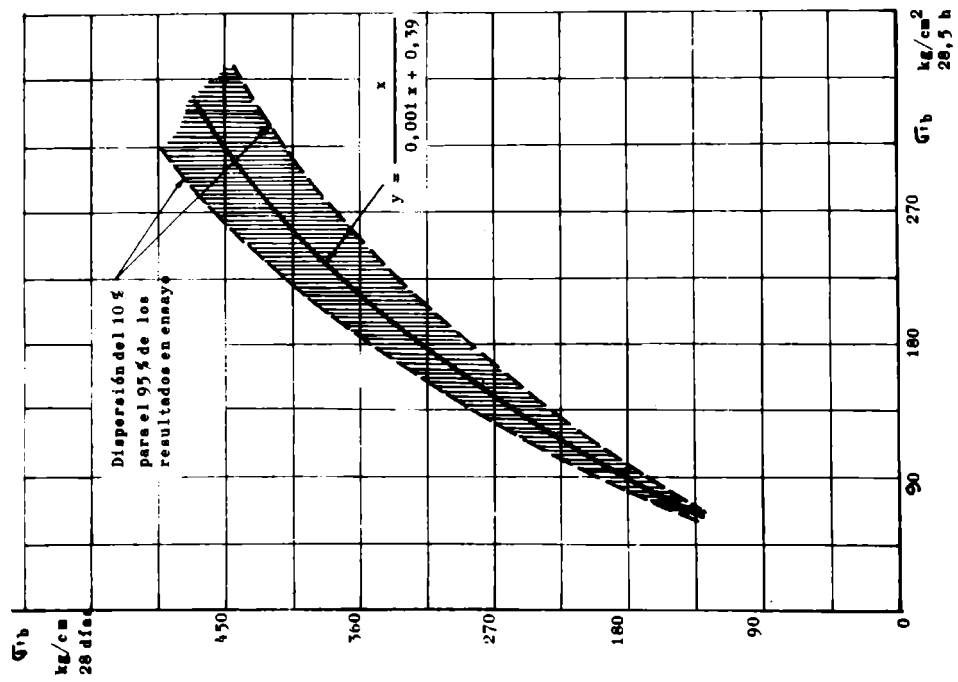


GRAFICO 4

RELACION ENTRE RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A 28 DIAS
CON CURADO NORMAL - RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A
28,5 HORAS CON CURADO ACELERADO



la totalidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados. La función hiperbólica resulta en este caso:

$$Y = \frac{X}{0,001 X + 0,39}$$

con una dispersión del 10 por ciento.

CONCLUSION

En el LEMIT se ha comenzado a trabajar rutinariamente con la función obtenida, lográndose en la mayoría de los casos estudiados valores compatibles.

En algunos casos especiales los valores pronosticados fueron considerablemente diferentes a las resistencias obtenidas a la edad de 28 días. Se considera que en estos casos las características físico-químicas del cemento utilizado, fueron el factor decisivo en la falta de cumplimiento del valor pronosticado con la función hiperbólica.

No debe olvidarse que en las experiencias se ha utilizado un solo cemento, que si bien verifica la norma IRAM 1503 presenta características propias. No obstante, el trabajo que se ha realizado da la posibilidad de utilizar la fórmula hallada, en dosificaciones donde intervienen otros cementos y finalmente poder obtener una función hiperbólica en la cual el valor de la constante B esté determinado en primera instancia por la similitud en la composición potencial de los cementos utilizados.

Es por lo tanto de importancia que en obras de medio o gran volumen se confeccionen curvas de relación, en las cuales se utilicen no sólo los áridos sino también el cemento que se empleará en la misma. La curva obtenida deberá ser verificada cada vez que las características del cemento varíen.

Con este estudio se considera que los pronósticos de resis-

tencia efectuados por este método podrán ser de gran utilidad, siendo los valores pronosticados muy próximos a los valores reales obtenidos a la edad de 28 días bajo condiciones de curado normal.

En la actualidad el LEMIT está trabajando con cementos normales de distinta composición potencial, como así también con otros tipos de cementos.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. American Society for Testing and Materials (ASTM). Método C-684-73 T variante B. Annual Book of ASTM Standards part 10.
2. Malhotra, V. M., Zoldners, N. G. y Lapinas, R. - Ensayo acelerado para determinar la resistencia del concreto a 28 días. Traducción Revista IMCYC, Mexico, setiembre-octubre 1968 del informe R-134, Canadá Dpto. of Mines and Techn. Surveys (Mines Branch) Ottawa, Canadá.
3. Castiarena, A. N. - Pronóstico de la resistencia del hormigón a la rotura por compresión a 28 días, en base al procedimiento de ensayo ASTM C-684-73 T, Método B.
4. Burgoa, G. R. y Bunge, H. J. - Pronóstico de la resistencia del hormigón a los 28 días por medio del ensayo normal a los 7 días. IV Simposio sobre aglomerantes hidráulicos, hormigones, agregados y sus aplicaciones, LEMIT 1972.
5. Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CINEH-INTI, 1964).

Agradecimientos.

Los autores expresan su agradecimiento a todo el personal de la Sección Hormigones y Agregados del LEMIT, por haber participado en la ejecución de las experiencias realizadas y en especial al Ing. Daniel Violini.

ACEROS PARA HORMIGON

Ing. Marcelo Wainsztein *

Ing. Luis P. Traversa **

SERIE II, Nº 334

- * Ex Jefe de División del LEMIT.
- ** Jefe de la Sección Estructuras del LEMIT.

INTRODUCCION

El hormigón armado es un material compuesto por otros dos, el hormigón de cemento portland y el acero. El conocimiento que se tiene de estos dos materiales básicos posibilita que este siglo marque una etapa decisiva en el desarrollo de las estructuras de hormigón armado.

El hormigón de cemento portland posee, como sabemos, una deficiente resistencia a la tracción. El acero suple ese inconveniente y posibilita la obtención de un material de construcción que es económico y de comportamiento eficiente en todo tipo de estructuras. La introducción del acero en el hormigón permite además lograr un material con un grado de ductilidad que no posee el hormigón por sí mismo. Las curvas características tensión-deformación del acero sometido a tracción y del hormigón sometido a compresión permiten visualizar el diferente comportamiento de estos materiales.

El acero en los últimos cincuenta años ha evolucionado notablemente; del acero liso se ha llegado en la actualidad a la obtención de aceros cuyas tensiones admisibles triplican las tensiones de trabajo de aquél.

No debe olvidarse que el desarrollo del hormigón pretensado como material utilizable en la práctica, se debe al empleo de aceros de altas resistencias y con una gran capacidad de alargamiento. Los cambios volumétricos del hormigón debidos a la contracción por secado y la fluencia, originan una disminución del alargamiento de la barra pretensada, reduciendo entonces la tensión en ésta y con ello la fuerza de pretensado que comprime al hormigón.

El objeto de este trabajo es comentar los puntos principales que son de interés para la aplicación de los diversos tipos de aceros y además llevar a conocimiento de los profesionales en general, ya sean proyectistas, calculistas o inspectores de obras, los distintos tipos de acero que se producen en el país, sus características mecánicas y geométricas como así también algunas recomendaciones de carácter constructivo. Los problemas habituales que presentan las estructuras de hormigón armado son originados casi siempre por un descono-

cimiento parcial de las técnicas constructivas o por el empleo de un material no adecuado. En algunos pocos casos, tales deficiencias se deben a la utilización de materiales que no cumplen las normas en vigencia.

TIPOS DE BARRAS DE ACERO PARA ARMADURAS

Se producen en la actualidad dos tipos generales de barras de acero para armaduras.

Las barras lisas son un producto laminado en caliente, con sección transversal aproximadamente circular y constante; presentan una superficie lateral sin resaltos ni nervios especiales.

Las barras conformadas o barras de adherencia mejorada presentan en la superficie lateral nervaduras o salientes con el fin de aumentar su adherencia con el hormigón que la circunda. Podemos además hacer una nueva consideración, la que depende de la forma de obtención de las barras de adherencia mejorada. Las barras de dureza natural son barras conformadas, obtenidas por laminación en caliente, mientras que las barras deformadas en frío, obtenidas por laminación en caliente, son barras conformadas obtenidas por laminación en caliente a las que posteriormente se las torsiona y/o estira, con el fin de aumentar su resistencia. Con las barras conformadas se procura crear una mayor adherencia entre el hormigón y el acero, lo que se consigue en forma realmente eficiente con las barras de pequeño diámetro.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL ACERO

Características de la sección transversal

Para la construcción de estructuras de hormigón armado, se utilizan diámetros nominales o teóricos de barras, dentro de un amplio espectro de dimensiones. Los diámetros de producción habitual son 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32 y 40 mm. Algunas acerías

T A B L A I

/

DIÁMETROS, SECCIONES, PERÍMETROS Y MASAS NOMINALES

Diámetro nominal (mm)	Sección nominal (cm ²)	Perímetro nominal (cm)	Masa nominal (kg/m)
6	0,28	1,89	0,22
8	0,50	2,51	0,39
10	0,79	3,14	0,62
12	1,15	3,77	0,89
16	2,01	5,03	1,58
20	3,14	6,28	2,47
25	4,91	7,85	2,98
32	8,04	10,05	6,31
40	12,57	12,57	9,86
50	19,63	15,71	15,40

T A B L A II

BARRAS LISAS. DISCREPANCIAS EN LOS DIAMETROS

Diámetro nominal (mm)	Discrepancia (mm)
$d \leq 10$	$\pm 0,5$
$10 < d \leq 20$	$\pm 0,6$
$20 < d \leq 30$	$\pm 0,7$
$30 < d \leq 40$	$\pm 0,8$
$40 < d \leq 50$	$\pm 0,9$

agregan a esta gama de valores el diámetro 50. En el caso de las barras conformadas se define un diámetro convencional, que es el diámetro de una barra de sección circular de igual peso unitario que la barra considerada y que está dado por la fórmula:

$$d_c = 12,74 \sqrt{P}$$

donde d_c se expresa en mm y P es el peso unitario en kg/m.

En la tabla I se establecen los diámetros nominales, secciones nominales, masas nominales y tolerancias. La masa nominal está calculada considerando que la densidad del acero es 7,85 kg/dm³. En la tabla II se establecen, en el caso de las barras lisas las tolerancias en lo referente a diámetros y en la tabla III las tolerancias correspondientes a la masa, en el caso de barras conformadas.

T A B L A III

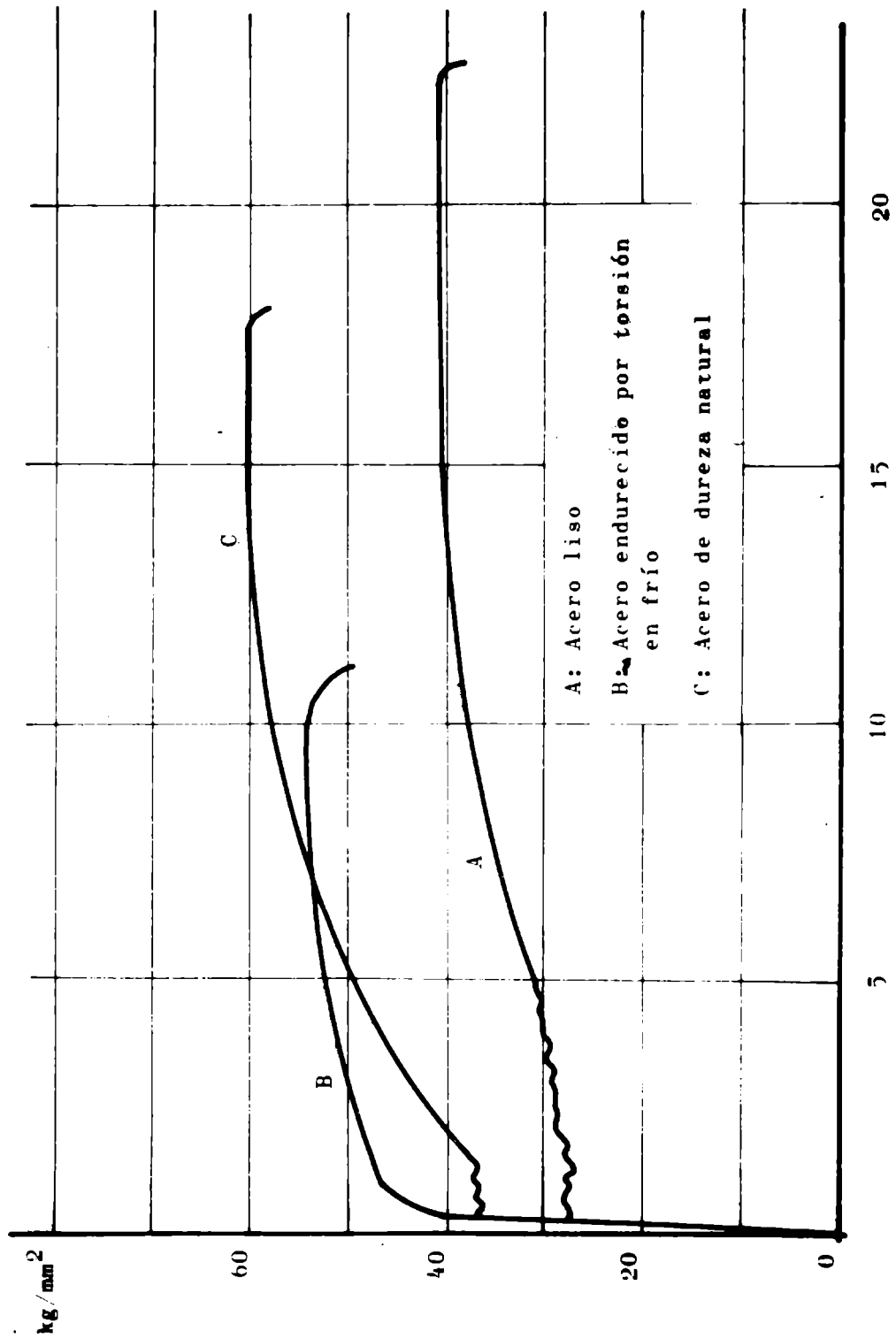
BARRAS CONFORMADAS. DISCREPANCIAS EN LAS MASAS

Diámetro nominal (mm)	Discrepancia (%)	
	Individual	Lote
$d < 10$	± 10	± 6
$d \geq 10$	± 6	± 4

Características de la superficie lateral

Las barras lisas presentan una superficie sin ningún resalto o nervio especial. En cambio las barras conformadas presentan nervios continuos longitudinales, que pueden ser paralelos al eje de la barra o helicoidales y, además, nervios cortos transversales que presentan una sección aproximadamente trapezoidal, con medidas promedio que verifican a lo largo de la barra, las que se indican en la tabla IV. Los nervios transversales pueden presentar alturas constantes o variables. En la

FIGURA 1
DIAGRAMA TENSION - DEFORMACION DE ACEROS



T A B L A IV

NERVIOS CONTINUOS LONGITUDINALES Y CORTOS TRANSVERSALES *

DIAMETRO NOMINAL	Nervios continuos longitudinales		Nervios cortos transversales		
	Anchos y alturas (mm)		altura (mm)	inclinación del flanco	Separación máxima
	máx.	mín.	máx. mín.	(α)	(m)
$d \leq 12$	0,16 d	0,07 d	0,14 d 0,05 d	$\geq 45^\circ$	0,7 d
$d > 12$	0,14 d	0,07 d	0,12 d 0,05 d	$\geq 45^\circ$	0,7 d

* Norma IRAM 528

T A B L A V

TENSION DE FLUENCIA, DE ROTURA, ALARGAMIENTO SOBRE 10 DIAMETROS
Y DUREZA BRINELL EN FUNCION DEL GRADO DE TORSION

(Diámetro de la barra: 16 mm)

Torsión en 10 ϕ	0°	30°	180°	270°	360°	450°	540°
Tensión de fluencia (kg/mm ²).....	33,6	35,8	41,8	47,2	50,2	54,2	57,7
Tensión de rotura (kg/mm ²).....	47,2	51,0	54,4	57,9	60,4	62,2	64,6
Alargamiento 10 d (%).....	28,1	21,9	15,0	14,4	13,8	12,5	10,6
Dureza Brinell.....	116	136	150	160	165	167	180

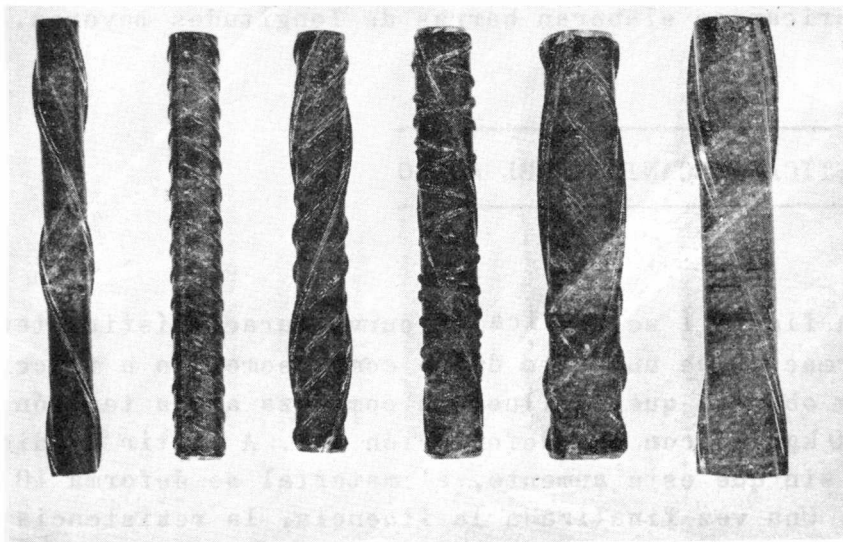


Fig. 2.- Superficies de barras conformadas
de producción en el país

figura 2 se observan diversas superficies típicas de barras conformadas de producción en el país.

Es necesario aclarar que la superficie de las barras no deberá presentar virutas, escamas, asperezas, ni otros defectos capaces de producir heridas durante su manipuleo. Además, las barras estarán libres de grietas, sopladuras y otros defectos que puedan afectar desfavorablemente la resistencia o el doblado. Durante el proceso de elaboración de las barras, deberá realizarse en forma simultánea la selección de las mismas, eliminando todas aquellas que posean algún defecto que las hagan inaceptables para ser empleadas en obra.

Longitudes comerciales

Las barras se suministran normalmente en rollos o en tramos rectos con un largo nominal de 12 metros. Los diámetros menores (el 6 y a veces el 8) son los que se suministran habitualmente en rollos. Los diámetros mayores se comer-

cializan normalmente en tramos rectos y con la longitud indicada más arriba. Longitudes mayores a 12 metros provocarían dificultades en el manipuleo y en el transporte. Sólo a pedido los fabricantes elaboran barras de longitudes mayores.

CARACTERISTICAS MECANICAS DEL ACERO

En la figura 1 se grafica la curva característica tensión-deformación de un acero dulce común sometido a tracción simple. Se observa que la fluencia comienza a una tensión $\sigma = 2\,300 \text{ kg/cm}^2$ con una deformación ϵ . A partir de dicha tensión y sin que esta aumente, el material se deforma 10 a 15 veces más. Una vez finalizada la fluencia, la resistencia vuelve a aumentar siendo necesario incrementar la tensión para llegar a la rotura ($\sigma_r = 3\,500 \text{ kg/cm}^2$). Los aceros dulces de alta resistencia se comportan en forma similar. Si en lugar de un acero dulce, se considera un acero endurecido en frío por torsión o tracción o ambas simultáneamente, vemos que presenta una curva característica sin el escalón de fluencia, pero su rotura se produce también lentamente. La deformación específica debe haber sobrepasado por lo menos el 8 % de su longitud inicial, para que pueda ser empleado como acero para hormigón armado.

El endurecimiento que se logra sometiendo al acero común a un trabajo en frío, es función de la deformación lograda. En el LEMIT se han tomado barras laminadas de acero de sección circular y diámetro 16 mm (cuyas características químicas promedio son: C 0,12 %; Si 0,06 %; Mn 0,55 %; S 0,07 % y P 0,035 %), las que fueron sometidas a diversos grados de torsión y luego se realizaron los ensayos de tracción, plegado y dureza, obteniéndose los resultados que se informan en la tabla V.

Se observa que tanto el límite de fluencia como la tensión de rotura aumentan con el grado de torsión, disminuyendo en cambio el alargamiento. En el ensayo de plegado no se observaron anomalías y en el de dureza Rockwell, cuyos valores fueron convertidos a unidades Brinell, se apreció un aumento de la dureza en función del grado de torsión. Dicho aumento es má-

ximo en la periferia de las barras y disminuye hacia el centro.

En el caso estudiado se observa que el aumento porcentual con respecto al valor inicial, de las tensiones de fluencia y rotura no son semejantes. Se logró, luego de torsionar las barras, un aumento del 71,7 % de la tensión de fluencia convencional con respecto a la tensión de fluencia real del acero en estudio y solamente un aumento del 36,9 % en la tensión de rotura.

Un análisis microscópico del acero con los diversos grados de torsión indicaría que a medida que la barra es torsionada va desapareciendo el estiramiento de los cristales en la dirección del eje de la barra, provocado por el proceso de laminación, observándose además un paulatino cambio de dirección en la orientación de los cristales, que es precisamente el estado helicoidal inducido por medio de la torsión. Existe además una subdivisión de cristales, lo cual aumenta el número de cristales por unidad de superficie.

Las características mecánicas que más nos interesan y que sirven para una simple tipificación de los aceros para hormigón armado son:

- Límite de fluencia característico (kg/mm^2).
- Resistencia a la tracción característica (kg/mm^2).
- Alargamiento de rotura característico (%).

Estas tres características cuantitativas se definen a partir de un ensayo de tracción simple sobre un trozo de barra (Norma IRAM 102).

La otra característica mecánica que interesa tiene relación directa con las condiciones de las barras, en lo que se refiere a su preparación y doblado para constituir las armaduras. Esta característica cualitativa se controla mediante un ensayo de plegado (Norma IRAM 103). Realizado el ensayo a temperatura ambiente no deben aparecer grietas en la parte extendida de la probeta.

TIPOS DE ACEROS PARA HORMIGON ARMADO

Existen diversas tipificaciones de los aceros para hormigón armado que varían no sólo de un país a otro, sino que también, como ocurre en nuestro medio, pueden coexistir más de una clasificación, en las que invariablemente las características cuantitativas sirven como referencia. El Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) adopta como base de designación el límite de fluencia, no obstante mantener con carácter orientativo y con la finalidad de no originar confusión la designación utilizada hasta el año 1972, basada en el límite de rotura. Además adopta símbolos distintos para individualizar los tipos de barras (por ejemplo una barra lisa, laminada en caliente se designa como AL-22 o AL-33 según su límite característico de fluencia y una barra conformada, de dureza natural como ADN-40 o ADN-46 según su límite característico de fluencia).

Algunos países europeos adoptan una clasificación semejante a la utilizada por IRAM.

El Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH, 1964) especifica en base a sus características cuantitativas mínimas, cinco tipos de acero, a los que denomina Tipo I, II, III, IV y V.

La Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, adoptó en octubre de 1964 la tipificación propuesta por el PRAEH, que luego amplió ante la aparición en el mercado argentino de nuevos productos. En la tabla VI se informan los diversos tipos de aceros que adopta la Comisión y sus características cuantitativas mínimas. Se indica también el diámetro del mandril en función del diámetro de la barra que se utiliza en la ejecución del ensayo de plegado en frío.

Los valores característicos desde el punto de vista cuantitativo resultan de la interpretación estadística de los resultados de los ensayos realizados. El PRAEH, considerando que los resultados de los ensayos se distribuyen de acuerdo a una curva estadística normal, define como valor característico al

TABLA VI. TIPOS DE ACEROS, CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS MINIMAS

Tipo	Designación	Tensión caract. de fluencia real o convencional (kg/mm ²)	Resistencia caract. de rotura a tracción (kg/mm ²)	Alargamiento caract. mínimo determinado 10 g (%)	Diámetro mandril
I	Común	23	35	20	1 d
II	Común, torsionado en frío	37	41	10	2 d
III	Conformado y torsionado en frío.	44	49	9	3 d
III a	Conformado de dureza natural	44	49	10	3 d
IV	Estirado en frío para mallas	50	55	liso 8 conform. 7	liso 3 d conform. 4 d
V	Conformado, torsionado en frío	55	60,5	liso 8 conform. 7	5 d
V c	Conformado y tre- filado en frío.	55	60,5	8	5 d
				60,5	4 d
				60,5	4 d

que corresponde a la probabilidad de que el 95 % de los resultados obtenidos supere dicho valor. IRAM, en la última revisión de las normas que se refieren a aceros, ha introducido el concepto de valores característicos.

El procedimiento detallado para realizar el cálculo de los valores característicos se puede consultar en el PRAEH-1964 (capítulo III A.6.3.3.) o en la norma IRAM 502.

Es necesario indicar que algunos reglamentos especifican para ciertos tipos de aceros solamente la tensión de fluencia, y la de rotura se indica como el valor de la tensión de fluencia aumentada en un 10 % como mínimo. La norma austríaca ONORM B 4200, es un ejemplo de lo comentado. En otras tipificaciones los valores característicos de fluencia y rotura mantienen esa diferencia del 10 %. Por ejemplo el PRAEH para el acero tipo III especifica una tensión de fluencia de 44 kg/mm^2 y para la de rotura de 49 kg/mm^2 , quedando expresado en forma tácita el aumento del 10 % comentado.

Se considera, sin embargo, que es mucho más conveniente la especificación que estipula como tensión mínima de rotura, la de fluencia aumentada en un 10 %. En una interpretación simplificada y no conceptual, un acero con tensiones características de fluencia y de rotura iguales por ejemplo a 60 y 62 kg/mm^2 respectivamente, podría estar comprendido en el tipo III, ya que cumple con los mínimos estipulados para cada tensión. Es sin embargo necesario, por razones de seguridad, que se mantenga como mínimo la diferencia del 10 % entre las tensiones características obtenidas en los ensayos realizados, para que no se superponga la fluencia y la rotura del material como así tampoco la de la estructura de la cual forma parte.

ADHERENCIA

La adherencia acero-hormigón es el fenómeno fundamental que condiciona la existencia del hormigón armado, ya que posibilita la acción en conjunto de ambos materiales. En forma muy general podemos definir como adherencia al conjunto de fuerzas

FIGURA 3

329

MOLDE PARA BARRA VERTICAL

MOLDE PARA BARRA HORIZONTAL

DETALLE X

ANILLO DE GOMA

VISTA CC

que se oponen al arranque de la barra de la masa de hormigón que la rodea. En las barras conformadas se habla de una acción doble de aprisionamiento y tope, mientras que en las barras lisas existiría solamente la acción de aprisionamiento.

Ensayos de adherencia

La norma IRAM 1596 especifica un ensayo simple de arranque por tracción. Existen dos tipos diferentes de probetas (figura 3): la probeta simple con barra vertical y la doble con barras horizontales. En el primer caso se trata de reproducir aproximadamente la ubicación de las barras y el llenado con hormigón que se ejecuta en una columna; en el segundo caso las barras horizontales reproducirían la ubicación de las barras de tracción y compresión en vigas.

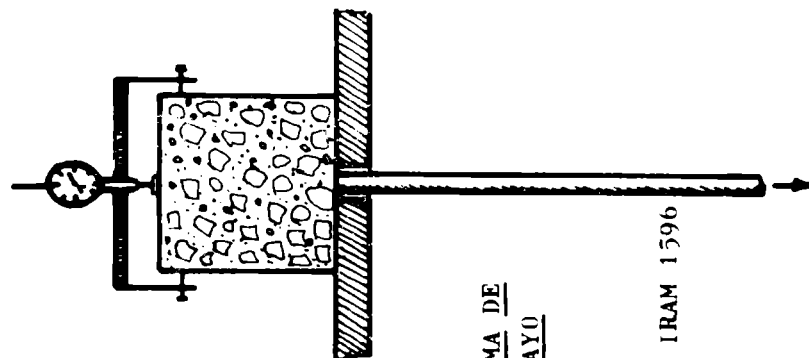
A los 28 días se realiza el arranque de la barra, midiéndose, a intervalos del deslizamiento de la misma, la carga que lo produce. La adherencia se expresa dividiendo el esfuerzo por el perímetro de la sección multiplicado por la longitud del empotramiento. En la figura 4 se encuentran esquematizados los resultados que se obtienen en un ensayo de arranque por tracción para barras conformadas verticales, horizontales, superiores e inferiores. El esquema para barras lisas sería semejante pero con valores de adherencia menores.

El contacto hormigón-acero en las barras horizontales, es diferente si se consideran barras superiores o inferiores. En el caso de barras superiores, disminuye el contacto hormigón-acero al producirse el asentamiento del hormigón fresco inmediatamente después de colocado, dando origen a la existencia de un pequeño hueco que luego es ocupado por el agua libre del hormigón.

Los valores que se obtienen en este tipo de ensayos surgen de un estado de tensiones que no se reproduce en los elementos estructurales. Es un ensayo de laboratorio simple y muy eficaz para trabajos comparativos de investigación.

Algunas especificaciones lo han reemplazado por otro de arranque por flexión (norma NBN 816 del Instituto Belga de Normalización, 1969).

El Comité Europeo del Hormigón sugiere una variante al ensayo de arranque por tracción que consiste en tirar simul-



ESQUEMA DE
ENSAYO

Norma IRAM 1596

FIGURA 4
ENSAYO DE ADHERENCIA

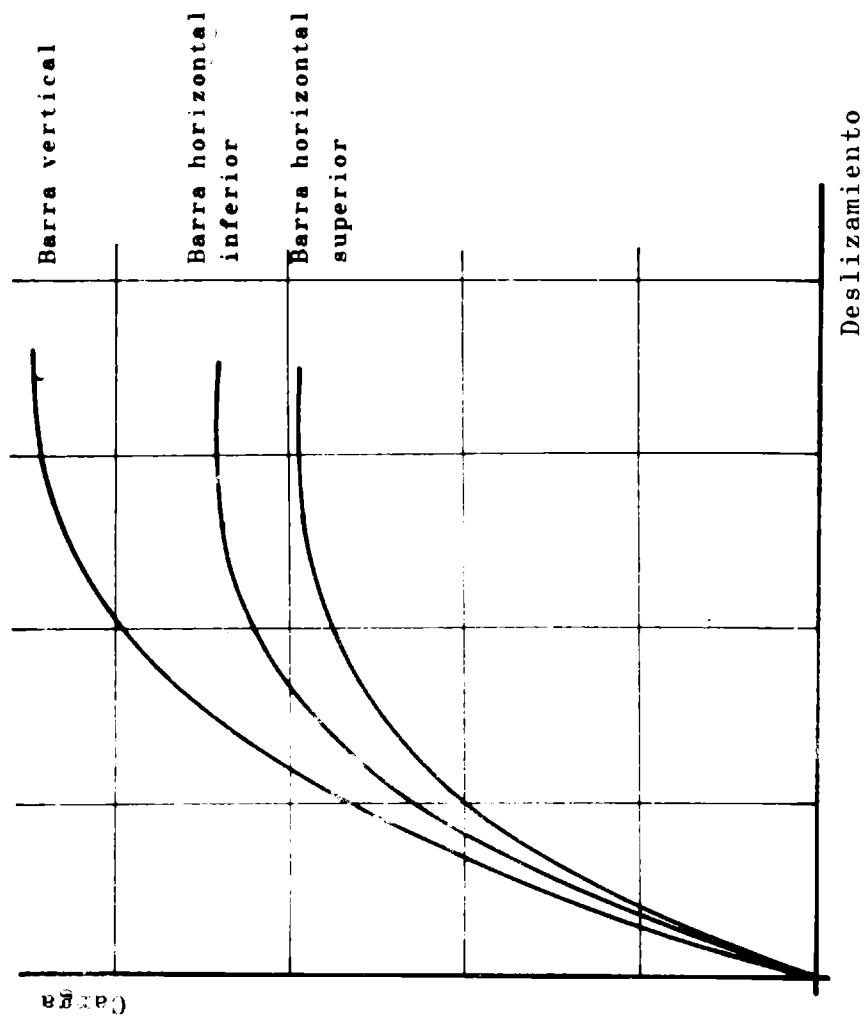


DIAGRAMA CARGA - DESLIZAMIENTO

TABLA VII. TENSIONES PROMEDIO DE ADHERENCIA

Ensayo según norma IRAM 1596; diámetro de la barra 20 mm; contenido de cemento 300 kg/m³

Aditivo	Razón agua cemento	Resistencia a los 28 días			Ubicación de las barras		
		Compresión (kg/cm ²)	Tracción (kg/cm ²)	Vertical (kg/cm ²)	H. inf. (kg/cm ²)	H. sup. (kg/cm ²)	
-	0,56	511	28	100	93	60	
Resina Vinsol	0,52	519	27	120	99	84	
Retardador	0,46	564	52	114	102	86	
Fluidificante	0,48	598	50	124	94	84	
Doble propósito	0,47	567	50	116	102	97	

TABLA VIII. MAXIMAS TENSIONES DE CALCULO DEL ACERO

Tipo de acero	Régimen elástico (kg/cm ²)	Régimen de rotura (kg/cm ²)
I	1 400	2 300
II	2 000	3 700
III	2 400	4 400
IV	2 700	5 000
	3 000	5 500
V	3 000	5 500

TABLA IX. RESISTENCIA CARACTERISTICA MINIMA DEL HORMIGON (COMPRESION) A LA EDAD DE 28 DIAS

Hormigón de proporciones	Tipo de acero	Tipo de sollicitación	Resistencia característica mínima (kg/cm ²)
Empírica (control optativo excepto consistencia)	I al V	Estática	80
Racional (control: obligatorio y sistemático)	I-II	Estática	130
	I-II	Dinámica	170
	III-IV-V	Estática	170
	III-IV-V	Dinámica	210

táneamente de dos barras desplazadas transversalmente y unidas con estribos.

Los estudios experimentales realizados en el LEMIT indican que la tensión de arranque depende fundamentalmente de las características geométricas de la superficie lateral de la barra y que aumenta cuando aumenta la resistencia del hormigón en que se halla empotrada la barra.

En la tabla VII se informan resultados de diversos ensayos realizados en el LEMIT, en los cuales se ha mantenido como constante el diámetro de la barra ($\emptyset$: 20 mm).

Las normas IRAM no especifican las tensiones de adherencia mínimas que deben verificar los diversos tipos de aceros. En cambio, por ejemplo, la norma belga NBN 17902 especifica en función del diámetro de la barra las tensiones mínimas a obtener en el ensayo de arranque por flexión, definiendo una característica de adherencia que se agrega a las características cuantitativas y cualitativas.

Con respecto a la tensión a considerar en los cálculos existe una marcada diferencia en los diversos códigos o reglamentos. Se tiende en la actualidad a suponerla como función de la resistencia a la tracción del hormigón y de las características de la superficie lateral de la barra.

TENSIONES DE CALCULO DEL ACERO

Los elementos estructurales muy bien podrían ser dimensionados considerando tensiones de cálculo superiores al límite real o convencional de fluencia, pero al llegar el esfuerzo a la tensión de fluencia las deformaciones resultantes serían de gran magnitud, apareciendo fisuras y/o deformaciones que pueden llegar a producir daños de importancia en la estructura (desprendimiento de ciellorrasos, fisuración de paredes, rotura de cristales, etc.).

Por todo lo anterior, las estructuras se calculan en función de la tensión de fluencia, sin considerar el margen que deja el acero hasta que se produce su rotura.

En la tabla VIII se indican las máximas tensiones de cálculo del acero, según el tipo de acero y el régimen o teoría de cálculo utilizada.

Las tensiones máximas indicadas deben ser adecuadamente reducidas para tener en cuenta el régimen de cargas, las características generales de la estructura y las condiciones del medio ambiente a que la misma se verá expuesta durante su vida útil.

En el caso de emplear en obra un hormigón cuyas proporciones fueron determinadas en forma empírica (ver Resistencia de rotura del hormigón), las tensiones admisibles del acero, que podrá ser de cualquiera de los tipos especificados, no podrá exceder de $1\,400\text{ kg/cm}^2$.

RESISTENCIA DE ROTURA DEL HORMIGON

La resistencia característica mínima del hormigón de obra, dependerá del tipo de acero que se emplee, como así también del método utilizado para determinar las proporciones de sus materiales componentes.

En el caso de obras de pequeño volumen y de importancia estructural secundaria, que no quedarán expuestas durante su vida útil a la acción de un medio agresivo, las proporciones de los materiales componentes del hormigón podrán establecerse en forma empírica. Para obras de mayor volumen e importancia deben determinarse las proporciones de los materiales en forma racional, experimentalmente, empleando algunos de los métodos conocidos, que se basen fundamentalmente en la razón agua-cemento del hormigón.

Se especifican en la tabla IX las resistencias características mínimas en función del tipo de acero y de las solicitudes. El hormigón especificado es ejecutado con cemento portland normal. En caso de emplearse cemento de alta resistencia inicial, las resistencias características que se informan en la tabla serán las que deben obtenerse a la edad de 7 días.

CONDICIONES DE EMPLEO. DISPOSICIONES DE CARACTER CONSTRUCTIVO

En todos los casos en que pueda existir algún peligro de confundir las barras y para mayor seguridad, no se deberán emplear simultáneamente en obra distintos tipos de acero. Cada fabricante identifica las barras, a excepción de los tipos I y II, con una marca en relieve producida por laminación, que corresponde a un símbolo registrado que establece el tipo y el productor. En obra los aceros se almacenarán en forma separada según los tipos, para evitar toda posibilidad de intercambio.

Las barras que conforman las armaduras, deberán estar limpias o sea libres de barro, polvo, escamas sueltas de herrumbre, etc., en el momento de ser introducidas en los encofrados, para evitar que se produzca una deficiente adherencia al hormigón.

En lo referente a la separación libre entre las barras de la armadura, si bien ello es un problema de cálculo, debemos decir que al determinarse las proporciones del hormigón no sólo se deberá tener en cuenta la resistencia a alcanzar sino también el tamaño máximo del árido grueso a emplear. El mismo será siempre menor que $5/4$ de la distancia libre entre barras individuales o grupos de barras en contacto.

Corte y doblado

En obra las barras se cortarán y doblarán ajustándose estrictamente a las formas y dimensiones indicadas en los planos, siendo imprescindible la verificación de las mismas, por parte de la inspección, antes de autorizar el hormigonado. Las operaciones de corte y doblado se realizarán en frío a temperatura ambiente. El doblado se realizará a velocidad limitada y siempre a temperaturas mayores a los 5°C. Todas aquellas barras que han sido dobladas no podrán ser enderezadas ni se emplearán si no se elimina la zona que fue sometida a esa operación.

El doblado de las barras no podrá realizarse en caliente

para los aceros tipo II, III, IV o V, permitiéndose esto para aceros tipo I y en barras de diámetro igual o mayor de 25 mm. Nunca debe sobrepasarse los 800-830°C de temperatura.

En la tabla X se indican los radios de curvatura mínimos que se pueden recomendar en función del diámetro de la barra y del tipo de acero.

T A B L A X

RADIOS MINIMOS DE DOBLADO Y DIAMETROS INTERNOS DEL
GANCHO EN FUNCION DEL DIAMETRO

Tipo de acero	Radio mínimo de doblado	Diámetro interno del gancho
I	10.d	2,5.d
II	10.d	5.d
III	13.d	6.d
IV	13.d	-
V	15.d	7,5.d

Recubrimiento mínimo

El recubrimiento de las armaduras tiene como objeto protegerlas contra la corrosión. El hormigón de recubrimiento de espesor adecuado, considerando el tipo de estructuras y el medio ambiente, se moldeará conjuntamente con el correspondiente elemento. En la tabla XI se indican los recubrimientos mínimos que se recomiendan habitualmente para los diversos elementos estructurales, considerando el medio ambiente a que están expuestos.

En estructuras donde por una deficiente ejecución, las barras de las armaduras quedan sin los recubrimientos mínimos exigidos, aparecen con el transcurso del tiempo problemas de muy difícil solución. En la figura 5 se observa la corrosión de barras de armaduras de gran diámetro en una estructura en la cual los recubrimientos no han cumplido con su función primordial. Sabemos que cuando se inicia el proceso

TABLA XI. RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS

Elemento Estructural	Acción			
	Ninguna	Intemperie	Suelo no agresivo	Líquido no agresivo Líquido o suelo agresivo
Losas y placas nervadas ..	1,5 cm	2,5 cm	-	2,5 cm 3,0 cm
Columnas, vigas y otros ..	1,5 cm	2,5 cm	-	2,5 cm 4,0 cm
Zapatas y otros.....	-	-	2,5 cm	2,5 cm 4,0 cm

TABLA XII. ENSAYOS DE BARRAS DE ACERO TIPO III TORSIONADAS EN FRÍO
ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDAS A LA ACCIÓN DEL FUEGO DIRECTO

Diámetro nominal (mm)	Tensión de fluencia (kg/mm ²)	Tensión de rotura (kg/mm ²)	Alargamiento sobre 10 ϕ (%)
8	35,8	43,5	11,9
8	20,9	30,8	15,0
8	24,5	37,1	20,4
8	33,0	48,9	20,7
8	26,5	39,7	20,0
8	21,4	38,8	36,2

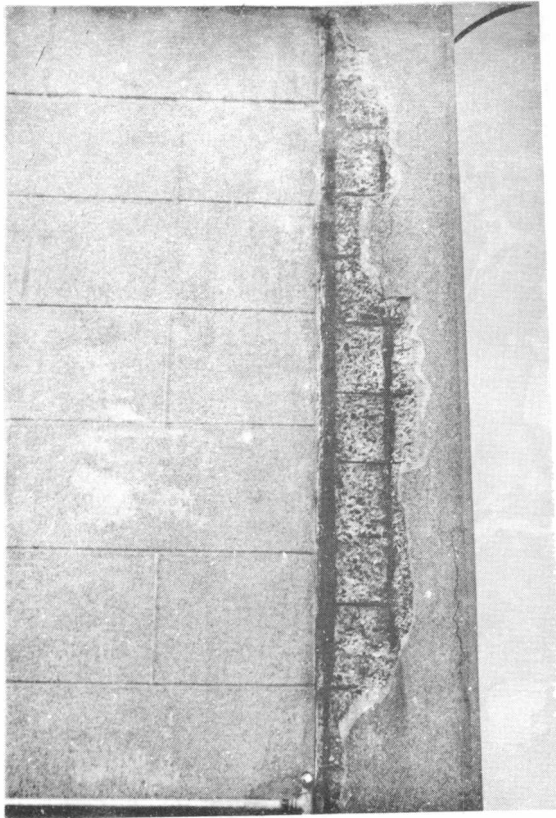


Fig. 5.- Corrosión en las armaduras. Obsérvese el desprendimiento del hormigón de recubrimiento.

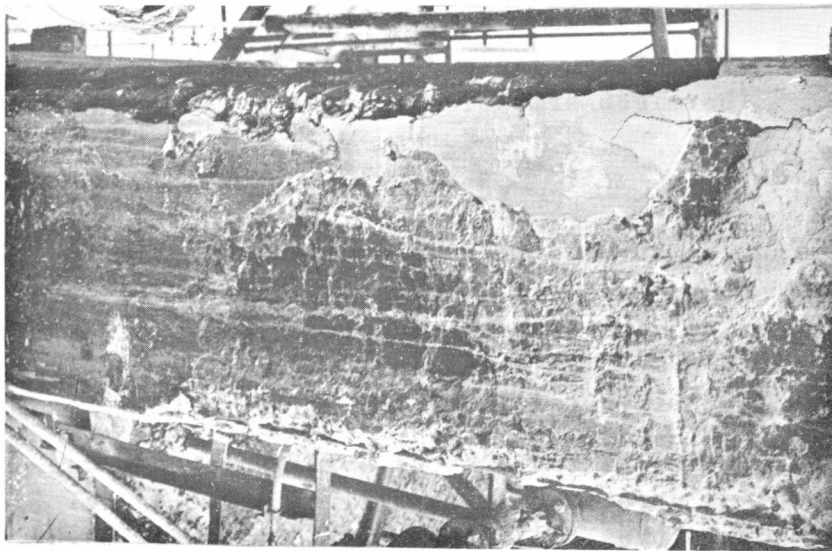


Fig. 6.- Estructura de hormigón armado afectada por el fuego

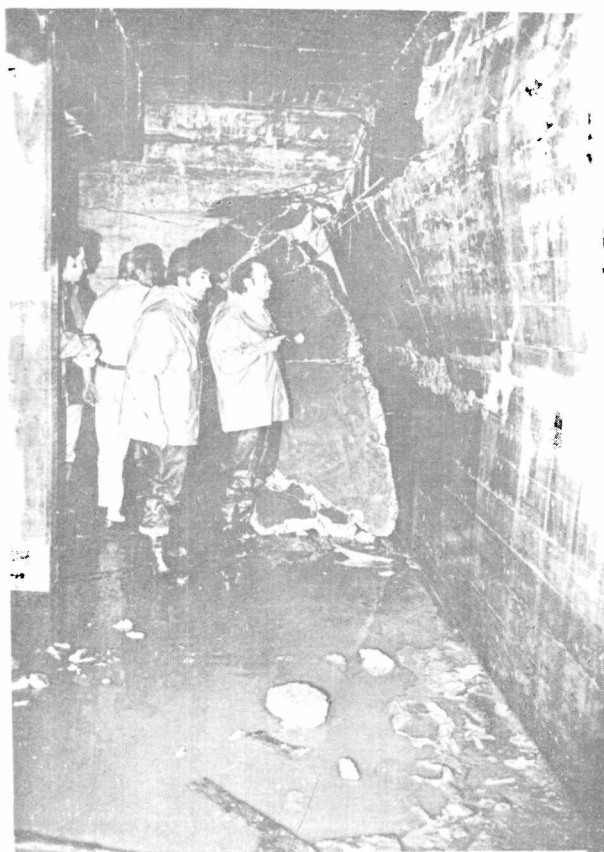


Fig. 7.- Colapso de estructura de hormigón armado. Corrosión de armaduras.

de corrosión es muy difícil que se detenga y el mismo llega a ocasionar aumentos de volumen en las barras del orden del 200 %, lo que origina tensiones de tracción en el hormigón que éste no puede resistir y provoca fisuras y grietas que son nuevos caminos para los agentes agresivos.

En el caso de estructuras de hormigón armado que pueden estar expuestas durante su vida útil a la acción del fuego o de altas temperaturas, el recubrimiento debe ser mayor a los especificados y se emplearán en su ejecución aceros de dureza natural, es decir aquéllos que no han sufrido ningún tratamiento en frío.

En estos aceros la resistencia se reduce a partir de los 300°C y alcanzan, por ejemplo, después de 2 horas de calentamiento a 600°C, solamente 1/5 de la resistencia original. A diferencia de los tratados en frío, recuperan al enfriarse su primitiva resistencia. En la figura 6 se observa una estructura con el recubrimiento habitual, que estuvo expuesto a la acción del fuego. El mismo originó la calcinación del hormigón del recubrimiento, el cual se desprendió, quedando las armaduras principales y secundarias al descubierto.

Las barras, que eran del tipo III, conformadas y endurecidas por torsión en frío, perdieron las propiedades que les fueron conferidas mediante la deformación a temperatura ambiente, poniendo en serio peligro a la estructura.

En la tabla XII se detallan los resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre armaduras de repartición, extraídas por personal técnico del LEMIT de la estructura que estuvo expuesta a la acción del fuego.

Cuando la estructura tiene que quedar expuesta a la acción de atmósferas extremadamente agresivas, debe ser protegida en forma especial, mediante el empleo de revestimientos capaces de resistir los efectos perjudiciales o corrosivos del medio ambiente.

En la figura 7 se observa el derrumbe de un elemento estructural ubicado en una atmósfera saturada de cloro; la existencia de fisuras en el recubrimiento posibilitó la corrosión de las armaduras, lo cual produjo una reducción de sección que originó con posterioridad el colapso del elemento.

El LEMIT, ha participado en los trabajos de reparación de una planta potabilizadora de agua, en la que se utiliza sulfato de aluminio como floculante. Este es un compuesto altamente agresivo para el hormigón. El recubrimiento original había desaparecido casi por completo, pensándose entonces en la necesidad de mantener protegidas las armaduras mediante la ejecución de un revestimiento de hormigón de espesor adecuado. Se recomendó el empleo de una malla de acero, vinculada al resto de la estructura, para evitar el agrietamiento y/o desprendimiento del revestimiento de hormigón. En el caso que se comenta, el problema originado por el empleo de un recubrimiento no adecuado y por la utilización de un hormigón de alta relación agua/

cemento pudo ser solucionado sin muchos inconvenientes. Sin embargo existen otros casos en que el problema se agrava pues no se pueden encontrar soluciones prácticas factibles.

Anclajes

Se define el anclaje como la longitud de empotramiento necesaria para asegurar la transferencia del esfuerzo que resiste la barra al hormigón o viceversa. En barras traccionadas el anclaje se realiza mediante ganchos que se continúan con un trozo recto de longitud variable según los distintos reglamentos.

En las barras comprimidas se suprimen los ganchos, ya que éstos solicitarían al hormigón a la tracción, debiendo continuarse por lo menos 30 diámetros. En la tabla X se dan los diámetros internos mínimos del gancho en función del diámetro y del tipo de acero, que especifica el PRAEH - 1964.

En las armaduras traccionadas de pequeño diámetro (tipo I, 6 mm; tipo III y V, 14 mm), algunos reglamentos permiten la supresión de los ganchos terminales, manteniendo las longitudes de anclaje necesarias.

Empalmes

Las barras de diámetro mayor de 8 mm, se comercializan habitualmente en longitudes no mayores a los 12 metros, por lo cual es necesario empalmarlas cuando en obra se necesitan armaduras de mayor longitud.

En lo posible se trata de no realizar empalmes, y si ello es imposible de cumplir se los debe ejecutar en aquellos lugares en que las barras tengan las menores solicitaciones.

La posición de los empalmes se debe indicar en los planos y demás documentos de la obra. Los empalmes podrán realizarse por yuxtaposición de las barras o por soldadura eléctrica.

Los aceros tipo I o tipo III de dureza natural, son soldables sin inconvenientes, ya sea por fusión de los extremos y unión a tope o por soldadura con material de aporte. Los aceros que han sufrido algún tipo de deformación en frío, tienen el inconveniente que el calentamiento necesario para soldar reviene el material y disminuye la resistencia de la

barra.

La influencia que un aumento apreciable de la temperatura respecto de la ambiente tiene sobre los aceros tratados en frío, se encuentra expresada en la figura 8. Sobre probetas torsionadas en frío de 25 mm de diámetro, sometidas al proceso de recocido a distintas temperaturas, se realizaron ensayos comparativos de resistencia a la tracción. De la observación de dicho gráfico surge que una temperatura de 700°C elimina totalmente el efecto de endurecimiento producido por la torsión, quedando el material reducido a un acero común para construcciones, es decir el material original empleado para obtener el acero endurecido. En el caso de los aceros especiales tipo II, III y V no se debe emplear la soldadura eléctrica por fusión, pero pueden ejecutarse otros tipos de uniones soldadas, siempre que previamente se demuestre la posibilidad de su correcta ejecución y su eficacia, mediante resultados satisfactorios de ensayos realizados al efecto, en barras soldadas por el personal que realizara iguales tareas en obra.

En las tablas XIII y XIV se informan ensayos realizados en el LEMIT sobre barras de aceros tipo III, torsionadas en frío, soldadas con material de aporte y por fusión a tope. Se observa de acuerdo a los resultados un comportamiento satisfactorio en las barras soldadas con material de aporte y un comportamiento deficiente en las soldadas por fusión a tope, ya que afecta en forma sensible la tensión de rotura.

En lo referente al aprovechamiento de las uniones soldadas diremos que es de práctica considerar como resistencia de la unión en barras comprimidas a la resistencia de las barras que vincula y en barras traccionadas un 80 por ciento de las barras que une. El PRAEH especifica algunos casos particulares en que dicha unión puede considerarse de igual resistencia a la de las barras que une, como ser si el trabajo de soldadura se realiza bajo condiciones rigurosas y permanente control, si en una sección del elemento estructural sólo existe una barra empalmada de cada cinco o si las solicitaciones alternadas no son preponderantes.

En lo referente al empalme por yuxtaposición diremos que las barras se colocan en contacto directo, que sus extremos en el caso de ser barras traccionadas tendrán ganchos termina-

TABLA XIII. ENSAYOS DE TRACCION REALIZADOS SOBRE BARRAS
TORSIONADAS EN FRIO SOLDADAS CON MATERIAL DE APORTE

Diámetro de la barra (mm)	Diámetro de la soldadura (mm)	Tensión de rotura (kg/mm ²)
16	22,0	51,5
	21,0	52,8
25	29,0	54,0
	30,0	54,6

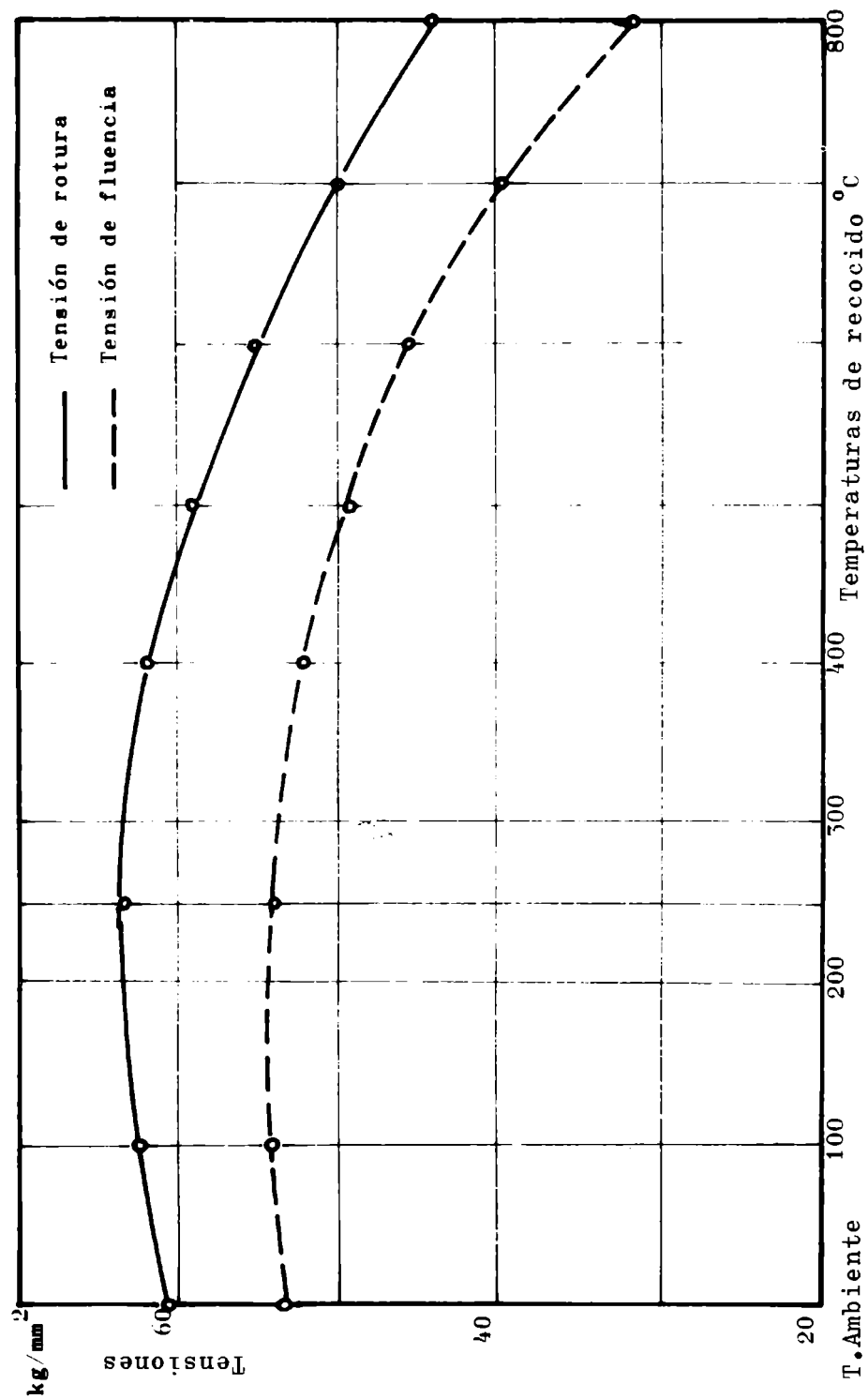
Nota.- La rotura se produjo fuera de la soldadura, aproximadamente a 1 cm de la misma.

TABLA XIV. ENSAYOS DE TRACCION REALIZADOS SOBRE BARRAS
TORSIONADAS EN FRIO, SOLDADAS POR FUSION A TOPE

Diámetro de la barra (mm)	Tensión de fluencia (kg/mm ²)	Tensión de rotura (kg/mm ²)
16	30,3	49,3
	29,7	45,3
25	35,8	49,3
	36,7	47,8

Nota.- La rotura se produjo fuera de la soldadura, aproximadamente a 5 cm de la misma.

FIGURA 8
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS COMPARATIVOS DE TRACCIÓN REALIZADOS
CON PROBETAS NO TRATADAS Y PROBETAS SOMETIDAS A RECOCIDO



les y que a lo largo de toda la longitud de yuxtaposición, se colocarán armaduras transversales. No se aconseja el empalme por yuxtaposición, en aquellos elementos estructurales sometidos a tracción simple o cuando el diámetro de las barras es mayor de 25 mm.

Para los aceros tipo I, pueden ejecutarse empalmes realizados mediante manguitos roscados, debiendo realizarse los ensayos que se crean convenientes para comprobar la eficacia de la unión.

Inspección y recepción de aceros en obra

En obra, las barras de acero del mismo tipo, fabricante y remesa, se agrupan en lotes del mismo diámetro nominal, que deberán ser inspeccionados visualmente para comprobar si las barras presentan la marca que individualiza a cada producto, rechazándose las que no cumplan tal requisito como así también las que se presentan con defectos superficiales.

Los lotes deben ser divididos en grupos, con un peso máximo de 10 t. De cada uno de estos grupos se extraen al azar un número especificado de barras y de ellas las probetas necesarias para realizar la verificación de las características geométricas y de las características mecánicas.

En lo referente a las medidas geométricas, las mismas se verifican con calibradores apropiados, aceptándose el lote si los valores considerados resultan satisfactorios. En el caso de que las comprobaciones de los pesos no verifiquen lo estipulado, se puede aceptar o rechazar el lote dependiendo la resolución del inspector de obra o del comprador.

El PRAEH, define dos tipos de pruebas, la normal y la complementaria. Para la primera se separan cinco barras y de cada una de ellas se extrae una probeta para el ensayo de tracción y otra probeta para el ensayo de plegado. En caso de que la prueba normal no proporcione los resultados especificados se realizará una prueba complementaria sobre cinco o más probetas nuevas. Si en la prueba normal las cinco probetas verifican resultados iguales o mayores al valor característico mínimo especificado el lote se considera aceptable y en caso contrario se debe realizar la prueba comple-

plementaria y realizar la interpretación estadística del total de los resultados con que se cuenta.

En este caso el lote es aceptado si los valores característicos son superiores o en caso contrario puede ser rechazado o empleado, pero con una característica menor. Las normas IRAM para barras de acero laminadas en caliente y estiradas en frío y las laminadas en caliente y torsionadas en frío, establecen la posibilidad de efectuar los ensayos mecánicos en barras envejecidas artificialmente, en el caso de que algunos de los ensayos realizados con probetas en estado de entrega no cumpla con los valores establecidos. El envejecimiento artificial consiste en calentar la barra en horno a 250°C durante 30 minutos, seguido de un enfriamiento al aire. Es un hecho conocido que las barras no adquieren su resistencia total inmediatamente después del proceso de elaboración, sino que la misma se logra después de un lapso que varía con la composición química del material. Sin embargo algunos investigadores consideran que no se pueden comparar los resultados del envejecimiento artificial con los del envejecimiento natural, ni tampoco se debe utilizar este proceso para la aceptación de aceros ya que traería como consecuencia el empleo de aceros que no tienen las características mecánicas adecuadas en el momento de colocar en obra y que no se sabe a ciencia cierta si las van a tener y en qué tiempo.

En el caso de que tampoco se verifique en las probetas envejecidas, se permite un nuevo muestreo y se envejece artificialmente el total de probetas antes de su ensayo. En este caso el valor característico calculado sobre el total de muestras envejecidas debe resultar igual o mayor que el establecido en norma.

Certificado de empleo

Algunas reparticiones nacionales o provinciales de la Argentina, como ser la Secretaría de Estado de Obras Públicas (SEOP) y el Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (M.O.P.) por intermedio del LEMIT extienden Certificados de Empleo para los diferentes aceros, a solicitud del fabricante. Se entiende como tal, al conjunto de especificaciones de las características que identifican y habilitan a cada tipo de acero para uso en hormigón armado. La Municipa-

lidad de la ciudad de Buenos Aires lo realiza mediante una resolución.

La existencia del Certificado del SEOP es condición necesaria para que el acero pueda emplearse en todas las obras que se realizan con intervención de esa Secretaría de Estado y otro tanto ocurre con el Certificado del M.O.P en las obras que ejecuta la Provincia de Buenos Aires. En los mismos se detallan las características geométricas y mecánicas del acero y además se establecen las tensiones de cálculo del acero y la resistencia de rotura del hormigón. Asimismo se especifican diversas condiciones de empleo, como ser diámetros del gancho, empalmes, etc.

Los entes encargados de la redacción y extensión de los Certificados de Empleo, han redactado sus respectivas Especificaciones técnicas, encontrándose para un mismo producto diferencias en las tensiones admisibles de cálculo especificadas. Resultaría de interés llegar a una unificación de criterios en lo referente a las características de los aceros y a las condiciones de empleo.

En la Provincia de Buenos Aires, de acuerdo a una resolución ministerial, el LEMIT extiende dichos certificados de Empleo del Acero en base a los resultados de los ensayos realizados sobre muestras extraídas por su personal técnico directamente de la planta de elaboración y siempre que los resultados sean satisfactorios.

El inspector de toda obra pública verifica, antes de realizar los ensayos de vigilancia especificados, la vigencia del Certificado y deberá hacer cumplir en obra las especificaciones correspondientes. En la redacción de las Especificaciones técnicas, se adopta la tipificación utilizada por el PRAEH - 1964, a la cual, por las necesidades propias de un mercado con diversidad de productos, se agregan subíndices a los diversos tipos de acuerdo con la nomenclatura adoptada por la norma DIN 1045.

El Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, crea por resolución nº 455 del 22 de abril de 1963 el régimen del Certificado de Empleo para los aceros para hormigón armado, a emplearse en las obras que ejecuta.

Existía en ese momento una Comisión constituida a pedido de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos

Aires, integrada por profesionales de esa Dirección y del LEMIT, que estaba estudiando la posibilidad de emplear los aceros especiales en la construcción de puentes de hormigón armado, la que luego es ampliada y pasa a constituirse en la "Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado", que depende del Ministerio, la cual estudia los problemas y decide al respecto.

En la actualidad el LEMIT es el único órgano en la Provincia de Buenos Aires con atribuciones para redactar y extender el Certificado de Empleo y establecer su vigencia. Otras atribuciones son las de inspeccionar los establecimientos de producción y solicitar información que considere necesaria a fin de comprobar la aptitud de la firma fabricante para elaborar el acero en escala industrial y controlar la calidad y uniformidad de características.

Las firmas productoras se comprometen a mantener una calidad estadísticamente uniforme del producto. A tal efecto deben realizar ensayos sistemáticos de control de calidad de cada tipo de acero y diámetro.

Los valores a registrar, que se deben anotar en un libro de hojas fijas, son los que corresponden a cada una de las características cualitativas y cuantitativas que figuran en el "Certificado de Empleo".

La vigencia del "Certificado de Empleo", nace con la aprobación primaria por parte del LEMIT del tipo de acero y caduca junto con la desaparición del producto en el mercado, si es que éste conserva a través del tiempo sus características. En base a comprobaciones reiteradas de la falta de uniformidad en la calidad del producto, el LEMIT puede dejar en suspenso el "Certificado de Empleo" por el término que considere conveniente.

CONCLUSIONES

Los aceros para hormigón elaborados en el país presentan una amplia variedad de características. De los aceros especi-

ficados en la tabla V podemos decir que en la actualidad, a excepción del tipo II, los otros tipos son productos de elaboración continua, en condiciones que se pueden considerar como similares a las de los países más desarrollados. El acero tipo II se ha dejado de elaborar ya que un aumento de sus características mecánicas conseguidas por deformación en frío, no iba acompañado de un aumento proporcional de la adherencia.

Los aceros tipo III o V de dureza natural han comenzado a ser elaborados por las principales acerías y su uso, limitado por el momento a las grandes obras, se intensificará con seguridad con el tiempo. Este tipo de aceros es indicado en especial para ser empleado en aquellas obras en las cuales, durante su vida útil, puede ocurrir un incendio o están sometidas a los efectos de altas temperaturas.

Los ensayos realizados rutinariamente en el LEMIT permiten asegurar que muchos de los productos que se elaboran en el país, presentan coeficientes de variación muy próximos al límite mínimo que especifica el PRAEH - 1964, que es el del 4 %.

Sin embargo, es necesario que en obra se realice un control eficiente de las características de los aceros antes de autorizar su empleo, como así también que los proyectistas y calculistas conozcan las posibilidades que brindan los distintos aceros existentes en el mercado.

Se debe continuar con los trabajos de investigación en forma conjunta entre diferentes organismos y especialmente establecer una estrecha relación entre laboratorios oficiales con los de las distintas acerías que existen en el país. Es necesario también tender a unificar criterios en lo referente a la tipificación de los aceros, como así también a las condiciones de empleo de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

PRAEH. - Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Año 1964.

- Especificaciones Técnicas. - Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado. LEMIT (MOP), 1964.
- Leonhardt, F. - Hormigón Pretensado. Instituto Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, 1967.
- Helfgot, A. - Acero laminado en barras de sección circular. LEMIT, Serie II, nº 26, 1948.
- Manuele, R. y Rozados, E. - Corrosión del Hierro en Estructuras de Hormigón. Revista de Ingeniería, nº 62, 1968.
- Cano Olazábal, W. y Traversa, L. - Problemas en Estructuras que afectan su estabilidad. LEMIT, Serie II, nº 331, 1976.
- CBLIA-CSTC. - Centre Belge-Luxembourgeois d'Information de l'Acier - Centre Scientifique et Technique de la Construction. Aciers pour béton armé, 1971.
- IRAM. - Normas 102, 103, 502, 528, 537, 671 y 1 596.
- ONORM. - Norma B-4200. Austria.
- NBN. - Normas 816 y 17 902. Bélgica.
- Callejas Carrete, J. - La Corrosión de las Armaduras de Hormigón. Publicación nº 55. Instituto del Cemento Portland, 1971.
- Helfgot, A. - Hormigón Armado con Aceros de Alta Resistencia, Estado Actual de Conocimientos. Revista Construcciones, nº 182, 1963.

Agradecimiento

Los autores agradecen la colaboración prestada por el personal de la Sección Estructuras, en especial a los Técnicos A. Di Maio y S. Mólica.

**DETERMINACION POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LOS
CONSTITUYENTES METALICOS EN ACEITES ADITIVADOS**

Dr. Claudio L. Miniussi *

Tco. Quím. Jorge F. Meda

Tco. Quím. Raúl H. Pérez

SERIE II, Nº 335

* Jefe de la División Química Analítica del LEMIT.

INTRODUCCION

La resolución del problema de la determinación de los componentes metálicos por fluorescencia de rayos X en aceites lubricantes ha sido encarada por diversos investigadores (1, 3), entre ellos Haycock. Este, para resolver el problema de corrección de los efectos de exaltación y depresión de la intensidad del elemento a determinar utiliza un estándar interno que adiciona al aceite problema bajo la forma de naftenato y para cada elemento metálico a dosar emplea un estándar interno adecuado, complicando de esta manera la preparación de la muestra.

Otros autores, tratan de relacionar la intensidad de la radiación de fluorescencia con la concentración del elemento en cuestión, mediante ecuaciones provenientes de discusiones que tienen fundamentalmente en cuenta dos fuentes básicas. Una es el tratamiento riguroso del fenómeno físico a través de la fórmula de Sherman, donde la intensidad se da como una función de los diversos elementos intervinientes y de las constantes físicas involucradas (4). Como lamentablemente esta función no es reversible y lo que interesa desde el punto de vista analítico es obtener la concentración en función de la intensidad, se han desarrollado simplificaciones y métodos iterativos cuya precisión está sujeta al grado de aproximación y a la exactitud de las constantes fundamentales.

La otra forma de encarar el problema es aproximar una curva a datos experimentales y determinar en forma práctica los factores de influencia de los diversos elementos presentes, utilizando los términos necesarios como para obtener el ajuste requerido.

En este trabajo utilizaremos este último método por estimar que, con una función sencilla que evita el uso de computación, se puede obtener una precisión adecuada para el control de aditivos de aceites. La variante que se utiliza es reemplazar la intensidad por la relación entre la intensidad del analito y la intensidad del "scattering" coherente proveniente de una línea espectral de la fuente de rayos X.

El uso del "scattering" como referencia o estándar externo permite una mayor seguridad, ya que se producen dos tipos de correcciones, una por fluctuaciones o deriva del equipo y otra debida a que esta radiación, al atravesar la matriz y tener una longitud de onda cercana al analito, sufre influencias de absorción por lo menos similares a las del elemento en cuestión.

Así, si consideramos un solo elemento A en una matriz liviana, como primera aproximación puede expresarse:

$$A = a R_A \quad (1)$$

donde: A es la concentración del analito;

R_A es la relación de intensidades entre la línea del elemento A y el "scattering" coherente;

a es una constante

En este caso se supone una relación lineal.

En una segunda aproximación puede hacerse:

$$A = a R_A + b R_A^2 \quad (2)$$

donde b es otro coeficiente.

Por expansión de esta serie se puede obtener una aproximación cada vez mayor. En nuestro caso se consideró suficiente la que presenta la ecuación (2).

Al introducir un elemento B, obtendremos toda una familia de curvas, una para cada porcentaje de B, encima o por debajo de la ecuación (2), según que el efecto sea de exaltación o depresión. Entonces al determinar la concentración de A en una matriz liviana que a su vez contenga a B, cometeremos un error positivo o negativo que denominaremos Δ . De esta manera deberemos modificar la ecuación teniendo en cuenta esta diferencia:

$$A = a R_A + b R_A^2 + \Delta \quad (3)$$

pero Δ debe ser proporcional a A y B:

$$\Delta = m AB \quad (4)$$

Dado que no puede esperarse que Δ sea simétrico respecto de A y de B, debemos reemplazar a m por una función que cambie con la concentración, siguiendo en cierta medida el razonamiento para Δ de Rousseau y Claisse (3).

Luego:

$$\Delta = AB (C + dB) \quad (5)$$

Podemos reemplazar A y B por R_A y R_B , ya que las diferencias en la linealidad no van a ser significativas en Δ , quedando así:

$$\Delta = R_A R_B (c + dR_B) \quad (6)$$

De esta forma la ecuación 3, después de un reordenamiento de términos, toma la expresión:

$$A = a R_A + b R_A^2 + R_A (c R_B + d R_B^2) \quad (7)$$

que es la ecuación utilizada en este trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

Se efectuó el análisis químico de cuatro muestras de aditivos concentrados, por vía clásica, a fin de determinar la composición química de los mismos en lo que se refiere al contenido de calcio, bario y cinc, cuyos valores figuran en la tabla I.

T A B L A I

Aditivo	Zn %	Ca %	Ba %
A	10,7	-	-
B	0,91	4,64	-
C	2,0	2,8	-
D	-	-	0,31

Utilizando tres muestras de aceites no aditivados de viscosidad SAE 30-40 y 60 y los aditivos A y B se prepararon 51 muestras de aceites aditivados. Sobre las mismas se determina la intensidad de radiación de fluorescencia para las líneas $K\alpha$ del cinc y del calcio, y la reflexión coherente de las líneas $CrK\alpha$ y WLa , como sustituto de estándar interno.

Con los valores así obtenidos se confeccionaron las tablas II y III y los correspondientes gráficos 1, 2 y 3.

En los gráficos nombrados precedentemente se puede observar que la diferencia de matriz correspondiente a la distinta composición química del aceite de viscosidad SAE 30-40 o 60 no influye en la relación de las intensidades $I_{ZnK\alpha}/I_{WL\alpha}$ y $I_{CaK\alpha}/I_{CrK\alpha}$, pero en cambio en el gráfico 4, donde se relacionan las intensidades netas del cinc contra su concentración, corregidas por condiciones de instrumental, se observa una pequeña diferencia debida al cambio de matriz.

La curva 1 corresponde a un aceite de viscosidad SAE 30, la curva 2 a un aceite SAE 40 y la 3 a un SAE 60. Este efecto de matriz puede ser anulado tomando las relaciones de las intensidades $I_{ZnK\alpha}/I_{WL\alpha}$, donde la reflexión $L\alpha$ del tungsteno se toma como referencia. En este caso se utiliza un tubo con anticátodo de tungsteno. En el calcio, como la determinación de la intensidad de la línea $K\alpha$ del mismo se hace con un tubo de cromo, se toma como referencia la línea $CrK\alpha$.

En los gráficos 1, 2 y 3 se observa este efecto.

Para el estudio de la influencia del cinc sobre la intensidad de la línea del calcio y la influencia del calcio sobre la determinación de cinc, se prepararon muestras sintéticas con valores porcentuales de calcio y de cinc conocidos. Se indican las intensidades de las líneas de fluorescencia para el calcio y el cinc y las reflexiones para las líneas del tungsteno y cromo, para calcular así la relación de intensidades que figuran en la tabla IV.

En base a los valores de las medidas que figuran en la tabla citada y tomando como referencia, para obtener una curva de trabajo, las medidas realizadas sobre las muestras 8, 9, 10, 11 y 12, se puede establecer la influencia del calcio en la determinación del cinc; los resultados figuran en la

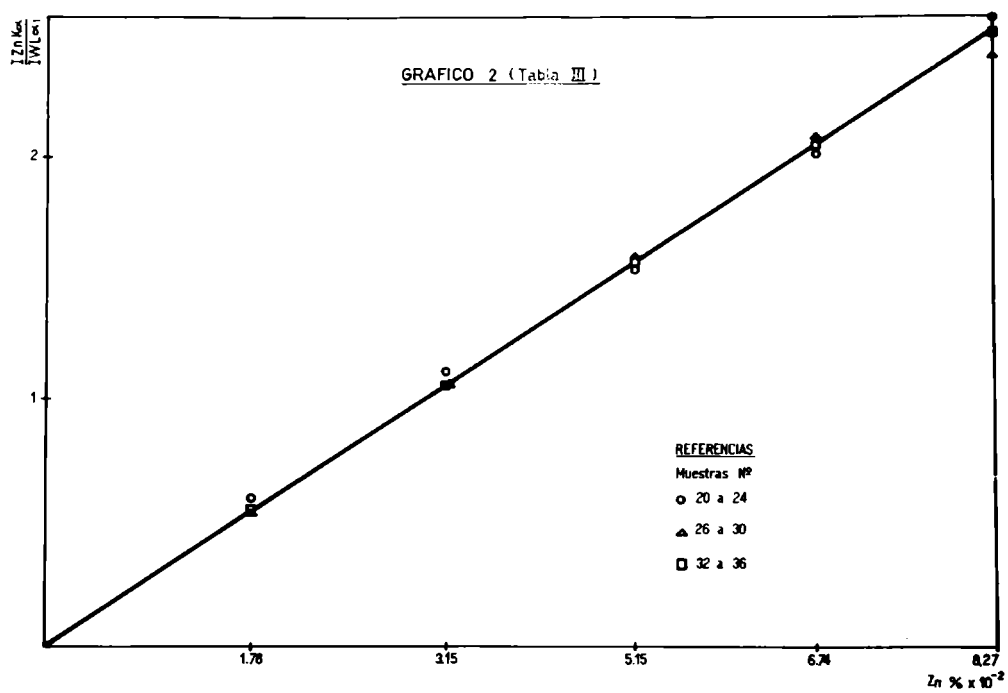
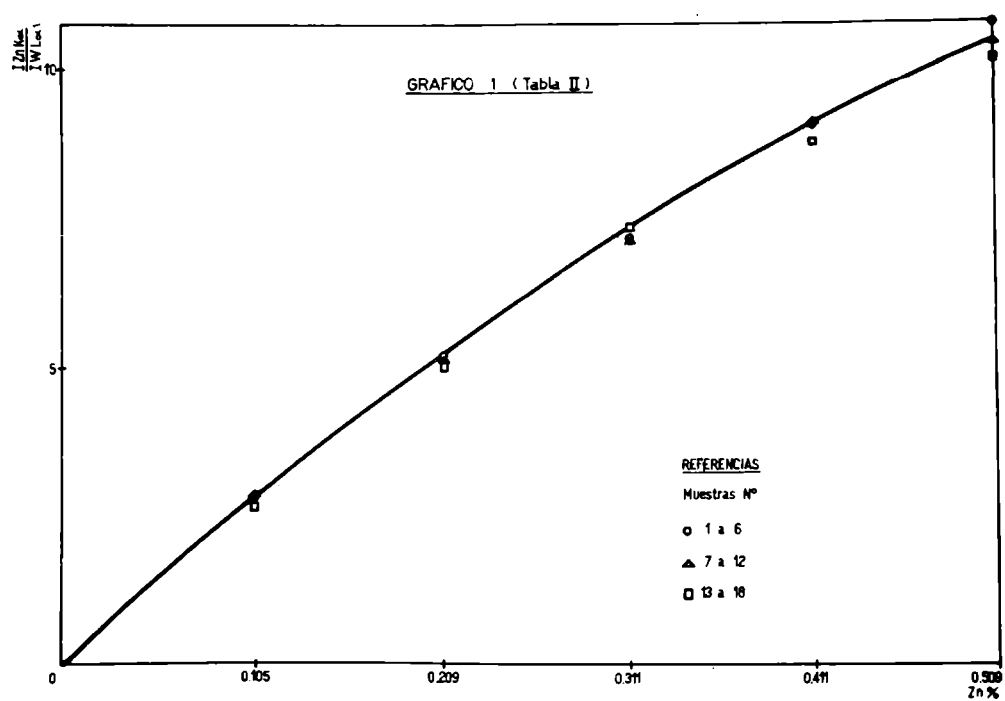


tabla V.

En la tabla VI se indica la influencia del cinc en la determinación del calcio; ha sido confeccionada en base a valores calculados, usando como curva de trabajo las lecturas correspondientes a las muestras 27, 28, 29 y 30.

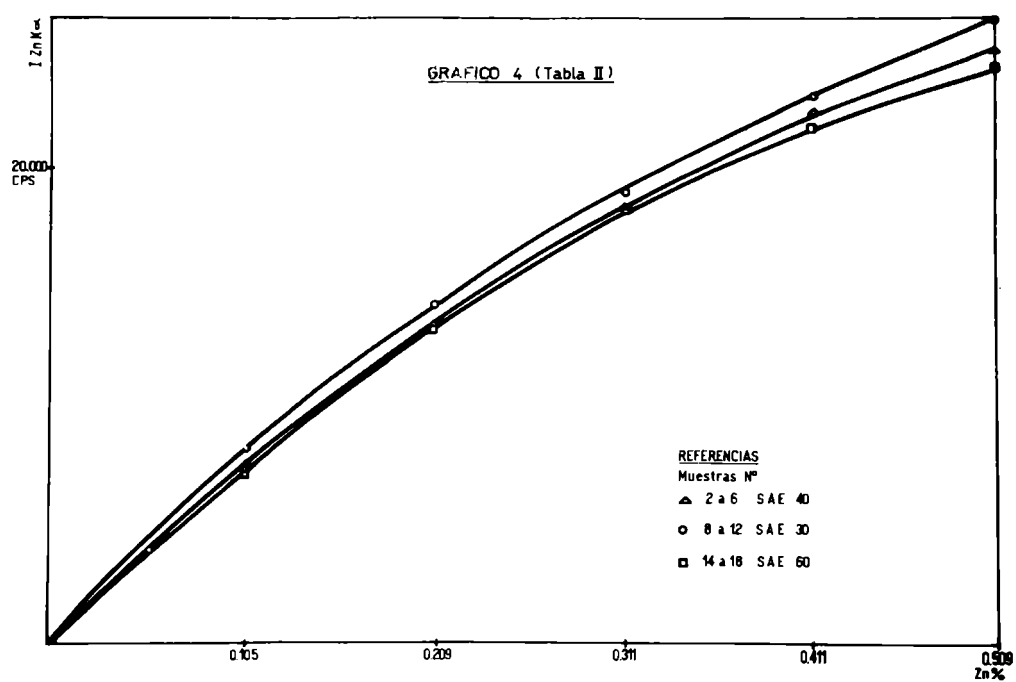
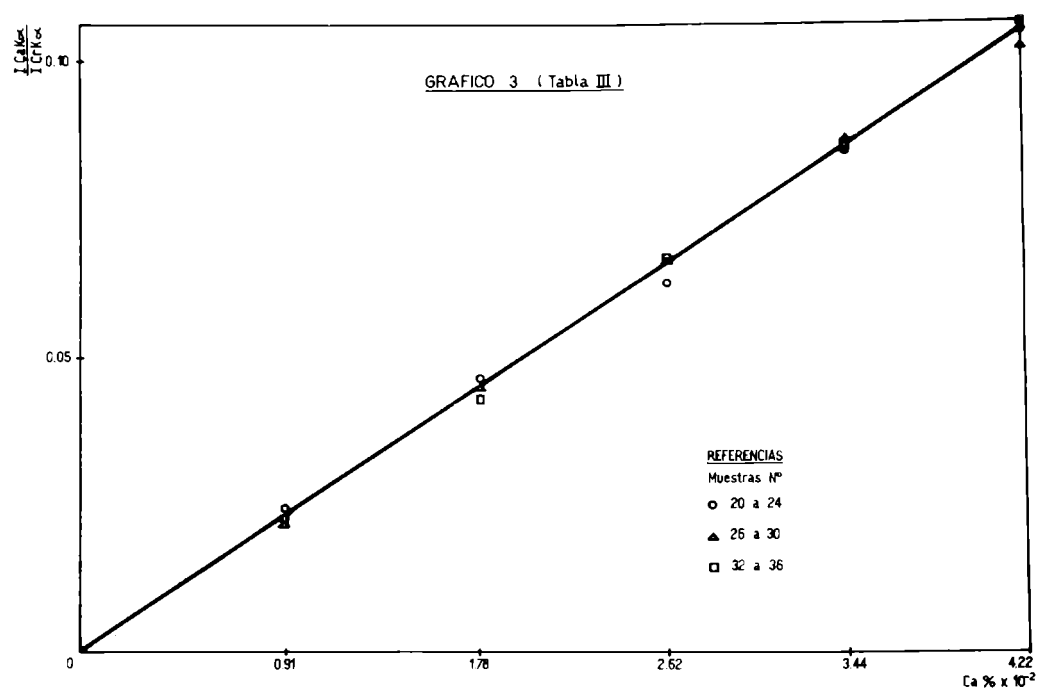
De acuerdo a los valores de estas tablas podríamos decir que es mayor la interferencia del cinc en la determinación del calcio, que la que produce la presencia del calcio en la determinación del cinc. En este último caso podría ser despreciable, dentro del ámbito de valores en que se encuentran estos elementos en los aceites lubricantes.

En el caso del bario, en general, de acuerdo a la bibliografía consultada, se utiliza como línea analítica la $L\beta$ a $2,567 \text{ A}^\circ$ o la $L\alpha$ a $2,776 \text{ A}^\circ$. Haycock (1) utiliza la línea $L\alpha$ y $\text{CrK}\alpha$ como estándar interno agregado bajo la forma de naftenato de cromo. En nuestro caso, dada la posibilidad de disponer de una mayor potencia, se excitó el bario con el espectro continuo proveniente de un tubo con anticátodo de molibdeno, en las condiciones adecuadas para la obtención del espectro K, pudiendo así usarse como línea analítica la $K\alpha$ del Ba a $0,387 \text{ A}^\circ$ y como línea de referencia la $K\alpha$ del Mo.

Este sistema presenta la ventaja que en esta zona son muy bajos los coeficientes de absorción de los elementos intervinientes, lo que se traduce en una respuesta lineal de este elemento como puede verse en el gráfico 6.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Las tablas IV y V fueron confeccionadas en forma directa, la aplicación de la fórmula (7) a los mismos datos introduce una mayor precisión como puede verse en las tablas VII y VIII; para la utilización de esta ecuación se realizaron cuidadosas medidas que permitieron obtener los siguientes valores para los coeficientes de la misma:



	Ca en presencia de Zn	Zn en presencia de Ca
a	3,80	0,0331
b	2,20	0,0014
c	0,07	$8 \cdot 10^{-4}$
d	- 0,0013	$2,2 \cdot 10^{-6}$

En consecuencia:

$$\text{Ca } \% = 3,80 R_{\text{Ca}} + 2,20 R_{\text{Ca}}^2 + R_{\text{Ca}} (0,07 R_{\text{Zn}} - 0,0013 R_{\text{Zn}}^2)$$

$$\text{Zn } \% = 0,0331 R_{\text{Zn}} + 0,0014 R_{\text{Zn}}^2 + R_{\text{Zn}} (8 \cdot 10^{-4} \cdot R_{\text{Ca}} + 2,2 \cdot 10^{-6} R_{\text{Ca}}^2)$$

Es evidente, dada la magnitud de los valores de c y d para la influencia de calcio en la determinación de cinc, que el valor de Δ es despreciable. No ocurre así en la determinación de calcio en presencia de cinc, que está de acuerdo con lo que muestra el gráfico 5 (influencia del contenido de cinc en el valor de la relación $\text{ICaK}\alpha/\text{ICrK}\alpha$).

En el caso del bario, como se mencionó anteriormente, la relación es lineal, por lo que la ecuación (7) queda reducida a:

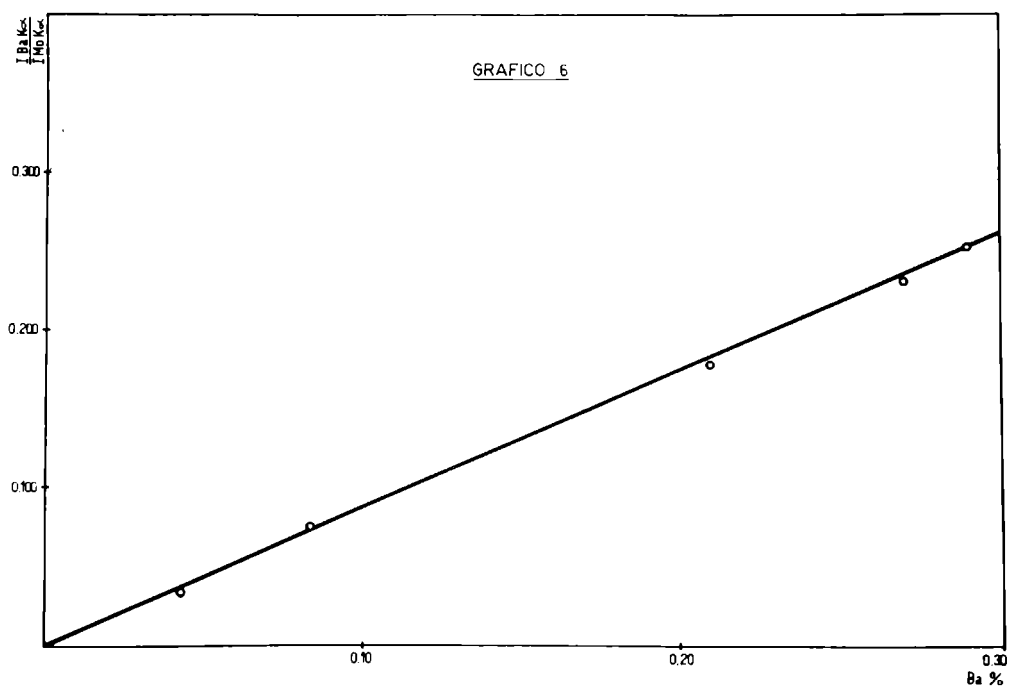
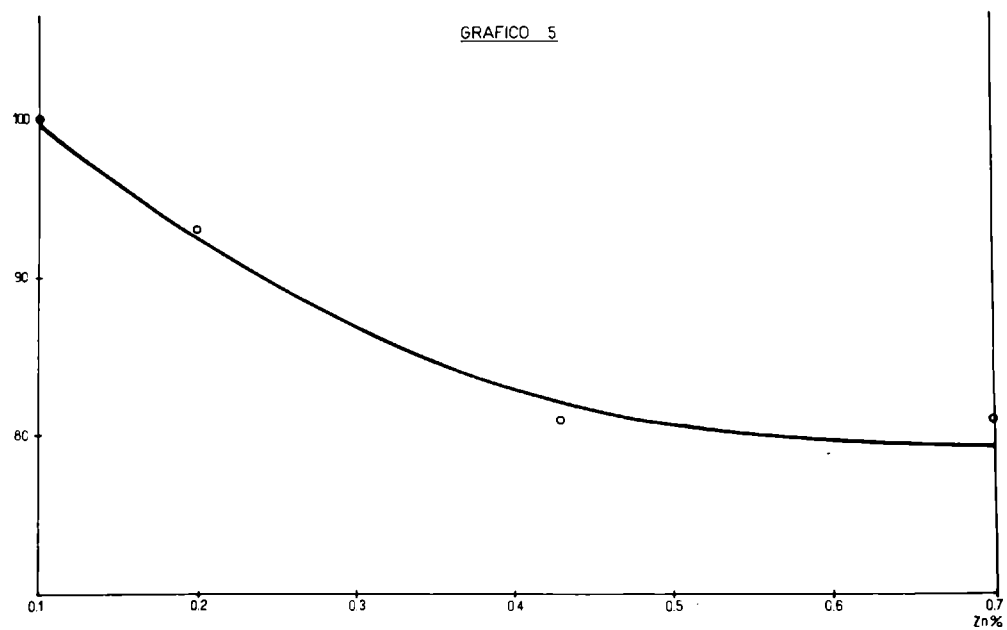
$$\text{Ba } \% = 1,179 R_{\text{Ba}}$$

pudiendo despreciarse el segundo y tercer término de la misma, por ser muy pequeños los valores de los coeficientes b, c y d.

La influencia del bario en la determinación de calcio y cinc no fue determinada, ya que los lubricantes contienen cantidades muy pequeñas de este elemento, que ha sido casi totalmente desplazado por el uso de aditivos en base a Ca.

CONCLUSIONES

1. El uso de un "scattering" coherente adecuado provenien-



te del anticátodo del tubo de rayos X como referencia, suple con gran ventaja, comodidad y rapidez la utilización de estándar interno (uso de naftenatos que complican la preparación de la muestra) en la determinación de los componentes metálicos correspondientes a los aditivos en aceites lubricantes.

2. El uso de una fórmula con coeficientes de corrección del efecto de matriz, que involucran los coeficientes de absorción y la geometría del equipo, permiten obtener una mayor precisión con respecto a los métodos directos.

3. Se ha encontrado que el contenido de cinc tiene una notable influencia en el valor de la relación $ICaK_{\alpha}/ICrK_{\alpha}$; la recíproca no es tan notoria.

4. El uso de la línea K_{α} del bario como línea analítica proporciona una relación libre de interferencias, encontrándose una relación lineal entre la concentración de bario y el valor de la relación $IBaK_{\alpha}/IMoK_{\alpha}$, aun en presencia de moderadas cantidades de calcio y cinc.

5. Se propone una técnica ágil y segura para el análisis de aceites lubricantes por espectrometría de RX.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Haycock, R. F. - Journal of the Institute of Petroleum. 50, 123, 1964.
- (3) Davis, E. and R. van Nordstrand - Determination of Ba, Ca and Zn in lubricating oils by use of XR spectroscopy. Anal Chem., 26, 973, 1954.
- (2) Sherman, J. - Spectrochem. Acta, 7, 238, 1955.

:

TABLA II

Muestra Nº	% de adi- tivo A	% de Zn	IZnKα	IWLα	$\frac{IZnK\alpha}{IWL\alpha}$	Viscosidad SAE
1	0,00	0,000	0	2934	0	30
2	0,99	0,105	8136	2862	2,843	30
3	1,96	0,209	14099	2737	5,151	30
4	2,91	0,311	18873	2646	7,132	30
5	3,84	0,411	22942	2535	9,050	30
6	4,76	0,509	26271	2442	10,758	30
7	0,00	0,000	0	2780	0	40
8	0,99	0,105	7521	2700	2,785	40
9	1,96	0,209	13394	2634	5,085	40
10	2,91	0,311	18392	2560	7,184	40
11	3,84	0,411	22343	2552	9,112	40
12	4,76	0,509	24915	2392	10,415	40
13	0,00	0,00	0	2983	0	60
14	0,99	1,105	7562	2845	2,658	60
15	1,96	0,209	13737	2742	5,009	60
16	2,91	0,311	19343	2645	7,313	60
17	3,84	0,411	22565	2577	8,756	60
18	4,76	0,509	25480	2502	10,138	60

T A B L A III

Muestra Nº	% adit. B	% de Ca	% de Zn	IZnK α	IWL α	ICaK α	ICrK α	$\frac{IZnK\alpha}{IWL\alpha}$	$\frac{ICaK\alpha}{ICrK\alpha}$
20	1,96	0,090	0,018	1444	2571	765	31498	0,561	0,0240
21	3,84	0,178	0,035	2665	2534	1403	30780	1,052	0,0456
22	5,66	0,262	0,051	3589	2466	1864	30143	1,455	0,0617
23	7,40	0,343	0,067	4510	2382	2482	29339	1,893	0,0846
24	9,09	0,422	0,081	5553	2302	2991	28599	2,412	0,1046
26	1,96	0,090	0,018	1290	2522	673	31042	0,511	0,0216
27	3,84	0,178	0,035	2489	2479	1336	30243	1,004	0,0441
28	5,56	0,262	0,051	3558	2382	1963	29715	1,493	0,0660
29	7,40	0,343	0,067	4458	2286	2507	29127	1,950	0,0860
30	9,09	0,422	0,081	5132	2257	2919	28778	2,274	0,1014
32	1,96	0,090	0,018	1302	2493	682	31057	0,522	0,0219
33	3,84	0,178	0,035	2426	2429	1279	30379	0,998	0,0421
34	5,66	0,262	0,051	3516	2362	1957	29725	1,488	0,0658
35	7,40	0,343	0,067	4544	2359	2458	29084	1,926	0,0845
36	9,09	0,422	0,081	5336	2268	3000	28457	2,352	0,1054

Muestra Nº	% de Zn	% de Ca	$\frac{IZnK\alpha}{IWL\alpha}$	$\frac{ICaK\alpha}{ICrK\alpha}$
26	0,0178	0,0909	0,511	0,0216
27	0,0350	0,1784	1,007	0,0441
28	0,0515	0,2630	1,493	0,0661
29	0,0674	0,3436	1,950	0,0861
30	0,0827	0,4217	2,274	0,1014
126	0,1267	0,0900	3,196	0,0221
127	0,1487	0,1765	3,833	0,0431
128	0,1750	0,2595	4,269	0,0654
129	0,1837	0,3397	4,493	0,0837
130	0,1948	0,4163	4,684	0,0954
226	0,3554	0,0880	8,006	0,0191
227	0,3904	0,1725	8,377	0,0370
228	0,4132	0,2536	9,057	0,0552
229	0,4134	0,3325	9,073	0,0710
230	0,4272	0,4081	9,623	0,0836
336	0,6135	0,0858	12,590	0,0195
337	0,7247	0,1685	12,774	0,0383
338	0,6596	0,2476	13,165	0,0774
339	0,6480	0,3225	12,923	0,0729
340	0,6902	0,3970	13,286	0,0840

T A B L A V

Muestra Nº	% de Ca	% de Zn	% de Zn RX	Diferencia
26	0,091	0,018	0,018	0,000
126	0,090	0,127	0,121	- 0,006
226	0,088	0,355	0,366	+ 0,011
27	0,178	0,035	0,036	+ 0,001
127	0,176	0,149	0,152	+ 0,004
227	0,172	0,390	0,385	- 0,005
28	0,263	0,051	0,056	+ 0,005
128	0,259	0,175	0,173	- 0,002
228	0,254	0,413	0,426	+ 0,013
29	0,343	0,077	0,070	+ 0,003
129	0,340	0,184	0,185	+ 0,001
229	0,332	0,413	0,427	+ 0,014
30	0,422	0,083	0,086	+ 0,003
130	0,417	0,195	0,194	- 0,001
230	0,408	0,427	0,456	+ 0,029

T A B L A VI

Muestra Nº	% de Zn	% de Ca	% de Ca RX	Diferencia
126	0,126	0,090	0,089	- 0,001
127	0,148	0,176	0,174	- 0,002
128	0,175	0,259	0,264	+ 0,005
129	0,183	0,340	0,339	- 0,001
130	0,194	0,417	0,386	- 0,031
226	0,355	0,088	0,077	- 0,011
227	0,390	0,172	0,149	- 0,027
228	0,413	0,254	0,223	- 0,031
224	0,413	0,332	0,287	- 0,045
230	0,427	0,408	0,339	- 0,070
336	0,613	0,086	0,079	- 0,007
337	0,624	0,168	0,155	- 0,013
338	0,659	0,247	0,313	+ 0,066
339	0,648	0,322	0,295	- 0,027
340	0,692	0,397	0,340	- 0,057

T A B L A VII

Muestra Nº	% de Zn	% de Ca	% de Ba	$\frac{\text{IBaK}\alpha}{\text{IMoK}\alpha}$	% Ba RX	Diferencia
47	0,024	0,022	0,045	0,034	0,040	- 0,003
48	0,048	0,044	0,084	0,074	0,087	+ 0,003
49	0,110	0,100	0,210	0,178	0,209	- 0,001
50	0,170	0,150	0,290	0,252	0,297	+ 0,007
51	0,230	0,200	0,420	0,346	0,408	- 0,012
52	0,060	0,060	0,110	0,087	0,102	- 0,008
53	0,170	0,150	0,270	0,230	0,271	+ 0,001
54	0,420	0,380	0,740	0,637	0,751	+ 0,011

T A B L A V I I I

Muestra Nº	% de cinc (quím.)	% de cinc (RX)	Diferencia
2	0,105	0,106	+ 0,01
3	0,209	0,209	0,000
4	0,311	0,310	- 0,001
5	0,411	0,418	+ 0,007
6	0,509	0,524	+ 0,015
8	0,105	0,103	- 0,002
9	0,209	0,206	- 0,003
10	0,311	0,313	+ 0,002
11	0,410	0,422	+ 0,011
12	0,509	0,502	- 0,007
14	0,105	0,098	- 0,007
15	0,209	0,202	- 0,007
16	0,311	0,320	+ 0,009
17	0,411	0,401	- 0,010
18	0,509	0,485	- 0,024
20	0,018	0,019	+ 0,001
21	0,035	0,036	+ 0,001
22	0,051	0,051	0,000
23	0,067	0,068	+ 0,001
24	0,081	0,088	+ 0,007
26	0,018	0,018	0,000
27	0,035	0,035	0,000
28	0,052	0,053	+ 0,001
29	0,067	0,070	+ 0,003
30	0,081	0,082	+ 0,001
126	0,127	0,126	- 0,001
127	0,149	0,148	- 0,001
128	0,175	0,168	- 0,007
129	0,183	0,176	- 0,007
130	0,195	0,187	- 0,008
226	0,355	0,356	+ 0,001
227	0,390	0,279	- 0,011
228	0,413	0,413	0,000
229	0,413	0,415	+ 0,002
230	0,427	0,447	+ 0,020
336	0,613	0,647	+ 0,034
337	0,624	0,660	+ 0,036
338	0,669	0,687	+ 0,028
339	0,648	0,670	+ 0,022
340	0,692	0,696	+ 0,004

T A B L A IX

Muestra N°	% de Ca (quím.)	% de Ca (RX)	Diferencia
20	0,090	0,092	+ 0,002
21	0,178	0,181	+ 0,003
22	0,262	0,249	- 0,013
23	0,343	0,348	+ 0,005
24	0,422	0,438	+ 0,016
26	0,090	0,084	- 0,006
27	0,178	0,175	- 0,003
28	0,262	0,267	+ 0,005
29	0,343	0,354	+ 0,011
30	0,422	0,423	+ 0,001
32	0,090	0,084	- 0,006
33	0,178	0,167	- 0,011
34	0,262	0,265	+ 0,003
35	0,343	0,341	- 0,002
36	0,422	0,441	+ 0,019
126	0,090	0,090	0,000
127	0,176	0,179	+ 0,003
128	0,259	0,275	+ 0,016
129	0,340	0,357	+ 0,017
130	0,417	0,411	- 0,006
226	0,088	0,082	- 0,006
227	0,172	0,162	- 0,010
228	0,254	0,245	- 0,009
229	0,332	0,318	- 0,014
230	0,408	0,379	- 0,029
336	0,086	0,088	+ 0,002
337	0,168	0,175	+ 0,007
338	0,247	0,257	+ 0,010
339	0,322	0,336	+ 0,014
340	0,397	0,394	- 0,003

**PROBABILIDAD DE TRANSICION K_{β}/K_{α} PARA ELEMENTOS
COMPRENDIDOS ENTRE $Z = 13$ Y $Z = 56$ EN FILMS GRUESOS**

Dr. Alberto G. Alvarez^{*}

Tco. Quím. Jorge F. Meda

Electrotéc. Héctor Negri

* Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

INTRODUCCION

La relación de intensidades entre las líneas del espectro de rayos X K_{β} y K_{α} , es de interés en el ensayo de modelos teóricos de constitución atómica, donde este valor se relaciona con las probabilidades de transición K_{β} y K_{α} .

Una aplicación de esta relación se encuentra en el análisis químico por fluorescencia de rayos X, en los casos donde se presenta superposición de líneas características, por ejemplo, en la determinación de plomo en presencia de arsénico.

Si bien esta relación ha sido medida por varios autores, ya que Smith, Reed y Ware (1) la han realizado en films finos y con métodos no dispersivos, y Salem, Falcomer y Winchell (2) utilizando films gruesos y métodos dispersivos, las discrepancias halladas y la necesidad actual de disponer de parámetros fundamentales de mayor precisión, como ha sido claramente expresado por Jenkins (3), alentó la realización de este trabajo.

Las mediciones realizadas fueron efectuadas por el método dispersivo, utilizando films gruesos para elementos entre $Z = 13$ y $Z = 56$, y la relación ha sido medida a potenciales crecientes desde la tensión mínima requerida para la excitación de fluorescencia, en los elementos cuyo canto de absorción se encuentra sobre 10 Kv, hasta el máximo disponible (100 Kv) observándose una dependencia de la relación K_{β}/K_{α} con la tensión aplicada al tubo de rayos X (figura 1), que es interpretada como el efecto debido al cambio de la longitud de onda efectiva de excitación (4).

TEORIA

Para un film grueso excitado por un espectro de rayos X

cuyo origen se encuentre distante, hacia las cortas longitudes de onda, de la discontinuidad K del elemento en estudio, la intensidad medida de fluorescencia está dada por:

$$I_{mK\alpha} = S \cdot I_{K\alpha} \cdot \exp(-\mu_{K\alpha} \cdot d_c) \quad (1)$$

donde $\mu_{K\alpha}$ es el coeficiente de absorción lineal y d_c el espesor crítico de generación, y su valor ha sido calculado por Chung, Lentz y Scott (5) que llegan a la siguiente expresión:

$$d_c = \frac{4,65}{\mu \rho} \quad (2)$$

siendo

$$\mu = \frac{\mu_1}{\text{Sen } \theta_1} + \frac{\mu_2}{\text{Sen } \theta_2}$$

donde μ_1 es el coeficiente de absorción para la longitud de onda efectiva de excitación; μ_2 el coeficiente de absorción para la longitud de onda característica del elemento; θ_1 y θ_2 los ángulos de incidencia y emergencia de la radiación respectivamente; ρ la densidad de la muestra.

El hecho de que μ_1 deba ser computado para la longitud efectiva de excitación (4), determina profundidades mayores de generación a medida que la longitud de onda efectiva sea más corta. Esta profundidad de generación, obviamente, es dependiente de la tensión utilizada y producirá una alteración, de la relación de intensidades K_β/K_α , debido a la mayor absorción que sufrirá la radiación K_α al emerger de la muestra.

Por esta razón se ha encontrado conveniente definir K_β/K_α a "profundidad mínima de generación", como el valor obtenido a la tensión de excitación que produzca un espectro continuo de rayos X cuyo valor mínimo λ_0 , corresponda al valor de longitud de onda de la discontinuidad K del elemento en cuestión; esta situación puede verse en la figura 2.

En estas condiciones, la profundidad de generación corresponderá al valor mínimo, pues como se deduce de la ecuación (2), las muestras tendrán el valor máximo de μ .

Es de hacer notar que, en muestras iluminadas solamente con el espectro continuo, tras el canto de absorción, la dependencia de la relación K_β/K_α con la tensión, será mayor

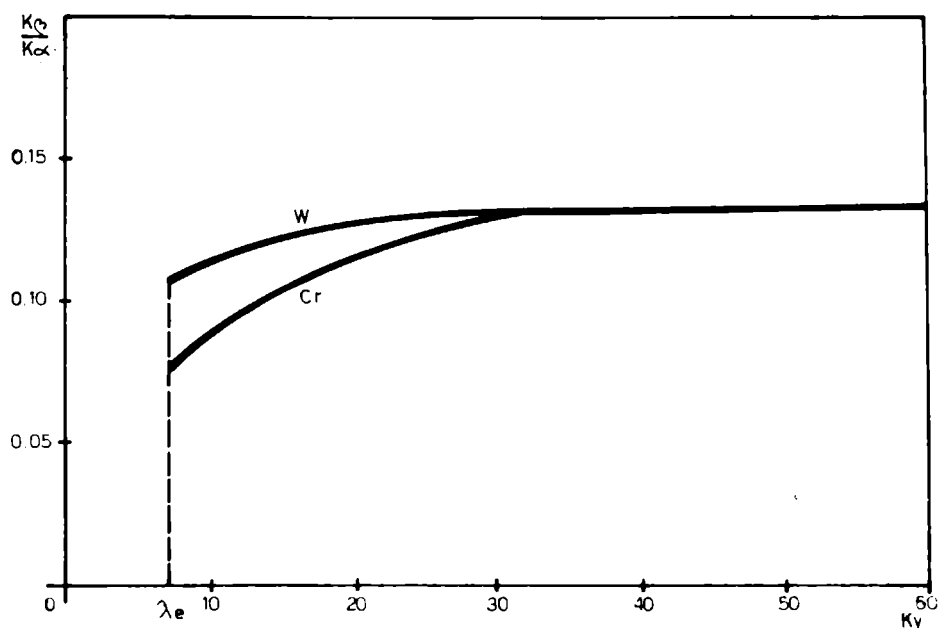


Fig. 1.- Dependencia de la relación $K\alpha/K\beta$ con el valor de tensión aplicado al ánodo generador del espectro de excitación

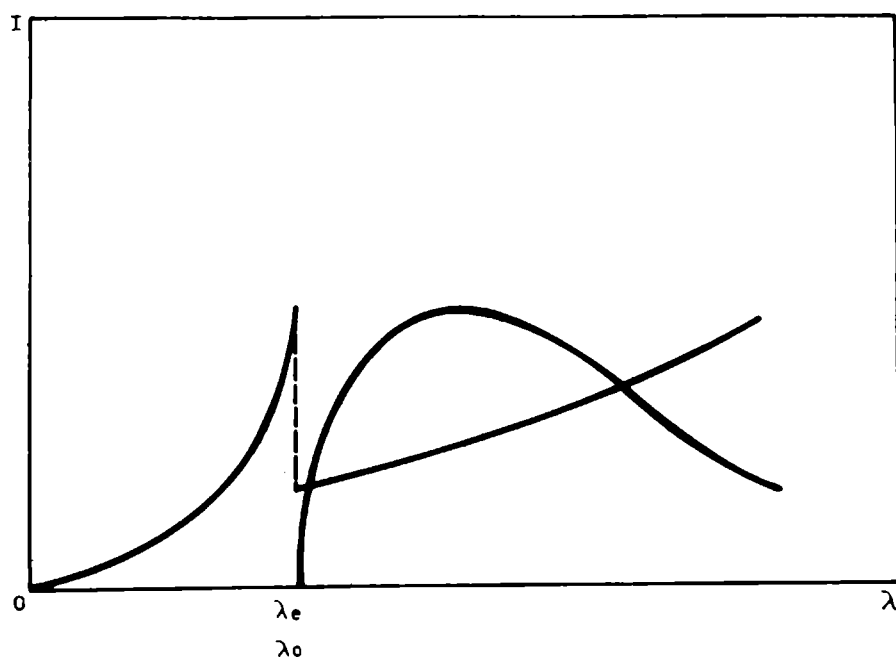


Fig. 2.- Posición relativa del espectro de absorción y del espectro de excitación que definen el valor $K\alpha/K\beta$ mínimo

que en el caso en que también influyan las líneas características del tubo de rayos X, ya que de esta manera, la longitud de onda efectiva de excitación es menos dependiente de la tensión aplicada, por el hecho de que tiene una componente fija, dada por las líneas características. Esto puede observarse en el figura 1, donde la relación K_{β}/K_{α} está representada en función de la tensión aplicada, utilizando un tubo con ánodo de cromo y otro con ánodo de tungsteno.

La intensidad medida de K_{α} se encuentra representada por la expresión (1), luego la intensidad K medida puede ser representada por una expresión similar:

$$I_{mK_{\beta}} = S I_{K_{\beta}} \cdot \exp(-\mu_{K_{\beta}} \cdot dc) \quad (3)$$

La relación $I_{K_{\beta}}/I_{K_{\alpha}}$ medida $R_{\frac{\beta}{\alpha}}^m$ será:

$$R_{\frac{\beta}{\alpha}}^m = I_{K_{\beta}m}/I_{K_{\alpha}} \cdot \exp\left(\frac{-\mu_{K_{\beta}}}{\mu_1 + \mu_{2K_{\beta}}} + \frac{\mu_{K_{\alpha}}}{\mu_1 + \mu_{2K_{\alpha}}}\right) \cdot \frac{4,62}{\rho} \quad (4)$$

De esta expresión es posible calcular a partir de la relación medida, la verdadera relación de intensidades $I_{K_{\beta}}/I_{K_{\alpha}}$ correspondiente a una tensión conocida de excitación.

PARTE EXPERIMENTAL

Ha sido medida la relación $I_{K_{\beta}}/I_{K_{\alpha}}$ para los elementos mencionados en la tabla I; en ella se encuentran definidos los valores del mínimo de esta relación correspondiente a una distribución del espectro continuo tangente a la discontinuidad de absorción K.

La probabilidad de transición $I_{K_{\beta}}/I_{K_{\alpha}}$ fue supuesta proporcional a la relación de las intensidades integradas de las dos líneas características; las áreas fueron medidas haciendo un barrido entre límites apropiados a ambos lados del pico, donde también fueran leídos los fondos. En la discriminación se incluyó todo el espectro K, incluso los picos de

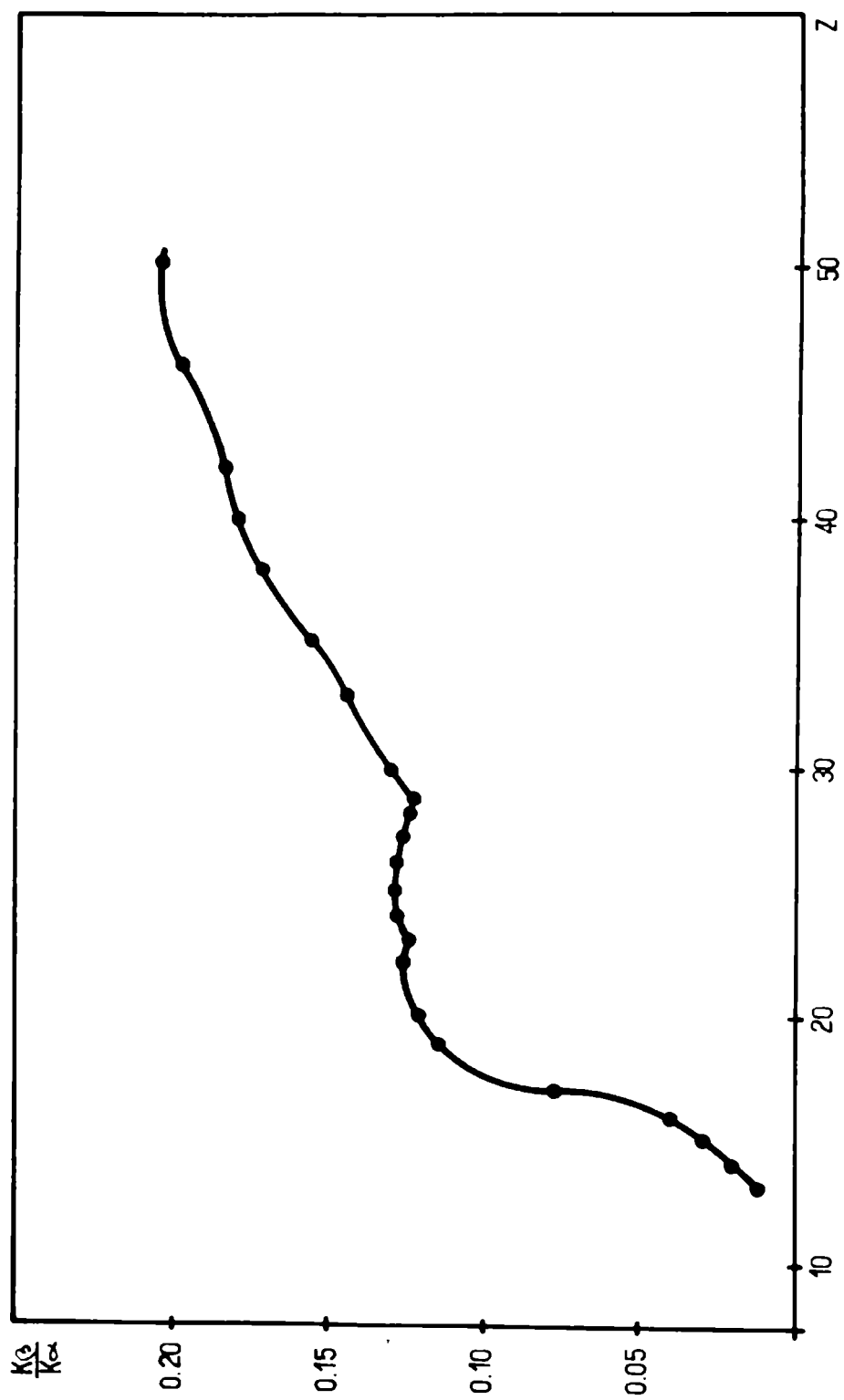


Fig. 3.- Dependencia de la relación $K\beta/K\alpha$ con el número atómico Z

T A B L A I

RELACION DE LAS PROBABILIDADES DE TRANSICION $\lambda_{\beta} / K \alpha$

Z	Elemento	Compuesto	Cristal analizador	Anodo	$K \beta / K \alpha$
13	Al	AL	KAP	Cr	0,012
14	Si	Si	PE	Cr	0,020
15	P	PO ₄ HK ₂	PE	Cr	0,030
16	S	S	PE	Cr	0,041
17	CL	CLK	PE	Cr	0,078
19	K	CLK	PE	Cr	0,114
20	Ca	CaO	PE	Cr	0,120
22	Ti	TiO ₂	FLi	Cr	0,125
23	V	VO ₃ Na ₂ H ₂ O	FLi	W	0,124
24	Cr	CrO ₃	FLi	W	0,126
25	Mn	SO ₄ Mn	FLi	Cr	0,126
26	Fe	Fe	FLi	Cr	0,126
27	Co	Co	FLi	Cr	0,126
28	Ni	Ni	FLi	Cr	0,125
29	Cu	Cu	FLi	Cr	0,124
30	Zn	Zn	FLi	Cr	0,130
33	As	AsO ₃	FLi	Cr	0,144
35	Br	BrO ₃ K	FLi	Cr	0,155
38	Sr	NO ₃ Sr	FLi	Cr	0,171
40	Zr	Zr	FLi	Cr	0,182
42	Mo	Mo ₇ O ₄ (NH ₄) ₆ ·4H ₂ O	FLi	Cr	0,185
47	Ag	Ag	FLi	Cr	0,198
50	Sn	Sn	FLi	Cr	0,204
56	Ba	Cl ₂ Ba H ₂ O	FLi	Cr	0,200

Nota.- Cristales analizadores: PE, Pentaeritritol; KAP, Adipato de potasio; FLi, Fluoruro de litio (200).

escape, en los cálculos fueron utilizados los coeficientes de absorción tal como fueron calculados por Leroux (6).

No se realizaron correcciones por reflectividad del cristal ni por eficacia del detector pues la diferencia de eficiencia para las líneas no altera significativamente la relación.

CONCLUSIONES

En la figura 3 se dispusieron los valores de la relación $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ obtenidos, en función del número atómico.

Estos valores se encuentran más próximos a los obtenidos teóricamente por Scofield (7) que los obtenidos en la referencia (2) lo que se interpreta como un tratamiento más apropiado del problema de autoabsorción de la muestra.

La previsión teórica de la dependencia de la relación con la tensión aplicada es demostrada en la parte experimental y lleva a realizar la definición de la relación $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ a la "profundidad mínima de generación", que evita especificaciones de la tensión, con la consiguiente multiplicidad de valores.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Smith D. G. W., Reed S. J. B. y Ware N. G. - X ray spectrometry, 3 (4), 1974.
- (2) Salem S. I., Falconer T. H. y Winchell R. W. - Phys. Rev. A 1, 2147, 1972.
- (3) Jenkins R. - X ray spectrometry, 3 (4), 1974.
- (4) Alvarez A. G. y de Vries L. - Swansea Symposium, sept. 1966.
- (5) Chung F. H., Lentz A. J. y Scott R. W. - X ray spectrometry, 3 (4), 1974.

- (6) Leroux J. - Advances in X Ray Analysis, 5, 153, 1961.
- (7) Scofield R. A. - Phys. Rev., 2, 179, 1969.

**SÓBRE LA DETERMINACION DE LA RELACION DE INTENSIDADES
 K_{β} Y K_{α} EN EL ESPECTRO DE RAYOS X**

Dr. Alberto G. Alvarez *
Electrotéc. Héctor Negri
Tco. Quím. Jorge F. Meda

* Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

INTRODUCCION

Las probabilidades de transición $L \rightarrow K$ y $M \rightarrow K$ del espectro de rayos X de un elemento se encuentran en una relación característica. Tal relación puede ser determinada a partir de la medición de las intensidades K_α y K_β .

Se define:

$$R\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) = \frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}.$$

Los valores observados experimentalmente se encuentran afectados por una serie de factores que pueden componerse en:

- a) los efectos de la absorción de la radiación dentro del medio en que se halle el elemento en cuestión;
- b) los factores experimentales caracterizados por la función de transferencia del sistema de detección utilizado.

Por estas razones los métodos experimentales proveen

$$R\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)_m = \frac{K_1}{K_2} R\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)$$

donde K_1 y K_2 son funciones dependientes de la profundidad de generación de la radiación, de la distribución del espectro de excitación y de los coeficientes de absorción de la muestra.

El presente trabajo proporciona un método de cálculo de la relación $R(\beta/\alpha)$ a partir de los valores experimentales medidos de esta relación.

TEORIA

La intensidad de la transición $2P_{3/2}, \frac{1}{2} \rightarrow S \frac{1}{2}$ denomina-

da $K_{\alpha 1,2}$ (en lo sucesivo denominada simplemente K_{α}), puede ser descripta por la expresión:

$$K_{\alpha} = K.S.I_0(\lambda) e^{-\mu'_{\alpha} l}$$

donde S es la denominada función de Sherman:

$$S = W_i \left(1 - \frac{1}{\varphi_i}\right) C_i \cdot \mu'_{\alpha}$$

siendo W_i el rendimiento de fluorescencia;

φ_i el "salto K" (valor de la discontinuidad en el espectro de absorción);

C_i la concentración del elemento en la muestra
($C_i = 1$ para elementos puros);

$\mu'_{\alpha} = \frac{\mu_{\alpha}}{\cos \theta_1}$ el coeficiente de absorción del elemento

$I_0(\lambda)$ espectro primario de excitación de longitud de onda;

K constante de proporcionalidad; i corriente del tubo generador de rayos X; Z número atómico del ánodo generador.

La variación de la profundidad de generación provocará la modificación de la intensidad:

$$\frac{dK_{\alpha}}{dl} = S.I_0(\lambda) \cdot e^{-\mu'_{\alpha} l} \cdot \mu'_{\alpha}$$

llamando $\alpha_{\nu} = S I_0 e^{-\mu'_{\alpha} l}$ el valor de la intensidad generada a la profundidad e.

$$\frac{d\alpha_{\nu}}{dl} = \alpha_{\nu} \cdot \mu'_{\alpha}$$

De la misma manera puede expresarse la variación de la intensidad de la línea K_{β} :

$$\frac{d\beta_{\nu}}{dl} = \beta_{\nu} \cdot \mu'_{\alpha}$$

Dividiendo miembro a miembro ambas expresiones, se obtiene el valor de la relación de intensidades K_{β}/K_{α} gene-

rado a cualquier profundidad.

Esta relación no puede ser medida debido a la presencia de los efectos de autoabsorción de la radiación generada.

MEDICION DE LA RELACION
VERDADERA K_{β}/K_{α}

Se entiende por intensidades verdaderas β_v , α_v , aquellas que emergen del átomo y que aún no han sufrido absorción en su camino emergente. Lo que se detecta fuera de la muestra β_m , α_m , son las intensidades verdaderas β_v , α_v , modificadas por absorción a lo largo de dicho camino.

La intensidad medida en la dirección que forma el ángulo θ_2 con la normal a la superficie será:

$$\beta_m = \beta_v \cdot e^{-\mu''(\lambda_{\beta})l}$$

$$\alpha_m = \alpha_v \cdot e^{-\mu''(\lambda_{\alpha})l}$$

donde $\mu''(\lambda_{\beta})$; $\mu''(\lambda_{\alpha})$ son los coeficientes de absorción lineales para las longitudes de onda K_{α} y K_{β} corregidas por la oblicuidad.

Debido a la diferencia en los coeficientes de absorción para las distintas longitudes de onda, la relación verdadera se va modificando continuamente hasta alcanzar la superficie de emergencia.

La variación de las intensidades puede obtenerse a partir de las dos expresiones anteriores:

$$\frac{d\beta_m}{d\alpha_m} = \frac{\frac{d\beta_m}{dl}}{\frac{d\alpha_m}{dl}} = \frac{\frac{d\beta_v}{dl} \cdot e^{-\mu''(\lambda_{\beta})l} + \beta_v e^{-\mu''(\lambda_{\beta})l} \left[-\mu''(\lambda_{\beta}) \right]}{\frac{d\alpha_v}{dl} \cdot e^{-\mu''(\lambda_{\alpha})l} + \alpha_v e^{-\mu''(\lambda_{\alpha})l} \left[-\mu''(\lambda_{\alpha}) \right]}$$

$$\frac{d\beta_m}{d\alpha_m} = \frac{\beta_v}{\alpha_v} \left[1 + \frac{\mu''(\lambda\beta)}{\mu''_i} + \frac{\mu''_i}{\mu''(\lambda\alpha)} + \frac{\mu''(\lambda\beta)}{\mu''(\lambda\alpha)} \right] e^{-(\mu''(\lambda\beta) - \mu''(\lambda\alpha)) \cdot l}$$

Agrupando los términos

$$\frac{d\beta_m}{d\alpha_m} = \frac{\beta_v}{\alpha_v} K_1 e^{-K_2 \cdot l} = \operatorname{tg} \alpha$$

Por integración de $d\beta_m/d\alpha_m$ desde la profundidad 0 hasta la profundidad máxima de generación E_c (2) se obtiene la relación verdadera sin distorsión

$$\frac{\beta_v}{\alpha_v} = \frac{K_2}{K_1} \frac{E_c \operatorname{tg} \alpha}{(e^{-K_2 E_c} - 1)}$$

Como se puede observar en el gráfico 1, el valor de $\operatorname{tg} \theta$ no es constante para todas las tensiones. Sus variaciones son pequeñas y únicamente detectables a bajas tensiones. Debido a que el valor de β_v/α_v es estrictamente constante, las variaciones de $\operatorname{tg} \alpha$ son compensadas por pequeñas variaciones en los valores K_1 .

En el cálculo de K_1 se incluye μ_i , el valor del coeficiente de absorción para la longitud de onda efectiva de excitación (3). Esta longitud de onda es función de la tensión aplicada al ánodo generador primario.

PARTE EXPERIMENTAL

Determinación de la relación $K\beta/K\alpha$ para el cobre

La expresión anterior ha sido aplicada en la determinación de la relación $K\beta/K\alpha$ en el cobre, empleando el generador de rayos X, Philips PW. 1410.

Los ángulos de incidencia de la radiación primaria $\theta_1 = 49^\circ$ y de emergencia de la radiación de fluorescencia

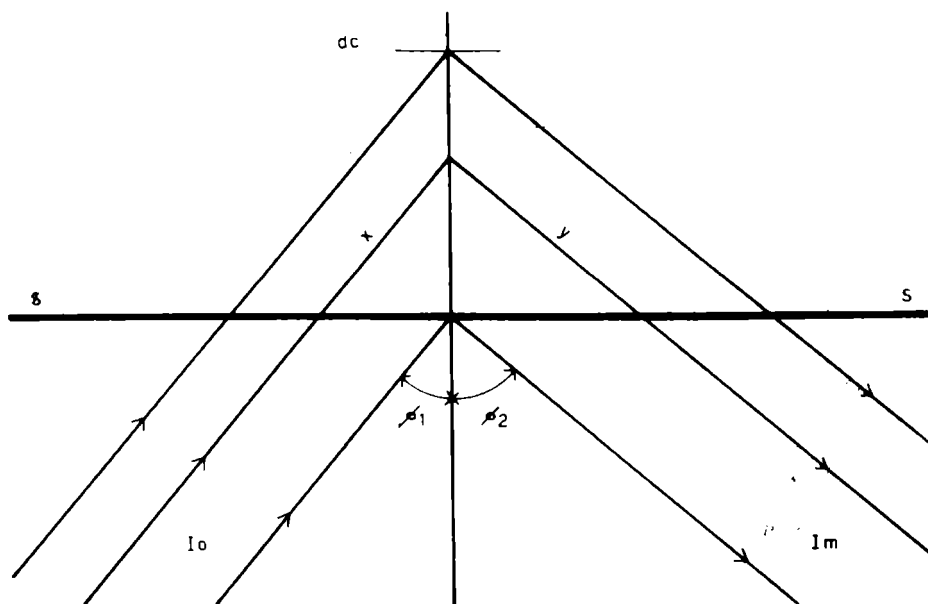


FIGURA 1

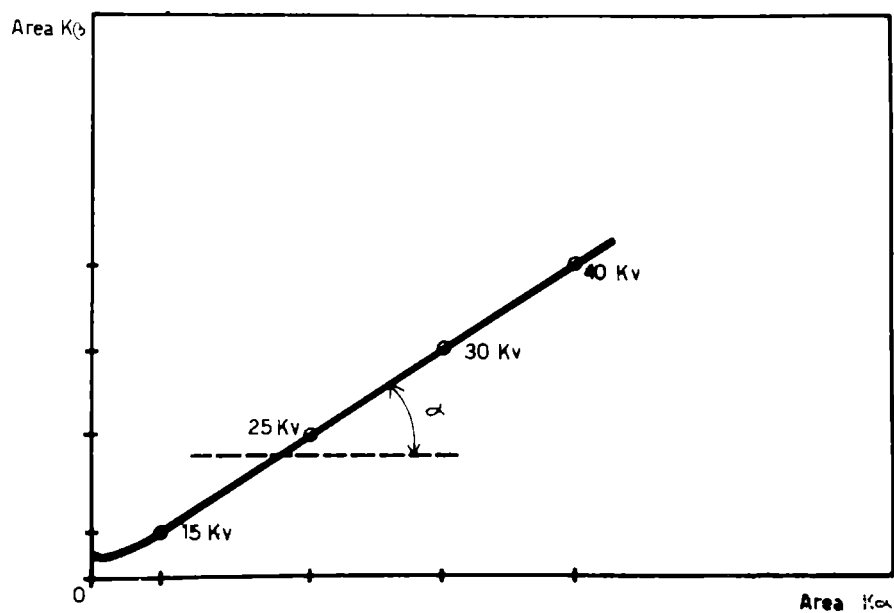


GRAFICO 1

$\theta_2 = 41^\circ$ han sido empleados en los cálculos.

El valor de $\text{tg } \alpha = 0,655$ se obtuvo de la figura 1. El valor de la profundidad crítica de generación fue calculado con la expresión de Chuns, Lentz y Scott (2) y la longitud de onda efectiva de acuerdo al método de Alvarez y de Vries (4).

Se realizaron mediciones de superficie de K_α y K_β para cobre de una pureza 99,99 de 10 a 100kV, a intervalos de 1 kV, utilizando una discriminación que incluye a ambas con sus picos de escape. Estos valores no fueron corregidos por efectos de absorción de cristal ni eficiencia de detector ya que se juzgaron despreciables a los fines requeridos; con estos datos fue realizado el gráfico 1 de donde se obtuvo la $\text{tg } \alpha$.

La profundidad crítica de generación está dada por:

$$E_c = \frac{K}{\mu \cdot \rho}$$

donde K es una constante cuyo valor es 4,62, y

μ es el coeficiente de absorción de la muestra corregido por oblicuidad, siendo:

$$\mu = \frac{\mu_1}{\text{Sen } \theta_1} + \frac{\mu_2}{\text{Sen } \theta_2}$$

$$\rho_{\text{Cu}} = 8,65$$

donde μ_1 es el coeficiente de absorción para la radiación incidente y fue calculado para una longitud de onda efectiva producida con una tensión de 40 kV siendo $\lambda = 1,16 \text{ \AA}$ y $\mu_1 = 196,64$.

μ_2 es el coeficiente de absorción para las longitudes de onda emergentes, donde:

$$\lambda_{K_\beta \text{ Cu}} = 1.392 \text{ \AA} \quad \text{y} \quad \mu_{\lambda K_\beta} = 41.544$$

$$\lambda_{K_\alpha \text{ Cu}} = 1.540 \text{ \AA} \quad \text{y} \quad \mu_{\lambda K_\alpha} = 54.370$$

θ_1 es el ángulo de incidencia = 49°

θ_2 es el ángulo de emergencia = 41°

Con estos valores se obtuvo el valor: $\frac{K_\beta}{K_\alpha} = 0,1079$ para

BIBLIOGRAFIA

- (1) Leroux J. - Advances in X Ray Analysis, 5, 1961.
- (2) Chung F. M., Lentz A. y Scott R. W. - X Ray Spectrometry, 3 (4), 1974.
- (3) Jenkins R. - Introduction to X Ray Spectrometry. 1975
- (4) Alvarez A. G. y de Vries J. L. - Swansea Symposium, (9), 1966.

**SOBRE LA RELACION DE INTENSIDADES CARACTERISTICAS
DEL ESPECTRO K DE RAYOS X**

Dr. Alberto G. Alvarez *

Electrotéc. Héctor Negri

Tco. Quím. Jorge F. Meda

*** Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).**

INTRODUCCION

La variación de la energía de transición de un elemento, dependiente de su número de coordinación, ha sido estudiada y medida para varios elementos (3, 4, 5). Estas mediciones proveen información sobre la estructura electrónica de un elemento en diferentes compuestos.

Desde un punto de vista histórico, la medición del cambio de longitud de onda de un elemento es el método experimental más exacto debido al hecho de que las diferentes técnicas en este campo son bien conocidas desde el comienzo de la óptica y la espectrografía de rayos X.

Así como la longitud de onda es un parámetro sensible a la variación de la estructura atómica, la relación de intensidades entre las líneas características de un elemento en diferentes tipos de enlace debe ser un parámetro sensible con respecto a los cambios de la estructura electrónica. En este trabajo se prueba tal posibilidad.

TEORIA

El parámetro principal en la intensidad de una transición espectral es el momento dipolar de la matriz del elemento.

La energía de una línea espectral se debe a la transición electrónica entre dos estados cuánticos. Así la línea $K_{\alpha 1,2}$ proviene de la transición:

$$^2 P_{1/2, 3/2} \longrightarrow ^1 S_{1/2}$$

de las capas L y K.

La línea $K_{\beta 3, 4}$ se debe a la transición:

$$^2 P_{3/2, 1/2} \longrightarrow ^2 S_{1/2}$$

Los niveles de energía están influenciados, tanto por los electrones externos como por los internos. La energía necesaria para extraer un electrón de la capa i está dada por:

$$E = \frac{Rhc}{n^2} (Z - \sum_0)^2 - \sum_i Z_i \frac{e^2}{\rho_i} \quad (1)$$

donde R es la constante de Rydberg;

h es la constante de Plank;

c es la velocidad de la luz;

n el número cuántico principal de capa en consideración;

$\sum_0$ constante de apantallamiento debida a los electrones internos;

$\sum_i$ constante de apantallamiento de los electrones externos;

Z número atómico del elemento;

Z_i número de electrones externos a la capa en cuestión;

e carga del electrón; y

ρ_i radio de la capa i .

La energía de los orbitales K, L, M, etc. variará de un compuesto a otro, dependiendo del número atómico que consideramos. Los niveles de energía internos de los átomos livianos están influenciados por la presencia de los átomos vecinos. Esta influencia disminuye a medida que crece el número atómico Z . Así, la variación en la longitud de onda característica en los elementos livianos puede ser detectada (por ejemplo en Al, Si, S) (3, 4, 5).

La intensidad de transición de un nivel A a un nivel B en el modelo de Mulliken (1, 2) está dado por:

$$I_A = 64 M_a \cdot \frac{E_{ab}^3}{3 \hbar^4} |\langle a | P | b \rangle|^2 \quad (2)$$

donde M_a es el número de electrones del nivel a ;

$M_{ab} \langle a | P | b \rangle$ es el momento dipolar (2); y

E_{ab} diferencia de energías entre los niveles a y b .

La intensidad de la transición $K\alpha_1$, del nivel LIII KI

en un elemento puro es:

$$(I_{K\alpha I})_0 = \frac{64}{3h^4} (Ma)_0 (E_{LIII \rightarrow K}^3)_0 (M_{K\alpha I}^2)_0 \quad (3)$$

Para un compuesto del mismo elemento, la intensidad será:

$$(I_{K\alpha I})_1 = \frac{64}{3h^4} (Ma)_1 (E_{LIII \rightarrow K}^3)_1 (M_{K\alpha I}^2)_1 \quad (4)$$

El momento dipolar para un elemento difiere de su estado puro al que tiene en un compuesto del elemento, debido a los cambios en la configuración electrónica.

Expresando el momento dipolar del elemento en el compuesto con referencia al momento dipolar en estado puro, se obtendrá:

$$(M_{LIII \rightarrow K}^2)_1 = (M_{LIII \rightarrow K}^2)_0 + A^2 \quad (5)$$

A^2 es por lo tanto la variación de elemento dipolar, correspondiente a las dos configuraciones electrónicas.

CALCULO DE A^2

De las expresiones 3, 4 y 5 se obtiene la relación de intensidades:

$$R_{01} = \frac{(I_{K\alpha I})_0}{(I_{K\alpha I})_1}$$

$$R_{01} = \frac{(Ma)_0 (E_{LIII, KI}^3)_0 (M_{K\alpha I}^2)_0}{(Ma)_1 (E_{LIII, KI}^3)_1 \left[(M_{K\alpha I}^2)_0 + A^2 \right]} \quad (6)$$

$$A^2 = \left[\frac{(Mb)_0 (E_{LIII, KI}^3)_0}{R_{01} (Ma)_1 (E_{LIII, KI}^3)_1} - 1 \right] (M_{K\alpha I}^2)_0 \quad (7)$$

Por el mismo razonamiento, en el caso de las transiciones, la variación del momento dipolar tiene la expresión:

$$A^{2*} = \frac{(Mb)_0 (E_{MK}^3)_0}{R_{01}^* (Mb)_1 (E_{MK}^3)_1} - 1 \quad (M_{K\beta}^2)_0 \quad (8)$$

El valor de Mb corresponde al número de electrones de la capa M.

Relación entre $(M_{K\alpha I})_0$ y $(M_{K\beta})_0$

La relación de intensidades:

$$R_{00} = (I_{K\alpha})_0 / (I_{K\beta})_0$$

está dada por la expresión:

$$R_{00} = \frac{(Ma)_0 (E_{LIII, K}^3)_0 (M_{K\alpha I})_0}{(Mb)_0 (E_M^3, K)_0 \left[(M_{K\alpha I})_0 + B^2 \right]} \quad (9)$$

donde:

$$B^2 = (M_{K\beta}^2)_0 - (M_{K\alpha I}^2)_0$$

$$B^2 = \left[\frac{(Ma)_0 (E_{LIII, K}^3)_0}{R_{00} (Mb)_0 (E_{MK}^3)_0} - 1 \right] (M_{K\alpha I}^2)_0 \quad (10)$$

reemplazando en (8) se obtiene la expresión final de A^{2*}

$$A^{2*} = \left[\frac{(Mb)_0 (E_{MK}^3)_0}{R_{01} (Mb)_1 (E_{MK}^3)_1} - 1 \right] \frac{(Ma)_0 (E_{LIII, K}^3)_0}{R_{00} (Mb)_0 (E_{MK}^3)_0} \cdot (M_{K\alpha I}^2)_0 \quad (11)$$

donde $M_{K\alpha I}^2$ es el momento dipolar en la transición:

$$2 P_{3/2} \longrightarrow 1 S_{1/2}$$

VARIACION DEL MOMENTO DIPOLAR

Muestra	B^2
Si	$\left[\frac{(Ma)_o}{(Mb)_o} \quad 0,01887 - 1 \right] (M_K^2 \alpha)_o$
SiC	$\left[\frac{(Ma)_o}{(Mb)_o} \quad 0,0161365 - 1 \right] (M_K^2 \alpha)_o$
SiO ₂	$\left[\frac{(Ma)_o}{(Mb)_o} \quad 0,0165211 - 1 \right] (M_K^2 \alpha)_o$
Al	$\left[\frac{(Ma)_o}{(Mb)_o} \quad 0,0070008 - 1 \right] (M_K^2 \alpha)_o$
Al ₂ O ₃	$\left[\frac{(Ma)_o}{(Mb)_o} \quad 0,00708316 - 1 \right] (M_K^2 \alpha)_o$

Nota.- Los valores consignados en esta tabla han sido obtenidos por medio de la fórmula 10 (3, 4, 5).

PARTE EXPERIMENTAL

Las variaciones del momento dipolar B^2 (tabla I) han sido calculadas a partir de los valores de corrimiento de longitudes de onda de las transiciones características (3, 4, 5).

En la tabla II se encuentran los valores de variación del momento dipolar en aluminio y silicio en estado puro y coordinados.

T A B L A II
RELACION DE INTENSIDADES

Muestra	Relación calculada	Relación observada
Si	45,10	50,01
SiC	48,60	53,94
SiO ₂	49,11	55,22
Al	97,32	83,37
Al ₂ O ₃	93,47	75,51

Las relaciones de intensidades observadas han sido corregidas por autoabsorción de la radiación característica, empleando la expresión:

$$I_m = \int_0^{\infty} I_0 e^{-\mu(\lambda) \cdot \rho \cdot x} dx$$

para la intensidad medida.

De la ecuación anterior se obtiene el valor verdadero de la intensidad total generada:

$$I_0 = I_m \cdot \rho \cdot \mu(\lambda)$$

donde ρ es la densidad de la muestra y $\mu(\lambda)$ el coeficiente másico de absorción.

CONCLUSION

Se da una descripción cuantitativa de las relaciones de intensidades características del espectro de rayos X de los elementos.

La comparación entre los valores observados y calculados puede indicar en primera instancia, imprecisión en los valores (obtenidos de las referencias) de los corrimientos de las longitudes de onda características en función de la coordinación de los elementos.

A medida que se obtengan valores más recientes y precisos de corrimientos de longitudes de onda, será posible corroborar la descripción presentada.

BIBLIOGRAFIA

1. Mulliken, R. S. y Riebe, C. A. - Rept. Progr. Phys. 8, 231, 1941.
2. Condon, E. N. y Shortley, G. H. - The Theory of Atomic Spectra. Cambridge University Press. New York, 1962.
3. Day, D. E. y Rindone, G. E. - Properties of Soda Aluminosilicate Glasses. II Coordination of Aluminium ions. Journal of American Ceramic Society. 45 (12), 1962.
4. Baun, W. L. y Fischer, D. W. - Influence of Chemical Combination on Aluminium K Diagram and non Diagram Lines. Nature, 204 (14), 642, 1964.
5. de Vries, J. L. - Recent Advances in Techniques and Instrumentation for X Ray Spectroscopy. N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken Technical Data.

**MAPA GEOTECNICO DE LA REGION SUDESTE DE LA PROVINCIA
DE BUENOS AIRES (REPUBLICA ARGENTINA)**

Dr. Víctor E. Mauriño **

Lic. María C. García ***

Lic. Vicente H. Muglia ****

SERIE II, Nº 339

- * Trabajo presentado al II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Buenos Aires, 1975.
- ** ~~Rx~~ Sub-Jefe de Departamento de Ingeniería Civil del LEMIT.
- *** Jefe de la Sección Edafología del LEMIT.
- **** Jefe de la Sección Perforaciones del LEMIT.

INTRODUCCION

Las necesidades impuestas por el desarrollo de los países ha impulsado la ejecución de las cartas geotécnicas como una base fundamental para la planificación de los distintos proyectos necesarios para cumplir con cualquier programa racional de desarrollo, especialmente cuando se trata de regiones nuevas o si se trata de regiones ya explotadas, cuando es necesario eliminar anomalías o efectuar cambios como consecuencia de nuevas necesidades.

Este trabajo ha tenido en cuenta aquellos conceptos y se expresan en este Mapa las características fundamentales del subsuelo en vinculación con los aspectos de ingeniería vial y de fundaciones, exponiendo al mismo tiempo las posibilidades más marcadas que tengan con respecto a materiales de construcción de la región.

Esta es la contribución que hace la geología aplicada al campo de la ingeniería de obras de grande y mediano porte, ya que en una escala adecuada permite planificar la factibilidad de ejecución de la infraestructura necesaria para los fines precedentemente mencionados. Obviamente para la determinación de las características particulares de cada lugar, deberán realizarse obligatoriamente estudios individuales.

UBICACION DE LA REGION

En el mapa nº 1 figura la ubicación general y particular del área estudiada; ésta ocupa aproximadamente 33.000 km² y se halla situada en la región sudeste de la Provincia de Buenos Aires.

Su importancia reside en varios aspectos que se integran, a saber:

- a) Su emplazamiento entre dos puertos de ultramar, uno

en Necochea y otro en Bahía Blanca, en los extremos norte y sur del mapa.

b) Un litoral atlántico con una zona de costa amplia (hasta la línea de ribera).

c) Numerosas industrias medianas y pesadas, ya instaladas o en vías de hacerlo, tanto en la región como en los sectores próximos.

d) Energía disponible o proyectada para el futuro, lo cual incluye una central en caverna (Tandil), una nuclear (Bahía Blanca) e interconexión con otras presas productoras de energía situadas en la región del Comahue (Piedra del Aguila, Alicurá y Collón-Curá).

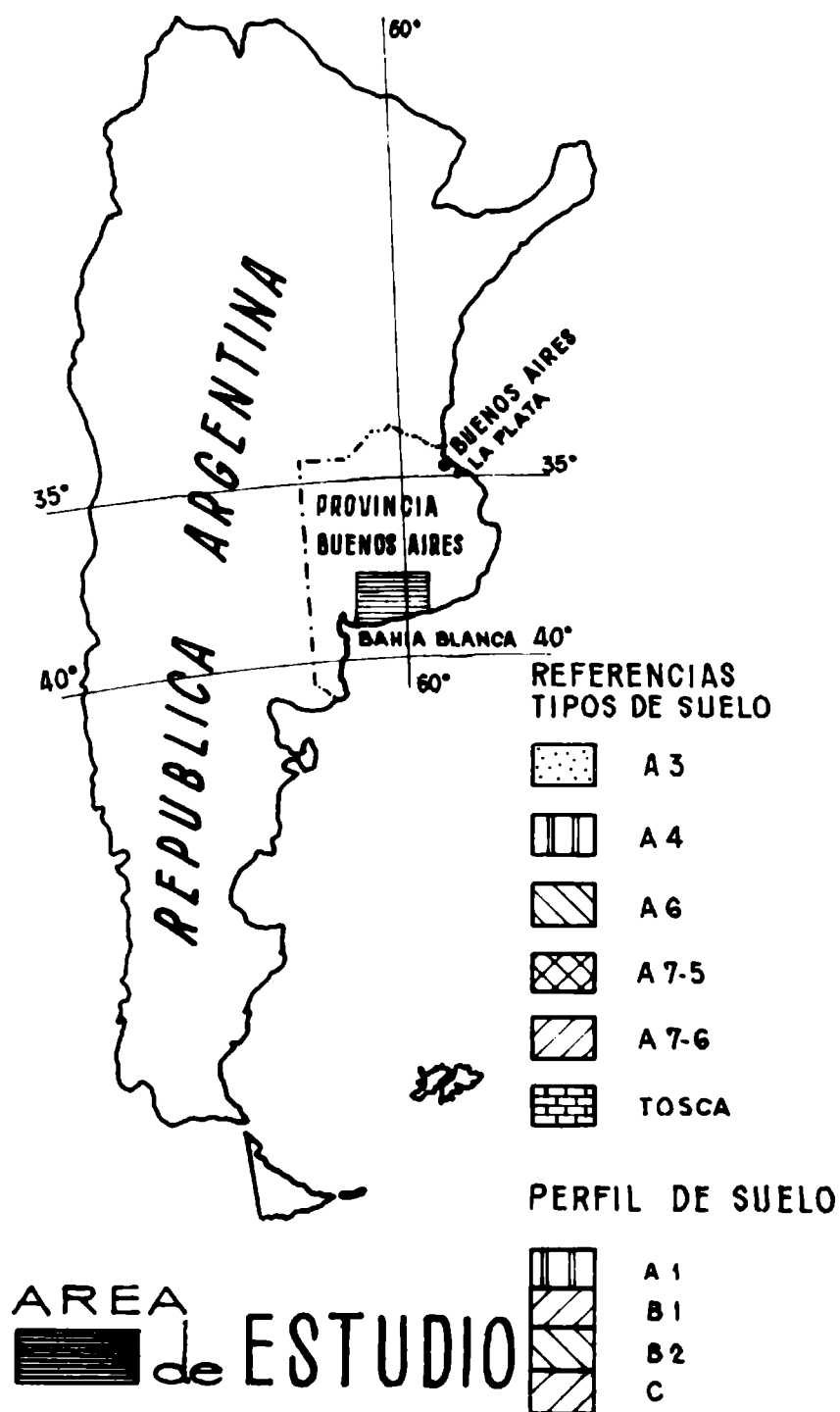
METODO DE TRABAJO

El estudio comprendió tres etapas que fueron: campo, laboratorio y gabinete. En la primera, se efectuaron los relevamientos necesarios y se realizaron aproximadamente 2.500 metros de perforaciones. Fueron utilizadas dos escalas de trabajo: 1:100.000 y 1:250.000. Los resultados se han volcado a esta última escala y los perfiles respectivos a 1:30.000. Luego se ha efectuado la reducción obligada para la presentación de este trabajo.

En laboratorio se han realizado algo más de 2.000 determinaciones que incluyeron: límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, lavado sobre tamiz 200, clasificación H.R.B., clasificación unificada, proctor normal, valor soporte, triaxiales, mineralogía de la fracción fina por difracción de rayos X, determinación analítica de carbonatos, sulfatos y materia orgánica, etc.

Además, se han utilizado numerosos resultados de estudios singulares realizados a través de los últimos quince años en el LEMIT. En gabinete se procesó toda esta información, sintetizándose la misma en el Mapa.

MAPA DE UBICACION



Mapa nº 1

CARACTERISTICAS DEL MAPA

En el mapa se han graficado los límites de los distintos tipos de rasantes naturales, y además se han expresado los perfiles geoedafológicos que dominan en cada sector, con lo cual se completa la información básica para uso vial.

Se ha utilizado el concepto de unidad edafológica zonal, no obstante lo cual se ha cuidado de dejar establecidos aquellos cambios intrazonales que pudieran afectar un anteproyecto vial.

En forma separada se describen los materiales de construcción regionales y sus características físicas, mecánicas y de utilización. Se ha puesto especial énfasis en las toscas, por ser este material el de mayor difusión en el área.

Con respecto a los "suelos seleccionados", éstos pueden ser ubicados de acuerdo con las columnas estratigráficas de suelos que figuran en el mapa. En la parte descriptiva figuran los espesores promedio de los horizontes, con lo cual puede tenerse una idea de destapes y excavaciones previsibles.

Por último, se consignan las condiciones de fundación previsibles en el área, las cuales están vinculadas, lógicamente, con las características geológicas y geomorfológicas regionales.

Resta decir que este mapa forma parte de otro más amplio que cubre la Provincia de Buenos Aires y del cual ya se han editado dos partes (Mauriño y Fossa, 1970 y Mauriño, Fossa y García, 1974).

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOMORFOLOGICAS

Geología

Por tratarse de un mapa especial, solamente se menciona-

MAPA GEOTECNICO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES



rán los rasgos geológicos que tienen vinculación con el suelo y el subsuelo, hasta una profundidad que tiene importancia para la resolución de los problemas de fundaciones.

La zona estudiada está comprendida entre los cordones serranos septentrional y austral de la Provincia de Buenos Aires.

En la parte noreste del mapa aparecen las estribaciones de las Sierras de Tandil (Cordón Septentrional) con formaciones de ortocuarcitas, areniscas, calizas y arcilitas pertenecientes al Grupo de La Tinta (Paleozoico) (Teruggi et. al., 1958) mientras que en el sudeste y parte central afloran sedimentos del Grupo Pillahuincó (areniscas y limolitas Pérmicas) (Suero, 1972).

La zona interserrana que corresponde a una depresión de suave pendiente al sudeste está cubierta con sedimentos que pertenecen a formaciones de las épocas Pliocénicas, Pleistocénicas y Reciente. Estos sedimentos son de naturaleza loésica, limosa y arenosa con calcificación variable.

Es de destacar que del estudio realizado se advierte que, en función de la edad, existe una mejor respuesta física y mecánica en los suelos, fenómeno vinculado especialmente con la preconsolidación que se advierte, como consecuencia de las características particulares geológicas.

Como contrapartida, en otros sectores afectados por procesos de remoción y redepositación con modificaciones por hidrólisis, reducen la calidad de los suelos desde el punto de vista de sus aplicaciones en relación con la ingeniería, especialmente en las capas superiores.

Geomorfología

La zona puede dividirse en tres sectores con caracteres distintos que son:

A. Zona pedemontana

A.1 Con lomas y serranías bajas pertenecientes a los Sistemas Septentrional y Austral de sierras.

A.2 Con lomas y zonas deprimidas; a veces el coronamiento de las lomas está cubierto por tosca dura.

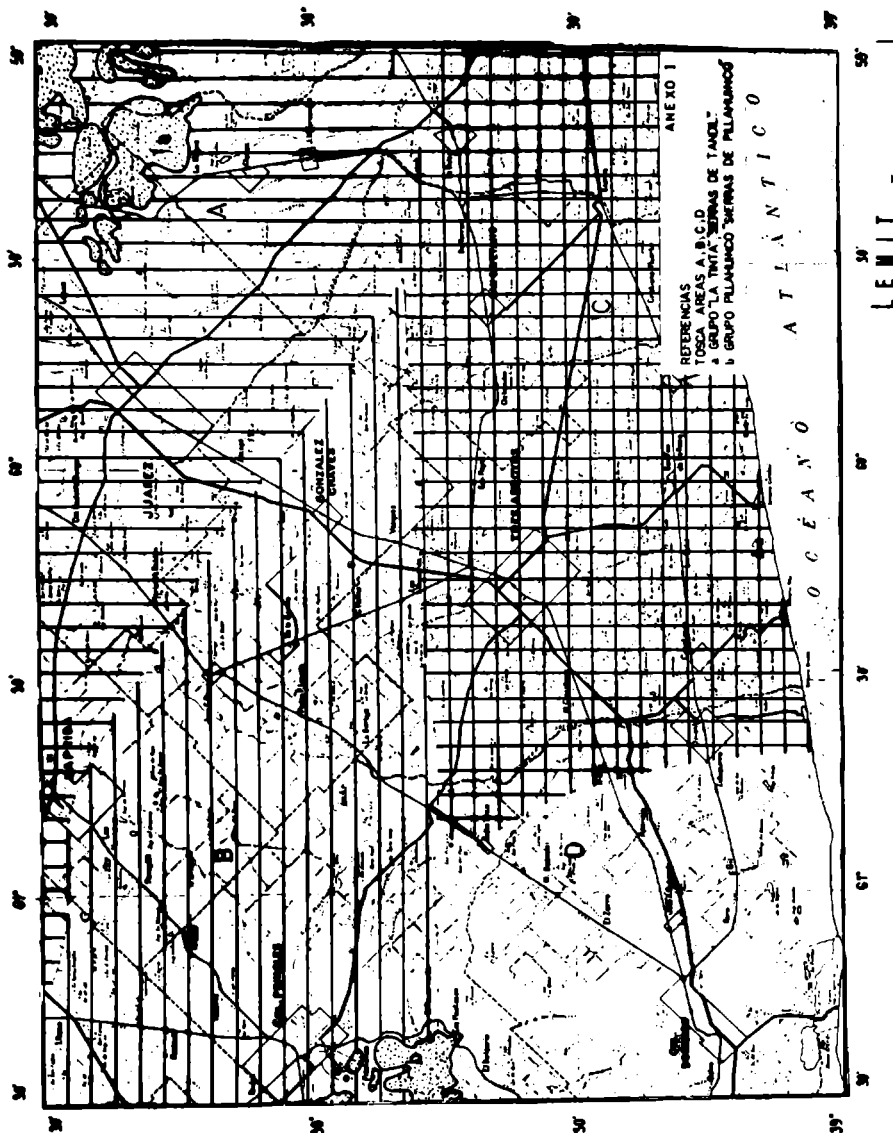
REFERENCIAS
TIPOS DE SUELO

	A 3
	A 4
	A 6
	A 7-5
	A 7-6
	TOSCA

PERFIL DE SUELO

	A 1
	B 1
	B 2
	C

Mapa n° 3



YACIMIENTOS: TOSCAS Y ROCAS

B. Zona interserrana.

B.1 Valles, cuencas lacunares y terrazas bajas.

B.2 Terrazas altas y peldaños de transición.

C. Zona litoral costera.

C.1 Playas arenosas con o sin barrancas.

C.2 Dunas costeras.

C.3. Dunas interiores. (pueden alcanzar 8 a 10 kilómetros de desarrollo perpendicular a la costa, como consecuencia de superposición de ciclos de erosión eólica).

HIDROGEOLOGIA

La región estudiada se encuentra comprendida entre las isohietas de 500 mm al sur y de 750 mm al norte, siendo el sistema hídrico tributario predominantemente del Atlántico. (Frenguelli, 1956) , aunque parte del mismo tiene su nivel de base en lagunas costeras, o al menos significan niveles de base locales (ej. Laguna Sauce Grande).

La mayor parte del área exhibe una red de drenaje desarrollada, originándose los mayores caudales en las zonas serranas que están drenadas por una red de tipo torrencial.

Las aguas infiltradas provenientes de las sierras tienden a ser duras (Sala, 1969).

Los acuíferos pedemontanos son originados en antiguos conos de deyección recubiertos.

En la zona sur existe un acuífero termal profundo, hallándose salinizados los estratos superiores.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Por ser este un capítulo de importancia por las impli-

cancias técnicas y económicas que tiene, se ha creído conveniente agregar información adicional en lo referente a las toscas, por ser un material de abundancia en el área.

Las características destacables de esta roca son: menor costo de explotación, alto valor soporte en general, buena cementación, afinidad con los asfaltos; buena cubrición especialmente la tosca dura; excelente adherencia y fácil compactación.

La definición de compacidad de la tosca que se aplica en el Mapa está vinculada con su resistencia a la abrasión Los Angeles. Por lo tanto, tosca dura es aquella que posee menos del 30 % de desgaste; tosca semidura entre 30 % y 50 % y tosca blanda cuando su pérdida supera el 50 % (Añón Suárez, 1968).

Las toscas duras se pueden emplear con éxito en la construcción de bases de carpetas de rodamiento y en mezclas en caliente para carpetas.

En cuanto a los suelos cálcareos, que como horizonte C cubren toda la región, no resultan apropiados para las bases, dado su bajo valor portante, pudiendo estabilizarse con cemento portland, para ser utilizados como base de camino de tránsito liviano y medio. También son interesantes las arenas tanto de la costa como las que aparecen en los ríos que bajan de las sierras. Se utilizan solas o conjuntamente con arenas de trituración, como parte integrante de estructuras superficiales y de base, sean o no bituminosas.

En cuanto a las areniscas, fueron empleadas en pavimentos y otras estructuras, con resultados favorables cuando las estructuras resistentes han contado con un apoyo adecuado (base y sub-base).

BIBLIOGRAFIA

Añón Suárez, H.- Uso de materiales locales. Ensayos y procedimientos de trabajo en pavimentos asfálticos en la Provin-

- cia de Buenos Aires. Revista de la Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, nº 43, 1968.
- Cappannini, D. y Domínguez, O.- Los principales ambientes geoedafológicos de la Provincia de Buenos Aires. INTA, Publicación 76, 1961.
- Courreges, J. M. - Comportamiento de la tosca en los tratamientos superficiales bituminosos y complementos para la clasificación de las toscas. Sexta Reunión Anual de la Comisión Permanente del Asfalto, 1952.
- Frenguelli, J. - Rasgos generales de la morfología y geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, nº 33, 1950.
- Frenguelli, J. - Loess y limos pampeanos. Serie Técnica y Didáctica, nº 7. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, 1955.
- Frenguelli, J. - Rasgos generales de la hidrografía de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, nº 62, 1956.
- Herrero Laporte, F. - La tosca como material de aprovechamiento integral. Su uso en bases estabilizadas y en tratamientos bituminosos. Cuarta Reunión de la Comisión Permanente del Asfalto, 1949.
- Kilmurray, J. - Rasgos petrográficos y físicos de toscas de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, nº 104, 1966.
- Mauriño, V. - Los sedimentos psamíticos actuales de la región costera comprendida entre Faro Recalada y Faro Monte Hermoso. LEMIT, Serie II, nº 61, 1956.
- Mauriño, V. y Fossa, L. - Mapa geoedafológico vial de la Provincia de Buenos Aires (I parte). LEMIT-ANALES, 4-70, pág. 143-156, 1970.
- Mauriño, V. - La carta geotécnica. LEMIT-ANALES, 2-74, pág. 157-170, 1974.
- Mauriño, V., Fossa, L. y García, C. - Carta geotécnica vial. Mapa de suelos viales. IV. RAMSIF. San Juan, 1974.
- Sala, J. M. - Breve enunciación de los estudios hidrológicos, especialmente en lo referente a hidrogeología en la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Su importancia, sus necesidades. LEMIT-ANALES, 2-69, pág. 83-93, 1969.
- Suero, T. - Compilación geológica de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires (Revisión Ulibarrena, J.). LEMIT-ANALES, 3-72, pág. 135-147, 1972.

Teruggi, M., Mauriño, V., Limousin, T. y Schauer, O. - Geología de las Sierras de Tandil. R.A.G.A. Tomo XIII, nº 3, pág. 185-204, 1958.

ANEXO I

MATERIALES DE CONSTRUCCION	UBICACION	CARACTERISTICAS GENERALES FISICAS Y MECANICAS. PROMEDIO	UTILIZACION																											
Ortocuarcitas y areniscas silíceas.	Barker	Pe: 2,37 a 2,48 Absorción: 0,9 a 1,4 Compresión: 800 a 1.100 Kg/cm2 Los Angeles: 45% Tenacidad: 13 cm	Construcciones viales (base, sub-base y concretos asfálticos). Los bancos de ortocuarcitas como agregados del hormigón.																											
Areniscas	Pillahuincó	Pe: 2,45 Absorción: 1,5 Compresión: 975 Kg/cm2 Los Angeles: 52%	Construcciones viales (base, sub-base y concretos asfálticos). Los bancos más cementados pueden ser utilizados localmente como agregados del hormigón.																											
Toscas	Areas A B C D Kilmurray, J. (1966) (Ver Anexo I)	<table><thead><tr><th>Destape</th><th>Espesor</th><th>% CO₂Ca</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,50m</td><td>0,40m</td><td>20-50</td></tr><tr><td>0,50m</td><td>0,70m</td><td>50-60</td></tr><tr><td>0,35m</td><td>1,50m</td><td>60-70</td></tr><tr><td>0,30m</td><td>2,00m</td><td>más de 70</td></tr></tbody></table> Los Angeles: Tosca dura: 28% Tosca semidura: 40% Tosca blanda, más de 50% Peso específico y absorción <table><thead><tr><th></th><th>Pe</th><th>Abs.</th></tr></thead><tbody><tr><td>Tosca dura:</td><td>2,36</td><td>3,4</td></tr><tr><td>Tosca semidura</td><td>2,26</td><td>5,6</td></tr><tr><td>Tosca blanda</td><td>2,19</td><td>7,3</td></tr></tbody></table> Cubricidad: 0,70 Compresión (tosca dura): 900 Kg/cm2 (tosca semidura): 80 a 120 Kg/cm2	Destape	Espesor	% CO ₂ Ca	0,50m	0,40m	20-50	0,50m	0,70m	50-60	0,35m	1,50m	60-70	0,30m	2,00m	más de 70		Pe	Abs.	Tosca dura:	2,36	3,4	Tosca semidura	2,26	5,6	Tosca blanda	2,19	7,3	Construcciones viales (base y sub-base). Fabricación de cales hidráulicas a partir de toscas del área D.
Destape	Espesor	% CO ₂ Ca																												
0,50m	0,40m	20-50																												
0,50m	0,70m	50-60																												
0,35m	1,50m	60-70																												
0,30m	2,00m	más de 70																												
	Pe	Abs.																												
Tosca dura:	2,36	3,4																												
Tosca semidura	2,26	5,6																												
Tosca blanda	2,19	7,3																												
Calizas	Barker	CO ₂ Ca: 98% Absorción: 0,3 Los Angeles: 25% Compresión: 600 Kg/cm2 Cubricidad: 0,67	Fabricación de cal y cemento. En construcciones viales.																											
Arenas de dunas y playas	Litoral costero Atlántico	Granulometría predominante: Dunas: Fina Playa: Mediana	Construcciones viales y civiles. Como agregado fino en hormigones. Como elemento filtrante.																											
Yeso	J.Fernández	60% a 85% de Sulfato de Calcio.	Construcciones civiles.																											

ANEXO II

ZONAS

CARACTERISTICAS DE FUNDACIONES (Promedio para cada región)

Suelos correspondientes a las lomadas y zonas altas, depositados durante el Plioceno y Pleistoceno, con preconsolidación marcada y/o cementación calcárea, a veces muy intensa.

Para edificios livianos, plano de fundación recomendado por debajo de 0,70 m con respecto a terreno natural. Fundación directa por zapatas aisladas o continuas.

Presiones de contacto admisibles, varías con la profundidad. Los valores son para zapatas aisladas.

Profundidad (m)	Presiones de contacto admisibles (Kg/cm ²)	Tipo de suelo predominante
- 1 a - 3	1.500 a 1.800	ML
- 3 a -12	1.800 a 2.000	ML
más de -12	3.000 a 5.000	ML

Suelos de las zonas de transición correspondientes a sectores bajos y/o valles fluviales. A veces con sedimentos pertenecientes a terrazas de acumulación.

Para «edificios livianos» plano de fundación recomendado por debajo de 0,70 m del terreno natural. Capa freática fluctuante hasta 2 m de la superficie. Los valores son para zapatas aisladas.

Profundidad (m)	Presiones de contacto admisibles (Kg/cm ²)	Tipo de suelo predominante
- 1 a - 6	400 a 1.200	CL-ML-SM
- 6 a - 8	1.500 a 1.700	CL-ML-SM
- 8 a -12	1.700 a 2.200	CL-ML-SM
más de -12	2.500	CL-ML-SM

Suelos de la zona litoral pertenecientes a arenas de playa y/o dunas. Existen por lo menos 2 ciclos de dunas.

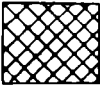
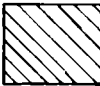
Para edificios livianos plano de fundación recomendado por debajo de 1,50 m del terreno natural. Fundación directa por zapatas aisladas o continuas. Angulo de fricción interna para los estratos superiores (sueltos) 25° a 30° y 38° a 43° para las arenas densas profundas. Valor N para las primeras 1 a 4 y 30 a 50 para las segundas.

Los valores que se mencionan son para fundaciones por zapatas aisladas.

Profundidad (m)	Presiones de contacto admisibles (Kg/cm ²)	Tipo de suelo predominante
-1,50 a -3	850 a 1.200	SP
mayor de -3	1.500 a 2.500	SP

- Los valores establecidos son generales y promedio de las condiciones predominantes en cada región. No deben ser tomados como la expresión de lugares singulares determinados. Por esta razón en cada caso deberá realizarse la verificación correspondiente.

Distribución del horizonte A. Símbolo	CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS-GEOMORFOLÓGICAS. DESCRIPCIÓN LITOLOGICA. COMPOSICIÓN MINERALOGICA. PROMEDIO	CONSTANTES FÍSICAS. PROMEDIO	CARBONATO, SULFATO Y MATERIA ORGÁNICA. PROMEDIO	CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACIÓN Y EXCAVACIÓN. COMPORTAMIENTO EN TERRAPLENES. PROMEDIO	CARACTERÍSTICAS PARA LA FUNDACIÓN DE CANINOS. SOPORTE Y ESTABILIZACIÓN. PROMEDIO
	Sedimentos acumulados en la zona litoral atlántica, en parte pertenecientes a la playa y parte a las dunas que forman una franja paralela a la costa. Arenas silíceas con predominancia de plagioclasas.				
A ₃					
	Sedimentos depositados en ambientes predominantemente húmedos, con alternancias más o menos prolongadas de semi-áridos. En general se los encuentra en la zona intermedia más externa. Suelos limosos, no plásticos, cuarcosos de grupo predominante: g. Suelos oscuros con tosquillas y cuarzo bonatos. Illita, montmorillonita, caolinita, cuarzo y feldespato.	Propiedades índice promedio L.L.: 28,9 L.P.: 22,9 I.P.: 5,9 Pasa T 200: 86%	Carbonato (CO ₂): 0,45 Sulfatos (SO ₄): --- Materia orgánica (C %): 1,86 Clasificación: A ₃ . Índice de grupo predominante: 9 A ₁ : 31 cm A ₂ : 32 cm BC: 36 cm Techo del C: 82 cm	Ensayo Proctor Normal Valor máx. P.U.V.S. Kg/cm ³ : 1,616 Humedad Óptima %: 20,2 Valor mínimo P.U.V.S. Kg/cm ³ : 1,398 Humedad Óptima %: 20,9 Excavación: Fácil excavación con medios manuales o mecánicos corrientes. Puede utilizarse como coronamiento de terraplenes previamente corregido.	Valor soporte. Método C.B.R. (Promedio) Penetraciones 2,5 mm Sin embeber 3,55 5,0 mm Sin embeber 4,9 Absorción de agua 0,0 - 1,5 cm %: 32,9 1,5 - 3 cm %: 28,0 Hinchamiento %: 3,1 Substrato de mediana calidad. Suelos trabajables. Puede corregirse con cal y estabilizarse con cemento para ser usado como sub-base.
A ₄					
	Sedimentos algo modificados por hidrólisis, ocupan una zona intermedia entre la costera y la pedemontana. Suelos arcillosos, castaños oscuros. Illita, cuarzo y feldespato.	Propiedades índice promedio L.L.: 37,7 L.P.: 25,2 I.P.: 12,5 Pasa T 200: 86%	Carbonato (CO ₂): 0,45 Sulfatos (SO ₄): --- Materia orgánica (C %): 1,44 Clasificación: A ₆ . Índice de grupo predominante: 9 A ₁ : 27 cm B ₁ : 20 cm B ₂ : 22 cm BC: 21 cm Techo del C: 65 cm	Ensayo Proctor Normal Valor máx. P.U.V.S. Kg/cm ³ : 1,618 Humedad Óptima %: 20,8 Valor mínimo P.U.V.S. Kg/cm ³ : 1,480 Humedad Óptima %: 24,6 Excavación: Fácil excavación a pala. Puede utilizarse como núcleo de terraplén.	Valor soporte. Método C.B.R. (Promedio) Penetraciones 2,5 mm Sin embeber 33,5 5,0 mm Sin embeber 30,6 Absorción de agua 0,0 - 1,5 cm %: 32,5 1,5 - 3 cm %: 24,0 Hinchamiento: 1,07 % Substrato mediano a pobre. Suelos con algunas dificultades en su manejo. Admite correcciones con cal. Corregida generalmente puede estabilizarse con cemento.
A ₆					

Distribución del horizonte A. Símbolo.	CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS-GEOMORFOLOGICAS. DESCRIPCION LITOLÓGICA. COMPOSICION MINERALOGICA. PROMEDIO	CONSTANTES FISICAS. PROMEDIO	CARBONATO, SULFATOS Y MATERIA ORGANICA. POR CENAJE PROMEDIO.	CARACTERÍSTICAS DE COMPACTACION Y EXCAVACION. COMPORTAMIENTO EN TERRAPLENES. CION.	CARACTERÍSTICAS PARA LA FUNDACION DE CAMINOS. SOPORTE Y ESTABILIZACION.
	Sedimentos modificados más o menos profundamente por acción ácida. Ocupan las zonas transicionales entre las terrazas altas y los valles cegados o actuales. Suelos arcillosos plásticos, castaños oscuros. Illita, montmorillonita, caolinita, cuarzo y feldespato.	Propiedades índice promedio L.L.: 42,0 L.P.: 30,6 I.P.: 11,4 Pasa T 200: 91 % Clasificación: A ₇₋₅ . Índice de grupo predominante: 9 A ₁ : 27 cm B ₁ : 23 cm B ₂ : 26 cm B ₃ : 20 cm Techo del C: 77 cm	Carbonato (CO ₂): 0,33 Sulfatos (SO ₄): --- Materia orgánica (C %): 2,82	Ensayo Proctor Normal Valor máx. P.U.V.S. Kg/dm ³ : 1,438 Humedad Óptima %: 27,0 Valor mínimo P.U.V.S. Kg/dm ³ : 1,295 Humedad Óptima %: 33,6 Excavación: Fácil excavación a pala. Puede utilizarse como núcleo de terraplén.	Valor soporte. Método C.B.R. (promedio) Penetraciones Sin enbeber Embebido 2,5 mm 29,3 2,7 5,0 mm 36,7 3,4 Absorción de agua 0,0 - 1,5 cm %: 45,2 1,5 - 3 cm %: 37,4 Hinchamiento %: 6,2 Subrasante: de mala calidad, debe corregirse.
A7-5					
	Sedimentos modificados más o menos profundamente por acción ácida. Ocupan las zonas transicionales entre las terrazas altas y los valles cegados o actuales. Suelos arcillosos, plásticos, castaños oscuros. Illita, caolinita, pirofillita, cuarzo y feldespato.	Propiedades índice promedio L.L.: 42,4 L.P.: 28,5 I.P.: 13,9 Pasa T 200: 84 % Clasificación: A ₇₋₆ . Índice de grupo predominante: 10 A ₁ : 30 cm B ₁ : 21 cm B ₂ : 23 cm B ₃ : 37 cm Techo del C: 71 cm	Carbonato (CO ₂): 0,4 Sulfatos (SO ₄): --- Materia orgánica (C %): 1,09	Ensayo Proctor Normal Valor máx. P.U.V.S. Kg/dm ³ : 1,496 Humedad Óptima %: 21 Excavación: Fácil excavación a pala. Puede dificultarse con el incremento de la humedad natural. Puede utilizarse como núcleo de terraplén.	Valor soporte. Método C.B.R. (promedio) Penetraciones Sin enbeber Embebido 2,5 mm 24,6 2,5 5,0 mm 23,8 2,4 Absorción de agua 0,0 - 1,5 cm %: 32,6 1,5 - 3 cm %: 35,9 Hinchamiento %: 4,2 Subrasante: de mala calidad. Debe corregirse
A7-6					

Abstracts of Papers in this Issue

U.D.C. 624.012.41

Cano Olazábal W. and Traversa L.

STRUCTURES TROUBLES AFFECTING HIS STABILITY

LEMIT - ANALES, 4-1976, 1/35 (Serie II, nº 331).

This experience has been obtained on more than one hundred cases studied, where the structures show different problems that are dangerous for their stability. A classification of the causes has been done.

It has been proved that the mentioned inconvenients have not relationship with the design or with the calculations, the problems were caused by the wrong use of the materials and the carelessness in the construction.

The techniques that were employed in the determination of the structures failures were been detailed in this work.

U.D.C. 665.777.4:625.85

Agnusdei J. O.

LABORATORY STUDY AND IN EXPERIMENTAL ZONES OF ASPHALT PAVEMENTS FROM DOMESTIC PETROLEUMS

LEMIT - ANALES, 4-1976, 37/64 (Serie II, nº 332).

This work is the second part from a study about the use of petroleum's asphalts in the constructions of pavements.

The possibilities of the use of these raw materials in practice were established.

The results obtained in an experimental zone were been considered. The changes produced on the three studied types of raw materials were determined by means of laboratory tests.

C.D.U. 624.012.41

Cano Olazábal W. y L. Traversa

PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS QUE AFECTAN SU ESTABILIDAD

LEMIT - ANALES, 4-1976, 1/35 (Serie II, nº 331).

La experiencia obtenida en el estudio de más de cien casos de estructuras que presentaban problemas variados que hacían temer por su estabilidad, ha servido de base para realizar una clasificación de las causas de los mismos.

Se demuestra que los inconvenientes mencionados no están relacionados con defectos de proyecto o de cálculo, sino con la incorrecta utilización de los materiales y con descuidos de orden constructivo.

Se detallan las técnicas que se emplean en la determinación de fallas en estructuras.

C.D.U. 665.777.4:625.85

Agnusdei J. O.

ESTUDIO DE LABORATORIO Y EN TRAMO EXPERIMENTAL DE ASFALTOS PARA PAVIMENTACION OBTENIDOS DE PETROLEOS NACIONALES

LEMIT - ANALES, 4-1976, 37/64 (Serie II, nº 332).

Como continuación de un estudio sobre asfaltos obtenidos de petróleos nacionales y destinados a obras de pavimentación, que se realizó para determinar las posibilidades integrales de aprovechamiento de dichos crudos, se ha encarado esta segunda etapa, en escala real, en la que se ha ejecutado un tramo experimental.

Se informan comparativamente los cambios que se han producido en los tres tipos estudiados.

U.D.C. 666.97.035.5

Cano Olazábal W., L. Traversa and J. H. Giussi

FORECAST OF STRENGTH OF PORTLAND CEMENT CONCRETES BY MEANS OF THE CURING BY ACCELERATED METHOD

LEMIT - ANALES, 4-1976, 65/82 (Serie II, nº 333).

The aim of this report is to review the present knowledge to establish a test method in the forecasting of the strength of portland cement concretes at 28 days. This method might be applicable in laboratory or in service.

It has been prepared concretes which contained different aggregates and cements. It has been outlined the correlation curves between the strength values obtained by using accelerated and normal curing.

U.D.C. 669.14:666.982.2

Wainsztein M. and L. Traversa

STEELS FOR CONCRETES

LEMIT - ANALES, 4-1976, 83/121 (Serie II, nº 334).

For the study of materials so useful as the pre-stressed and reinforced concretes, it is necessary a wide knowledge of the materials employed.

In this paper it has been outlined the characteristics, the forms of application and other details referring to the steels that are made in the country. It has been pointed the role of LE MIT, which gives the Useful Certificates for the domestic steels employed in public works in the Buenos Aires Province.

This paper is specially prepared for technicians, supervisors and managers of civil works.

C.D.U. 666.97.035.5

Cano Olazábal W., L. Traversa y J. H. Giussi

PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND POR EL MÉTODO DE CURADO ACELERADO

LEMIT - ANALES, 4-1976, 65/82 (Serie II, nº 333).

Se ha trabajado en la búsqueda de antecedentes para establecer un método de ensayo que permita pronosticar la resistencia de los hormigones de cemento portland a la edad de 28 días, aplicable tanto en laboratorio como en campaña.

Se han elaborado hormigones con diferentes contenidos unitarios de cemento y distintos tipos de árido. Se han trazado curvas de correlación entre la resistencia con curado acelerado y la resistencia con curado normal.

C.D.U. 669.14:666.982.2

Wainsztein M. y L. Traversa

ACEROS PARA HORMIGÓN

LEMIT - ANALES, 4-1976, 83/121 (Serie II, nº 334).

El estudio de elementos de tan vasta aplicación como el hormigón armado o el pretensado, requiere un conocimiento amplio de los materiales que lo componen.

En este trabajo se ha tratado de volcar en la forma más explícita posible, las características, normas de aplicación y detalles constructivos de los aceros que se fabrican en el país. Se destaca además la importante función que cumple el LE MIT en el otorgamiento de los Certificados de Empleo de los aceros de producción nacional y su vigencia, condición ésta indispensable para poder utilizarlos en las obras públicas provinciales.

Este trabajo está destinado en especial a los proyectistas, inspectores y directores de obra.

U.D.C. 543.422.8

Miniussi C. L., J. F. Meda and R. H. Pérez

DETERMINATION OF METALLIC COMPONENTS IN ADDITIVATED OILS
BY MEANS OF X-RAY FLUORESCENCE

LEMIT - ANALES, 4-1976, 123/141 (Serie II, nº 335).

The X-ray fluorescence, a rapid and exact technique, is described to be used in the determination of metallic components as zinc, calcium and barium in additivated oils.

The adjustment of the matrix's effects has been done by a mathematical expression that includes a coherent scattering.

This method was studied for the usual concentration intervals of additives in lubricating oils and it has been accurated by chemical analysis.

U.D.C. 537.531.3

Alvarez A. G., J. F. Meda and H. Negri

TRANSITION PROBABILITIES OF K_{β}/K_{α} FOR ELEMENTS BETWEEN
 $Z = 13$ AND $Z = 56$ IN THICK FILMS

LEMIT - ANALES, 4-1976, 143/151 (Serie II, nº 336).

With this work has been for 24 values of the relation K_{β}/K_{α} from the X Ray spectrum for the elements that are comprised between the atomic numbers 13 and 56.

The measure accuracy of this parameter is very important in atomic theoretical models.

It has been minimized the auto absorption effects and the exciting spectrum shape.

C.D.U. 543.422.8

Miniussi C. L., J. F. Meda y R. H. Pérez

DETERMINACION POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LOS CONSTITUYENTES METALICOS EN ACEITES ADITIVADOS

LEMIT - ANALES, 4-1976, 123/141 (Serie II, nº 335).

Se describe una técnica rápida y precisa, por fluorescencia de rayos X, para la determinación de los componentes metálicos (cinc, calcio, bario) en aceites aditivados.

La corrección de los efectos de matriz se logra mediante la utilización de una expresión matemática que incluye la intensidad de dispersión coherente ("scattering") como referencia estándar.

El método fue estudiado para el intervalo de concentraciones usuales en los aceites lubricantes y su precisión se corroboró por análisis químico.

C.D.U. 537.531.3

Álvarez A. G., J. F. Meda y H. Negri

PROBABILIDAD DE TRANSICION $K\beta/K\alpha$ PARA ELEMENTOS COMPRENDIDOS ENTRE $Z = 13$ Y $Z = 56$ EN FILMS GRUESOS

LEMIT - ANALES, 4-1976, 143/151 (Serie II, nº 336).

Con este trabajo se dispone de veinticuatro valores de la relación $K\beta/K\alpha$ del espectro de rayos X, para elementos comprendidos entre los números atómicos 13 y 56.

La exactitud en la medida de este parámetro es de interés en modelos teóricos de constitución atómica, por lo que se ha puesto especial interés en minimizar los efectos debidos a la auto absorción y a la forma del espectro de excitación.

U.D.C. 537.531.3

Alvarez A. G., H. Negri and J. F. Meda

DETERMINATIONS OF THE INTENSITY RELATIONS BETWEEN K_{β} AND K_{α} IN THE X-RAY SPECTRUM

LEMIT - ANALES, 4-1976, 153/161 (Serie II, nº 337).

It has been developed a method to calculate the relationship K_{β}/K_{α} of the X-ray spectrum where it has been explained the distortions that are produced when the characteristic radiation comes from thick films.

This method has been ejemplified for the copper case and the value $K_{\beta}/K_{\alpha} = 0,1079$ has been obtained.

U.D.C. 537.531.3

Alvarez A. G., H. Negri and J. F. Meda

RELATION OF INTENSITIES CHARACTERISTICS FROM THE K SPECTRUM OF X-RAY

LEMIT - ANALES, 4-1976, 163/171 (Serie II, nº 338).

The variation of the transiction energy of an element in function of his coordination number, is a parameter that gives information about the electronic structure of an element in different compounds. This aspect has been studied with special interest.

In this work it has been outlined that the relation of intensities between the characteristic lines of an element in different chemical bounds is a sensitive parameter comported with the electronic structure. It has been proved in the cases of silicium and aluminium.

C.D.U. 537.531.3

Alvarez A. G., H. Negri y J. F. Meda

SOBRE LA DETERMINACION DE LA RELACION DE INTENSIDADES $K\beta$.
Y $K\alpha$ EN EL ESPECTRO DE RAYOS X

LEMIT - ANALES, 4-1976, 153/161 (Serie II, nº 337).

Ha sido desarrollado un método para calcular la relación $K\beta/K\alpha$ del espectro de rayos X donde se explican las distorsiones que se producen cuando la radiación característica proviene de films gruesos.

El método ha sido ejemplificado para el caso del cobre, obteniéndose un valor $K\beta/K\alpha = 0,1079$.

C.D.U. 537.531.3

Alvarez A. G., H. Negri y J. F. Meda

SOBRE LA RELACION DE INTENSIDADES CARACTERISTICAS DEL ES-
PECTRO K DE RAYOS X

LEMIT - ANALES, 4-1976, 163/171 (Serie II, nº 338).

La variación de la energía de transición de un elemento en función de su número de coordinación, es un parámetro que proporciona información sobre la estructura electrónica de un elemento en diferentes compuestos, por lo que ha sido estudiado con especial interés.

En este trabajo se demuestra que la relación de intensidades entre las líneas características de un elemento en diferentes tipos de enlace, es un parámetro sensible con respecto a la estructura electrónica. Esto se prueba en los casos del Si y Al.

U.D.C. 624.13 (821.2)

Mauriño V. E., M. C. García and V. H. Muglia

GEOTECHNIC MAP OF THE SOUTH-EAST REGION OF THE BUENOS AIRES PROVINCE

LEMIT - ANALES, 4-1976, 173/189 (Serie II, nº 339).

The main characteristics of the subsoil for the South-East region of the Buenos Aires Province are given in detail in the geotechnic map described in this paper, that will be useful in future studies in relation with the highway and foundation engineering.

There is a special reference to the "toscas" (caliche) found in great amount in the area and about the possibilities of their utilization in the construction of pavement bases and in warm mixtures for bituminous carpets.

C.D.U. 624.13 (821.2)

Mauriño V. E., M. C. García y V. H. Muglia

MAPA GEOTECNICO DE LA REGION SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (REPUBLICA ARGENTINA)

LEMIT - ANALES, 4-1976, 173/189 (Serie II, nº 339).

En este mapa geotécnico se expresan las características fundamentales del subsuelo de la región sudeste de la Provincia de Buenos Aires, en vinculación con los aspectos de ingeniería vial y de fundaciones.

Se hace especial referencia a las toscas de la región, por su abundancia y por las posibilidades de utilización de las mismas en la construcción de bases de carpetas de rodamiento y en mezclas en caliente para carpetas.

Este ejemplar se terminó de
imprimir el día 25 de febre-
ro de 1977 en la Dirección
de Impresiones del Estado y
Boletín Oficial

Se permite la reproducción total o parcial de estos trabajos
siempre que se deje constancia de la fuente de origen