

85

ENE / FEB / MAR 1983

VIALIDAD



La Plata
Prov. de Buenos Aires
República Argentina

M.O.P.
Dirección de Vialidad



ISSN 0042-5028

DIRECCION
DIRECCION
DIRECCION
DIRECCION
DIRECCION
DIRECCION
de PUENTES
y CAMINOS

*DESDE EL 1° DE ENERO DE 1938
SE DENOMINA*

**DIRECCION DE
VIALIDAD**



DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

REPUBLICA ARGENTINA
 PROVINCIA DE BUENOS AIRES
 MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

GOBERNADOR DE LA PROVINCIA Sr. Jorge Rubén Aguado

MINISTRO DE OBRAS PUBLICAS Ing. Carlos María Benaglia

DIRECCION DE VIALIDAD

ADMINISTRADOR GENERAL Ingeniero Gonzalo Amaranto Perera

SUBADMINISTRADOR Ingeniero Horacio César Albina

INGENIERO JEFE Ingeniero Julio César Astuti

DIRECTORES

Construcciones	Ingeniero José María Mundiña
Conservación	Ingeniero Mario Augusto Ripa
Estudios y Proyectos	Ingeniero Matías Yuffe
Vialidad Urbana	Ingeniero Enrique Silvio Benaglia

SUBDIRECTORES

Construcciones	Ingeniero Carlos Salomón López
Estudios y Proyectos	Agrimensor Jorge Chiabrando.
Administración	Señor Omar Guillermo Cacace
Zona I	Agrimensor Mario Domingo García
Zona II	Agrimensor José María Scasso
Zona III	Ingeniero Oscar Guillermo Scally
Zona IV	Agrimensor Eberto J. Pérez
Zona V	Ingeniero Alberto Oscar Rossi
Zona VI	Agrimensor Orlando René Ponte
Zona VII	Agrimensor Juan Carlos Cordisco
Zona VIII	Ingeniero Víctor Rodolfo Fernández

COMISION PERMANENTE DE PUBLICACIONES

Ingeniero	Julio César Astuti
Ingeniero	Nancy Villabona
Ingeniero	Daniel Lugones
Señor	Omar G. Cacace,

VIALIDAD

REVISTA DE LA DIRECCION DE VIALIDAD

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

PROVINCIA DE BUENOS AIRES - ARGENTINA

Año XXV

Enero / Febrero / Marzo de 1983

Nº 85

Fundada por Resolución
 Nº 1610, del
 17 - IX - 1957

Publicación trimestral
 Técnico - Informativa

SUMARIO

NOTICIAS INSTITUCIONALES	Pág.
El 1º de febrero se firmó el contrato para la construcción de la autopista La Plata - Buenos Aires	3
Aclaraciones	5
Realizése el Octavo Simposio de la Comisión Permanente del Asfalto en la Dirección Nacional de Vialidad	6
Estado de las obras camineras con supervisión a cargo de la Dirección de Conservación	7
Convenio para la construcción de una senda peatonal para peregrinos . . .	10
Licitaciones correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo de 1983	12
ARTICULOS TECNICOS	
Investigaciones hidráulicas para la determinación de los espesores de las películas de agua sobre las superficies mojadas de los pavimentos	13
Cálculo de la transmisividad de suelos costeros por medio de la onda de marea	20
Estabilización con cenizas volantes del granito descompuesto	25
Algunos resultados de investigaciones sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad de hormigones conglomerantes a base de escorias activas (C.E.A.)	32
Hormigón en sacos para contención de las riadas, contra la erosión y para obras subacuáticas	39
7º Congreso Internacional de la Química de los Cementos	44
Vigencia, alcance e interpretación del examen y ensayos de agregados pétreos para controles de obra en pavimentos asfálticos	53
El agregado pétreo en las especificaciones para concreto asfáltico en caliente	63



DIRECCION DE VIALIDAD
 DE LA PROVINCIA
 DE BUENOS AIRES

Calle 7 Nº 1175 - 1900 La Plata
 Buenos Aires - Argentina

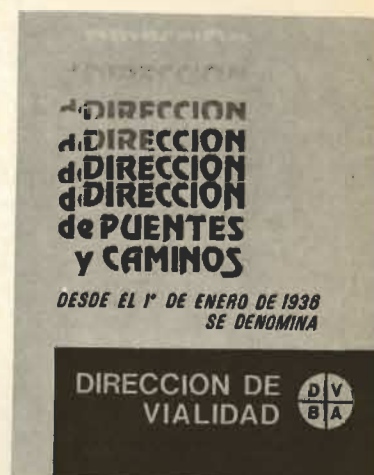
Los artículos pueden reproducirse citando la fuente,
 Registro de la propiedad intelectual Nº 585.585.
 La responsabilidad de lo expuesto en los artículos firmados corresponde exclusivamente a sus autores.

Nuestra Portada

El 1º de enero de 1936 se determina definitivamente denominar a la Dirección de Puentes y Caminos "Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, DVBA", nombre que conserva hasta el presente.

Fotografía
Néstor O. Aguirre

Portada:
Willy Ocampo



Coordinación y Supervisión:
Lic. Wasyl Zyla

Impreso en LA PLATENSE S.R.L.

El 1º de febrero se firmó el contrato para la construcción de la autopista La Plata - Buenos Aires

En el Salón de Acuerdos de la Casa de Gobierno, de la Provincia de Buenos Aires se firmó el 1º de febrero de 1983, el contrato para la construcción de la moderna autopista La Plata - Buenos Aires, culminando así las tratativas que, desde hace 20 años, exigió la tramitación de la iniciativa.

El trascendente acto fue presidido por el Gobernador, señor Jorge Rubén Aguado y contó con la presencia del Ministro de Obras y Servicios de la Nación, Ing. Conrado E. Bauer, de los administradores de Vialidad Nacional Ing. Julio Caballero y de Vialidad de la Provincia, Ing. Gonzalo Amaranto Perera; todos los ministros y secretaríos del Poder Ejecutivo bonaerense; Fiscal de Estado, Asesor General de Gobierno, presidente del Tribunal de Cuentas; presidente del Banco de la Provincia y otros altos funcionarios nacionales y provinciales, representantes de las Fuerzas Armadas, titulares de organismos profesionales de la ingeniería e invitados especiales.

Firmaron los documentos el Gobernador, el ministro de Obras y Servicios Públicos y los administradores de Vialidad federal y bonaerense por el sector estatal, y el presidente de COVIARES S.A., Ing. Roberto Servente.

Diálogo con el periodismo.

El Gobernador manifestó su satisfacción por el trámite, que empezó en 1977 y terminó recién en 1983 con la firma del contrato. "Ha llevado más esto, que lo que va a demorar el construirse la etapa principal de la autopista, desde Retiro a Hudson, que es de algo menos de cuatro años".

Reiteró luego que los avales del Estado, tanto nacional como provincial, cubren sólo el 80% del contrato y refiriéndose a la trascendencia del emprendimiento, precisó que permitirá desarrollar urbanísticamente a los distritos por los que atraviesa la autopista, y también contribuirá decisivamente a la reactivación del puerto de La Plata y consecuentemente a la radicación de empresas en la zona de influencia.

El Ing. Bauer señaló que esta obra puede constituir el anhelado comienzo de la reactivación económica, adjudicando a la construcción de la autopista significación nacional, por todo cuanto representa desde aquel punto de vista, como solución al problema social, por cuanto constituirá una importante fuente de trabajo, y como superación de las dificultades de comunicación entre las dos capitales.

Expresó el ministro de Obras y Servicios



Momento en que el Sr. Gobernador de la Provincia de Buenos Aires, Jorge Rubén Aguado procede a firmar el contrato para la construcción de la autopista La Plata - Buenos Aires.

Públicos que la cláusula por la cual la empresa adjudicataria debe durante el corriente año buscar créditos en moneda argentina, fue estipulada en acuerdo con el ministro de Economía de la Nación, lo cual significará un factor de reactivación de la economía interna del país. Agregó que los créditos deben formalizarse en moneda argentina, para no afectar los préstamos que en el futuro inmediato van a ingresar al país.

Señaló luego que la obra significa "la esperanza y la fe puestos en el futuro del país".

El Administrador General de Vialidad provincial, Ing. Perera, aclaró que la autopista ribereña de la Capital Federal llega hasta el Tigre, pero que en esta instancia, se excluye el tramo Retiro - Tigre, sector llamado autopista, ribereña Norte, que sigue en estudio por los organismos técnicos respectivos.

Nombre de la autopista

El Poder Ejecutivo Bonaerense impuso a la autopista La Plata - Buenos Aires el nombre de "Gobernador Dardo Rocha". El Sr. Aguado suscribió el texto de esa medida. En los considerandos, se afirma que la concreción de la obra "hará más fluida y rápida la comunicación de la

capital de la Provincia con la Capital Federal, "eventualidad que no sólo beneficiará a la comunidad de todo el Gran Buenos Aires, sino de todo el país, cuyos ciudadanos, por sus actividades comerciales, industriales, profesionales o turísticas, deben frecuentar las ciudades capitales". Agregase que "el problema de las comunicaciones con el puerto de la Ensenada, fue preocupación de Bernardino Rivadavia durante sus períodos de gobierno y del Dr. Dardo Rocha en 1882, para la ubicación de la nueva capital en un lugar geográfico no muy alejado de la metrópoli, para que ésta no fuera excesivamente costosa, como lo deja claramente establecido en varios pasajes de su extenso y fundado mensaje a la Asamblea Legislativa, el 14 de marzo de 1882".

Se señala que "la preocupación del Dr. Dardo Rocha por las comunicaciones entre la nueva capital y la metrópoli, así como con los centros de población del interior de nuestra Provincia, consecuente con las palabras que pronunció en la fundación de La Plata, en las que considera que perfeccionar, nuestros medios de comunicación constituye una "victoria pacífica", quedó manifestada en sus inmediatas medidas de gobierno hacia 1884,

política que deja como prioridad a su sucesor, el Dr. Carlos Alfredo D'Amico. Por lo expuesto es de justicia que la autopista La Plata - Buenos Aires lleve el nombre del ilustre fundador de la ciudad de La Plata".

acerca del acto de la firma del contrato de esta trascendental obra, dejándose, para una edición especial, que esta Revista VIALIDAD está preparando, los detalles técnicos, económicos y sociales de la obra.

Características técnicas

En esta oportunidad sólo se informa

ACLARACIONES

Si bien se ha incluido en la Revista Nº 84 un volante con "fe de erratas", es menester incorporarlo en esta edición y efectuar algunas aclaraciones útiles para el buen manejo de los artículos publicados en las ediciones Nº 83 y 84.

Referente al Proyecto de la Ley de Tránsito que reemplazará a la Ley 13.983 (Revista nº 83 - Pág. 10).

Cabe aclarar que el trabajo fue realizado por los Dres. Carlos DUVERGES e Hilda RIERA presentado en el 3º Seminario de Seguridad Vial, celebrado en la ciudad de Junín.

En el mismo número, se omitió involuntariamente, dentro de las referencias: (pág. 53).

1) Ing. Omar S. INFANTE — "Sistema de evaluación de pavimentos usado en la DVBA para determinar las prioridades desde el punto de vista estructural" Revista VIALIDAD Nº 74.

2) Ing. Roque J. LOZADA — "Estudio de materiales para futuros refuerzos y/o ensanches de pavimentos existentes: Revista VIALIDAD Nº 75, 1.

Revista VIALIDAD Nº 84

Referente a los trabajos de investigación histórica:

"1932 - 1982 - 50º Aniversario,
5 de Octubre: Día del Camino" y

"Antecedentes de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires", que se incluyeron en esta edición nº 84, los mismos tienen como autor, al Licenciado Wasyl ZYLA.

Realizóse el Octavo Simposio de la Comisión Permanente del Asfalto en la Dirección Nacional de Vialidad

Se desarrolló en el salón de actos de la Dirección Nacional de Vialidad el Octavo Simposio de la Comisión Permanente del Asfalto en adhesión al cincuentenario de la sanción de la Ley nº 11.658, que creara a dicha institución.

El tema abordado en la oportunidad: "Control de calidad de pavimentos asfálticos" mereció la máxima atención por parte de los profesionales y técnicos participantes, que aportaron valiosos enfoques para el tratamiento del mismo, respondiendo a la convocatoria formulada por la Comisión Permanente del Asfalto, a través de su presidente, Ing. Marcelo Alvarez.

Durante el acto inaugural también hicieron uso de la palabra el Ing. Néstor Alesso, presidente de la Asociación Argentina de Carreteras, destacando la vinculación entre el propósito del Simposio y el lema "por más y mejores caminos", y el Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad, Ing. Julio C. Caballero (h), quien dio por iniciadas las jornadas.

En la última sesión, representando a la Asociación Argentina de Carreteras y a la Cámara Argentina de la Construcción, los Ing. Enrique Azzaro y Juan M. Ferreyra expusieron los puntos de vista de las referidas entidades,

vinculados a los aspectos tratados en el Octavo Simposio.

Finalmente, el Sr. Subadministrador de la Dirección Nacional de Vialidad, Ing. Carlos Ardanaz, agradeció la colaboración prestada por la Comisión Permanente del Asfalto en el desarrollo del tema, de vital interés para las reparticiones vinculadas a la tarea vial dentro del país.

En el transcurso de las reuniones técnicas, se abordaron distintos temas asignados a profesionales de nuestro medio, cuyas conclusiones se resumen en los párrafos siguientes. Asimismo el Dr. Ing. Vladimir Yackovlev, director del Departamento de Asuntos Técnicos y Científicos de la Organización de Estados Americanos, disertó sobre mezclas de suelo-asfalto, refiriéndose a estudios llevados a cabo en la Universidad de Illinois (E.E.UU.).

No dudamos de que las bases de cooperación y estudio establecidas durante el Simposio entre los distintos profesionales intervinientes, tendientes a actualizar y perfeccionar continuamente nuestros métodos de control de calidad de pavimentos asfálticos, habrán de cristalizar dentro del más breve plazo, en una nueva reunión técnica como la que nos ocupa.

Estado de las obras camineras con supervisión a cargo de la Dirección de Construcciones

Al 31 de marzo pasado, se dieron a conocer, a través de la Dirección de Construcciones de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, el estado ejecutivo de 27 obras que el ente vial bonaerense lleva a cabo y se hallan en trámite de recepción provisoria unas y en período de conservación otras. Se incorpora también jurisdicción, longitud y monto de los respectivos contratos.

Para mayor ilustración, damos a conocer el listado de los trabajos de referencia.

CON RECEPCION PROVISORIA Y EN PERIODO DE CONSERVACION

1) REMODELACION DE LA AVENIDA GAONA I ETAPA

Jurisdicción: partido Morón, La Matanza y Tres de Febrero.

Longitud: 5,138 km.

Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 15.838.863.235.

Recepción Provisoria: 15 - 02 - 83

2) PAVIMENTACION DEL ACECSO A MONTE HERMOSO (R.P. 78) TR. ARROYO SAUCE GRANDE - MONTE HERMOSO.

Jurisdicción: Municipio Urbano de Monte Hermoso.

Longitud: 6,628 km.

Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 3.193.005.620.

Recepción Provisoria: 24 - 11 - 82

3) REMODELACION R.P. 215 TR. AVENIDA 131 - R.P. 6

Jurisdicción: partido de La Plata.

Longitud: 16,619 km.

Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 19.956.246.422.

Recepción Provisoria: 7 - 1 - 83

4) ESTUDIO PROYECTO Y EJECUCION R.P. 47 LUJAN - NAVARRO - 1er. TRAMO DE PROGRESIVA 0,00 (EMPALME R.N. 5) A PROGRESIVA 26,672 - LIMITE DE PARTIDOS Y ACCESOS A LA ESCUELA Nº 3 GRAL. SAN MARTIN DE GRAL. RODRIGUEZ Y A LA CHOZA.

Jurisdicción: partidos de Luján, Gral. Rodríguez, Mercedes y Gral. Las Heras.

Longitud: 26,7 km.

Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 13.552.806.282.

Recepción Provisoria: 4 - 3 - 83

5) R.P. 4 LLAVALLOL - LA TABLADA - VIADUCTO SOBRE VIAS DEL F.C.G. BELGRANO, LINEAS G y M, VARIANTE 2 A - VIADUCTOS UNIDOS CON RAMAS DE ACCESO.

Jurisdicción: partido de La Matanza.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 13.235.970.802.
Recepción Provisoria: 28 - 2 - 83

6) CONSTRUCCION DE DOS PUENTES DE HORMIGON ARMADO SOBRE EL CANAL A, EL PRIMERO EN EL CAMINO 9 DE JULIO - BOLIVAR Y EL SEGUNDO EN EL CAMINO BOLIVAR - UNZUE

Jurisdicción: partido de Bolívar.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 1.321.252.523.
Recepción Provisoria: 21 - 2 - 83

7) RECONSTRUCCION Y REFUERZO DE ESTRUCTURA DE LA R.P. 50 CAMINO AYACUCHO - RAUCH EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE ARROYO LANGUEYU Y LA ROTONDA DE INTERSECCION DE LAS R.P. 30 Y 50.

Jurisdicción: partido de Rauch.
Monto de Contrato: \$ 6.846.044.003.
Recepción Provisoria: 6 - 1 - 83

EN TRAMITE DE RECEPCION PROVISORIA

8) PAVIMENTO Y OBRA HIDRAULICA EN LA VARIANTE R.P. 4 TRAMO RUTA PANAMERICANA - AVENIDA MAIPU.

Jurisdicción: partido de San Isidro.
Longitud: 9,12 km.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 12.909.124.412.

9) OBRAS BASICAS Y CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO EN EL CAMINO HENDERSON - HIDRONOR Y SUBESTACION DE REBAJE LINEA EL CHOCON - BUENOS AIRES (119 - 02).

Jurisdicción: partido de Hipólito Irigoyen.
Longitud: 7,15 km.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 7.733.924.377.

10) PAVIMENTACION DE LA R.N. 227 LOBERIA - NAPALEOFU, I SECCION, ACCESO A SAN MIGUEL.

Jurisdicción: Partido de Lobería.
Longitud: Obra Prin. 33,927 km. Acc. San

Manuel 15,265 km.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 4.832.576.819.

OBRAS EN EJECUCION

11) CONSTRUCCION DE PUENTES SOBRE ARROYO CHAPALEOFU, SOBRE ARROYO DE LA ISLA Y SOBRE ARROYO DEL MEDIO EN LA R.P. 103 - 22 (VARIANTE).

Jurisdicción: partido de Tandil - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 5.447.226.350.

12) REMODELACION DE LA INTERSECCION DE LAS R.N. 7 y R.P. 50, UBICADA EN LAS PROXIMIDADES DE LA CIUDAD DE VEDIA.

Jurisdicción: partido Leandro N. Alem.
Replanteo: 10 - 12 - 82 - Plazo 30 d.c.
Monto de Contrato: \$ 6.265.170.695.

13) CONSTRUCCION DE OBRAS Y PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL CAMINO R.P. 4 TR. R.P. 14 - BURZACO Y PUENTE SOBRE EL RIO LAS PIEDRAS.

Jurisdicción: partido de Florencio Varela y Almirante Brown
Replanteo: 12 - 3 - 82 - Plazo: 720 d.c.
Monto de Contrato: \$ 41.615.089.408
Longitud: 17,94 km.

14) PAVIMENTO Y OBRAS HIDRAULICAS EN R.P. 4, TRAMO R.N. 8 - JOSE LEON SUAREZ.

Jurisdicción: partido de San Martín
Replanteo: 4 - 2 - 82 - Plazo: 450 d.c.
Monto de Contrato: \$ 27.088.602.343.
Longitud: 2,841 km.

15) RECONSTRUCCION, ENSANCHE Y REFUERZO DE ESTRUCTURA DEL CAMINO R.P. 30 RAUCH - LAS FLORES II y III TRAMO.

Jurisdicción: de los partidos de Rauch y Las Flores.
Longitud: 48,035 km.
Replanteo: 13 - 3 - 82 - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 33.917.215.867.

16) CONSTRUCCION DE OBRAS BASICAS Y PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL CAMINO R.P. 76 TRAMO DARREGUEIRA - LIMITE CON LA PAMPA.

Jurisdicción: partido de Puán
Longitud: 23,355 km.
Replanteo: 20 - 12 - 82 - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 51.322.986.523

17) RECONSTRUCCION DEL CAMINO INGENIERO WHITE - ACCESO SUD (BAHIA BLANCA) Y ACCESO A PUERTO GALVAN

Jurisdicción: partido de Bahía Blanca
Longitud: 6,90 km.
Replanteo: 22 - 4 - 82 - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 16.619.118.701.

18) REPAVIMENTACION, ENSANCHE Y OBRA NUEVA DE LA R.P. 21 TR. R.N. 3 - R.P. 4 Y VINCULACION CON AUTOPISTA Tte. GRAL. RICCHIERI.

Jurisdicción: partido de La Matanza.
Longitud: R.P. 21: 8,029 km. Total: 10,058 km.
Replanteo: 22 - 7 - 82 - Plazo: 720 d.c.
Monto de Contrato: \$ 56.500.222.454.

19) RECONSTRUCCION, ENSANCHE Y REFUERZO DE ESTRUCTURA EN LA R.P. 30 RAUCH - LAS FLORES I TR. DE PROGRESIVA I TR. DE PROGRESIVA 0,00 a KM 32 (CANAL 12) Y SUPERPOSICION R.P. 30 Y R.P. 50.

Jurisdicción: partido de Rauch.
Longitud: 46,54 km.
Replanteo: 12 - 1 - 83 - Plazo 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 56.850.503.621.

20) REPAVIMENTACION DEL CAMINO R.P. 75 TRAMO R.N. 3 A DE LA GARMA Y ACCESO AL CENTENARIO.

Jurisdicción: partido de Adolfo González Chaves.
Longitud: 36,442 km.
Replanteo: 7 - 3 - 83 - Plazo: 547 d.c.
Monto de Contrato: \$ 38.649.957.768.

21) OBRAS BASICAS DE CONCRETO ASFALTICO EN CAMINO: HENDERSON - HIDRONOR Y SUBESTACION DE REBAJE LINEA EL CHOCON - BUENOS AIRES.

Jurisdicción: partido de Hipólito Irigoyen.
Longitud: 7,150 km.
Replanteo: 6 - 4 - 82 - Plazo: 360 d.c.
Monto de Contrato: \$ 6.912.781.429.

22) RECONSTRUCCION, ENSANCHE Y REFUERZO DE ESTRUCTURA EN LA R.P. 30 RAUCH - LAS FLORES I TR. DE PROG. 0,000 A 32,000 (CANAL 12) Y SUPER-

POSICION R.P. 30 Y R.P. 50.

Jurisdicción: partido de Rauch.
Longitud: Tramo I = 32,000 km; Super, 14,540 km.
Replanteo: 12 - 1 - 83 - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 56.850.503.621.

23) RECONSTRUCCION Y REFUERZO DE ESTRUCTURA EN R.P. 50 CNO. AYACUCHO - RAUCH II TRAMO DE Aº LANGUEYU A KM; 25,000.

Jurisdicción: partido de Ayacucho.
Longitud: 25,000 km.
Replanteo: 25 - 1 - 83 - Plazo: 450 d.c.
Monto de Contrato: \$ 26.685.262.394.

24) OBRAS BASICAS, PAVIMENTO DE HORMIGON Y PUENTE EN LA R.P. 6 TRAMO R.N. 205 - R.N. 3.

Jurisdicción: partido de Cañuelas.
Longitud: 2,55 km.
Replanteo: 28 - 2 - 83 - Plazo 720 d.c.
Monto de Contrato: \$ 58.736.448.514.

25) OBRAS BASICAS Y PAVIMENTO ASFALTICO TIPO I Y OBRAS DE ARTE EN EL CAMINO R.P. 86 TR. GRAL. LA MADRID R.P. 60.

Jurisdicción: partido de General La Madrid.
Longitud: 17,715 km.
Replanteo: 28 - 2 - 83 - Plazo: 540 d.c.
Monto de Contrato: \$ 44.508.847.944.

26) OBRAS BASICAS Y PAVIMENTO ASFALTICO EN EL CAMINO: R.P. 60 TRAMOS AZUL - RAUCH III TR.; ACC. A RAUCH - R.P. 50; ACC. A RAUCH Y ELEVACION PUENTE S/ Aº CHAPALEOFU.

Jurisdicción: partido de Rauch.
Longitud: total 30,181 km.
Replanteo: 27 - 3 - 81 - Plazo original: 540 d.c.
Monto de Contrato: más ampliaciones pesos 18.671.324.095.

27) ENSANCHE Y REFUERZO DE ESTRUCTURA EN R.P. 36 CNO. COSTA SUD TRAMOS II y III.

Jurisdicción: partido de Magdalena.
Replanteo: 26 - 3 - 82 - Plazo: 15 meses
Monto de Contrato: \$ 26.197.467.374.

Convenio para la construcción de una senda peatonal para peregrinos



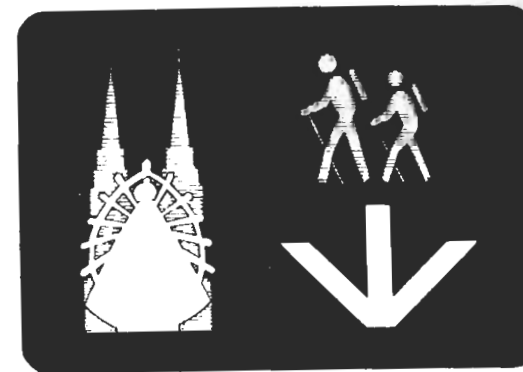
Instante en que los administradores de las Vialidades nacional y provincial suscriben el convenio.

En un acto que se formalizó recientemente, se firmó el convenio mediante el cual Vialidad Nacional y Vialidad de la Provincia de

Buenos Aires, construirán una senda peatonal para peregrinos a pie al Santuario de la Virgen de Luján.

Convenio para la construcción de . . .

Dicho documento suscripto por los titulares de los entes viales ingenieros Julio César Caballero y Gonzalo Amaranto Perera, por el orden nacional y provincial, respectivamente, se llevó a cabo en el despacho del Ministro de Obras Públicas, Ing. Carlos María Benaglia. Al acto han sido especialmente invitados el presidente de la Sociedad de Peregrinos a Pie y el asesor y viceasesor de dicha institución, presbíteros Agustín Lucchía Puigg y Eugenio Amitrano. La mencionada sociedad, desde 1902, tiene a su cargo la organización y programación de las peregrinaciones a ese Santuario. Estuvieron presentes, además el Subadministrador General de Vialidad Nacional, Ing. Carlos Ardanaz; el Subadministrador General de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, Ing. Horacio C. Albina y el secretario de la Sociedad de Peregrinos a Pie.



Señal similar a las que se colocarán en el trayecto de la senda peatonal.

dad de la Provincia y su costo será sufragado por partes iguales entre las reparticiones viales intervinientes.

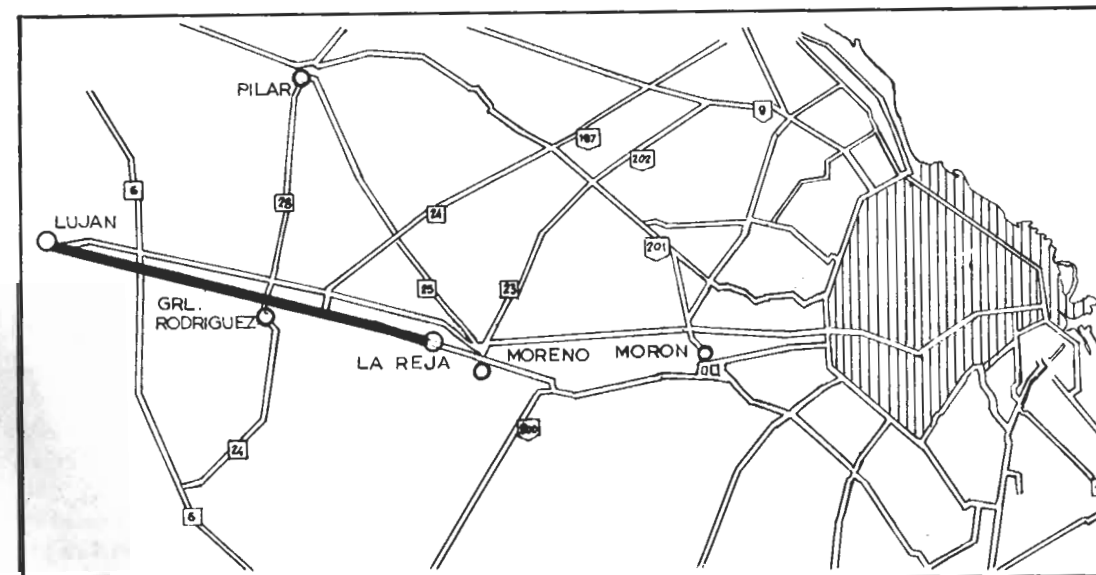
Seguridad

Esta senda no sólo ha de satisfacer el requerimiento de la entidad propiciante de la obra, sino que representa para las autoridades nacionales y provinciales atender a su responsabilidad de brindar seguridad, evitando así que grupos humanos caminen por las calzadas o banquetas con el consiguiente peligro para sus vidas y el entorpecimiento del movimiento vehicular en una ruta que como la nacional N° 7 cuenta con intenso tránsito cotidiano. El costo total de esta obra se estima en 500.000 pesos argentinos.

La obra

Los trabajos consistirán en una senda peatonal de 1,50 metros de ancho y una longitud aproximada de 30 km. que se desarrollará sobre la antigua traza —margen Norte— de la Ruta nacional 7, entre las localidades de La Reja y Luján. Además se realizarán obras de arte, desagües, señalamiento horizontal y vertical, instalación de semáforos y toda otra obra complementaria que requiera la seguridad de los peatones. La ejecución estará a cargo de Viali-

Plano de ubicación de la traza de la senda peatonal a construirse



Licitaciones correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo de 1983

En el curso del presente trimestre, enero - marzo de 1983, la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires ha efectuado diversas licitaciones para la contratación de los tra-

bajos de iluminación de accesos, señalización y construcción de obras que benefician a diversas poblaciones del interior de la Provincia.

ENERO DE 1983

FECHA	MOTIVO	PRESUPUESTO
11 - 1 - 83 11 horas,	Iluminación del acceso a Lobería, Pdo. de LOBERIA	\$ 1.512.166.730
21 - 1 - 83 10 horas	Iluminación de los accesos a Mar Chiquita y Santa Clara del Mar . Pdo. de MAR CHIQUITA	\$ 2.140.366.218

MARZO DE 1983

FECHA	MOTIVO	PRESUPUESTO
4 - 3 - 83 10 horas	Iluminación del acceso a Guaminí, intersección de las Rutas provinciales Nros. 85 y 65 y la Ruta Nacional Nro. 33 - Cno. Acceso a Guaminí, Pdo. de GUAMINI	\$ 1.583.920.671
8 - 3 - 83 10 horas	Señalización horizontal en caminos correspondientes a la Subdirección Zona IVa. con asiento en Pehuajó. Pdo. de PEHUAJO	\$ 7.961.017.532
18 - 3 - 83 10 horas	Construcción de cuatro pasarelas peatonales en el camino: R.P. 36 tramo: Florencio Varela, Fábrica Alpargatas, en su intersección con las calles a) Formosa; b) San José - Av. Hipócrates; c) Roseti; d) Los Pinos. Pdos. de BERAZATEGUI y FLORENCIO VARELA	\$ 6.414.135.114

Investigaciones hidráulicas para la determinación de los espesores de las películas de agua sobre las superficies mojadas de los pavimentos (*)

A. Holderbaum (1)

(*) Texto resumido de la conferencia del autor galardonada con el Premio Alquitrán y Asfalto 1979.

(1) Dr. Ingeniero, Francfort.

Bol. Inf. Lab. Carret y Geot, núm. 144, 1981, pp. 45-52

RESUMEN

La determinación de las condiciones de drenaje de los pavimentos puede contribuir en la fase inicial del planeamiento, a mejorar la seguridad del tráfico evitando el hidroplaneo. La deducción teórica de una ley de resistencia posibilita calcular los espesores de película de agua en función de la pendiente de la calzada, la intensidad de lluvia y la rugosidad del pavimento. Se puede conseguir una reducción del espesor de la película de agua hasta una inclinación transversal de 2,5-3,0 por ciento, sobre todo incrementando la pendiente longitudinal.

1. - INTRODUCCION

Desde hace algunos años existe un elevado interés por el tema a que alude el título del presente artículo por las siguientes razones:

En primer lugar, porque los resultados

de estudios hidráulicos permiten la obtención de conclusiones inmediatas en relación a parámetros importantes para la ejecución de obras de carreteras —pienso, por ejemplo, en las consideraciones a seguir para la determinación del peralte, o en la configuración geométrica adecuada de tramos sinuosos—, y, por otra parte, porque estas investigaciones permiten esperar nuevos avances en la optimización de las propiedades, superficiales de las capas superiores de los pavimentos.

Precisamente este aspecto me parece que tiene una gran importancia para el sector técnico de la construcción de pavimentos bituminosos. En relación con este tema pensamos que la finalidad es, en el fondo, contribuir a una segura utilización de la carretera, a través de una continua mejora del estado superficial.

En el caso de superficies de pavimentos húmedos, hay que resaltar particularmente los esfuerzos llevados a cabo para alcanzar una mayor duración de la regularidad del perfil transversal, la adherencia y la rugosidad, así como del comportamiento estable ante el fenómeno de reflexión de las capas de rodadura.

La construcción de pavimentos bituminosos ofrece en estos campos múltiples posibilidades de influencia, desde la elección de la composición de la mezcla de los materiales, con re-

lación a los áridos, los aglomerantes y el volumen de huecos, pasando por la unificación de las condiciones de la temperatura de la mezcla, del proceso de construcción propiamente dicho y del paso de las apisonadoras, hasta llegar al desarrollo de técnicas especiales como por ejemplo, la del asfalto drenado.

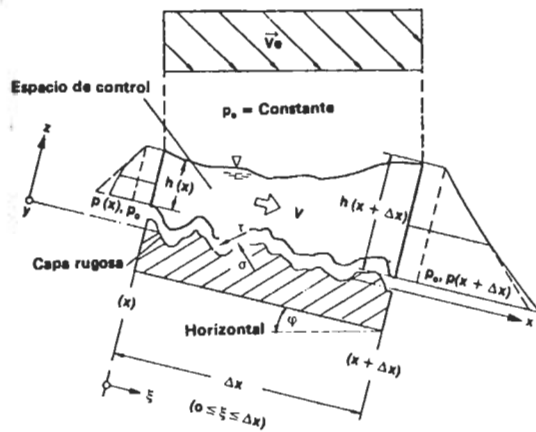


Fig. 1a.— Esquema de la película de agua de lluvia (situación instantánea).

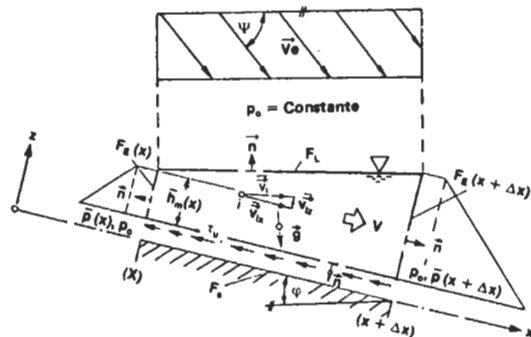
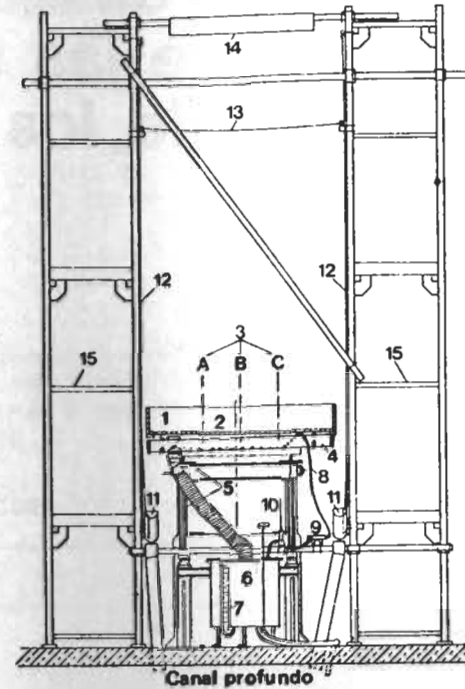


Fig. 1b.— Sistema sustitutivo unidimensional para el análisis hidráulico del desagüe del agua de lluvia.

Gran número de accidentes, la mayoría de ellos graves, debidos a pavimentos mojados por la lluvia, son originados por un fenómeno conocido como el hidropneumático, consecuencia de la total pérdida de la transmisión de fuerza del vehículo al pavimento provocada por una gruesa película de agua.

A causa de la acción conjunta de una serie de circunstancias desfavorables, tales como una velocidad excesiva para el espesor de la película de agua existente, y en muchas ocasiones, neumáticos muy gastados, no puede producirse la evacuación del agua de la superficie de contacto de las ruedas. La película de agua existente en la calzada da lugar entonces a la

formación de una fina capa de agua entre los neumáticos y el firme, sobre la que empiezan a patinar las ruedas de los vehículos. Como este fenómeno se produce sin previo aviso limitando la posibilidad de actuación, el conductor pierde el control del coche.



- 1 Canal de ensayo
- 2 Superficie de ensayo
- 3 Secciones longitudinales de medida de puntos
- 4 Canal de desagüe
- 5 Dispositivo de inclinación
- 6 Cuba de medición
- 7 Indicador del nivel de agua
- 8 Sistema de elevación
- 9 Célula medidora de la resistencia de referencia
- 10 Termómetro
- 11 Sistema lateral de canalización
- 12 Planos protectores
- 13 Dispositivo de goteo
- 14 Recipiente compensador de presión
- 15 Reforma de la estructura

Fig. 2.— Croquis de la estructura de ensayo.

Entre los riesgos que se presentan en el normal desarrollo del tráfico, originados por el agua, podemos considerar la pérdida de visibilidad a causa de las salpicaduras de los otros vehículos y la disminución de las condiciones lumínicas por la reflexión de la luz en la superficie húmeda del pavimento.

Como contribución al aumento de la seguridad vial en pavimentos mojados, se tiende a disminuir los mencionados peligros de accidentes mediante una serie de medidas constructivas

En este contexto adquiere especial importancia la solución a los problemas hidráu-

licos de drenaje del agua de lluvia. La determinación del comportamiento de la resistencia hidráulica de las corrientes de película de agua constituye, en este sentido, la condición básica para la determinación mediante cálculo del espesor de la película, cuyo conocimiento resulta imprescindible para la valoración detallada del drenaje superficial.

La finalidad de mi trabajo consistió en describir físicamente el proceso de movimiento y comportamiento hidráulico de la resistencia del agua de lluvia y hacer asequibles a un cálculo aproximativo los espesores de la película de agua en superficies húmedas de pavimentos.

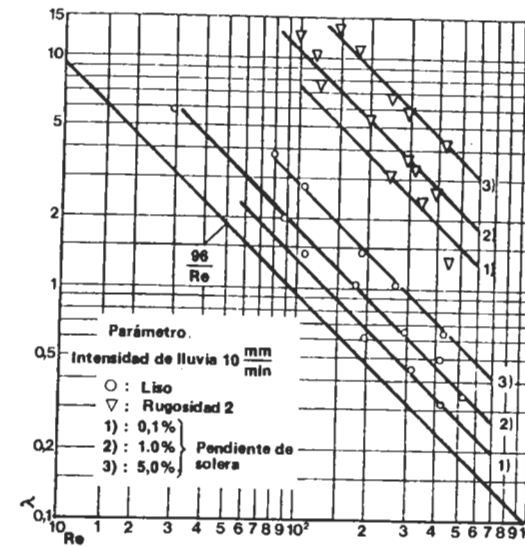


Fig. 3.— Diagrama \$Re-\lambda\$ de la corriente de película de agua de lluvia: influencia del coeficiente de FROUDE, representado por la pendiente de la solera.

2. — RESULTADO DE LAS INVESTIGACIONES TEORICAS.

La figura 1 muestra, en forma de croquis inicial, una sección de la película de agua de lluvia sobre un pavimento así como la disposición del sistema de referencia elegido. En este sentido, se intentó reproducir en el croquis "a" el estado real, mientras que el croquis "b" se basa en las siguientes hipótesis de cálculo:

1. — Se trata del desagüe como corriente laminar en canal, unidimensional, discontinua y, en la media temporal, estacionaria.

2. — Los parámetros estadísticos del revestimiento rugoso de la superficie de calzada son homogéneos.

3. — La presión absoluta en la película de agua debe quedar supeditada únicamente a

la acción de la gravedad, esto es, la distribución de la presión sería prácticamente hidrostática.

4. — Se desprecian las influencias de la tensión superficial y del rozamiento del aire.

5. — La precipitación tiene lugar con intensidad constante en el tiempo y está uniformemente repartida.

6. — Los tamaños de las gotas de agua de lluvia permanecen invariables a lo largo del período de observación.

Para la definición del espesor de la película de agua se considera el volumen medio de agua existente referido a la superficie de base inclinada. Con ello, la determinación del espesor, correspondiente a su significación hidráulica, se orienta en el desagüe, es decir, queda subordinada a la desaparición del transporte de líquido.

La situación del nivel de referencia respecto al espesor de la película de agua así definida resulta de la configuración espacial del revestimiento rugoso y se determina por medio del número de litros evacuados.

Junto a la aplicación del análisis dimensional para la determinación de los factores característicos decisivos, las investigaciones teóricas abarcan la descripción matemática del fenómeno de desagüe en base a las ecuaciones de equilibrio e impulso lineal de la mecánica hidráulica. El resultado de estas consideraciones lleva a la siguiente ecuación diferencial de la línea de nivel.

$$\frac{dh_m}{dx} = \frac{J_s - \frac{\tau_s}{\rho g h_m} + Fr^2 \frac{i_m}{v_m} \left[\frac{v_{ew}}{v_m} \cos(\psi - \varphi) - 2\alpha' \right]}{\cos \varphi - \alpha' Fr^2}$$

En la que:

\$dh_m/dx\$: variación del espesor medio de la película de agua a lo largo de la línea de fluencia.

\$J_s\$: pendiente de la superficie de la calzada, definida mediante el seno del ángulo \$\varphi\$.

\$Fr\$: coeficiente de FROUDE

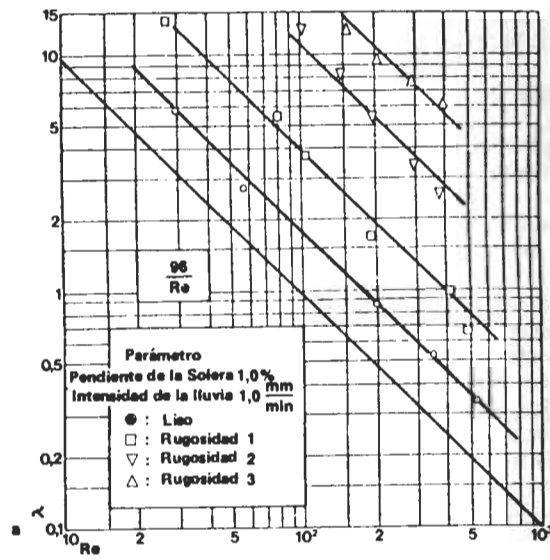
\$v_m\$: velocidad de desagüe.

\$i_m\$: intensidad media de lluvia.

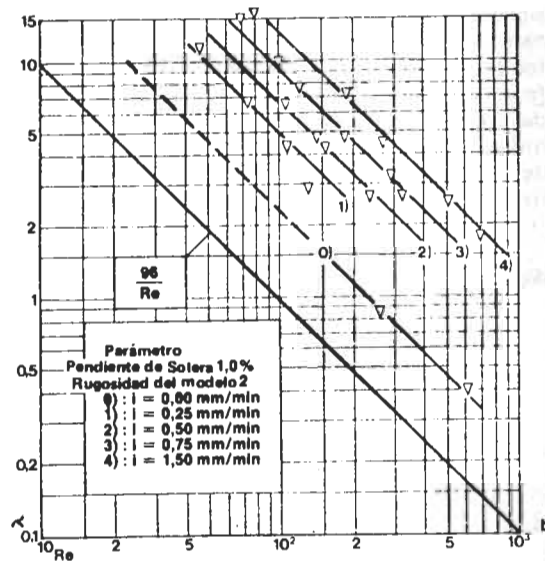
\$v_{ew}\$: velocidad final eficaz de caída de la lluvia deducida de la media de los impulsos de cada una de las gotas, y

\$\Psi\$: ángulo de orientación de las gotas de lluvia incidentes respecto a la horizontal.

La expresión \$\tau_s/\rho g h_m\$ define la pendiente de rozamiento, donde \$\tau_s\$ representa la media de los esfuerzos constantes en la solera.



(a)



(b)

Fig. 4.— Diagrama $Re-\lambda$ de la corriente de la película de agua: influencias de la rugosidad (a) y de la lluvia (b).

Las magnitudes ρ y g indican los volúmenes de agua y la aceleración terrestre respectivamente.

Para la caracterización de la geometría macroscópica del desagüe, el espesor de la película de agua pasa a sustituir al radio hidráulico.

3. — DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Debido a las dificultades derivadas del

registro del flujo del agua de lluvia de los pavimentos bajo condiciones naturales, los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo en superficies de diversas rugosidades inclinadas unilateralmente y tratadas con lluvia artificial.

La figura 2 muestra el alzado de la estructura de ensayo utilizada.

La estructura experimental consta principalmente de un plano inclinado de desagüe de $9 \times 1,5$ m, la instalación para producción de lluvia artificial y los dispositivos de medición. La instalación de lluvia estaba compuesta por mangas aspersoras para la distribución del agua y por una red de tul tensada, situada debajo como instalación de aspersión. Las ventajas de esta instalación simulada fueron la escasa tendencia a las averías, la uniformidad de la aspersión y la reproducibilidad de los diversos estados de aspersión del agua de lluvia.

Para simular las rugosidades del modelo se pegaron sobre la solera, granos de arenas de diferentes granulometrías comprendidas en una estrecha gama. Para el registro cuantitativo de la textura se anotaron los diferentes perfiles de rugosidad.

Para la medida del espesor de la película de agua he desarrollado un nuevo procedimiento eléctrico de medición que, aplicado en laboratorio, satisface plenamente las exigencias de exactitud planteadas. Su principio descansa en la conductibilidad eléctrica del agua superficial. Para registrar los valores de medida se fijaron en la superficie de la maqueta electrodos de metal dispuestos de dos en dos. Durante el proceso de medición, los electrodos de toma de datos disponen de una tensión alterna que genera una corriente eléctrica en la película de agua que discurre por encima de los electrodos. Esta corriente crece, a tensión constante y conductibilidad invariable, con el aumento del espesor de la película de agua.

4. — PREPARACION DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

La finalidad de los ensayos era observar el desarrollo del espesor de la película de agua a lo largo de la vía de fluencia, dependiendo de la inclinación del fondo, de la rugosidad y de la intensidad de lluvia.

Para la descripción del comportamiento de la resistencia hidráulica de la corriente de la película, la ecuación diferencial de la línea de reflexión se resolvió con arreglo a la pendiente de rozamiento y se evaluó numéricamente en base a los espesores de la película de agua.

Según la forma básica de la ecuación de DARCY - WEISBACH, el coeficiente de resistencia λ puede calcularse con ayuda de la pendiente de rozamiento.

El análisis dimensional de los factores característicos que determinan el comporta-

miento de la resistencia hidráulica de la corriente de la película, muestra que el coeficiente es una función de la rugosidad, del coeficiente de FROUDE y del número de REYNOLDS. En el caso de la aspersión del agua lluvia existe, además, la dependencia de una magnitud característica, que yo he designado como impulso específico de lluvia Is . Se trata, en este caso, de la suma de los impulsos de las gotas de lluvia registrados por unidad de tiempo y de superficie, referida a las fuerzas de gravedad de la película de agua.

Algunos de los resultados de la investigación están representados gráficamente en los siguientes diagramas $Re-\lambda$ en escala doble logarítmica. La figura 3 muestra la influencia del coeficiente de FROUDE, representado por la inclinación del fondo sobre el coeficiente de resistencia, mientras que en la figura 4 se ponen de manifiesto las influencias de la rugosidad y de la aspersión de la lluvia sobre el comportamiento de la resistencia de la corriente de la película de agua.

De los anteriores planteamientos se deduce que las corrientes de agua sometidas a examen siguen predominantemente una ley de resistencia lineal del tipo $\lambda = C/Re$.

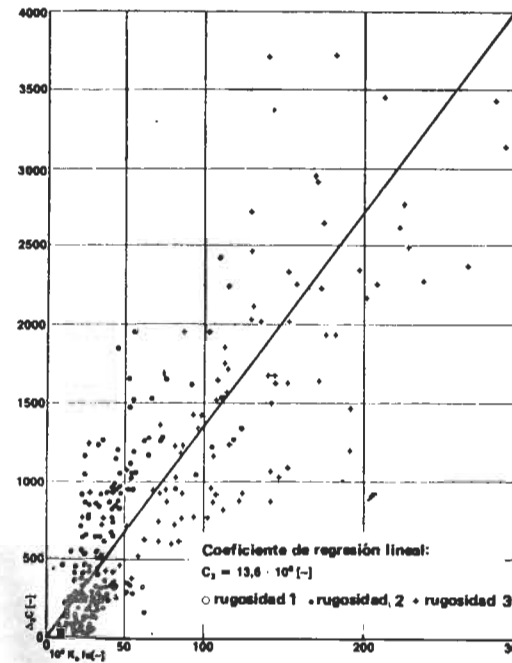


Fig. 5.— Resultado del análisis de regresión (influencia de la rugosidad y la lluvia sobre la resistencia).

Para corrientes laminares uniformes y para la geometría de desagüe de la hendidura plana el parámetro C toma el valor numérico $C_0 =$

96. Esto puede comprobarse teóricamente viéndose confirmado por los resultados experimentales sobre base lisa sin aspersión de agua.

Debido a las influencias de la rugosidad y del goteo de la lluvia, se produce un desplazamiento de la magnitud C hacia valores numéricos más altos. En correspondencia a esta verificación se describe la función en la ley de resistencia de la corriente de la película de agua por medio de la expresión.

$$C = C_0 + \Delta C$$

El incremento ΔC indica la suma de las influencias debidas a la rugosidad añadidas a las de la lluvia.

Como magnitud determinante K para la descripción de la rugosidad se considera la superficie de afluencia, referida a la distancia entre los granos que crean la rugosidad.

El establecimiento de las dimensiones adecuadas se lleva a cabo a través de perfiles de rugosidad. A este respecto se emplean para la forma y disposición de los elementos rugosos tres parámetros estadísticos, cuyas definiciones se formularon apoyándose en las consideraciones de MONZAVI.

El análisis de los procesos físicos a que da lugar el choque de las gotas de lluvia muestra que el término adicional, condicionado por la lluvia, en la ley de resistencia hidráulica, solamente es proporcional, para base lisa, al impulso específico de la lluvia.

De los resultados de la investigación se deduce claramente que la superposición de las influencias de la rugosidad y las aspersión no es suficiente para determinar el comportamiento de la resistencia hidráulica.

Es necesario tener en cuenta otro término adicional en la ley de resistencia.

La causa de la aparición de este término adicional son las fuerzas de compresión ejercidas en los relieves de rugosidad vecinos con el choque de las gotas de lluvia. A consecuencia de ello aparecen esfuerzos cortantes que dependen del impulso de las gotas de lluvia registrado y de la zona de influencia del choque de dichas gotas.

En base a estas consideraciones deducimos que la resistencia adicional causada por la rugosidad y el goteo del agua de lluvia es proporcional tanto al impulso específico de la lluvia como a la medida de la rugosidad de referencia K_a , habiéndose elegido como magnitud de referencia la distancia entre los elementos rugosos.

Para la verificación de las interrelaciones descritas se examinaron los resultados experimentales con la ayuda de la regresión lineal. La figura 5 muestra la recta de regresión de dependencia de la resistencia adicional (debido a

la rugosidad) y del goteo del agua de lluvia.

En el caso de corriente turbulenta de la película de agua en el margen de transición del comportamiento de resistencia hidráulica en pared lisa a la totalidad áspera puede indicarse el cálculo de la resistencia para el campo de los números de REYNOLDS de 2.300 hasta aproximadamente $2 \cdot 10^4$ en analogía a la ley de resistencia de BLASIUS.

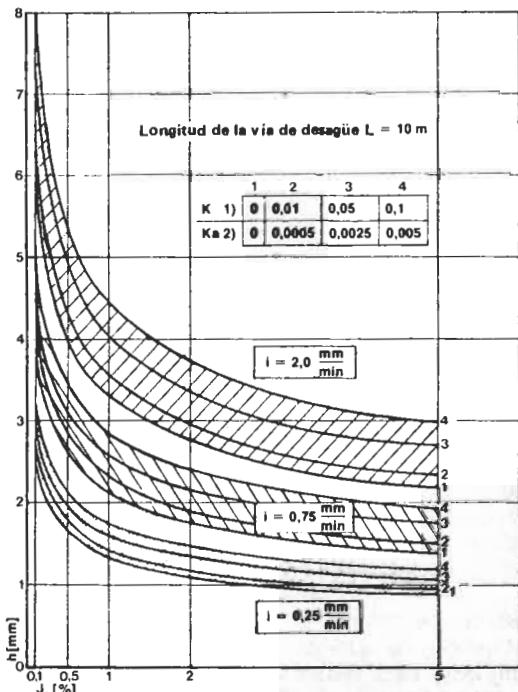


Fig. 6.— Espesores de la película de agua sobre pavimentos llanos en función de parámetros seleccionados (influencia de la inclinación del fondo).

Para poder estimar qué simplificaciones posibles existen para la determinación, en su caso, de los espesores de la película de agua, se sometieron cada uno de los miembros de la ecuación diferencial de la línea de reflexión a un análisis de magnitudes a través de ordenador comprobándose que la corriente de la película de agua —a excepción de las zonas de borde inmediatas— puede calcularse aproximadamente según la condición de desagüe normal.

Como además el desagüe del agua de lluvia sobre los pavimentos está subordinado a la acción de las fuerzas de gravedad y al rozamiento, mientras que las fuerzas de inercia sólo desempeñan un papel secundario, el cálculo de los espesores de la película de agua tiene lugar a lo largo de las líneas de caída de la geometría superficial.

5. — RESUMEN Y CONCLUSIONES PARA USOS PRACTICOS.

Debido a la multiplicidad de los factores influyentes que determinan el comportamiento de fluencia de la corriente de la película rociada, sólo se logra hacer asequible el fenómeno a un cálculo aproximado a través de cálculos teóricos simplificados y reconocimientos experimentales.

Para ello, se describió matemáticamente el desagüe estacionario del agua de lluvia en un modelo de pavimento llano investigándose en ensayos de laboratorio.

Así se midieron los espesores de la película de agua a lo largo de la vía de fluencia en función de la inclinación del fondo, de la rugosidad superficial y de la intensidad del goteo del agua de lluvia.

La evaluación de los resultados de medición y su interpretación física sirven de cauce para el acceso a la ley de resistencia de la corriente de la película de agua.

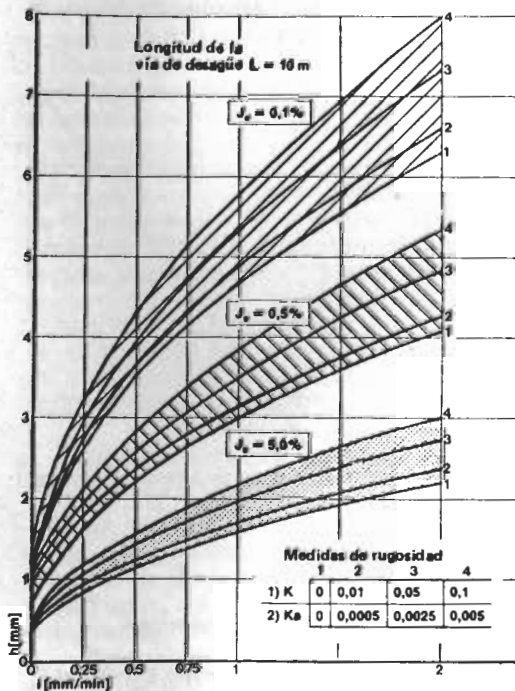


Fig. 7.— Espesores de la película de agua sobre pavimentos llanos (influencia de la intensidad de la lluvia).

A continuación se indican las fórmulas definitivas de la ley de resistencia para las situaciones de movimientos diferenciadas según el criterio de REYNOLDS.

Ley de resistencia de la corriente de película de agua:

1. En el entorno $0 \leq Re \leq 2300$

$$\lambda = \frac{C}{Re}$$

con

$$C = C_0 + C_1 \frac{K}{h_m} Fr + C_2 Is + C_3 K_a Is$$

y

$$C_0 = 96$$

$$C_1 = 7,6 \cdot 10^3$$

$$C_2 = 27,2 \cdot 10^3$$

$$C_3 = 13,6 \cdot 10^4$$

2. En el entorno $2300 \leq Re \leq 2 \cdot 10^4$

$$\lambda^{(1)} = \frac{C^{(1)}}{Re^{1/4}}$$

o bien

$$\lambda^{(1)} = \frac{C}{Re} \left(\frac{Re}{2300} \right)^{3/4}$$

En relación con estas funciones de resistencia, la ecuación de DARCY WEISBACH proporciona, a modo de ecuación traslativa reducida, una sencilla ecuación iterativa para el cálculo aproximado de los espesores de la película de agua.

Para la práctica se deducen los siguientes principales básicos, referentes a la dependencia del espesor de la película de agua con las variables de la realización experimental:

La figura 6 muestra la influencia de la inclinación de la solera sobre el espesor de la película de agua. Se puede reconocer que, particularmente en la zona de pequeñas pendientes, se consigue una clara reducción de los espesores de la película de agua mediante el aumento de la inclinación. El límite para la disminución eficaz del espesor de la película de agua a consecuencia del aumento de la pendiente se sitúa en el 2,5 a 3,0 por ciento.

En este sentido, la nueva fijación en el RAI de 2,5 por ciento de inclinación transversal mínima de la calzada representa, en cuanto a técnica de desagüe, un logro óptimo.

En la figura 7 se representa la influencia

de la intensidad de la lluvia sobre el espesor de la película de agua.

De ello se desprende que la elevación de la intensidad del goteo de la lluvia da lugar a un aumento de la disminución del espesor de la película de agua. Las causas de este aumento son, por un lado, un agrandamiento o del desagüe, y por otra parte, el aumento del efecto negativo de la lluvia en el desagüe.

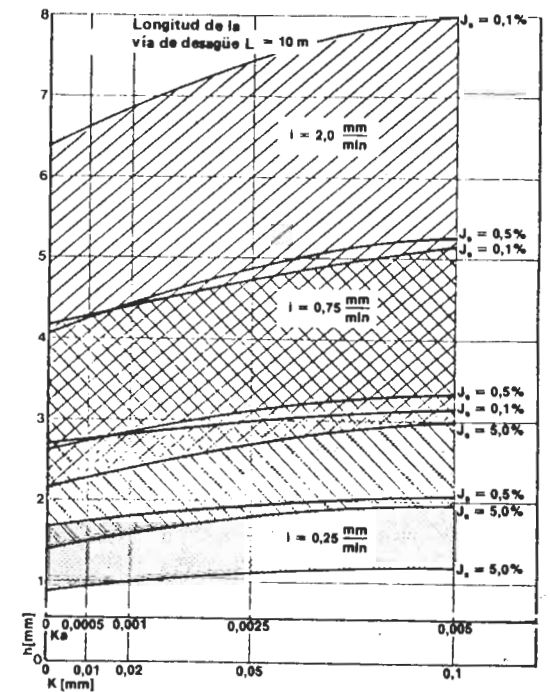


Fig. 8.— Espesores de la película de agua sobre pavimentos llanos (influencia de la rugosidad).

La figura 8 muestra, finalmente, la influencia de la rugosidad en unión de la lluvia sobre el espesor de la película de agua.

Se hace patente que el aumento de la rugosidad, bajo condiciones marginales, por lo demás iguales, sólo tiene como consecuencia una débil elevación del espesor de la película de agua.

Por ello, es escaso el peligro de encontrar una cerrada película de agua sobre capas superiores del pavimento con marcada rugosidad. Además, la penetración de una película de agua entre el neumático y el piso sobre capas superiores rugosas tiene más probabilidades de producirse que en el caso de superficies pulidas.

Por ello el empleo de superficies adherentes contribuye considerablemente a la mejora de la seguridad de tráfico en pavimentos húmedos.

Cálculo de la transmisividad de suelos costeros por medio de la onda de marea.

Por:
Dr. Ing. S. Uriel Romero
Dr. Ing. L.U. Aoiz

RESUMEN

En esta comunicación se hace un intento de desarrollar un método de valoración de la transmisividad del terreno afectado por grandes excavaciones cerca de la línea costera en base a los efectos de amortiguamiento con los cuales la oscilación de marea se transmite a través del medio poroso.

1. — INTRODUCCION

En las obras portuarias, en los astilleros e instalaciones de reparación de barcos es frecuente hacer frente a problemas originados por la necesidad de hacer excavaciones a profundidades de hasta 15 m por debajo del nivel del mar.

En este sentido nos encontramos con un caso de particular dificultad al realizar un análisis de los problemas que podrían surgir durante las obras y la conservación de un dique seco para reparaciones navieras que Diatlansa va a construir en la isla de Tenerife.

Se observó que un medio económico y rápido de estimar las características hidrogeológicas podría ser analizar las oscilaciones de

la capa freática en una malla de sondeos realizados en el área, de investigaciones geológicas.

2. — UNIDIRECCIONAL

2.1. — Ecuación general.

La ecuación que presenta el movimiento puede escribirse de la forma:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} = \frac{n}{c} \frac{\delta h}{\delta t} \quad (1)$$

en donde: c es la transmisividad del acuífero, h es la altura de la superficie libre o la carga piezométrica y n la porosidad efectiva.

Esta ecuación es realmente exacta en el caso de un acuífero artesiano, y suficientemente aproximada en el caso de una capa freática cuyas únicas variaciones sean el resultado de las oscilaciones de marea.

Para $x = 0$ la condición general de borde será:

$$H = H_0 \sin \frac{2\pi t}{T} \quad (2)$$

en donde H_0 es la semiamplitud de oscilación

de marea y T su período.

2.2. — Acuífero indefinido y homogéneo.

Este caso fue investigado por FERRIS (1951) por lo que no vamos a desarrollarlo aquí.

2.3 — Un acuífero formado por dos medios homogéneos consecutivos.

Este es el caso de un terreno que revela ciertas características n_1 y c_1 hasta una distancia L de la costa y otro n_2 y c_2 diferentes.

Las ecuaciones diferenciales de ambos medios se integran con sus respectivas condiciones de contorno y de continuidad de flujo en el límite. Llamando

$$u_1 = x\mu_1 = x \sqrt{\frac{\pi n_1}{TC_1}}, \quad u_2 = x\mu_2 =$$

$$= x \sqrt{\frac{\pi n_2}{TC_2}}, \quad p = L \sqrt{\frac{\pi n_1}{TC_1}} \quad y \quad v = \sqrt{\frac{c_1 n_1}{c_2 n_2}} \quad (3)$$

y adoptando la línea como origen de coordenadas de ambos medios el coeficiente de amortiguamiento tiene los siguientes valores:

En el primer medio:

$$\frac{h_{2p}}{H_0} = \frac{\sqrt{\frac{\sin^2 u_1 (\nu h \operatorname{sen} u_1 + h \operatorname{cose} u_1)^2 + \cos^2 u_1 (h \operatorname{sen} u_1 + \nu h \operatorname{cose} u_1)^2}{\sin^2 p (\nu h \operatorname{sen} p + h \operatorname{cosp})^2 + \cos^2 p (h \operatorname{sen} p + \nu h \operatorname{cosp})^2}}}{\sqrt{\sin^2 p (\nu h \operatorname{sen} p + h \operatorname{cosp})^2 + \cos^2 p (h \operatorname{sen} p + \nu h \operatorname{cosp})^2}} \quad (3)$$

En el segundo medio:

$$\frac{h_{2p}}{H_0} = \frac{v e^{-u_2}}{\sqrt{\sin^2 p (\nu h \operatorname{sen} p + h \operatorname{cosp})^2 + \cos^2 p (h \operatorname{sen} p + \nu h \operatorname{cosp})^2}} \quad (4)$$

La figura 1 es una representación gráfica de estos coeficientes; para $\mu_1 = 0,0035 \text{ m}^{-1}$ y $\mu_2 = 0,0100 \text{ m}^{-1}$.

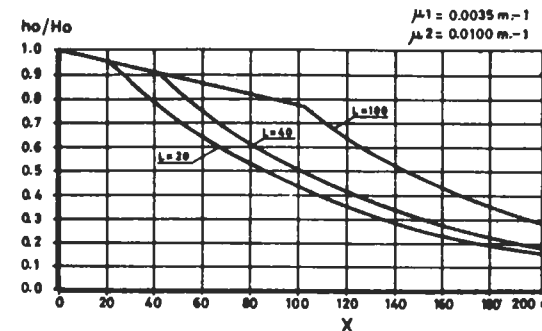


Fig. 1. — Acuífero consistente en dos zonas homogéneas: amortiguamiento de onda.

2.4. — El caso de caminos preferenciales

Este es el caso cuando, en un medio homogéneo existe una trayectoria cuyas condiciones son mucho más favorables para el paso del agua. Se puede analizar aproximadamente asimilando al caso mencionado anteriormente.

En consecuencia, si se conocen las características del medio se puede deducir la distancia d desde este punto a cualquier camino preferencial, tal como se ve en la figura 2.

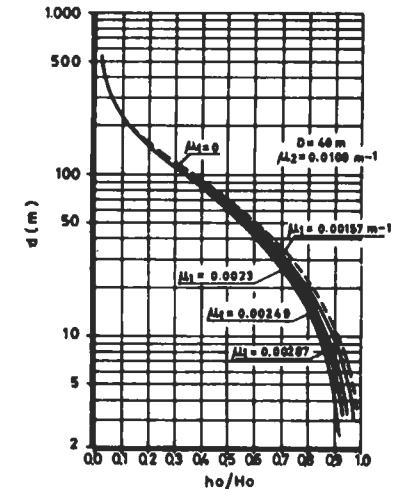


Fig. 2. — Distancia a la trayectoria preferencial.

Tal como se observa, tienen poca importancia las características del camino preferencial, con tal que sea muy elevada su difusividad.

2.5. — Un acuífero limitado por una barrera impermeable.

Este es el caso de un acuífero limitado por una barrera impermeable a una distancia L de la costa. Tomando esta barrera como origen resulta que el coeficiente de amortiguamiento es:

$$\frac{h_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\cos 2u + h \operatorname{cose}^2 u}{\cos 2p + h \operatorname{cosp}^2}} \quad (5)$$

Se puede observar que si la difusividad no es excesivamente elevada y la barrera queda a una considerable distancia puede llevarse a cabo el análisis como acuífero indefinido sin tener que considerar estos efectos.

3. — CORRIENTE BIAIXIAL

3.1. — Ecuación general.

La ecuación que rige el movimiento de

una onda bidimensional a través de un medio homogéneo e isotrópico es:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} = \frac{n}{c} \frac{\delta h}{\delta t} \quad (6)$$

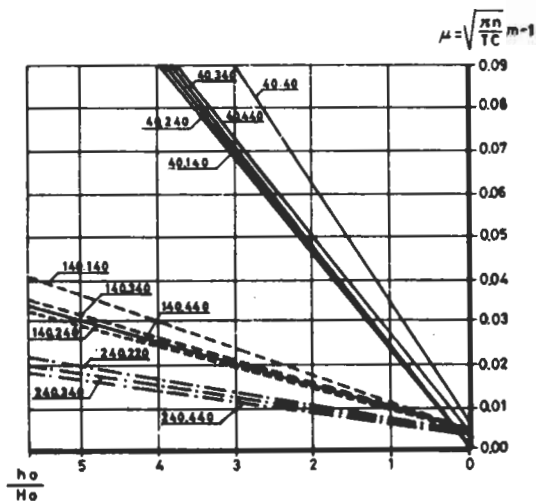
en donde la condición de contorno es la oscilación sinusoidal de marea a lo largo de la costa.

3.2. - Solución por cálculo numérico y aplicación al caso de un acuífero indefinido y homogéneo limitado por dos litorales ortogonales.

PRICKET y LONNQUIST (1971) han desarrollado una solución numérica a la ecuación junto con el correspondiente programa. Las condiciones de contorno del programa y los incrementos de tiempo se ajustaron mediante las siguientes modificaciones:

- Los incrementos de tiempo se tomaron constantes e iguales a $0,1 \times T$.
 - Para cada intervalo de tiempo hemos supuesto una carga constante a lo largo del litoral y a lo largo de otros dos bordes paralelos a las costas y suficientemente alejados de éstas.
- En base a los datos numéricos obtenidos fue posible encontrar alguna correlación entre el coeficiente de amortiguamiento y el valor de μ .

Los resultados pueden verse en la figura 3. Está demostrado que, a una distancia



El par de valores indica las coordenadas (en m) del punto a que se refiere la curva. El origen es el vértice costero.

Fig. 3.- Flujo bidireccional: logaritmo del amortiguamiento como función de μ para cada punto.

específica de uno de los litorales, es innecesario realizar un análisis bidimensional. Estos valores varían de 100 a 500 m, para valores de μ de 0,05 a 0,0045 m^{-1} .

3.3. - El método de ecuaciones simultáneas.

Se trata de un método simple y aproximado para determinar las características del terreno considerando la carencia de homogeneidad e isotropía y sin líneas de contorno particularmente definidas. En este sentido nos apoyamos en las características de las oscilaciones observadas en una red de puntos.

Suponemos un medio discretizado de manera que el agua que entra o sale de un punto O debe hacer lo mismo, a través de un sistema de tubos ortogonales (Fig. 4).

Si consideramos el punto O en la red, junto con otros cuatro puntos adyacentes, las oscilaciones en O serán:

$$h = M \sin \frac{2\pi t}{T} + N \cos \frac{2\pi t}{T} \quad (7)$$

y análogamente con los coeficientes M_i, N_i en los cuatro puntos adyacentes.

Si suponemos que, a lo largo de cada ruta c y n son constantes obtenemos:

$$M = U(p) \sum M_i + V(p) \sum N_i \quad (8)$$

$$N = -V(p) \sum M_i + U(p) \sum N_i$$

en donde $U(p)$ y $V(p)$ son funciones muy complejas de $p = L \mu$, siendo L el lado de la red de puntos de observación. La figura 5 resume las variaciones de estas expresiones como función de p . Además, puesto que:

$$U(p) = \frac{M \sum M_i + N \sum N_i}{(\sum M_i)^2 + (\sum N_i)^2} \quad (9)$$

$$V(p) = \frac{M \sum N_i - N \sum M_i}{(\sum M_i)^2 + (\sum N_i)^2}$$

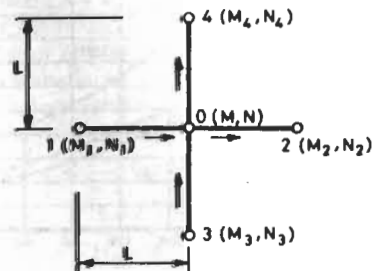


Fig. 4.- Elemento de la red.

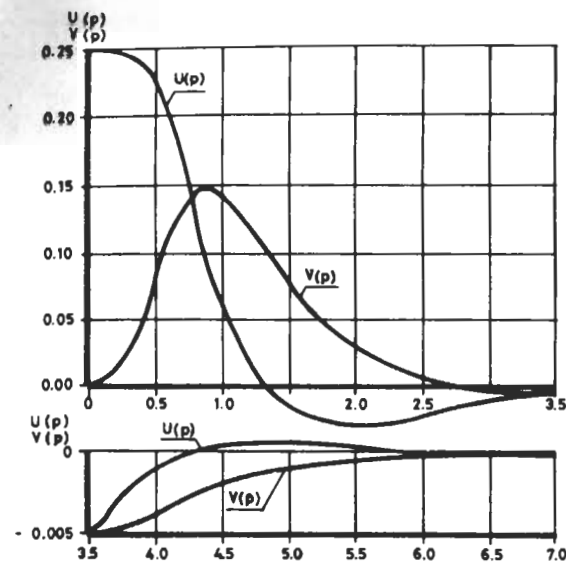


Fig. 5.- Método de las ecuaciones simultáneas. Valores de las funciones $U(p), V(p)$.

podemos obtener la transmisividad del terreno si c y n son constantes en todo el espacio considerado.

El proceso operativo para encontrar la transmisividad de cualquier terreno sería el siguiente:

- a) Se divide el terreno en una malla cuadrada cuyos lados sean tanto más pequeños cuanto mayor sea la heterogeneidad. Utilizando piezómetros en cada uno de los vértices, podemos encontrar los valores de M y N en estos puntos.
- b) Se toman los puntos en grupos de cinco: uno en el centro y cuatro inmediatamente adyacentes.

Utilizando los valores M y N observados en estos puntos encontramos $U(p)$ y $V(p)$ los cuales nos dan los valores de p cuando se entra en la figura 5. Estos valores no deberían diferir entre sí en más de un cierto grado de error admitido.

Sin embargo, si la diferencia entre los valores p es excesiva, la malla debe ser subdividida en células menores.

Si $U(p) > 0,25$ el punto central no está alimentado por los lados, por lo que hay que girar la malla.

c) De esta forma obtenemos finalmente para cada malla dos valores de transmisividad.

La medida de ambos puede considerarse como el valor definitivo de la zona.

4. - CONCLUSION

Creemos que hemos podido generalizar el método de FERRIS de tal manera que pueda

aplicarse a una gran variedad de situaciones. El método de ecuaciones simultáneas puede aplicarse en la obtención (con un cierto grado de exactitud) de las características de las zonas en las que haya alguna heterogeneidad.

Una vez que se conozca la variación de la transmisividad podrán aplicarse otros sistemas más exactos.

5. - APLICACION AL DIQUE SECO DE GRANADILLA EN TENERIFE

Para obtener datos sobre la permeabilidad del terreno en un gran número de puntos del área en cuestión, se intentó utilizar la malla de sondeos geológicos para medir las oscilaciones de marea en estos puntos comparándolos con las oscilaciones en el mar.

Para ello se utilizaron como piezómetros todos los sondeos, viéndose que era muy importante las oscilaciones de la capa freática incluso en los puntos más alejados de la línea de la costera. La interpretación de los datos obtenidos en estas observaciones tiende a ser muy diferente en función de la morfología hidrogeológica asignada al subsuelo y las estimaciones realizadas sobre los parámetros libres.

Suponiendo un acuífero totalmente homogéneo y una propagación monodireccional de la perturbación no existe ajuste satisfactorio para cualquier par de valores de n y C .

En consecuencia fue necesario analizar las hipótesis adicionales:

- a) La transmisibilidad a lo largo de la costa es menor que en el resto de la zona. De esta forma resulta que la hipótesis que mejor se adapta a las variaciones observadas de la capa freática es que la anchura de la zona menos permeable se sitúa entre sólo unos pocos metros y 25 m con una transmisividad media de 25 a 250 $m^2/hora$, en cuanto al resto del acuífero la transmisividad estaría en la zona de 400 a 6.000 $m^2/hora$ ($n = 0,1$).

b) Se realizó también un análisis de la influencia que podría resultar de la forma de la costa (un ángulo de prácticamente 90°) ya que esto implica que el agua puede entrar por ambos lados y que el problema es, por ello, bidireccional.

El resultado fue demasiado inconsistente y no suministró explicación satisfactoria de las oscilaciones observadas.

c) La última hipótesis considerada fue la existencia de trayectoria preferenciales en el terreno, en donde la resistencia a la circulación del agua era nula o muy ligera.

En este caso, si estas trayectorias preferenciales están suficientemente próximas entre sí (aun cuando sea baja la transmisividad del suelo) el efecto de amortiguamiento puede ajustarse a los valores observados. Al realizar es-

tos cálculos los resultados muestran que si efectivamente existe tal trayectoria preferencial a los 25 m desde el punto de observación ($n = 0,1$ como siempre) la transmisividad que corresponde al efecto amortiguador observado estaría entre 19 y 30 m²/hora; la transmisividad resultaría mayor (de 28 a 45 m²/hora) si la trayectoria preferencial estuviera a una distancia de 50 m.

El análisis descrito da un cuadro del problema hidrogeológico generado por la construcción futura del dique seco, que en principio puede considerarse como incierto.

La interpretación de estos ensayos y sus resultados puede depender en gran manera de los valores asignados a los parámetros afectados sobre los cuales no existe certidumbre real (por ejemplo, sobre el valor de n).

Es innecesario decir que al evaluar los resultados se pueden realizar diferentes interpretaciones. Entre éstas existe una que, en nuestra opinión, puede conducir al máximo grado de compatibilidad entre las observaciones realizadas:

1) Existe entre el mar y la tierra una barrera costera de moderada transmisividad, debido a un menor espesor de la escoria superficial, en esta zona, o a un menor grado de fisuración en el estrato volcánico, o incluso que las fisuras están colmatadas como resultado de los sedimentos o arrastres marinos.

2) La zona interior tiene una transmisividad de media a elevada.

3) Toda la zona descrita anteriormente puede ser atravesada por trayectorias preferenciales de elevada transmisividad, representadas

por zonas mucho más transmisibles dentro de la escoria o por fisuración en el basalto o por ambos.

Consecuentemente creemos que cualquier riesgo causado por problemas hidrogeológicos durante la obra puede vencerse técnicamente.

Lo mismo puede decirse de los riesgos que aparezcan sobre la explotación y que pueda requerir la adaptación del proyecto a las condiciones reales del terreno.

Respecto al desarrollo real de problemas del drenaje en el curso de la obra y explotación (la solución aceptada incluye una losa drenada), debemos esperar a los resultados de los trabajos.

AGRADECIMIENTOS

Quedamos muy agradecidos al Dr. Ruiz Morales de Astilleros Españoles, S.A. por su permiso para publicar los datos referentes a las instalaciones de reparación de barcos Diatlansa y al Profesor Cristóbal Mateos por su ayuda a resolver el método de ecuaciones simultáneas.

REFERENCIAS

- FERRIS, J. G. — *Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility*.
Assamblée Générale de Bruxelles, Assoc. Intl. d'Hydrologie Scientifique, 1951.
- PRICKETT, T. A. y LONNQUIST, C.G. — *Selected digital computer techniques, for ground water resource evaluation*.
Illinois State Water Survey, Bull 55, Urbana 1971.

Estabilización con cenizas volantes del granito descompuesto

E. Vazquez (1)
 E.E. Alonso (2)

(1) Profesor de Materiales de Construcción de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona.

(2) Profesor de Ingeniería Geotécnica de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona.

RESUMEN

Se ha investigado experimentalmente la utilización de las cenizas volantes como un medio eficaz de estabilizar un suelo arenoso procedente de la descomposición del granito analizando las propiedades del autoendurecimiento de las cenizas volantes mediante ensayos de resistencia y análisis de difracción de rayos X en un intento de seguir el desarrollo de nuevos materiales.

El aumento de resistencia observado en muestras de cenizas volantes puras en suelos estabilizados parece ser consistente con los resultados de difracción de rayos X

Los principales resultados de la investigación son:

a) En el Próctor estándar y semi-estándar (en términos de energía de compactación) se ha obtenido un contenido óptimo de ceniza volante (10 por ciento en peso).

Mayores contenidos condujeron a una reducción de la resistencia debido a los efectos de hinchamiento.

b) Es prácticamente inexistente el efecto de la demora de compactación después de la mezcla a pesar de otros resultados publicados.

c) La adición de pequeños porcentajes de cal aumenta notablemente la resistencia del suelo estabilizado.

INTRODUCCION

Las cenizas volantes son un típico material residual procedentes de las centrales térmicas de carbón pulverizado. Se trata de un material granular fino similar al cemento Portland muy heterogéneo en sus propiedades fisicoquímicas según el origen del carbón, el tipo de combustión y el grado de finura. Afortunadamente, en un carbón y tipo de combustión dadas las propiedades de las cenizas volantes asociadas permanecen aproximadamente constantes alrededor de sus valores medios.

Los componentes básicos de las cenizas volantes son el SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO y el C y en menor proporción el MgO, SO₃, NaO.

Los cristales principales, incluyen mulita, cuarzo, magnetita y hematita. Sin embargo predominan los componentes vítreos amorfos presentando formas esféricas (algunas veces huecas).

La propiedad más importante de las cenizas volantes es su carácter puzolánico, es decir su capacidad para combinarse con la cal formando un aglomerante hidráulico.

Esta reacción es muy sensitiva a las fluctuaciones térmicas.

Aproximadamente 3,5 millones de toneladas de cenizas volantes de lignitos se producen cada año en el noreste de España y sólo un pequeño porcentaje se utiliza actualmente en aplicaciones prácticas. El interés creciente por utilizar los productos residuales en la industria de la construcción ha motivado una investigación sobre las posibilidades de estos materiales como agente resistente y estabilizante del granito descompuesto, un material ampliamente empleado para bases de carreteras y terraplenes en ciertas zonas de Cataluña.

PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES Y DEL GRANITO DESCOMPUESTO.

Las cenizas volantes analizadas proceden de la central de Serchs (Barcelona) que tiene una producción anual de 300.000 Tons.

Se trata de la planta más próxima a la ciudad de Barcelona y su área industrial. Esta ceniza volante es originaria de la combustión del lignito. Su composición química típica es SiO₂ (44,6 por ciento), Al₂O₃ (17,9 por ciento), Fe₂O₃ (8,8 por ciento) TiO₂ (0,77 por ciento) CaO (22 por ciento), MgO (1,4 por ciento), SO₃ (2,4 por ciento), pérdida al fuego 0,31 por ciento, álcalis y materias no clasificadas (1,82 por ciento). El contenido libre de cal, según la especificación española varía entre el 4 y el 5,5 por ciento.

Debido al contenido medio de cal libre estas cenizas volantes, tienen propiedades aglomerantes cuando se mezclan con agua.

Se ha estudiado la evolución de la resistencia a compresión de la pasta de ceniza volante (a la consistencia estándar de 16 por ciento, de contenido de agua, en peso) mediante muestras a escala 2:1 curadas al 100 por cien de humedad y 20 °C.

Se observa un aumento importante de la resistencia a los 14 - 28 días y al final de los 90 días se han medido resistencias del orden de 35 kg/cm².

Se ha registrado una expansión importante durante los primeros 28 días (ver fig. 1) Solamente cuando el fenómeno de la dilatación tiende a detenerse comienza a aumentar gradualmente la resistencia. Mediante difractogramas sucesivos con rayos X se estableció la evolución de los componentes cristalinos de la pasta de ceniza volante. En el tercer día comienza a ser visible la puesta de Ca(OH)₂ y en el séptimo desaparece la punta de CaO mientras que crece considerablemente la punta del Ca(OH)₂.

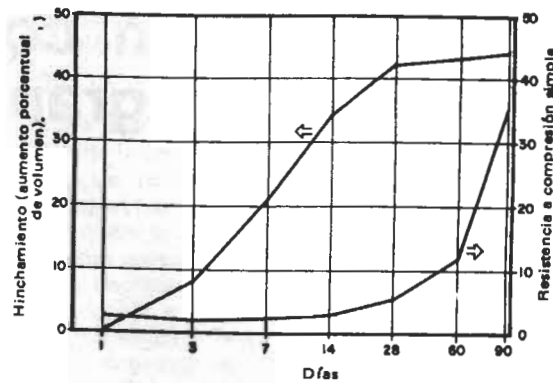


Fig. 1. — Resistencia a compresión simple y aumento del hinchamiento con el tiempo en las cenizas volantes puras.

Sólo después de los 28 días empieza a reducir la punta del Ca(OH)₂.

Igualmente a los 3 - 7 días es difícilmente observable la punta de la anhidrita aunque más tarde desaparece siendo sustituida por una punta en el entorno de los 9 - 10° perteneciendo posiblemente a la etringita.

Si se confirma esto, este componente puede explicar (al menos parcialmente) las dilataciones observadas.

Parece claro que la hidratación de la cal tiene lugar durante los primeros siete días progresando lentamente esta reacción. Las reacciones "puzolánicas" no parecen tener relieve antes de los primeros 14 días.

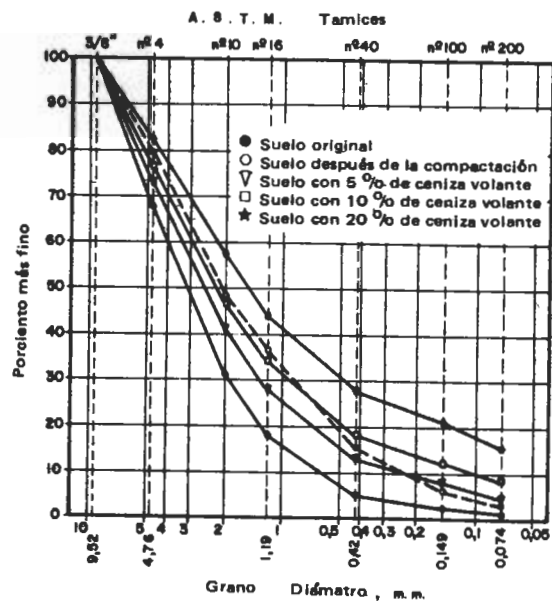


Fig. 2. — Curvas granulométricas del suelo estabilizado.

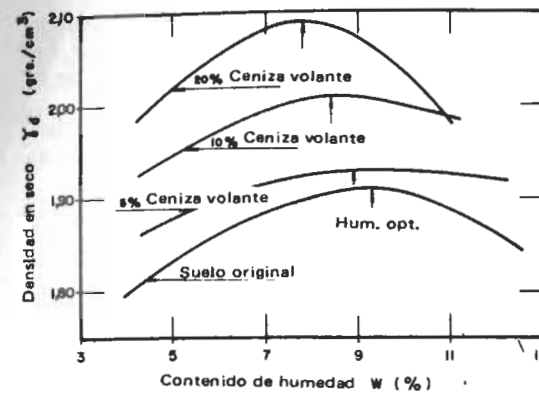


Fig. 3. — Ensayos Proctor en mezclas de suelos con diversos contenidos de cenizas volantes.

Por otra parte la temperatura tiene una influencia definitiva. Las temperaturas de curado de 50 °C origina resistencias de 21 kg/cm² a los 28 días (4 veces mayores que la resistencia con temperaturas de curado de 20 °C).

El granito descompuesto es un suelo arenoso de medio a grueso sin plasticidad alguna. En la Fig. 2 puede verse la curva granulométrica, viéndose asimismo el efecto de compactación del suelo y la adición de ceniza volante. Se observa asimismo una tendencia hacia una mayor continuidad de las curvas. Esto dará materiales más densos para la misma cantidad de esfuerzo de compactación tal como se observa en la Fig. 3.

En efecto, el aumento de la densidad seca para cantidades crecientes (en peso) de cenizas volantes es muy pronunciado. Además aparece una tendencia a reducir el contenido óptimo de agua según las bien conocidas propiedades "consistentes" de las cenizas volantes deducidas de su estructura microscópica.

Hay que observar también que la adición de cenizas volantes reduce el índice de huecos en el punto óptimo (es decir 0,41 a 0,29 cuando las cenizas volantes aumentan de 0 a 20 por ciento) y un incremento paralelo del grado de saturación (0,61 a 0,72).

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE SUELOS ESTABILIZADOS

Los ensayos presentados y comentados se realizaron con muestras Próctor curados a 100 por cien de humedad y 20 °C.

Se repitieron todos los ensayos cinco veces para obtener una alta fiabilidad en los resultados. Se dan sólo valores medios (en general la dispersión fue pequeña).

Se observó un cierto interés en conocer el efecto de retardar el comienzo de la com-

compactación una vez que el suelo (húmedo) con el contenido óptimo de agua se mezcló con la ceniza volante.

Los resultados anteriores (THORNTON y PARKER, 1975) han demostrado que esta demora puede jugar un papel importante en la resistencia final.

Este hecho podría añadir dificultades prácticas a los trabajos de estabilización. Según la Fig. 4 no debería atribuirse efecto significativo a la demora en relación con la resistencia a compresión a los 28 días. Además no se registró aumento significativo de la temperatura durante el mezclado y el período de fraguado siguiente.

Mediante termómetros termopares empotrados en la masa del suelo se controló continuamente la temperatura.

La razón del rápido aumento de la temperatura a continuación del mezclado de las cenizas volantes con el suelo y el agua es la fuerte reacción de cal libre con el agua para dar cal apagada.

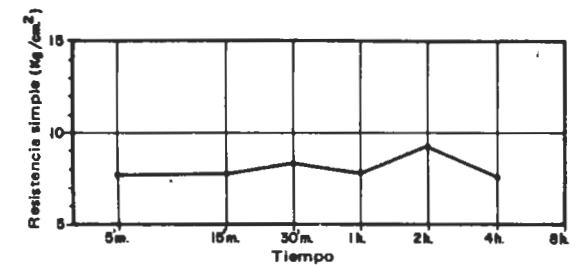


Fig. 4. — Resistencia a compresión simple a los 28 días para un 10 por ciento de contenido de ceniza volante como función de la demora de compactación después de la mezcla inicial.

Sin embargo en nuestro caso el óxido cálcico (que por otra parte es muy abundante) parece que existe en un estado "quemado" debido a las altas temperaturas de combustión del carbón. Según esta hipótesis, se reduce considerablemente la reacción de hidratación teniendo lugar la producción de calor a un ritmo mucho más gradual.

ENSAYOS TRIAXIALES

Se realizaron con diferentes contenidos de cenizas volantes ensayos triaxiales convencionales drenados con muestras compactadas al 95 por ciento del contenido Próctor óptimo de agua saturándolas completamente algo más tarde. En el momento de los ensayos las muestras tenían una edad menor de una hora y por ello representaban un estado inicial libre de cualquier efecto de fraguado de la ceniza volante. La Fig. 5 muestra las curvas de cambio de

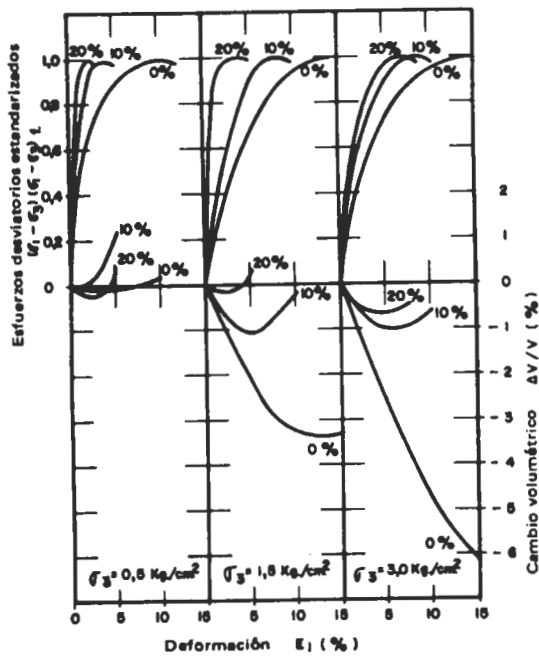


Fig. 5. - Ensayo triaxial simple en muestras de suelos con diversos contenidos de cenizas volantes.

volumen normalizadas en función de la tensión deformación. La adición de cenizas volantes y la subsiguiente compactación tiene un efecto distinto en el aumento del módulo de deformación y la tendencia hacia una dilatación positiva.

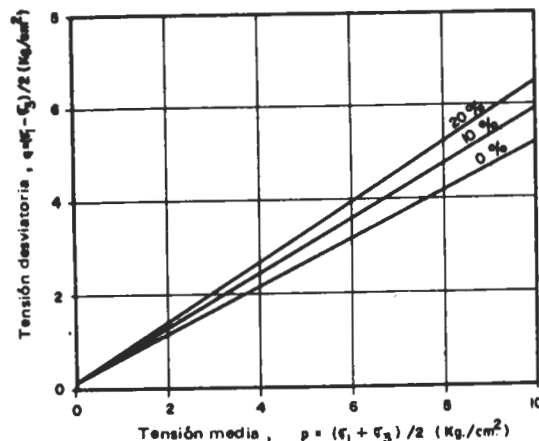


Fig. 6. - Curvas de resistencia de muestras de suelos con diversos contenidos de cenizas volantes (ensayos triaxiales simples).

Se ve en la Fig. 6 el aumento de resistencia al crecer el contenido de ceniza volante. Estos resultados se asocian a la densidad de la muestra compactada obtenida en cada caso.

Sin embargo tal como se verá más adelante, estas tendencias se modifican sustancialmente a mayores períodos de tiempo.

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE

En la Fig. 7 pueden verse algunas curvas tensión - deformación para muestras con el 10 por ciento de contenido de cenizas volantes y diferentes edades. Tanto la resistencia a compresión simple como el módulo elástico muestran un importante aumento paralelo cuando aumenta la edad en rotura.

En efecto, el módulo elástico aumenta aproximadamente diez veces en tres meses (de 30 a 90 días) en donde la resistencia aumenta seis veces en el mismo período.

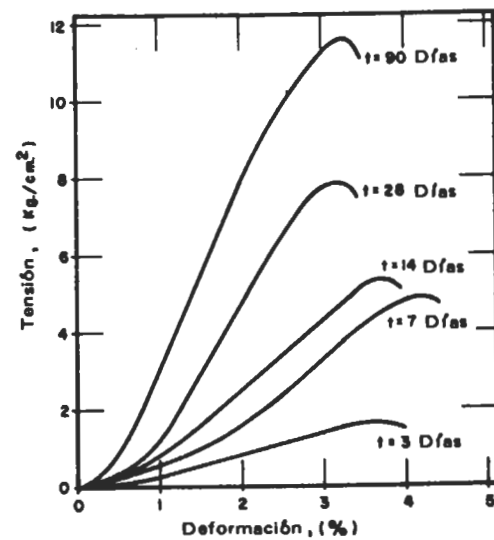


Fig. 7. - Ensayo a compresión simple con 10 por ciento de contenido de cenizas volantes y diferentes edades de curado.

El aumento de resistencia con el tiempo se expone mejor en el registro semilogarítmico de la Fig. 8.

Como es usual cada punto experimental de esta gráfica representa la media de cinco muestras ensayadas.

Es interesante indicar que el efecto de las adiciones de ceniza volante no es homogéneo con el tiempo, indicando que las diferentes "contribuciones" a la resistencia se desarrollan con índices diferentes por lo que la mayor

resistencia de las muestras con contenidos del 20 por ciento de cenizas volantes durante los primeros 5 días puede atribuirse a una estructura más densa del suelo mezclado no alterada aún por los efectos negativos de la dilatación de las cenizas volantes que equilibra el aumento natural de resistencia debido a la formación de compuestos de silicato cálcico.

Las muestras con contenidos de 10 por ciento de cenizas volantes parece que representan un compromiso óptimo entre los efectos negativos de la dilatación y el aumento de resistencia debido a las propiedades de autoendurecimiento de las cenizas volantes.

La menor influencia de la dilatación en este caso se explica por la mayor cantidad de espacio de poros disponibles una vez que ha terminado la compactación y desde luego por el pequeño porcentaje de ceniza volante.

La influencia de los espacios de poros disponibles se comprende mejor comparando los resultados del Próctor estándar para muestras con contenidos del 20 por ciento de cenizas volantes.

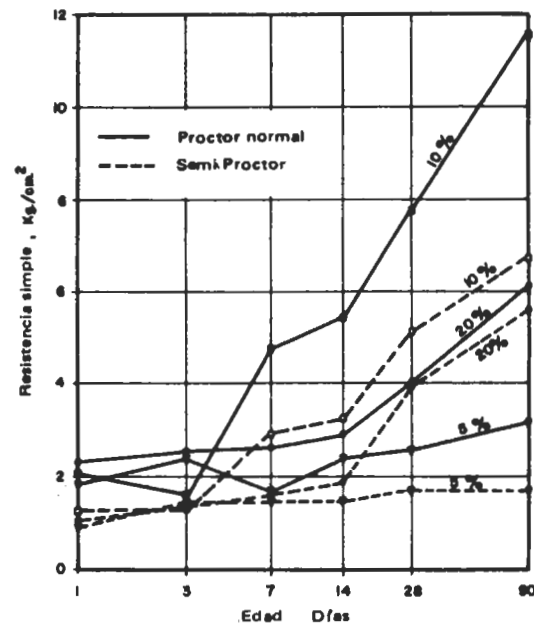


Fig. 8. - Evolución de la resistencia de suelo estabilizado con diferentes contenidos de cenizas volantes y energía de compactación.

Puede verse que las resistencias "finales" (28 - 90 días) están muy cerca entre sí, a pesar de la estructura inicial más densa de las muestras de Próctor estándar.

En este caso el mayor espacio disponible de poros en las muestras semi-standar puede jugar un papel beneficioso permitiendo la dilatación de la ceniza volante. Esto puede verse también en la Fig. 9 que refleja mejor la

influencia del contenido de ceniza volante sobre la resistencia (y desde luego sobre el módulo elástico asociado) a los 28 y 90 días.

El contenido óptimo parece que está cerca del 10 por ciento aunque la figura sugiere también que existe una tendencia hacia un mayor aumento del contenido óptimo de ceniza volante cuando disminuye la energía de compactación.

Esta tendencia es consistente con la discusión anterior sobre la influencia del espacio intersticial.

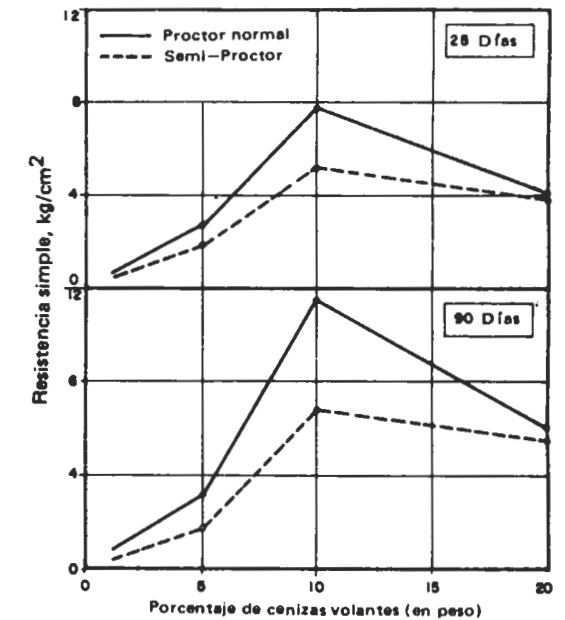


Fig. 9. - Influencia del porcentaje de las cenizas volantes sobre el aumento de la resistencia del granito descompuesto estabilizado.

DILATACION

Se realizaron dos series de ensayos de dilatación en muestras (Próctor) con diferentes contenidos de cenizas volantes y compactadas con el contenido óptimo de humedad Próctor. La primera iba orientada a encontrar la dilatación radial simple a los 9 días (se utilizó un dispositivo similar a la aguja de Le Chatelier) en muestras sumergidas a temperaturas constantes de 20 °C.

En la segunda se midió la dilatación vertical de muestras lateralmente confinadas en los moldes Próctor (engrasados con siliconas) bajo circunstancias idénticas.

Las muestras con 5 y 10 por ciento de contenido de cenizas volantes mostraban pequeñas deformaciones radiales (0,04 y 0,2 por ciento, respectivamente), que se desarrollaron sólo durante los primeros 14 días.

Se obtuvieron datos similares en muestras compactadas con la mitad de la energía del Próctor estandar. También fue pequeña la dilatación vertical de las muestras confinadas (0,30 por ciento fue la deformación vertical máxima registrada) para los contenidos de cenizas volantes anteriormente mencionados.

Por otra parte, las muestras Próctor compactadas con contenidos del 20 por ciento de cenizas volantes mostraron una dilatación radial no confinada del 1,6 por ciento y deformaciones verticales cercanas al 0,45 por ciento en las muestras confinadas.

Las cifras paralelas en las muestras de energía mitad fueron de 2,24 por ciento y 0,6 por ciento.

Todas las muestras con el 20 por ciento de contenido de cenizas volantes mostraron (contrariamente a las otras muestras) una fisuración muy desarrollada. Tal como se ha comentado anteriormente esta dilatación es muy probablemente la razón de disminución de resistencia observada en las muestras con contenidos del 20 por ciento de cenizas volantes.

ESTABILIZACION CON CAL Y CENIZAS VOLANTES

Diversos autores (MATEOS y DAVIDSON, 1962 y CROFT 1964) han expuesto en el pasado las dificultades de encontrar un contenido óptimo de cal recomendando la adición de porcentajes que oscilan entre el 3 y el 6 por ciento en suelos arenosos.

La presencia de cal libre en las cenizas volantes estudiadas aquí añade otras incertidumbres a nuestro problema.

En las resistencias expuestas en la tabla I se ven adiciones del 3 y 6 por ciento de cal al suelo ya mezclado con un 10 por ciento de cenizas volantes y el contenido óptimo de humedad Próctor.

Las resistencias van aumentadas en 3 - 4 veces si se comparan con el suelo estabilizado con cenizas volantes en las mismas edades. Sin embargo no se obtiene una mejora significati-

va con mayores cantidades de cal añadida.

Por otro lado las dilataciones medidas son mayores que las medidas en las muestras de suelo estabilizado con cenizas volantes (deformación vertical confinada 0,49 por ciento; deformación radial simple 0,93 por ciento) pero no se registraron fisuras visibles durante los primeros 90 días del curado.

Los ensayos adicionales mostraron que el aumento en el contenido de humedad del 2 por ciento por encima del Próctor óptimo no tiene influencia alguna en la resistencia final.

CONCLUSIONES

Se ha investigado la posibilidad de que una ceniza volante a la presencia de cal libre estabilice efectivamente un suelo arenoso procedente de granitos descompuestos, exponiéndose el mecanismo principal del fraguado y su desarrollo en el tiempo. A pesar de los intensos efectos de la dilatación medida en muestras puras de cenizas volantes, se midieron resistencias (35 kg/cm^2) simples y elevada a los 90 días y a temperaturas ambientales de 20°C .

Se vio que un contenido óptimo de cenizas volantes (en términos de resistencias simples a los 28 y 90 días y muy condicionadas por los efectos de dilatación y el espacio intersticial del suelo) se acercaba al 10 por ciento en peso en el Próctor estandar y semi-estandar según energía de compactación.

Se midieron resistencias del suelo estabilizado de $7,5 - 11,5 \text{ kg/cm}^2$ y módulos elásticos de $360/520 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 - 90 días.

La demora en la compactación una vez que se preparó el suelo estabilizado no tuvo influencia significativa sobre la resistencia final (al menos en las primeras cuatro horas) Este resultado facilita la manipulación práctica de las cenizas volantes en obra.

La adición de cal en pequeño porcentaje (3 por ciento) aumenta notablemente la resistencia (en 3 - 4 veces) en el suelo estabilizado con un 10 por ciento de cenizas y volantes.

TABLA I — Resistencia de los suelos estabilizados con cal y cenizas volantes (kg/cm^2)

Energía compactación	3 % cal + 10 % Ceniza volante			6 % cal + 10 % Ceniza volante		
	7 días	28 días	90 días	7 días	28 días	90 días
Proctor Standard	4.2	14.8	4.2	4.6	9.5	41.1
semi - estándar	3.6	11.7	29.5	51.3	12.8	31.2

En este caso se midió también un ligero aumento en la dilatación (sin formación de fisuras).

Estos resultados confirmaron las posibilidades de utilización de estas cenizas volantes (aisladas o acompañadas con cal si se requieren grandes resistencias) como un material eficaz para la estabilización de suelos arenosos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a PROCEN S.A. que financió parte de este estudio dando continuo apoyo al programa de investigación. El profesor Yague ha prestado su valiosa colaboración en el análisis de difracción por rayos X de la pasta de cenizas volantes.

Damos también las gracias a los diversos

investigadores y técnicos de los Laboratorios de Materiales, de Geotecnia y de Química de la escuela que contribuyeron en las diferentes partes del programa de ensayos y en particular a Don J. Solé, Don L. Murcia, Don M. García y D. F. Avila.

REFERENCIAS

- CROFT, J. B. (1964) — "The puzzolanitic reactives of some New South Wales fly-ashes and their application to soil stabilizations" *Australian Road Research Board Proc. Vol. 2 Part. 2 Paper 120, pp. 1144 - 1168.*
- MATEOS, M. and D. T. DAVIDSON (1962) "Lime and Fly Ash proportions in soil lime fly-ash mix-tures and some aspects of soil lime satabilization". *Highway Research Board Bulletin.*

Algunos resultados de investigaciones sobre las propiedades mecánicas y la durabilidad de hormigones de conglomerantes a base de escorias activas (C. E. A.)

Por ION IONESCU (*) Dr. Ingeniero

(*) Jefe de los Laboratorios para la Tecnología de los Hormigones ICPEC 5 Sos Giurgiu-lui 75,951 Bucarest Rumania.

El presente trabajo es el primero de una serie de dos que amablemente nos ha enviado el Laboratorio de Tecnología de los Hormigones de Bucarest en relación con las investigaciones que llevan a cabo sobre hormigones con conglomerantes a base de escorias básicas activadas, trabajos que se proponen presentar a la Conferencia Internacional sobre Escorias y Cementos de Adición que se celebrará en Mons (Bélgica) en el mes de septiembre del año en curso.

Aún teniendo en cuenta que entre los objetivos de CEMENTO HORMIGON desde la fundación de la revista se cuenta el de promover el conocimiento y aplicaciones de los hormigones fabricados con cemento portland y sus variantes, creemos puede resultar de gran interés para nuestros lectores esta información sobre un nuevo tipo de hormigones -indudablemente todavía en fase experimental- desarrollado en el contexto de las investigaciones que en todos los países se realizan con

el objetivo de reducir el consumo de energía.

La propia disponibilidad de escorias siderúrgicas granuladas que en gran número de países se absorben prácticamente en su totalidad como componentes secundarios del cemento portland, constituye una limitación para la fabricación de los hormigones a que se refieren los trabajos de investigación del Laboratorio de Tecnología de los hormigones de Bucarest. Consideramos sin embargo, que el tema debe ser como mínimo un motivo de reflexión para los laboratorios relacionados con la industria del cemento y probablemente un punto de partida para nuevos estudios e investigaciones sobre las propiedades de las escorias básicas granuladas que permitan, sin merma de los altos niveles de comportamiento que las actuales técnicas de la construcción exigen a los hormigones, aumentar sus porcentajes de adición como componentes secundarios al clinker de cemento portland.

(N. de la R.)

RESUMEN

Este trabajo presenta, en forma resumida unos tipos de hormigones, pesados y ligeros, preparados a base de conglomerados de escoria

activada (CEA), sin cemento portland, obtenidos en el Laboratorio para la Tecnología del Hormigón del Instituto de Investigaciones y Proyectos de la Industria de Materiales de Construcción (ICPEC), de Bucarest. Se describen los materiales empleados, la tecnología de su preparación y puesta en obra, las propiedades mecánicas, la durabilidad y las posibilidades de aplicación de estos nuevos tipos de hormigones, en el contexto de las presentes necesidades de reducir al máximo el empleo de materiales que se obtienen a costa de un gran consumo energético, sin perjuicio de la calidad de las obras realizadas.

1. - INTRODUCCION Y PROPIEDADES MECANICAS DE LOS CONGLOMERANTES CEA

Desde hace 30 años se producen en Rumania cementos a base de clinker portland con 15 - 30% de adición de escorias básicas siderúrgicas granuladas, y se emplean en la construcción con buenos resultados.

Otros cementos, pero con adición de hasta 50% de escorias granuladas, también a base de clinker de cemento portland, se ven sometidos a grandes limitaciones en su empleo, por su reducida velocidad de endurecimiento y por otros aspectos relativos a la durabilidad de sus hormigones.

En vista de que los cementos portland, y los cementos portland de escorias con un máximo de 30% de adición, son consumidores de energía relativamente importantes su empleo, en el futuro, deberá restringirse a obras de gran interés. De ahí la necesidad de la obtención de ciertos conglomerantes que puedan ser utilizados como substitutivos del cemento portland en los hormigones empleados para la fabricación de bloques de albañilería, solados de caminos y calzadas, obras hidráulicas, losas de aceras y de forjados, tubos para conducciones, prefabricados para la construcción civil, industrial o agraria, con un reducido consumo de energía, lo cual presenta un interés particular tanto por el ahorro de energía en la fabricación del conglomerado como para la consecución de soluciones técnicas alternativas que serán comprobadas y perfeccionadas en la práctica.

Con respecto a la obtención de conglomerantes substitutivos del cemento que puedan emplearse en los campos antes citados y similares, las escorias granuladas de altos hornos, por sus propiedades cementoides, auguran buenas perspectivas.

Para la activación de las escorias y en función de las aplicaciones propuestas, es posible emplear una extensa gama de actividades, tales como materiales naturales, productos de la industria de los conglomerantes y de la indus-

tria química y residuos industriales. No obstante, habrá que tener en cuenta que las propiedades de los conglomerantes a base de escorias activas son determinadas por la composición de las escorias y de los activantes empleados, de las proporciones en que se contienen, las condiciones tecnológicas de fabricación, etc.

La utilización de conglomerantes a base de escorias activadas queda particularmente condicionada por su calidad, el consumo global de energía y el costo efectivo. Pero ante la complejidad de los problemas planteados es imposible alcanzar soluciones óptimas, que abarquen un empleo general. Es por ello, preferible, estudiar las soluciones que satisfagan desde todos los puntos de vista y de la forma más eficaz, un cierto campo, o campos, de aplicación (1 - 9). La preferencia para estas soluciones se explica también por el hecho de que las propiedades de los conglomerantes de escorias activadas destinados a la ejecución de soleras para carreteras de hormigón, con arenas y gravas locales, son completamente distintas de las propiedades de aquellos conglomerantes de escorias activas aptos para la preparación de hormigones destinados a la realización de algunos elementos prefabricados con o sin tratamiento térmico. Es por esto que el Instituto de Investigaciones y Estudios para la Industria de los Materiales de Construcción - ICPMC de Bucarest, ha definido distintos tipos de conglomerantes de escorias activadas, para los cuales en la Tabla 1 se dan las respectivas resistencias mecánicas, determinadas con mortero plástico (ISO). Estos resultados varían sensiblemente en virtud de los factores de composición antedichos y de la finura de molienda.

Los datos de la Tabla 1 nos dicen que las propiedades de los CEA, en cuya composición entra el silicato sódico como activante, son comparables a las del cemento portland con 15% de adición de escoria granulada; por consiguiente, deben utilizarse los CEA. Las resistencias de los CEA dependen de la cantidad de silicato sódico líquido y del módulo sílico del silicato sódico. Los otros tipos de CEA poseen propiedades mecánicas más modestas que permiten sus diferentes aplicaciones, en las cuales se exigen resistencias mecánicas reducidas o cuando la tecnología de realización de las obras proporciona al hormigón de CEA el tiempo necesario para su endurecimiento antes de ser puesto en carga. Por ello, en los párrafos siguientes, se expondrán tan sólo las propiedades de hormigones CEA activados con silicato sódico, interesantes para su empleo en la fabricación de gran número de elementos prefabricados, obras monolíticas y fabricación de bloques de albañilería.

TABLA 1 — Resistencia a la compresión de morteros de CEA

Nº	Material activado	Activante empleado	Resistencias (daN/cm ²) (*) a los días				Campos de utilización indicados
			2	7	28	180	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Escoria granulada	cal	—	8,34	72-121	84-143	lechos de carreteras
2	Escoria granulada	yeso	—	6,36	67-108	78-132	lechos de carreteras
3	Escoria granulada	puzolana natural	—	12-48	78-109	—	lechos de carreteras
4	Escoria granulada	fosfo yeso	—	7-30	74-117	103-136	lechos de carreteras
5	Escoria granulada	cloruro cálcico	—	12-41	93-128	—	lechos de carreteras
6	Escoria granulada	carbonato sódico	—	18-48	63-109	—	lechos de carreteras
7	Escoria granulada	hidróxido sódico	—	21-47	59-184	—	lechos de carreteras
8	Escoria granulada	silicato sódico líquido	42-94	106-184	261-422	308-462	lechos de carreteras obras hidráulicas construcción civil industrial y agraria elementos prefabricados
9	Escoria granulada a ceniza	cal	—	28	112	153	lechos de carreteras
10	Escoria granulada	cal y fosfo yeso	—	26-48	106-163	132-201	lechos de carreteras
11	Escoria granulada	silicato sódico	21-74	86-172	216-372	271-402	lechos de carreteras obras hidráulicas construcción civil, industrial y agraria elementos prefabricados
12	Cemento portland + 15% escoria (testigo para comparación)		86	158	356	392	Idem

(*) 1 decanewton daN/cm² 1.01972 kp/cm².

2. — ALGUNAS PROPIEDADES DE CONGLOMERANTES DE ESCORIAS ACTIVAS Y DE LOS HORMIGONES A BASE DE DICHS CONGLOMERANTES

2.1. - Investigación de las propiedades de las pastas de CEA.

Las investigaciones sobre las propiedades

de las pastas se han realizado utilizando dos tipos de escorias granuladas de composiciones distintas, designadas por E1 (escoria con la composición química al límite medio del índice de basicidad) y E2 (escoria con la composición química al límite inferior del índice de basicidad) molidas en el laboratorio en condiciones idénticas hasta alcanzar una superfi-

cie específica Blaine de 2780-2950 cm²/g. De otra parte, se han variado los siguientes parámetros:

- Módulo silícico del silicato sódico, aprox. 1,8 - 2,0 - 2,2 - 2,5 - 2,8.
 - Dosificación del silicato sódico: de 1 a 20% (material seco).
 - Cantidad de agua para la preparación de la pasta.
 - Temperatura de trabajo: de 5 a 25 °C.
- Estudiando, mientras, la influencia de cada parámetro sobre las principales características de las pastas, tales como:
- docilidad de las pastas,
 - tiempo de fraguado (principio y fin) por medio del aparato de Vical.
 - estabilidad de volumen (método Le Chatelier).
 - resistencias mecánicas de probetas de 4 x 4 x 16 cm a los 1 - 3 - 28 y 120 días mantenidas a temperaturas de 5 - 95 °C.

De todo ello resulta que:

- las temperaturas del medio en que se trabaja, por debajo de 15 °C afectan mucho las propiedades de las pastas de CEA. Estos conglomerantes desprenden una cantidad de calor muy reducida, principalmente cuando la dosificación de silicato sódico también es reducida.
- para temperaturas superiores a 10 °C, prácticamente todos los conglomerantes que resultan de la mezcla cuando la preparación de las pastas, de las escorias granuladas con silicato sódico (disuelto en el agua de amasado) tienen **fraguado rápido** (fig. 1a).
- después de la molienda de las escorias con adición reducida de cal, yeso o fosfo yeso y preparando las pastas en condiciones idénticas a las anteriormente citadas, se obtienen pastas de **fraguado normal** (fig. 1b).
- a temperaturas entre 15 - 25 °C los tiempos de **principio y fin del fraguado** (para conglomerantes de fraguado normal) dependen de la dosificación de silicato, como activante, y el módulo silícico del silicato.
- la **estabilidad de volumen** de las pastas de CEA estudiadas ha sido correcta.
- las pastas de CEA poseen mayor **docilidad** que las de cemento Portland con 15% de escorias. Por consiguiente, el **agua de amasado** de dichas pastas de escorias activadas se puede reducir de 5 a 16% en función del porcentaje de activante utilizado.
- las **resistencias mecánicas** de pastas de CEA varían sensiblemente en función de la temperatura de conservación durante las primeras etapas del endureci-

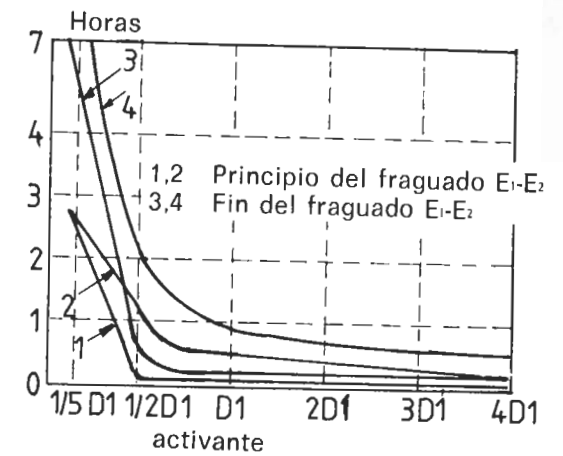


Fig. 1a — Variación de los tiempos de fraguado de las escorias E₁ y E₂ en función de la cantidad de activante (silicato sódico) existente en el CEA

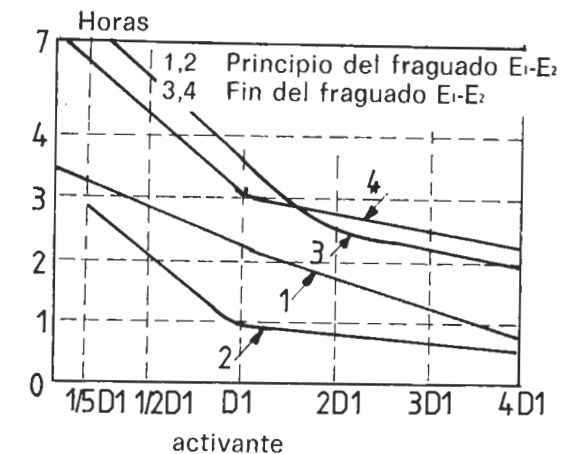


Fig. 1b — Variación de los tiempos de fraguado de las escorias E₁ y E₂ molidas con una reducida adición de cal, en función de la cantidad activante (silicato sódico) existente en el CEA

- miento, así como de la dosificación del silicato sódico y el módulo silícico del silicato empleado. Por lo mismo, las resistencias están considerablemente influenciadas por la composición química de las escorias empleadas y por la finura de su molienda.
- en condiciones idénticas de preparación y de conservación las resistencias de las pastas de CEA de fraguado rápido son de 20 a 50 % superiores a las de CEA de fraguado normal.
- a igualdad de condiciones de preparación conservación y ensayo de las probetas, el módulo silícico comprendido entre 1,8 y 2,2 conduce a la obtención de resistencias

mecánicas superiores, lo cual está de acuerdo con los resultados asimismo obtenidos por otros investigadores (3 - 5).

2.2. - Investigación sobre las propiedades de los hormigones de CEA

Para la investigación de las propiedades de los hormigones de CEA se usaron los siguientes materiales:

CEA de fraguado rápido y de fraguado normal, obtenidos a base de las escorias E₁ y E₂ (p. 2.1);

silicato sódico producido industrialmente, con un módulo silícico comprendido entre 1,93 y 2,20;

áridos naturales pesados, de gravera, cuyas propiedades se sitúan dentro de los límites admitidos por las normas rumanas para el hormigón;

mezclas de áridos rodados de gravera y de áridos obtenidos por machaqueo de rocas basálticas muy resistentes;

áridos ligeros naturales, como por ejemplo, la escoria basáltica.

La finalidad de las investigaciones realizadas ha sido definir la tecnología de preparación de hormigones pesados y ligeros de CEA de fraguado rápido y normal, así como la influencia de la forma de la conservación de las probetas de hormigón, de la dosificación de CEA y del silicato sódico, etc. sobre las principales propiedades de los hormigones pesados o ligeros de escorias activadas. Las resistencias de los hormigones de CEA endurecidos a la temperatura ambiente (20 + 3 °C)

TABLA 2 - Resistencia a la compresión de hormigones de CEA

N°	CEA Kg/m ³	Escoria	Tipo de árido 0-16 mm	Modo de endurecimiento	Resistencia (daN/cm ²) a los días					
					8	16	28	90	365	1100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	350	E1	gravera	normal		166	362	406	411	476
1	350	E1	gravera	TT 85 °C	126	272	384	420	456	461
2	350	E1	arena y escoria	normal		152	326	379	418	432
2	350	E1	ídem	TT 85 °C	108	238	308	341	373	406
3	350	E1	50% basalto	normal		218	416	463	502	563
3	350	E1	ídem	TT 85 °C	183	309	458	476	512	548
4	350	E2	gravera	normal		142	328	367	402	435
5	350	E1R	gravera	normal		206	429	479	512	554
6	500	E1	50% basalto	normal		426	682	754	826	874
6	500	E1	ídem	TT 85 °C	304	652	816	838	902	956

E1R - CEA de fraguado rápido obtenido a base de escoria E1.
 Normal - Modo de endurecimiento conservando las probetas a una temperatura de 20 + 3 °C y 65 - 75% humedad relativa.
 TT 85 °C - Las probetas fueron sometidas a un tratamiento térmico de 5 horas a la temperatura de 85 °C, según el método de molde recalentador.

o bien por tratamiento térmico (a 85 °C) se han estudiado con duraciones de 6 horas a 3 años; asimismo se estudió el comportamiento de algunos elementos prefabricados y del hormigón de los dichos elementos bajo diversas condiciones de sollicitación a un plazo hasta 3 años.

Algunos resultados se presentan en la figura 2, la Tabla 2 y en los párrafos siguientes:

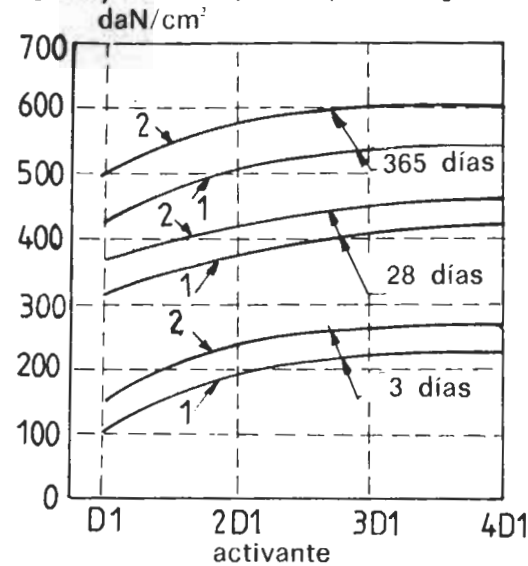


Fig. 2 - Variación de las resistencias de los hormigones de CEA en función de la cantidad de activante (silicato sódico) existente en el CEA

1 - hormigón con 350 kg CEA/m³ árido:grava natural
 2 - hormigón con 500 kg CEA/m³ árido:50% basalto machacado

- las resistencias del hormigón de CEA aumentan al mismo tiempo que el porcentaje de silicato sódico, que entra en la composición del CEA hasta que esta dosificación llega a 8 - 10%. Cuando la dosificación de silicato sobrepasa 10% de la masa de CEA las resistencias aumentan poco en función del aumento del porcentaje de silicato sódico (fig. 2);
- las resistencias mecánicas de los hormigones CEA se estudian particularmente en el intervalo entre la puesta en obra hasta los 28 días. Después de los 28 días, la resistencia de los hormigones de CEA aumenta ligeramente durante un período que alcanza los 3 años, al fin del cual la resistencia corresponde a 128 - 140% de la observada a los 28 días (Tabla 2);
- los hormigones de CEA se han sometido a ciclos repetidos de hielo - deshielo al cabo de 28 días, probando los ensayos una buena resistencia después de 50 - 100 ciclos consecutivos. Si estos hormigones se someten a los mencionados ciclos al cabo de seis meses o de un año de su preparación, adquieren una buena resistencia después de 100 - 150 ciclos de hielo - deshielo reiterados, lo cual demuestran que la resistencia de los hormigones de CEA a los efectos de las heladas aumenta con el tiempo, lo que nos indica que es posible la buena ejecución de obras y la prefabricación en invierno con dichos hormigones;
- las investigaciones sobre hormigones nos han demostrado que los CEA obtenidos a base de las escorias E2 (menos básicos) en idénticas condiciones de preparación conducen a hormigones con una reducción de su resistencia de 10% (composiciones 1 y 4 de la Tabla 2) lo cual pone en evidencia la influencia de la composición de las escorias granuladas sobre las propiedades de los CEA y de los hormigones que con ellos se preparan así como la necesidad de definir, previas investigaciones, el tipo y el porcentaje de activante para cada planta siderúrgica;
- Los hormigones de CEA sometidos a tratamiento térmico a la temperatura mínima de 80 °C presentan un importante aumento de sus resistencias después de 4 - 7 horas de tratamiento (35 - 50% de aumento a los 28 días). Pasados los 28 días y hasta los 3 años la resistencia de los hormigones tratados es del mismo orden que la de los hormigones de CEA endurecidos en condiciones normales de temperatura (Tabla 2);
- la retracción de los hormigones de CEA endurecidos en condiciones normales, por

tratamiento térmico y con igual relación agua-cemento, es aproximadamente 10% superior a la retracción de los hormigones - testigo (con igual dosificación de cemento portland con 15% de adición de escorias) Si la cantidad de agua de amasado en los hormigones de CEA se reduce condicionada a docilidad igual a la de los hormigones - testigo, la retracción de los de CEA no difiere sensiblemente de los de cemento portland;

- la adherencia de los hormigones de CEA a las barras de acero de 10 mm ϕ es igual o ligeramente superior a la de los hormigones - testigo. Hay que hacer resaltar el hecho de que, después de observaciones y ensayos efectuados en un período de hasta 3 años, resulta que los hormigones de CEA aseguran una protección satisfactoria a las armaduras de hierro embebidas en el hormigón de las probetas y en los elementos prefabricados preparados para experiencias;
- la carbonatación de los hormigones de CEA de estructura compacta se produce lentamente hasta los 3 años y aproximadamente a la misma velocidad que se observa en la carbonatación de los hormigones-testigo;
- la resistencia de los hormigones de ciertos tipos de elementos de prefabricación experimental (determinada por extracción de núcleos), tanto para los endurecidos a temperatura normal como los que se sometieron a tratamiento térmico aumenta con el tiempo. Considerando la resistencia a los 28 días igual a 100, la resistencia al año equivale a 115 - 128% y a los 3 años 126 - 143%. Los aumentos de resistencia mencionados son válidos para elementos armados de hormigón de CEA (forjados, vigas, paneles de muros, etc.), solicitados por la flexión debida a su propio peso, como lo son para elementos con sollicitaciones equivalentes a 1,25 veces la carga de explotación.

El consumo global de energía para la fabricación de los CEA varía, en función del tipo de la proporción de activante empleado, entre 28 - 65% de la energía global dispendida en la fabricación de un cemento portland con 15% de adición de escoria siderúrgica granulada. Hay que hacer notar, pues, que desde el punto de vista del consumo global de energía, son muy ventajosos los conglomerantes de escorias activadas.

En lo que respecta al mecanismo de formación de las estructuras de las escorias hidratadas, las investigaciones efectuadas por nuestra

parte confirman, al parecer los resultados obtenidos por otros autores (3, 4, 5, 10) y permiten estimar que, por efecto de la activación alcalina mencionada, los principales constituyentes de las escorias (óxidos de calcio, de silicio y de aluminio) forman silicatos de sodio hidratados, aluminato tetracálcico hidratado y silico - aluminio cálcico hidratado (gehlenita hidratada), que confieren al hormigón de CEA propiedades eficaces desde todos los puntos de vista físico - químicos, características mecánicas y físicas, resistencia a ciclos hielo - deshielo consecutivos y a los medios débilmente agresivos, etc. Por ello se nos permite la apreciación de un buen comportamiento en función del tiempo, de elementos prefabricados o bien obras monolíticas de hormigón de CEA. Las investigaciones han dado por resultado la posibilidad de entrar en la producción de elementos prefabricados en escala semi-industrial.

Consideramos, que en este campo relativamente nuevo, los resultados prometedores obtenidos por diversos autores (1 - 10) y por nosotros, en Rumania, conducen a varias conclusiones prácticas, siendo absolutamente necesario continuar las investigaciones y las experiencias que nos lleven a una profundización y desarrollo del campo estudiado.

3. — CONCLUSIONES.

Las investigaciones y experiencias efectuadas permitieron la obtención de ciertos tipos de conglomerantes a base de escorias granuladas de alto horno producidas en Rumania, con eficaces propiedades técnicas, reducido consumo global de energía en su preparación y para los cuales se han definido campos de aplicaciones prácticas. Por consecuencia de los resultados muy prometedores de las investigaciones realizadas sobre las propiedades de los hormigones con conglomerantes a base de escorias activadas se han elaborado las primeras actas normativas enfocando la producción y empleo de los CEA habiéndose pasado a la producción en escala semi - industrial de pequeños bloques de albañilería y de elementos prefabricados de hormigón de conglomerantes de escorias activadas.

BIBLIOGRAFIA

- (1) S. SOLACOLU - *Química física de los silicatos técnicos*. Ed. Técnica, Bucarest (1958).
- (2) I. TEOREANU - *Tecnología de los hormigones y del amianto-cemento* Ed. Didáctica y Pedagógica, Bucarest, (1977).
- (3) G. T. POUIANOV - *Propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción a base escoria y de vidrio líquido*. Colectánea de trabajos de la Filial de Khazahstan de la Academia de Ciencias de la URSS. nº 2/4 (1960).
- (4) A. DERDACA J. MALOLEPSZY - *La escoria granulada de altos hornos para la preparación de conglomerantes hidráulicos sin clínker*. Cement - Wapno - Gips. 10, 291-195 (1975).
- (5) I. VOINOVITCH, M. RAVERDY, R. DRON - *Cemento de escorias granuladas sin clínker*. Silicats Industriels. 11. 221,229 (1980).
- (6) I. IONESCU - *Hormigón de conglomerantes a base de escorias activadas*. CEA I. Preparación. Propiedades. Campos de utilización *Revue Materiaux de Construction* 3, 128 - 134 (1980).
- (7) I. IONESCU y colaboradores. - *Hormigones de conglomerantes a base de escorias activadas*. CEA II. Experiencias para la preparación de pequeños bloques del albañilería con hormigón de CEA *Materiaux de Construction* 3, 135-140 (1980).
- (8) I. IONESCU y colaboradores - *Hormigones de conglomerantes a base de escorias activadas CEA III. Experiencias sobre la realización de algunos tipos de elementos prefabricados de hormigón normal o ligero con CEA* *Materiaux de Construction*, 4. 186 - 191 (1980).
- (9) P. PONTEVILLE - *Empleo de la escoria de altos hornos en los hormigones hidráulicos*. Silicatos Industriales, núms. 9 y 10 161-169 y 183-196 (1980).
- (10) R. DRON - *Mecanismo del fraguado de la escoria granulada bajo activación alcalina*. *Rapport de recherches nº 38 - Laboratoires des Ponts et Chaussées* (1974).

Hormigón en sacos para contención de las riadas, contra la erosión y para obras subacuáticas.

Por ALBERTO VIRELLA BLODA, Ingeniero Químico.

El empleo de sacos como encofrado perdido del hormigón se ha desarrollado en los Estados Unidos con gran eficacia, revelándose como un método sin rival para aplicaciones donde concurren circunstancias ambientales difíciles, tales como la línea costera, las orillas de los ríos o parajes a la intemperie, aliadas a exigencias de premura en la ejecución.

Los sacos empleados están constituidos por un material muy resistente y permeable al agua. Cada saco está provisto de una válvula de entrada con autocierre, de implantación apropiada para la introducción de la manguera de la bomba de hormigón. Los sacos con longitud superior a los 6 metros (20 pies) deberán poseer dos válvulas. Las características del tejido son las siguientes:

Urdimbre 21 cabos/pulgada (8,3 cabos/cm). Nylon 66 de 1.260 denier (1).
Trama 21 pasadas/pulgadas, DuPont Cordura de 1.850 denier (2).

Peso aproximado 9,0 oz/yard² (305 g/m²).

(1) y (2) Denier: Masa de un hilo de 9,000 metros de longitud 1/9 tex.

RESULTADOS TIPICOS DE LOS ENSAYOS DEL TEJIDO

Resistencia a la tracción

Método de la grapa (ASTM D-1682-75)

Velocidad del estirado	Urdimbre	Trama
2,5 cm/min	75,8 kg/cm	76,7 kg/cm
15,2 cm/min	80,2 kg/cm	76,7 kg/cm

Método de deshilado (ASTM D-1682-75)

Velocidad del estirado	Urdimbre	Trama
2,5 cm/min	67,8 kg/cm	66,9 kg/cm
15,2 cm/min	69,5 kg/cm	66,9 kg/cm

Resistencia al desgarre (ASTM D-2262-76)

(método de la lengüeta) 45,3 kg 45,3 kg

Porosidad (ASTM D-737-75) 2.973 lit/min.

Los sacos se fabrican según pedido del compador, el cual debe indicar la situación y el diámetro de la válvula de entrada del hormigón. Pueden fabricarse sacos de mayores dimensiones o irregulares especificando su forma y dimensiones. La anchura de un saco lleno (W₁) depende de la anchura del saco vacío (W) y de la altura del saco lleno (T). Si el llenado no excede el máximo recomendado por el fabricante, se puede formular:

$$W_1 = W - 0,57 T_{max}$$

Siendo:

$$T_{max} = 0,5 W$$

W	W ₁	T _{max}
0,76 m	0,54 m	0,38 m
1,02 m	0,73 m	0,51 m
1,27 m	0,91 m	0,64 m
1,52 m	1,09 m	0,76 m
1,78 m	1,27 m	0,89 m
2,03 m	1,45 m	1,02 m
2,29 m	1,64 m	1,14 m
2,54 m	1,82 m	1,27 m

El volumen de un saco lleno se calculará por la fórmula:

$$V = k W_1 T L (m^3)$$

siendo k un "factor de forma" que, con cierta aproximación, puede adoptarse

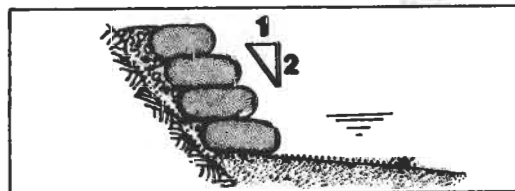
$$k = 0,832$$

Así, para un saco de W₁ = 1,09 m: T_{max} = 0,76, se tendría:

$$V = 0,832 \times 1,09 \times 0,76 = 0,68923 \text{ m}^3/\text{m}$$

es decir, cabría pensar en 0,7 m³ de hormigón por cada metro de saquería.

PROBLEMAS QUE RESUELVE

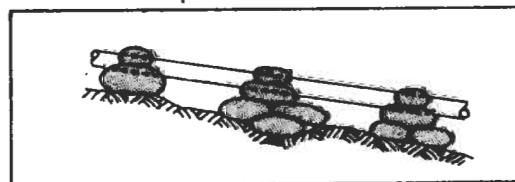


Protección de la costa

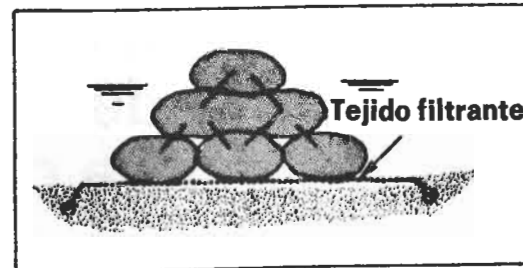


Gruta rellena con sacos

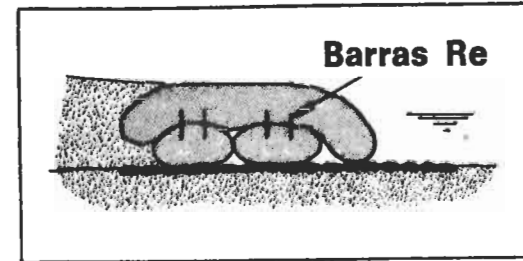
Reparaciones estructurales



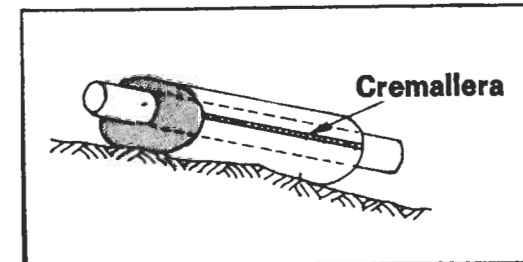
Asiento de conducciones



Malecones



Rompeolas



Revestido de conducciones

Parece ser que la longitud de cada saco es convencional y, desde luego, se llega a 3 o más metros por cada saco, según las otras dimensiones.

El peso aproximado de un saco es de 0,7 kg/m² y 150 sacos, uno encima del otro, en pila compacta, alcanzarán una altura de 1 metro, por lo que su peso, en bulto, será de 105 kg/m³. Las tolerancias en las dimensiones de los sacos son de ± 2,5 cm en la anchura y ± 7,5 cm. Cuando la longitud es bastante grande se intervalan, a conveniencia, algunos espigones de refuerzo.

El "hormigón" empleado para el llenado de los sacos consiste en una mezcla de cemento, áridos, aditivos y agua en proporciones convenientes para que la masa producida sea bombeable y la resistencia de la compresión, tomando por tal la media de tres ensayos consecutivos, no sea inferior a 176 kp/cm² a los 28 días.

Generalmente se usan 10 sacos de cemento de 50 kg por cada metro cúbico de hormigón y 1,365 kg de arena, con la cantidad suficiente de agua.

Si se pretende limitar el exceso de agua puede provocarse un espesamiento prematuro y un endurecimiento parcial de los bloques de mortero a una profundidad de 8 a 15 cm de la superficie. El empleo exclusivo de arena se recomienda para la mejor bombeabilidad. Si a la mezcla se le añade algo de gravilla del tamaño "garbancillo" se reduce el coste del material, pero hay que aumentar el diámetro mínimo de la manguera y, por último, se aumenta el coste de la mano de obra. En general pues, el material que rellena el saquerío es más bien un mortero de cemento que un hormigón.

Aplicaciones

El hormigón en sacos tiene numerosas aplicaciones, pero entre ellas descuellan las de protección contra los efectos del oleaje en la costa y de las avenidas en los cauces de los ríos y hasta como encofrado perdido en obras de presas bajo las aguas.

Cuando se aplica hormigón en sacos para la protección de suelos erosionables, ante todo hay que precaverse contra la dudosa consolidación del suelo subyacente. Entonces se recomienda el empleo de una capa de tela filtrante que sirve para plataforma de apoyo del saquerío sobre un suelo blando. Puede ser necesaria la aplicación de otro revestimiento filtrante al dorso de los sacos apilados si se

trata de proteger un plano inclinado y aún puede ser que deba usarse un faldón del mismo material, lastrado con cadenas, para proteger la parte frontal.

Los bloques formados por el hormigón endurecido pueden sujetarse entre sí por medio de barras de acero de armaduras, que se introducen en los sacos cuando la masa todavía está pastosa. Por el mismo procedimiento se puede mantener el alineamiento correcto de la primera hilera de sacos, que se clavarán con punteros de acero, con anterioridad a su llenado y, después, se podrá conservar la alineación hasta completar la estructura.

La firma promotora del empleo de hormigón en sacos "Fabriform", CONSTRUCTION TECHNIQUES, INC., de Cleveland Ohio. 44120 (U.S.A.) "CONTEM", expone numerosos ejemplos de aplicaciones por ella realizadas, y, entre ellas, las siguientes.

a) Un terraplén abierto en una roca equisotosa, meteorizada, para el paso de la línea principal de la Pacific Unión, con el fin de evitar desprendimientos peligrosos, se estabilizó con una estructura de sacos de hormigón "Fabriform" con 80 m de longitud y 6 m de altura.

b) El frente de una área industrial a la orilla de uno de los Grandes Lagos, expuesto a acción de las olas, las cuales deterioraron los estratos pizarrosos emergentes en la orilla. Con

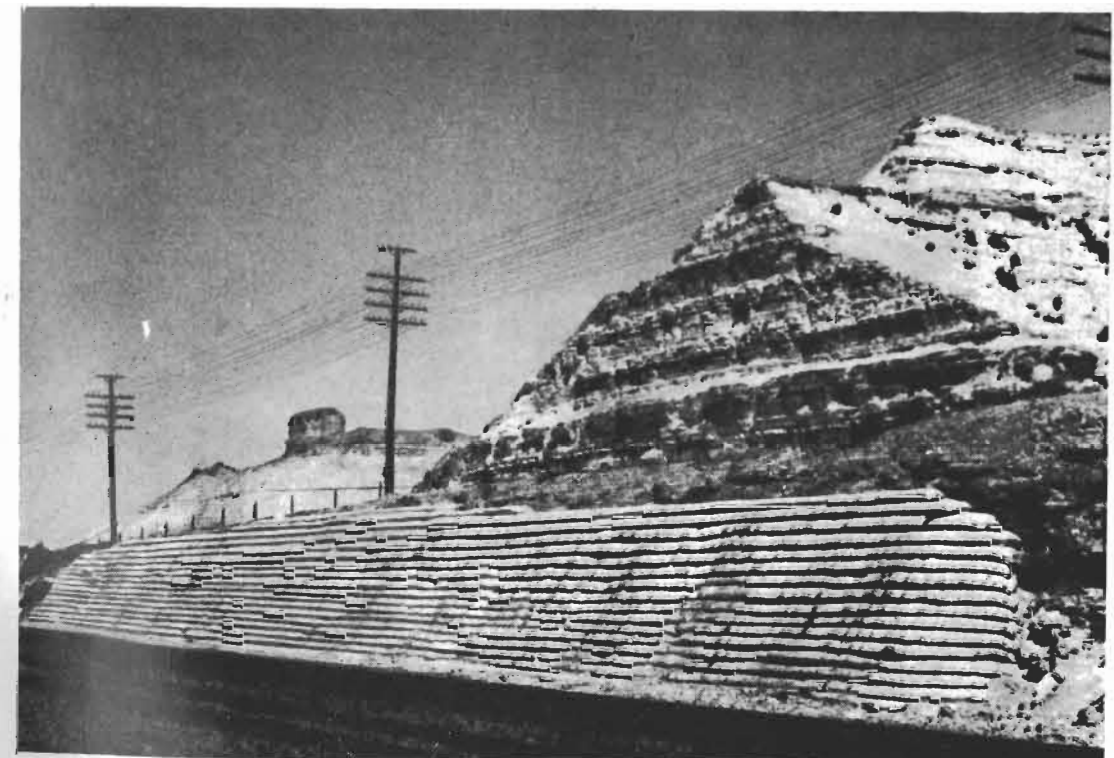


Figura 2. — Estabilización de un terraplén con una estructura de sacos de hormigón.



Figura 3.— Un aspecto de los daños causados por una riada en el muro de protección de un puente sobre el East Bureau Creek en Illinois.

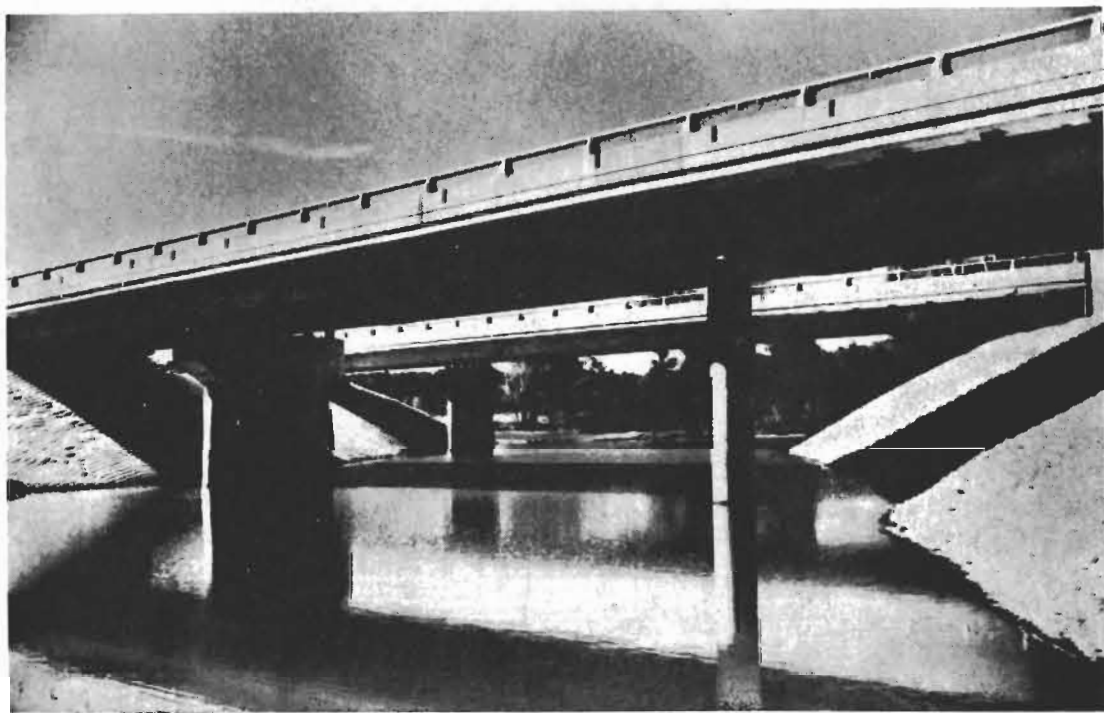


Figura 4.— El mismo puente tras la reparación de los muros de protección mediante el sistema que describe este artículo.

la aplicación de unos sacos de hormigón "Fabriform", formando una terraza semicircular con poco más de 4 m de altura, se consiguió, económicamente, una protección de la línea costera.

c) Bajo el puente de Interstate se estabilizó la pendiente del río mediante la aplicación de esteras para el control de la erosión "Fabriform", una rama de los sacos de hormigón "Fabriform", construyéndose con dicho material una presa que reduce al mínimo la turbulencia del fondo.

d) En los acantilados de la costa del Pacífico, para protección de los contrafuertes de dos edificios residenciales de la acción erosiva del oleaje, se construyó una protección con seis hiladas de sacos de hormigón, sobre una longitud de 34 m y una altura de 3,7 m.

e) En el rompeolas de Alderney, la irregularidad de los sedimentos y la fuerza del mar ha originado numerosas cavernas en una obra que se terminó en 1864 a lo largo del Canal de la Mancha. Para taponar las irregulares cavernas que se formaron se emplearon sacos de hormigón "Fabriform" colocados, antes de su llenado, con una protección de mallazo de acero.

f) Con bloques de hormigón fundido en sacos "Fabriform" se construyó un dissipador de energía de la corriente de un canal de drenaje de la Autoridad Regional de Hamilton - Wentworth, Ontario, Canadá. Los bloques se fundieron apoyados en contrachapeados de madera para asegurar su correcto alineamiento, taladrándose luego el hormigón endurecido para implantarles unos tubos de desagüe.

g) Tras copiosas lluvias, la torrencial riada del East Bureau Creek, en el centro de

Illinois, desgarró por su base el muro en plano inclinado para protección de un puente doble que lo cruza, arrancando grandes secciones de hormigón y dejando sin protección contra los efectos erosivos el muro antedicho (Fig. 3).

Para reparación de los daños y salvaguarda del puente y su área de erosiones posteriores el Departamento de Transportes del Estado de Illinois, autorizó la instalación inmediata de 3.700 m² de elementos, para el control de la erosión para la reconstrucción de los maltratados muros protectores.

Para ello se fabricaron formatos especiales de tejido de nylon, con punzones filtran-tes (filter point) convenientemente espaciados. Después de bombeado el hormigón, la superficie de los formatos de nylon por razón de su textura, adquiere la apariencia de guijarros, entre los cuales aparecen los punzones filtran-tes descargando la sobrepresión hidrostática del terreno (Fig. 4).

En las cercanías del puente la protección de "Fabriform" comienza con su empotramiento en una zanja abierta en el extremo del talud y se extiende por debajo del cauce del arroyo y se levanta en la parte opuesta, de modo que prácticamente, forma un pavimento que abarca la totalidad de la sección del curso de agua.

Para servicios especiales en dicho proyecto se contó con la colaboración de "Midwest Regional Office of Intrusion - Prepakt Inc.", de Cleveland, Ohio.

Para informaciones complementarias hay que dirigirse a Construction Techniques, Inc. 11900 Shaker Boulevard - Cleveland Ohio, 44120. Telex 98 5674.

7º Congreso Internacional de la Química de los Cementos

TEMAS VI Y VII. DE LAS PASTAS DE CEMENTO Y DE LOS HORMIGONES

Por ALBERTO VIRELLA BLODA, Ingeniero Químico

Dos temas estrechamente unidos se trataron con cierta premura en las sesiones de la tarde del 3 de julio y en la mañana del 4 del mismo mes, o sea, en las dos últimas sesiones de trabajo, puesto que, el VII Congreso se clausuró en una sesión especial y en la tarde del propio día 4 de julio de 1980.

Quizá la premura, común denominador de ambas sesiones, no se debió tanto a la prisa por terminar, como al abundante material informativo que se acumuló en ambos temas. Así, el tema VI con el título, *Pastas de cemento, reología y evolución de las propiedades y estructuras*, bajo la presidencia de S. DIAMOND (U.S.A.), subdividió sus ponencias en cuatro subtemas, presentados por R. HELMUTH (U.S.A.). "Reología de las pastas frescas de Cemento Portland" (1). P. J. SEREDA y col. (Canadá): "Formación y desarrollo de las estructuras de las pastas de cemento endurecidas" (2) F. H. WITTMAN (Holanda): "Propiedades de la pasta de cemento endurecida" (3) y V. I. CHEINE (URSS): "Modelos mate-

máticos del cambio de propiedades de la pasta de cemento endurecida" (4). Se admitieron para publicación 39 comunicaciones y se exhibieron 29 posters. Encabezaba la relación de unos y otros la Unión Soviética, con 14 comunicaciones y 17 posters, siguiendo el Reino Unido, con 5 comunicaciones y 5 posters, Francia y USA con 4 comunicaciones, Italia, Checoslovaquia, Nueva Zelanda y Japón con 2 comunicaciones, más un poster para Checoslovaquia y Japón. Alemania Federal estuvo presente con una comunicación y tres posters, Dinamarca una comunicación y un poster. Bulgaria e Israel (y otros) con una comunicación y la República Democrática Alemana con un poster.

El tema VII; *Reacciones entre superficies del cemento y los áridos en el hormigón o en el mortero*, bajo la presidencia de IDORN (Dinamarca), también se dividió en dos subtemas. "Adherencia", presentado por J. C. MASO (5) y "Durabilidad" del Dr. J. CALLEJA (6).

Se admitieron 26 comunicaciones y se presentaron 19 posters, o sea, para el conjunto de ambos temas un total de 113 comunicados, además de las seis subponencias, configurando una gran cantidad de información sobre los temas más directamente ligados al empleo de los cementos en sus variadas aplicaciones.

1. Reología de las pastas frescas y de los hormigones.

La importancia de la reología de las pastas de cemento, entendida como el estudio de los fenómenos de derrame y transporte de las mismas, se ha visto recientemente magnificada por la extensión del hormigón preparado a todas las partes del mundo. Esta claro que la reología del hormigón no es lo mismo que la reología de las pastas y, todavía, existen grandes diferencias entre el hormigón fluido y el hormigón seco, como dijo J. P. BOMBLÉD (7) en una intervención verbal.

El propio ponente R. A. HELMUTH (1), afirmaba que, aun cuando se haya progresado algo en la comprensión y desarrollo de la relación existente entre la reología del hormigón y la de la pasta de cemento, se da el caso de que si para una determinada consistencia en la pasta, la cantidad de agua necesaria aumenta con la finura del cemento, no ocurre lo mismo en los hormigones, por la menor interferencia de las partículas de cemento de mayor tamaño en la movilidad de los gránulos de arena en el seno del mortero.

Los ensayos de consistencia de los morteros o de los hormigones se basan en la medida de la deformación, bien sea debida al propio peso, bien producto de las deformaciones acumuladas por efecto de repetidos impactos y vibraciones y de la propia gravedad, pero estas medidas son, hasta cierto punto, arbitrarias y no guardan una relación numérica bien definida con propiedades físicas tales como la viscosidad y el "yeld value" (esfuerzo cortante mínimo para el flujo). La medida del asiento del hormigón (*slump test*) se presenta como una equivalencia al *yeld value*, y el factor de compactación y el ensayo de Vebe como medidas de la viscosidad aparente, pero está visto que estas determinaciones unipuntuales no suministran resultados fehacientes, para la medida de la plasticidad y de la docilidad de los hormigones bajo condiciones variables, que no son las mismas, por ejemplo, antes y después de empezado el flujo.

LEGRAND (8) hizo notar que la mayor parte de las comunicaciones sobre la viscosidad de pastas o morteros de cemento se refieren a resultados de ensayos mediante el viscosímetro de cilindros coaxiales, pero lo difícil es la interpretación de dichos resultados, de donde provienen importantes diferencias que se explican por las alteraciones que sufre la suspensión de cemento durante el tiempo que dura la experiencia. Recordemos, con NAGATAKI (11), que el aparato consiste en un cilindro interior con un diámetro de 100 a 120 mm y una cuba cilíndrica, coaxial, exterior, con diámetro de 160 a 180 mm, de lo que resulta un espacio anular con 30 mm de distan-

cia entre cilindros que se llena del material a ensayar. A la cuba exterior se le puede imprimir una velocidad de rotación de 0 a 100 rpm mientras que el cilindro interior está suspendido por un hilo de torsión. Para cada velocidad de rotación el cilindro interior se mueve hasta una posición de equilibrio. Los fluidos plásticos, tales como las pastas de cemento, dan una curva característica en la representación gráfica del ángulo de arrastre del cilindro interior en función de la velocidad angular de la cuba exterior que no pasa por el origen, sino por un punto A situado a la distancia OA del origen y que representa el mencionado *yeld value*, límite interior del esfuerzo cortante. Superado este límite, la suspensión se comporta como un fluido plástico de viscosidad constante (mientras no se dé el espesamiento que provoca el principio del fraguado).

1.1. Tixotropia

El fenómeno de la tixotropia se da en los fluidos plásticos y consiste en la disminución de la viscosidad por efecto de una agitación continuada. La rigidez inicial, debida a una cierta orientación, de las partículas, se altera por la rotura de dicha red rudimentaria. En las pastas de cemento la tixotropia se manifiesta por una sensible disminución de la viscosidad según aumenta la velocidad de rotación del cilindro exterior. La representación gráfica, superado el *yeld value*, ya no es una línea recta, sino una curva con ángulo de inclinación cada vez más próximo a 90°.

La tixotropia debiera ser un fenómeno reversible, lo que no se da en el caso del cemento (pastas o morteros), Operando con el viscosímetro de cilindros coaxiales, algunos autores han observado que ciertas pastas inicialmente antitixotrópicas, después de 30 a 45 minutos de agitación, se vuelven tixotrópicas, pero si se prosigue con la agitación por un mayor plazo de tiempo, la misma pasta deviene fuertemente antitixotrópica. El interés de esta fenomenología estriba en lo que pueda resultar en la práctica tanto en el amasado de los hormigones como en su transporte en camiones agitadores y su vibrado en la puesta en obra. El amasado en mezcladores mecánicos vigorosos, por períodos de duración suficiente (5 - 10 minutos) a veces intermitentemente produce pastas que fluyen correctamente. Una mezcla impropia, o demasiado larga, vuelve la pasta más espesa. Una pasta amasada tan sólo durante 30 segundos, o menos, puede presentar un fraguado relámpago después de la mezcla, que se elimina fácilmente por una agitación de un minuto de duración. Puede ser que esta agitación no sea suficiente para eliminar el falso fraguado, debido a la formación de cristales de yeso a partir del semihidrato que pueda

estar presente en el cemento. Dichos cristales forman una estructura débil que puede romperse por medio de un reamasado.

1.2. Plastificante.

Si, como vimos, la plasticidad se puede alterar por agentes mecánicos, también puede modificarse por medio de aditivos con propiedades plastificantes, o sea, por agentes químicos. Sin duda, los sulfatos, y muy particularmente las diversas variantes de **sulfato cálcico** han sido los primeros modificantes de la reología de las pastas de cemento. Según J. P. BOMBLED (7), la acción de los sulfatos sobre los clinkers es múltiple: **floculantes**, **colmadores**, **reductores**, de la **solubilidad** de los aluminatos y **aceleradores** de la hidratación de los sulfatos (figuras 1 y 2). En las pastas frescas el **yield value** es el resultado de los enlaces de los floculados y de la hidratación precoz y según el predominio de unos u otros efectos, los sulfatos ejercerán un papel de **fluidificantes** (fluidificación aparente), o de **rigidificantes**. Algunos autores, como RAMACHANDRAN (2) y el propio HELMUTH (1) se refirieron a la importancia de los **floculados** en la fase inicial de la hidratación y de la necesidad de profundizar en el conocimiento de la distribución de grumos hidratados y de poros. Para S. MINDESS (9) la formación de grumos de floculados es de gran importancia para las propiedades del hormigón.

Ya, IVANOV (10) se refiere a la influen-

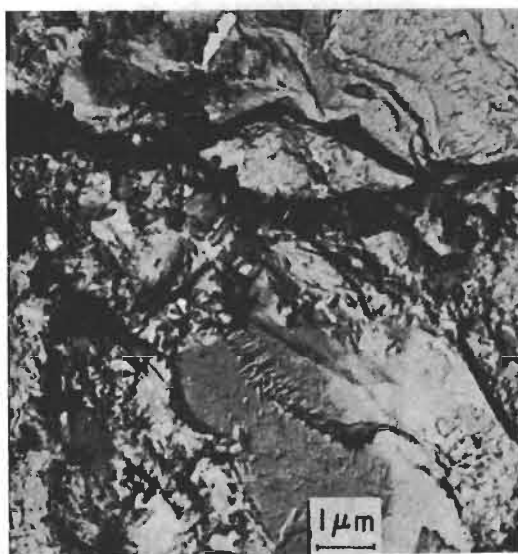


Figura 1. — Microestructura de una pasta de $SC_3 - Al_2O_3 - yeso$, a las 24 horas del amasado (A/C = 0,5). De I. D. CIACH y E. G. SWENSON, en "Cement and Concrete Research" (1971), vol 1 n° 3.



Fig. 2 — Microestructura de una pasta de $SC_3 - Al_2O_3 - yeso$, atacada con glicol durante 1/2 hora, a los 6 meses de edad. De T. D. CIACH, y E. G. SWENSON, en "Cement and Concrete Research" (1971), vol. 1 n° 3.

cia de uno de los aditivos inorgánicos más conocidos: la **ceniza volante**. Su incorporación al cemento afecta considerablemente al comportamiento reológico de las pastas. Con cenizas volantes aumenta el **yield value** y la viscosidad, pero este aumento no es proporcional al contenido de cenizas. No se puede, pues, decir que el aporte de cenizas pueda considerarse como un plastificante, sino todo lo contrario.

En general, fueron los **plastificantes orgánicos** los que merecieron mayor atención de los congresistas G. M. TARNAROUTSKI (11) y sus colaboradores todavía se interesaron por los clásicos **ligosulfatos**. Su efecto plastificante parece ser que aumenta cuando su peso molecular pasa de 14.000 a 16.000. El efecto aumenta cuando disminuye el peso molecular o cuando disminuye la razón molecular de los grupos sulfo y metoxilos. En concentraciones altas reducen el A/C.

Los aditivos **reductores de agua** se debatieron con algún interés. En la ponencia de R. A. HELMUTH (1), se clasifican en dos grandes grupos:

Tipo M: Aditivos de **melamina formaldehído sulfonato**.

Tipo N: Aditivos de **naftaleno formaldehído sulfonato**.

También se mencionaron los **aditivos complejos polifuncionales**, los cuales no son otra cosa que mezclas de varios aditivos.

El efecto dispersante de los aditivos de

los tipos M y N es muy superior al obtenido con el lignosulfonato y los gliconatos, si bien, para cementos de poca finura de molienda, la diferencia no es tan notable. Las adiciones provocan la defloculación y, en ausencia de grumos floculados, las curvas de reología se aproximan a las del cemento anhidro. S. NAGATAKI (15), en ensayos con el **superplastificante Mighty 150**, afirma que con 0,5% de este producto, la pasta fluye tal como si fuera newtoniana, o sea, con un **yield value nulo**. Una menor concentración ya no produce efectos tan notorios.

Tenemos, pues, el problema de la **concentración óptima** para cada plastificante y para cada tipo de cemento. El problema apareció, incluso, en la sesión de preguntas pero la respuesta de la mesa fue más bien evasiva, escudándose en la necesidad de dar tiempo y seguir investigando hasta poder llegar a conclusiones definitivas. Para R. LAPASIN (12) y colaboradores una vez alcanzado el valor mínimo de la viscosidad de una pasta, es inútil aumentar la proporción de plastificante. Con un reductor de agua a base de lignosulfatos, la viscosidad aumenta de nuevo; para un superplastificante permanente constante, en ambos casos, el aumento de la concentración es inútil cuando no contraproducente. COLLEPARDI (13), y colaboradores efectuaron experiencias con naftaleno sulfonato. La adición del monómero no produce cualquier efecto significativo pero la del polímero, en la proporción de 0,25 a 0,5% del peso del cemento produce un buen efecto dispersivo, sin efectos retardantes sobre la velocidad de hidratación. Una mayor proporción aumenta la fluidez en forma inapreciable.

A. M. PAILLIERE y Ph. BRIQUET (14) efectuaron ensayos comparativos con diversos tipos de **resinas sintéticas fluidificantes** para estudiar sus efectos en la reología y la deformación de las pastas de cemento antes y durante el flaguado. Su conclusión les permite diferenciar claramente los productos fluidificantes (sulfonatos de melamina y de naftaleno) de los tensoactivos tal como los lignosulfatos, hallando que la eficacia de los dichos productos va estrechamente ligada al momento de su introducción en la mezcla de cemento-agua-áridos. En general su **introducción diferida** (30 minutos o más después de la preparación del hormigón) presenta un efecto fluidificante muy elevado, lo que los separa claramente de los lignosulfatos.

2. Composición del cemento y su hidratación

Según el ponente HELMUTH (1), en las primeras fases de la hidratación sobre la plasticidad de la pasta ejercen mayor influencia la finura del cemento y la relación A/C que la

composición química del conglomerante, si bien, como se sabe, el contenido de **alcalis** y de **AC**, aumentan significativamente las necesidades de agua de la pasta. Cuando la pasta no lleva ningún aditivo, la viscosidad aparente aumenta gradualmente y con cierta rapidez. Generalmente se introducen retardantes a fin de evitar un entumecimiento antes del tiempo necesario para la puesta en obra, con importante incidencia en las primeras reacciones de hidratación. Pero aquí ya entramos de lleno, en el subtema VI, del cual fueron ponentes, P. J. SEREDA, R. F. FELDMAN y V. S. RAMACHANDRAN (2), del Consejo Nacional de Investigaciones del Canadá (Ottawa).

Para los ponentes es útil conservar el término **ligante** —que nosotros traducimos generalmente por conglomerante— porque subraya la importancia de los ligamentos que existen en un material a base de cemento. El problema estriba en saber cuáles son los tipos de ligamentos presentes en la pasta de cemento. Se ha discutido durante mucho tiempo sin grandes progresos, porque las aplicaciones prácticas siempre se basaron en la resistencia, y la medición de las fuerzas ligantes sigue siendo un asunto arduo y difícil. Los investigadores desde siempre se han dividido sobre si la **naturaleza de los enlaces** era de orden físico o de orden químico, SEREDA, estudiando el efecto de la **humedad** relativa sobre el módulo de elasticidad advirtió que éste aumentaba con el grado de humedad, en contradicción de anteriores opiniones sobre la formación de la estructura sólida por el encolado del gel. Desde luego el comportamiento de las pastas de cemento es muy particular y en nada se parece al de otras sustancias inorgánicas, por ejemplo el vidrio poroso, cuyo módulo de elasticidad se mantiene constante para cualquier grado de humedad relativa entre 0 u 100 °C. Es muy probable que el agua penetre en las zonas intraparticulares de las pastas de cemento y allí actúe como reforzante de los enlaces, mientras que su influencia en las zonas de contacto son prácticamente nula, conclusiones éstas que sirvieron de un modelo para la pasta de cemento hidratado propuesto por FELDMAN y SEREDA (16).

En la práctica, la resistencia de los enlaces propiamente dicha, tiene poca significación, ya que el único valor que se utiliza en los cálculos es la **resistencia del material**, medida por métodos de ensayo sobradamente conocidos. Se ha tratado de determinar la resistencia de los enlaces por cálculo partiendo de la resistencia del material, y la superficie de contacto entre partículas. En el caso del gel de cemento, formado, por partículas submicroscópicas con una considerable superficie de contacto (del orden de 1.000 m²/g), se obtendrían

resultados muy pobres, sumamente dudosos y de escasa utilidad.

En la comunicación de MITUZAS y sus colaboradores (17), considerando, la hidratación del cemento en su conjunto, presentan un modelo según el cual, la fase sólida del cemento portland hidratado está formado por:

T-gel (25 - 40%) — contiene de 50 a 60% de la sílice presente en el cemento en forma de orto y piro silicatos cálcidos hidratados.

Complejo X formado por un núcleo de $AC \cdot hSiO_3Ca$ (n = 1, o 3) alrededor del cual se condensan metasilicatos y silicoaluminatos cálcicos.

$Ca(OH)_2$ (15 - 20%).

los cristales de hidrato cálcico, interfiriéndose con los del Complejo X forman el esqueleto de la pasta endurecida, rellenándose sus vacíos con el T-gel CHAITERJI (18) concuerda con que tan solo el hidrato cálcico y la etringita forman cristales bien caracterizados y discute la hipótesis de la existencia de enlaces químicos entre los componentes del cemento hidratado. Para la formación de una estructura tridimensional estable, las partículas con enlaces químicos debieran formar una red espacial suficientemente densa. Para que se produzca el enlace es necesario que se pueda producir la yuxtaposición de los átomos e iones apropiados. Calculando matemáticamente la probabilidad de que esto se produzca resulta que la cantidad de enlaces químicos posibles desempeña un papel poco importante en la configuración de las propiedades del cemento.

3. Propiedades de la pasta de cemento endurecida.

3.1. Porosidad

La ponencia del F. H. WITTMANN (3) sobre el subtema VI-2 se ocupa de la estructura de la pasta de cemento endurecida y de las propiedades mecánicas y físicas de la misma. Como se dice en ella, una de las finalidades de la ciencia de los materiales es establecer la relación entre la estructura y las propiedades.

En la estructura de la pasta de cemento endurecido hay que distinguir tres componentes principales: fase sólida, poros y agua. La fase sólida esta formada por productos de hidratación y un resto de partículas de clinker sin hidratar. Los poros, de dimensiones muy variables ocupan gran parte de volumen de la pasta hidratada. Normalmente, los poros están parcialmente llenos de agua.

Se concede gran importancia al tamaño y a la distribución de los poros en el seno de una pasta de cemento (figuras 3 y 4) y de ello

ha surgido una nueva técnica, la llamada **porometría** con el fin de determinar los parámetros que caracterizan un sistema poroso, tales como la superficie interna de los poros, el volumen total de los poros en razón del volumen de la pasta y el radio hidráulico.

Para el estudio de los poros existen técnicas que varían según sus tamaños. Los poros de tamaño superior a los 10 μm pueden



Fig. 3 — Muestra de hormigón poroso, no carbonatado obtenida en el microscopio electrónico de barrido. De ZDENEK SAUMAN, en "Cement and Concrete Research" (1971) vol. 1 n° 6.



Figura 4 — Muestra de pasta de cemento hidratada (A/C = 0,6) a los 28 días a 24 °C. Las flechas indican poros en la estructura compacta de la pasta. De SIDNEY DIAMOND, en "Cement and Concrete Research" (1972), vol 2 n° 1.

observarse y contarse por medio del microscopio óptico. Entre los 10 μm y los 10 nm (1 manómetro = 0,001 μm) se suele emplear el método de la penetración de mercurio y para poros con un diámetro medio de menos de 20 nm (< 0,02 μm) se usan diversos métodos basados en la absorción, aunque se reconozca un grado de incertidumbre en los resultados obtenidos, así por ejemplo, la medida de la porosidad obtenida por absorción de agua, suele dar resultados mayores que los obtenidos por métodos de insuflación gaseosa de helio, nitrógeno, butano, etc. o el más moderno y sofisticado de la difusión casi elástica o inelástica de los neutrones.

Para WITTMANN (3) la mayor parte de las propiedades mecánicas de las pastas de cemento son función directa del sistema poroso, por lo que debiera establecerse una clasificación por categorías de conformidad con su distribución porométrica. B. K. NYAME y J. M. ILLSTON (G.B.) (19) y MEHTA y D. MANMOHAN (USA) (20) estudiaron la relación existente entre la porosidad y la permeabilidad de una pasta en función de la edad de las probetas (tiempo de hidratación) y de la relación agua/cemento. Claro está que la permeabilidad aumenta con la razón A/C. A más agua mayor permeabilidad, disminuyendo con el tiempo de hidratación. El volumen de los poros aumenta, por consiguiente, con el valor A/C aumento acompañado por el radio de los poros. En los histogramas de distribución de poros por tamaños de unas frecuencias máximas en consonancia con lo antes expuesto:

A/C = 0,23	moda: 0,0335 μm de radio
A/C = 0,47	0,0390 μm de radio
A/C = 0,71	0,1010 μm de radio
A/C = 1,00	0,3410 μm de radio

Ambos equipos de investigadores midieron la porosidad por medio de aparatos con intrusión de mercurio, y en último análisis, coinciden en una relación logarítmica, entre la porosidad y la permeabilidad, así como en la gran importancia que hay que dar a la razón A/C. He aquí algunos datos tomados de P. K. MEHTA y D. MANMOHAN.

Por los valores expuestos, se puede observar cómo la permeabilidad disminuye en función exponencial con la edad o grado de hidratación de una pasta, pero no es un dato concluyente el conocimiento del volumen de los poros para la predicción de la permeabilidad. Es el caso de la pasta con A/C = 0,8 a un año, con 0,503 de porosidad, es mucho menos permeable que la pasta con A/C = 0,7 a 28 días con 0,470 de porosidad.

3.2. Resistencia por compresión

En general, los investigadores han llegado a notables coincidencias en sus interpretaciones de la relación funcional entre la porosidad y la resistencia a la compresión de las pastas de cemento, partiendo de un punto de porosidad elevada al cual le corresponde una resistencia nula y resistencias de 550 a 950 kp/cm^2 . Pero, desde luego la resistencia a la compresión de una pasta también depende de otros parámetros además de la porosidad SAUMAN (21) y sus

Características de las pastas de cemento preparadas con A/C variable (20)

	Razón A/C						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Densidad aparente (g/cm^3)							
28 días	1,89	1,65	1,50	1,26	1,18	1,09	0,91
90 días	1,88	1,70	1,57	1,33	1,24	1,12	0,99
1 año	1,94	1,75	1,57	1,33	1,24	1,12	0,99
Volumen de los poros (cm^3/g)							
28 días			0,296	0,417	0,470	0,531	0,713
90 días	0,147	0,196	0,253	0,368	0,414	0,501	0,622
1 año	0,130	0,184	0,247	0,362	0,409	0,503	0,619
Grado de hidratación (%)							
28 días	54,59	61,93	64,22	64,22	64,22	65,14	66,06
90 días	57,34	64,68	71,10	73,85	75,23	75,23	75,23
1 año	64,68	71,56	75,23	77,26	79,82	79,82	79,82
Permeabilidad ($\times 10^{11} cm/s$)							
28 días	1,0	2,0	3	23	220	963	4,100
90 días	0,5	1,0	3	3	18	77	175
1 año	0,4	1,0	1	2	14	45	76

colaboradores retomaron los antiguos temas de la influencia de la composición del clinker y de la finura de molienda, quizá con la originalidad de las composiciones y la granulometría, basarse en resultados de la observación microscópica y no química en un caso y sin acudir al aparato de permeabilidad o medios de sedimentación en el otro.

Muestra	Resist. compr.		Composición mineralógica			% de partículas medidas			
	8 h	7 d	SC	SG	AC	4,5 μ	4,6 a 11,5 μ	11,6 a 23,0 μ	23,1 a 36,1 μ
1	80,5	113,6	72,2	12,4	4,5	8,1	20,1	19,1	17,3
2	78,7	110,5	73,5	9,8	8,8	2,5	23,8	30,0	18,1
3	76,6	107,6	69,1	13,2	6,2	3,3	22,5	24,1	19,7
4	75,8	105,3	69,6	8,6	14,6	8,3	21,1	22,6	20,2
5	74,4	103,1	60,6	16,8	10,6	6,1	24,4	19,3	17,4
6	71,7	101,0	74,0	9,1	8,6	4,3	17,0	20,5	15,8
7	66,4	101,1	65,0	16,2	4,4	7,9	24,0	22,1	18,0
8	65,6	92,6	57,5	26,5	14,3	9,7	21,2	23,5	16,9
9	52,8	82,6	59,2	23,1	11,9	8,1	22,5	24,1	19,7
10	51,1	80,9	59,9	22,6	10,3	9,2	25,2	24,8	20,0

Es fácil advertir que las resistencias más elevadas coinciden con los materiales con mayor proporción de SC_3 o alita lo cual concuerda con los conceptos tradicionales sobre este particular. Los demás componentes mineralógicos e inclusive la granulometría de los cementos parecen tener una influencia menos relevante. Quizá expliquen alguna anomalía, como el caso de la muestra 6, con un máximo de SC_3 pero inferior en resistencia a otras cinco muestras con menos alita. Esta muestra parece tener alguna deficiencia en su finura. El total de partículas con menos de 36μ es de 57,6% mientras que en la muestra 1 alcanza 64,6%.

A. Ph. POLAK y V. V. BABKOV (22), en un estudio más bien teórico y matemático, llegan a la conclusión de que la resistencia de la pasta de cemento endurecido viene determinada por la resistencia de los cristales individuales de los hidratos, ligados en sus puntos de contacto, y también por la porosidad, lo cual, desde luego, es una posición correcta que aúna dos criterios de aparente divergencia. Por esta causa, las ecuaciones presentadas por S. POPOVIC (33), para prever la resistencia de una pasta a una edad determinada, generalmente en función de los componentes potenciales determinados según las fórmulas de BOGUE, adolecen de la falta de un factor indicativo de la porosidad de la pasta ALEXANDER (23), por su parte, introdujo en su fórmula la superficie específica, la cual, en cierta medida, puede influir en la porosidad de la pasta.

Las pastas de cemento se prepararon todas a la misma relación $A/C = 0,32$, curadas al vapor una hora después del amasado, a la temperatura de $80^\circ C$ y mantenidas luego en medio isotérmico. Los resultados obtenidos ordenados por orden decreciente de resistencias, se extractan según sigue:

DIMITRIEV y sus colegas (24) resucitaron el antiguo problema de los gérmenes de cristalización (25), que se incorporan al cemento con el fin de activar el comienzo de la formación de los principales compuestos cristalinos, como son la tobermorita y la etringita. Con una adición de gérmenes del orden de 10% se pueden obtener cementos de alta resistencia inicial, con resistencia a las 24 horas prácticamente el doble de la que presenta el cemento sin adición.

Puesto que las propiedades mecánicas van ligadas a la porosidad de las pastas, reduciendo ésta por medios de artificio se podrán alterar sustancialmente. Una forma de reducir los poros de una pasta es mediante su metaacrilato de metilo, las resinas epoxi, el azufre y otros (fig. 5). En los ensayos de impregnación sobre pastas de cemento portland o de mezclas de cemento y sílice autoclavadas, se ha conseguido reducir el volumen de los poros a menos de 3% del volumen de la muestra. Cualquiera que sea el material impregnado, el resultado es el aumento del módulo de elasticidad de la pieza impregnada. Se han realizado numerosas pruebas de impregnación con metacrilato de metilo, solo o mezclado con acrilato de n-butilo en distintas proporciones. El butil-n-acrilato proporciona mayor ductilidad al agente impregnante, y el metacrilato de metilo sin mezcla da mayor resistencia. Alterando las proporciones se pueden adaptar las propiedades del material a las exigencias de cada caso particular.

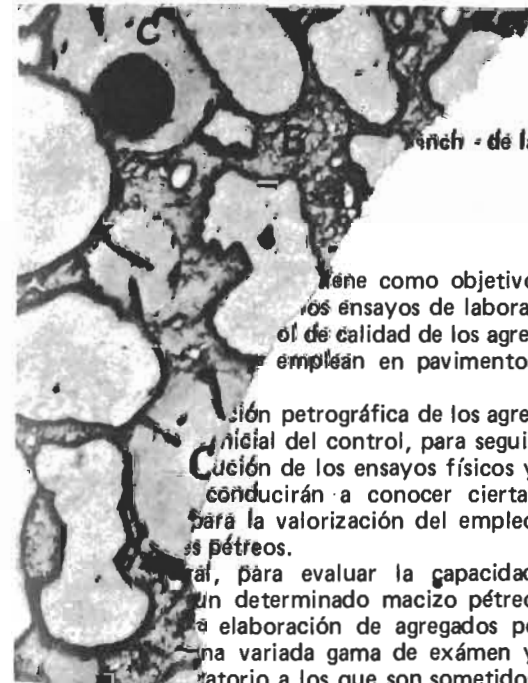
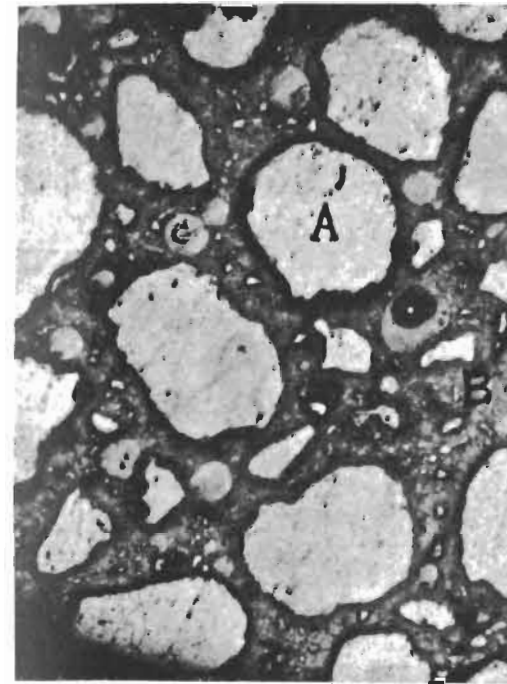


Fig. 5. — Microfotografías del mismo campo de los agregados pétreos: A — sin impregnación; B — impregnado con metacrilato de metilo. De JURAJ GEBAL, "Cement and Concrete".

3.3. Retracción. Las ponencias de la ponencia de la re-

capilar y la retracción por secado de las pastas de cemento endurecidas. Se sabe, por la espectrometría de rayos X, que la fase sólida del cemento endurecido está constituida por cristales y pequeñas partículas amorfas, que en su conjunto forman un llamado xerogel que constituye el esqueleto sólido de la pasta. Este xerogel es termodinámicamente inestable y el alto potencial acumulado en su superficie tiende a reducirse a un mínimo. La desecación y las variaciones de temperaturas son las causas de influencia del xerogel. MINDESS y sus colegas han subdividido la pasta en grupos estructurales comprendiendo la co hidratado y el componente mesoporoso superior silicatado. Las variaciones de la

sultantes de los ensayos de laboratorio y del examen de la naturaleza pétreo de los agregados son determinantes para la aceptabilidad o rechazo de su empleo.

El estudio del comportamiento en servicio de pavimentos construidos con determinados agregados pétreos, sean éstos de origen comercial o no comercial, conduce a evaluar las condiciones de estabilidad de su naturaleza pétreo y a conocer mejor su resistencia mecánica y su evolución en el tiempo, lo cual indicará en definitiva el rango de calidad en servicio.

Desde otra óptica, si bien es dubitativo y difícil en ocasiones la fijación de valores de exigencias de calidad de determinados agregados procedentes de yacimientos aluvionales, pragmáticamente se establecen en definitiva los límites de seguridad que se adoptan para el empleo de los mismos con el objeto de satisfacer la estabilidad general de la obra vial en la que son destinados esos materiales. Se determinan así las exigencias más comunes para la aceptabilidad de los agregados, en función de los distintos ensayos a los que ellos son sometidos y para el destino previsto en las obras.

La Dirección Nacional de Vialidad realiza continuos controles de calidad de agregados en las obras que construye en todo el país, siendo los resultados de los ensayos compilados y

plicar el fenómeno de la retracción de endurecimiento.

DORKIN y ZAITSEV (27), en cambio, examinaron la contracción química y la contracción por secado con independencia. La primera, por un método volumétrico basado en la inmersión de las probetas, totalmente selladas en toluol, con la misma densidad que el agua, pero totalmente insoluble en ella. La contracción por secado se determinó con probetas

conservadas en una cámara climatizada a una humedad relativa y a una temperatura de 5 °C sujetas en soportes metálicos. Las contracciones guardan una relación lineal con el tenor de AC₃. En la figura 5 se muestra la contracción por secado a 20 - 30 °C. Los exponentes de la ley de potencia que relaciona la contracción con el tenor de AC₃ son los que se muestran en la tabla siguiente.

Muestra	8 h	7 días	Exponente
1	80,5	113,6	6,4
2	78,7	110,5	6,4
3	76,6	107,6	6,4
4	75,8	105,3	6,4
5	74,4	103,1	6,4
6	71,7	101,0	7,4
7	66,4	101,1	65,0
8	65,6	92,6	57,5
9	52,8	82,6	59,2
10	51,1	80,9	59,9

Es fácil advertir que las resistencias más elevadas coinciden con los materiales con mayor proporción de SC₃ o alita lo cual concuerda con los conceptos tradicionales sobre este particular. Los demás componentes mineralógicos e inclusive la granulometría de los cementos parecen tener una influencia menos relevante. Quizá expliquen alguna anomalía, como el caso de la muestra 6, con un máximo de SC₃ pero inferior en resistencia a otras cinco muestras con menos alita. Esta muestra parece tener alguna deficiencia en su finura. El total de partículas con menos de 36 μ es de 57,6% mientras que en la muestra 1 alcanza 64,6%.

A. Ph. POLAK y V. V. BABKOV (22), en un estudio más bien teórico y matemático, llegan a la conclusión de que la resistencia de la pasta de cemento endurecido viene determinada por la resistencia de los cristales individuales de los hidratos, ligados en sus puntos de contacto, y también por la porosidad, lo cual, desde luego, es una posición correcta que aúna dos criterios de aparente divergencia. Por esta causa, las ecuaciones presentadas por S. POPOVICIS (33), para prever la resistencia de una pasta a una edad determinada, generalmente en función de los componentes potenciales determinados según las fórmulas de BOGUE, adolecen de la falta de un factor indicativo de la porosidad de la pasta ALEXANDER (23), por su parte, introdujo en su fórmula la superficie específica, la cual, en cierta medida, puede influir en la porosidad de la pasta.

ambas exposiciones dando a cada una de ellas la duración de un minuto. Los interferogramas obtenidos permiten detectar la aparición de las fisuras de que sean advertidas por cualquier otro método. Por un dispositivo idealizado por sus autores se puede determinar la resistencia a la fisuración de un hormigón en el caso de actuar conjuntamente la retracción y una sollicitación mecánica exterior. Se comprobó que tiene mucho menos importancia la composición propia del cemento que la naturaleza de las agregaciones (diatomita, escorias siderúrgicas pómez etc.).

3.4. Fluencia

La fluencia de las pastas y de los hormigones ha sido estudiada mucho menos que la retracción y, aunque se pueda atribuir a la microestructura del xerogel, los ensayos realizados nos indican que el proceso que siguen uno y otro fenómeno es radicalmente distinto. Por ejemplo, según BENTUR y colaboradores (9) en la fluencia no desempeña ningún papel el componente poros y, en cambio, tienen gran importancia el grado de polimerización de los filamentos. Parece que la dilatación interna aparece cuando se ha estabilizado el componente S-H poseyendo un alto contenido de polimeros. En las pastas jóvenes la dilatación interna es muy reducida y puede que hasta ser negativa. La formación de filamentos sobre la fluencia del hormigón, tal como se ha observado en la pasta de cemento se calienta con una adición de alita, la fluencia debida a la temperatura inicial, con resistencia menor que cuando se calienta el doble en carga. Los análisis efectuados para determinar las causas de este fenómeno.

Puesto que la fluencia, si bien la hidratación ligada a la porosidad mineral del cemento, siendo ésta por medios de reacciones significativas altera sustancialmente. Particularmente un aumento de la resistencia de una pasta es de modo que si la fluencia de metilo, las resinas y otros (fig. 5). En los ensayos de fluencia sobre pastas de cemento portland cuando sea cargada de cemento y sílice autoclavada, se puede reducir el volumen de la muestra a 3% del volumen de la muestra original, y a través de esta considerable reducción del módulo de la muestra impregnada. Se han realizado pruebas de impregnación con metilo, solo o mezclado con otros materiales en distintas proporciones para determinar la influencia de la proporción de impregnante, y el metacrilo en la mezcla da mayor resistencia. Se puede determinar la influencia del material impregnante en la resistencia del material a las exigencias de fluencia.

Vigilancia, alcance e interpretación del examen y ensayos de agregados pétreos para controles de obra en pavimentos asfálticos

Por el Doctor Santiago Hugo Saumench - de la Dirección Nacional de Vialidad.

I. — INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo señalar la concepción de los ensayos de laboratorio con vistas al control de calidad de los agregados pétreos que se emplean en pavimentos asfálticos.

La identificación petrográfica de los agregados es el paso inicial del control, para seguir luego con la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos que conducirán a conocer ciertas características para la valorización del empleo de los materiales pétreos.

En general, para evaluar la capacidad de empleo de un determinado macizo pétreo previsto para la elaboración de agregados pétreos, existen una variada gama de exámenes y ensayos de laboratorio a los que son sometidos los granulares. Así mismo se desarrollan investigaciones y estudios en el campo de los agregados pétreos para conocer su calidad y aptitud para la utilización en obras viales.

Debido a las eventuales heterogeneidades y anisotropías que pueden presentarse en las rocas de los frentes de ataque de las canteras, se requiere un especial y cuidadoso análisis de los agregados que se elaboran. Los valores re-

sultantes de los ensayos de laboratorio y del examen de la naturaleza pétreo de los agregados son determinantes para la aceptabilidad o rechazo de su empleo.

El estudio del comportamiento en servicio de pavimentos construidos con determinados agregados pétreos, sean éstos de origen comercial o no comercial, conduce a evaluar las condiciones de estabilidad de su naturaleza pétreo y a conocer mejor su resistencia mecánica y su evolución en el tiempo, lo cual indicará en definitiva el rango de calidad en servicio.

Desde otra óptica, si bien es dubitativo y difícil en ocasiones la fijación de valores de exigencias de calidad de determinados agregados procedentes de yacimientos aluvionales, pragmáticamente se establecen en definitiva los límites de seguridad que se adoptan para el empleo de los mismos con el objeto de satisfacer la estabilidad general de la obra vial en la que son destinados esos materiales. Se determinan así las exigencias más comunes para la aceptabilidad de los agregados, en función de los distintos ensayos a los que ellos son sometidos y para el destino previsto en las obras.

La Dirección Nacional de Vialidad realiza continuos controles de calidad de agregados en las obras que construye en todo el país, siendo los resultados de los ensayos compilados y

ordenados en la División Geología.

Finalmente los alcances de esta presentación apuntan a promover una nueva política en el campo de los agregados pétreos, lo cual redundará en un mejoramiento de la regularidad de calidad y de granulometrías para el aprovisionamiento de las obras viales, enmarcado en una cooperación y coordinación más estrecha entre la repartición, el contratista, y el canterista.

II. CONCEPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE AGREGADOS PETREOS

La idea de la ejecución de los ensayos de agregados pétreos es obtener una predicción de servicialidad de las obras en las que integran parte.

Los resultados suministrados por distintos tipos de ensayos efectuados en varias clases petrográficas, conduce a identificar y clasificar los agregados para prever el posible comportamiento en servicio en las obras en que intervienen cada uno de ellos.

La comparación de los criterios de comportamiento obtenidos para distintos agregados permite la elección de alternativas de empleo, a lo que va estrechamente ligado el análisis económico.

Los exámenes y ensayos de los agregados consisten en técnicas de laboratorio y permiten identificar y clasificar el tipo de roca estudiando los minerales que la componen, y además obtener valores cuantitativos a través de medir ciertos parámetros: físicos (absorción, peso específico), químicos (contenido de sales, minerales alterados), mecánicos (resistencia al desgaste a la abrasión, al impacto).

III. EL ESTUDIO E INVESTIGACION DE LOS AGREGADOS

Existe una copiosa bibliografía que se refiere a los métodos de identificación y ensayos de los agregados, Los programas de investigación tienden a desarrollar ensayos de laboratorio y de las propiedades fundamentales de las partículas pétreas sometidas a condiciones que semejan los estados naturales del ambiente donde serán empleadas. Se trata de llegar a determinar los límites de seguridad que implica el empleo de determinados agregados para las distintas clases de estructuras viales.

Aún si un agregado sobrepasara algo los límites de seguridad conocidos y exigidos para algún tipo de ensayos, pero si la capacidad potencial del agregado y las ventajas económicas de su empleo fueran favorables, pueden realizarse estudios, investigaciones y constataciones de la obra en que intervienen esos granulares dudosos. Los ensayos de constataciones podrían hacer probable el empleo de aquellos

agregados cuestionados, en el caso de que cumplieran un buen comportamiento en servicio.

Es siempre útil y conveniente correlacionar los resultados obtenidos en los ensayos que se efectúan para una misma clase de agregados, e interpretar los resultados. A la vez es necesario comparar los resultados de ensayos de otros agregados de la zona, del tipo y características semejantes al primero, y también con los de otros agregados de la misma zona, pero éstos últimos de tipo y características distintas a los anteriores.

Los exámenes y ensayos que más comúnmente se realizan en los agregados tienen como objetivo conocer:

- La naturaleza mineralógica mediante los métodos de observaciones de láminas delgadas de rocas al microscopio con luz polarizada. Eventualmente se efectúan análisis de difracción con rayos X, y ensayos con el método térmico - diferencial.
 - Peso específico y densidad aparente.
 - Absorción
 - Durabilidad.
 - Resistencia a la abrasión y al impacto.
 - Granulometría.
 - Estabilidad físico - química (particularmente en agregados provenientes de escorias de alto horno).
 - Homogeneidad granulométrica y de calidad.
 - Dureza.
 - Forma.
 - Limpieza de los granulares.
 - Cubicidad.
 - Tenor en agua.
 - Tenor del pasa tamiz 200
 - Equivalente de arena.
 - Materias orgánicas.
 - Identificación de alcalis.
 - Coeficiente del desgaste a la abrasión Deval. Relación húmedo/seco.
 - Identificación de materias deletéreas.
 - Determinación de partículas blandas.
 - Determinación de vacíos.
- Respecto a las investigaciones que se desarrollan en todo el mundo en el campo de los agregados, para conocer su calidad y su aptitud para el empleo en obras, pueden citarse las siguientes,
- Segregación.
 - Degradación.
 - Estado de conservación o de frescura y sanidad de los granulares rocosos.
 - Sustancias deletéreas.
 - Cambios de volumen por congelamiento.
 - Procedimientos de trituración para el mejoramiento de los agregados que se elaboran.
 - Características y condiciones de empleo

de los agregados para distintas capas de pavimento.

- Control de calidad en obras, y en canteras.
- Resistencia al deslizamiento en las superficies de calzadas.
- Métodos estadísticos aplicados al control y la aceptación de empleo de los agregados.
- Métodos de acopios.
- Comportamiento de los agregados en la construcción vial.
- Estudios e investigaciones petrográficas mediante observaciones de láminas delgadas de rocas con el uso del microscopio a luz polarizada.
- Determinación de la velocidad de propagación de ondas elásticas en un testigo de roca usando instrumental de medida de pulso ultrasónico
- Textura de la superficie de los agregados.
- Elasticidad.
- Susceptibilidad a la oxidación.
- Solubilidad, hidratación, carbonatación.
- Estudios que relacionan el ensayo de abrasión Los Angeles con el comportamiento en servicio de los agregados gruesos.
- Relación entre las características litológicas de los agregados y los ensayos de abrasión Deval, Los Angeles, Fragmentación Dinámica.
- Descomposición de los agregados.
- Fracturación y agrietamiento de las partículas.
- Estudios para evaluar la alterabilidad de los agregados.
- Estudios para evaluar la forma y el aplastamiento de las partículas.
- Estudios sobre resistencia al pulimento.

Ahora bien, cuando estamos en presencia de agregados pétreos provenientes de rocas homogéneas y de características isotropas, sean provenientes de canteras de rocas o de yacimientos aluvionales, cuyas características petrográficas son bien definidas y conocidas, lo mismo que sus valores físicos y resistencia mecánica, los controles de calidad que se realizan en obra son ágiles y sencillos.

Por el contrario, cuando el origen del material pétreo es heterogéneo y presenta una diversidad de tipos petrográficos, con variables indicios de material deficiente, es más difícil la puesta en valor de la aptitud de los agregados debido a la misma diversidad de los minerales que contiene. En tal caso los controles de calidad de los agregados deben hacerse con mayor frecuencia y detalle antes de su inmediata colocación en la obra.

IV. BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ALGUNOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Nos referiremos solamente a los ensayos de control que se realizan más comúnmente para apreciar la calidad de los agregados para su empleo en pavimentos asfálticos.

a) El examen petrográfico.

Los minerales que integran los agregados deben ser bien identificados y clasificados con la mayor precisión, con lo cual se evitarán errores en la apreciación de las propiedades y calidad del material, y también para predecir con mayor certeza el comportamiento en servicio.

Las rocas se clasifican de acuerdo a su origen en ígneas, sedimentarias y metamórficas. Cada tipo petrográfico que integra esos grupos se distingue principalmente por su composición mineral y química, y además por su característica textural y estructural interna.

Las rocas ígneas son las que provienen del enfriamiento del magma ígneo-fluido que existe en el interior de la tierra. Si el enfriamiento del magma fue lento y se produjo en el interior de la corteza se constituyeron las rocas ígneas llamadas intrusivas o plutónicas, caracterizadas por la cristalización de los minerales. Entre las rocas plutónicas se citan: granito, diorita, sienita, gabbro. En cambio si el magma al salir a la superficie se enfrió bruscamente ocurrió una vitrificación de los minerales constituyéndose así las denominadas rocas extrusivas o volcánicas, como ser pórfido cuarcífero, andesita, basalto.

Las rocas sedimentarias se constituyeron debido a procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación de otras rocas preexistentes (éstas pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico). Así se constituye: ripio, cantos rodados, tosca, arcosa, caliza, toba, tufita, arcilita, limolita, arenisca conglomerado, etc., materiales éstos que se depositan por distintos procesos que se estudian en sedimentología. Los sedimentos pueden tener además un origen mecánico (arena, arenisca), orgánico (caliza), piroclástico (toba), químico, (tosca).

Las rocas metamórficas son aquellas originadas por la acción de presiones y temperaturas. Todas las rocas de la corteza son susceptibles de sufrir la acción del metamorfismo, y aún las mismas rocas metamórficas pueden transformarse por nuevos procesos tectónicos regionales de gran escala. A una roca de origen ígneo le corresponde otra metamórfica (así un granito por un proceso metamórfico le corresponde un gneis), a una roca sedimentaria le corresponde otro tipo metamórfico (así una caliza se convierte por metamorfismo en

mármol). Las rocas metamórficas más comunes son: gneis, esquistos biotíticos, esquistos sericiticos, anfíbolita, filita, mármol, cuarcita, etc.

En la naturaleza se conocen más de 2000 minerales, pero podemos decir que las rocas pueden principalmente describirse en función de sólo 12 minerales, cuarzo, feldespato, mica, minerales arcillosos, clorita, gorablenda, augita olivino, calcita y dolomita, minerales de hierro, ferromagnesianos, sulfatos y sulfuros de hierro.

En la Dirección Nacional de Vialidad se realizan estudios petrográficos empleando instrumental y equipos adecuados para esos fines como ser: máquinas para cortar y pulir rocas, elementos para la preparación de láminas delgadas de rocas, microscopios de polarización para las observaciones petrográficas.

El examen de láminas delgadas de rocas al microscopio permite identificar las características de los minerales componentes, conocer la textura y estructura de la roca, la presencia de ella de alteraciones, el tamaño y forma de los granos, la microfisuración, la sustancia intersticial que existe entre granos, las inclusiones extrañas a la roca, ciertas sustancias deletéreas y perjudiciales; ciertos minerales que pueden ocasionalmente estar presentes en la roca y que son indeseables para la estabilidad física de la roca como ser yeso y anhidrita y algunos sulfuros de hierro como marcasita, pirita.

El examen microscópico de las rocas, teniendo en cuenta sus propiedades esenciales, dureza, coherencia, compacidad, tenacidad, las que a su vez dependen de la naturaleza de los minerales que la componen, y de las características texturales de la masa, conduce a agruparlas y clasificarlas en un rango de aptitudes.

b) Alterabilidad de los agregados.

La manera más sencilla de identificar las posibilidades de alterabilidad de una roca es realizar previamente un examen microscópico en lámina delgada de una muestra representativa, y luego someter a ésta a ensayos de laboratorio donde se reproducen aceleradamente ciertos fenómenos como congelamiento y deshielo, solubilidad, etc., que pueden conducir a la desintegración de los agregados.

No es suficiente enjuiciar a ciertos agregados por el motivo que ellos presentan síntomas de alteración, o que los valores resultantes de ensayos de laboratorio se acerquen peligrosamente a los valores límites exigidos para su empleo en las obras. Es también importante saber si en la masa pétreo evolucionarán los fenómenos de alteración a través del tiempo, lo cual puede representar una inseguridad para la estabilidad de la obra: A tal fin, y siendo aún

poco conocidas las innumerables variables que se presentan en los procesos de alteración, es conveniente reproducir ensayos en función del tiempo, y en lo posible analizar las características de los agregados puestos en servicio.

Es conocido que en las rocas ígneas básicas cuyos componentes minerales principales son ferromagnesianos, éstos pueden alterarse con mucha facilidad en presencia de alta temperatura y humedad, siendo la evolución del proceso de alteración aún más acentuado en climas tropicales y en definidos tipos de rocas.

Los fenómenos de alteración en los agregados suelen revestir variados aspectos que pueden conducir a:

- Quebrantamientos y desagregaciones de partículas debido a disoluciones.
- Expansiones que quebrantan y desagregan las partículas por fijación de agua en los productos de alteración.
- Desagregaciones en partículas que en su masa contienen productos de alteración diseminados algunas veces en forma de fibras, fenómenos que se producen por efecto del golpe de llama en los secadores industriales que elaboran materiales para empleo en carpetas asfálticas.
- Fenómenos "de sopa" que se pueden producir por vaporización del agua de los agregados en carpetas en caliente, y a partir de la presencia en las partículas de productos de alteración.

c) Los ensayos de desgaste a la abrasión

Entre los ensayos de laboratorio que se emplean para calificar la aptitud de los agregados pétreos, el de desgaste a la abrasión Los Angeles es tal vez el más difundido universalmente, pero también al que se le realiza una continua crítica. Sin embargo hasta el presente no existen otros ensayos que lo sustituyan totalmente, y sólo algunos que lo reemplazan parcialmente.

El ensayo de desgaste a la abrasión Los Angeles permite por lo menos cuantificar desde una óptica la calidad de los agregados. Por lo tanto elimina la apreciación personal, o en todo caso la complementa junto a otros ensayos mecánicos.

Lo ideal para definir con la mejor certeza la calidad de un agregado sería encontrar un método que permita calificar y cuantificar la aptitud del mismo para las distintas estructuras previstas a ser empleado. No obstante hasta ahora no han resultado óptimas las tentativas. Sólo es posible realizar varios ensayos de laboratorio y correlacionarlos entre sí, a objeto de evaluar y de consentir con criterio el empleo de un agregado, dentro de los límites de seguridad.

En la mayor parte de los entes camineros del mundo existen largas historias respecto a los límites tolerados para el empleo de los agregados, desde el punto de vista de cada parámetro estudiado: desgaste a la abrasión, partículas deficientes, materiales blandos, dureza por rayado, etc.

Otro ensayo utilizado para determinar la resistencia a la abrasión es el Deval (seco y húmedo). Los agregados ensayados en estado húmedo pueden poner de manifiesto la presencia de ciertos materiales hidrolíticos, y calcáreos, que son de fácil disolución.

Se han esgrimido argumentos para la crítica de los ensayos de abrasión. En particular referido al ensayo Los Angeles se señala principalmente la siguiente crítica:

- Dentro del cilindro de acero existe una pestaña que provoca el rebote de la muestra que se ensaya y también de las bolas de acero que se incorporan en el interior. Se produce así un efecto de impacto de las esferas cayendo sobre los agregados. A ello se agregan los efectos de desgaste por rozamiento entre los granulares, y también los efectos de rozamiento entre el metal de las esferas de acero y los granulares. Todo conduce a la formación de polvo, el que amortigua los efectos de impacto y rozamiento cada vez más a medida que transcurre el ensayo con los agregados más resistentes.

Otro argumento crítico para dichos ensayos es el siguiente:

- El valor de desgaste es más bien comparable para una misma clase petrográfica de rocas del mismo origen, constituidas en edades geológicas cercanas, con composición mineralógica y condiciones texturales y estructurales semejantes. Podrán variar mucho los resultados de desgaste cuando se quieran comparar tipos petrológicos distintos, por ejemplo una arenisca y un granito, una cuarcita y un basalto, una andesita y un calcáreo, etc.

A menudo se comprueba que las correlaciones no siempre acertadas se originan por generalizaciones de los valores de desgaste de un determinado tipo petrográfico (un basalto por ejemplo) y se pretende determinar los límites de seguridad del mismo para su empleo en una obra específica, y en función de dicho parámetro ensayado. Las estadísticas de los valores de ensayos no proceden muchas veces de una investigación detallada y exhaustiva, sino que los datos provienen de los controles de obra los que tienen un valor relativo para ser considerados como ideales y representativos para optimizar las exigencias a fijar en las especificaciones.

Para mientras no varíen las condiciones deberemos continuar analizando las situaciones tal como se presentan, manejando los valores que disponemos a través de resultados de ensayos de nuestras de agregados en la etapa de controles de calidad en obras.

Por las razones expresadas en los dos párrafos anteriores, y para mejorar la tecnología en el empleo de los agregados, consideramos necesario la implantación de programas de investigación compartidos que conduzcan a determinar claramente los valores de desgaste a la abrasión y también de otros parámetros físicos y mecánicos, para evaluar las aptitudes de los materiales de una determinada región, o yacimiento, o piso geológico, etc., y además evaluando, fundamentalmente, el comportamiento en servicio en las obras construidas.

d) Los ensayos de dureza por rayado. Determinación de las partículas blandas.

Los agregados ensayados mediante la técnica de resistencia al rayado para comprobar su dureza, han sufrido también una continua crítica en particular porque esos métodos son muy limitados para calificar un gran volumen de material.

En ensayos de dureza por rayado —A.S.T.M. C-235— permite medir la calidad de los agregados caracterizando los materiales blandos.

De acuerdo a dicha norma de ensayo se emplea una varilla de bronce para rayar los agregados. Para medir la dureza se idearon más adelante distintos métodos empleándose variados esclerómetros. Entre los métodos más conocidos figuró el de ensayo Douglass consistente en separar fracciones "blandas" y "duras" aplicando sobre la superficie del granular el lápiz de bronce. Tanto este método como el de Woolf que se describe en A.A.S.H.O. Standard T. 6-49, son tentativos y consistentes esencialmente en producir un fuerte rayado sobre una partícula rocosa. Si en el rayado el material del agregado se adhiere al bronce la partícula es blanda. Contrariamente si el bronce se adhiere al agregado la partícula es dura. También la División Geología de la D.N.V. hace unos 20 años realizó algunas experiencias con un esclerómetro de bronce pero este ensayo no resultó práctico para la escala de controlar grandes volúmenes de agregados.

Para el concepto de dureza de un agregado quedarían involucrados los efectos de resistencia a la compresión, al impacto, a la abrasión y al corte, a través de lo cual se establecería un criterio práctico de apreciación y un rango de comparación. La A.S.T.M. no refiere un método específico que abarque totalmente la calificación de la dureza de un agregado, habiéndose propuesto diversos ensayos en-

tre los que figuran algunos de dureza al impacto.

e) La limpieza de los agregados.

Los agregados que fueron elaborados a partir de la trituración de rocas sanas y frescas, pueden frecuentemente presentar en los acopios de los obradores suciedad de polvo extraño a las rocas originarias. Se han constatado minerales arcillosos, cloríticos, hidróxidos de hierro, cenizas, vestigios de sales, etc.

Es común que durante la producción de agregados ellos puedan contaminarse y cubrirse parcialmente con los finos de la trituración. Pero el caso desfavorable es que cuando esos mismos agregados son transportados y removidos, y quedan expuestos un tiempo a la intemperie en acopios, son contaminados por el aporte de polvos perjudiciales como ser derivados de suelos arcillosos, suelos con sales, sedimentos finos derivados de cenizas volcánicas, que existen por los lugares donde estuvieron presentes los agregados. Dichos materiales perjudiciales pueden adherirse en poco tiempo fuertemente a la superficie de los agregados, lo cual puede significar un riesgo para la seguridad de la mezcla asfáltica de no efectuarse una prolija limpieza de los granulares.

En los pliegos de especificaciones debería establecerse como una obligación cubrir la superficie de los acopios destinados a carpetas asfálticas para evitar la intemperización de los agregados, y para preservarlos además de contaminaciones perjudiciales.

f) Las segregaciones, Los ensayos granulométricos.

La calidad estructural de las capas asfálticas de un pavimento dependen en buena medida de la selección granulométrica de los agregados. Cuanto más estrechos sean los límites entre curvas granulométricas para las fracciones propuestas, más beneficioso será para que la mezcla sea homogénea y estable aportándose un mejoramiento de la capa asfáltica.

Pero a lo largo de los procesos de la elaboración de los agregados, su transporte al obrador, mezclado con asfalto, distribución, compactación, suelen ocurrir segregaciones o separaciones de tamaños.

Otro aspecto que contribuye a la pérdida de la granulometría original es la disminución del tamaño de la partícula, o degradación, que se realiza por rotura fundamentalmente en la etapa de la compactación de la capa asfáltica.

Las degradaciones son correlacionables con la naturaleza y composición pétreo, y con las propiedades físicas y características textuales y estructurales que poseen los agregados. En cambio las segregaciones o separaciones de

partículas entre ellas se deben en general a efectos aleatorios o provocados por los movimientos que se realizan con los materiales.

g) La regularidad de calidad.

No siempre se encuentra un macizo pétreo que contenga un gran volumen de rocas homogéneas, por el contrario generalmente existen variaciones en la calidad de los materiales como se puede observar en muchos cortes en montaña.

Cuando un macizo presenta condiciones propicias para la explotación de frentes elegidos con vistas a la elaboración de agregados, las heterogeneidades están muchas veces representadas por variaciones en la calidad de la roca en el sentido vertical. En tal caso la selección del arranque se efectúa por pisos.

Otras veces las heterogeneidades se manifiestan por variaciones del nivel entre la zona de oxidación (ésta constituida por rocas alteradas y/o descompuestas) y la zona de rocas sanas. En este caso los perfiles geológicos de los estudios de avanzada indicarán los espesores de materiales descartables e inaptos para la elaboración de agregados.

Si el macizo está constituido por alterancia irregular de bancos de rocas de distinta naturaleza y calidad, el resultado de la explotación conducirá a materiales de mezcla que presentan grandes variaciones en los valores de los ensayos de calidad.

Los casos señalados pueden provocar controversias cuando en los obradores se realizan los controles de calidad previos a la puesta en planta de los agregados, puesto que frente a resultados que hacen dudosa su aceptabilidad para la obra, obliga a realizar un intenso y prolijo muestreo de los acopios y un cierto número de ensayos de laboratorio que demandan tiempo.

Los inconvenientes pueden aliviarse en gran parte si en la cantera se adoptaran programas de explotación y elaboración, acompañados de los indispensables controles de calidad de producción, vinculados a satisfacer el cumplimiento de las exigencias del contrato.

VI FORMULACION DE UNA NUEVA POLITICA PARA LA TECNOLOGIA DE PRODUCCION Y CONTROLES.

Los canteristas pueden ver de golpe ensanchar las posibilidades de producción frente a urgentes requerimientos de aprovisionamiento de agregados debido a un brote de construcción de obras públicas, como ya es conocido y ha ocurrido en varias oportunidades.

Por tal razón, por un lado los productores

deben tener preparados los estudios de los macizos pétreos previstos a explotar, y por otro lado los proyectistas de la obra vial deben asegurarse que durante la ejecución de los futuros trabajos los aprovisionamientos de agregados se efectúen con regularidad, con granulometrías constantes, y con calidad homogénea.

Las bases de la formulación deben sentar las los canteristas y la repartición, interviniendo en su momento el contratista de la obra, consistiendo en una serie de recomendaciones tendientes a mejorar la calidad de los productos que se fabrican, y a optimizar los controles de recepción de los mismos.

Las ideas básicas están orientadas a la elaboración de ciertos tipos de convenios, contratos, carta - compromiso, etc. relativo a la provisión de agregados. A título de ejemplo las cláusulas podrían involucrar lo siguiente:

1. Estudio de la cantera:

Es importante que el canterista y la Repartición conozcan el funcionamiento y las características completas de la cantera, y en particular que dispongan esencialmente de los siguientes elementos:

- Fotografías panorámicas y en detalle delimitando las zonas a explotar.
- Estudio descriptivo y cualitativo del frente de ataque.
- Colección de muestras (en triplicado) ilustrando las especificaciones.
- Estudio descriptivo de las instalaciones.

2. Procedencia del material a elaborar.

- Se deben señalar en planos y en fotografías los "mejores bancos" de donde provendrán los materiales a triturar, con sus cotas y niveles.
- El material que se arranque deberá contener los elementos que están representados en la colección de muestras, no debiendo exceder las sustancias extrañas en más del (X) %.
- El material alterado de los mantos superiores deberá ser íntegramente separado de la roca sana para que no contamine a ésta, sea por acción directa o por escurrimiento del agua.
- Para recibir el próximo volumen de material arrancado por voladura, el piso de la cantera deberá mantenerse limpio de elementos extraños provenientes de fallas y diaclasas, de derrumbes del manto superior, de aportes exteriores a la cantera que fueran por ejemplo transportados por las ruedas de los equipos como ser suelos arcillosos con sales.
- Existiendo en los frentes de ataque variados porcentajes de materiales alterados,

éstos deberán eliminarse en la planta de elaboración en el proceso de trituración post-primario, por malla 15 mm. En caso de material muy húmedo la eliminación se hará por malla 30 mm.

3. Elaboración del material.

En esta etapa deberán tenerse en cuenta varios factores:

- Reglaje correcto de los aparatos y cribas de tal manera de obtener una regularidad granulométrica de las fracciones programadas.
- Las mandíbulas y otras piezas de trituración, y las cribas, no deberán presentar un desgaste tal que pueda perjudicar la obtención de los tamaños previstos.
- La granulometría de alimentación debe ser constante.

4. Almacenamiento.

Los acopios de agregados con granulometrías completa deben preservarse de polvo, sustancias extrañas al material, humedad, contaminación, y también de manera de evitar segregaciones.

5. Controles de calidad.

- El canterista realiza el primer control de calidad o control de fabricación para cumplimentar con los valores exigidos en las especificaciones para el empleo de los materiales. En este sentido deberá tenerse en cuenta la concepción de los distintos ensayos que se realizan.
- La frecuencia de los ensayos de control en cantera variarán de acuerdo a las medidas que se hayan adoptado para la observación de una buena fabricación, con materiales nobles.
- Por otra parte es la Repartición la que realiza el control de recepción en obrador, de acuerdo al programa establecido por la inspección de la obra. Conforme con los procedimientos expuestos, y de acuerdo a los casos que puedan presentarse, no es difícil redactar y adecuar las cláusulas al criterio de las partes interesadas y a disposiciones legales, con el objeto de asegurar lo especificado para las obras y para mejorar la calidad de los agregados.

V. REQUISITOS DE CALIDAD EXIGIDOS PARA LOS AGREGADOS PETREOS A UTILIZAR EN PAVIMENTOS ASFALTICOS.

1. Para los agregados gruesos:

a) La Dirección Nacional de Vialidad ha establecido en el Pliego Complementario de

Condiciones - Designación A - 38 - IV año 1978, los valores de desgaste por el método de Los Angeles para los agregados pétreos de origen comercial, y también a los de origen local, a utilizarse en las diferentes capas asfálticas de pavimento:

Para tratamientos superficiales:

Pedregullo de roca menor de 30
Pedregullo de grava menor de 35
Grava zarandeada menor de 35

Para base de concreto asfáltico

Pedregullo de roca menor de 30
Pedregullo de grava menor de 35
Grava zarandeada menor de 35
Tosca dura menor de 35

Para carpeta de concreto asfáltico

Pedregullo de roca menor de 25
Pedregullo de grava menor de 35
Grava zarandeada menor de 35

b) En la Norma D.N.V. (V.N. E-67-75) se fijan los requisitos referidos a la calidad de la roca de los agregados gruesos para uso vial, en función del tipo de obra. Las exigencias para las capas asfálticas de pavimento son:

- Material deficiente no mayor del 4% para tratamientos superficiales bituminosos y carpetas asfálticas.
- Material deficiente no mayor del 6% para base de concreto asfáltico a ejecutar bajo tratamientos bituminosos o carpetas asfálticas.

Las dos exigencias antes citadas, las correspondientes al desgaste por un lado y a la de calidad o también denominada de estado de conservación de la roca por el otro, están actualmente en vigencia y son fundamentalmente las decisivas en los controles de calidad de los agregados.

Los ensayos que se realizan en obras en ejecución han dado resultados que, en general, cumplen los requisitos especificados en los pliegos de contrato como lo documentan los registros que se llevan en la División Geológica. Ello es debido al especial cuidado que ponen los canteristas en explotar los mejores frentes para así evitar derroches económicos y financieros innecesarios ante un eventual rechazo de los agregados por incumplimiento de las especificaciones.

2. Para los agregados finos.

Los agregados pétreos naturales o triturados, cuyas partículas son menores de 4,75 mm (retenidos en el tamiz IRAM nº 4) deberán, como el agregado grueso, estar compuesto de

partículas de roca sana y fresca, duras, resistentes y estará exento de cantidades perjudiciales de terrones, partículas blandas o laminas, arcillas, sales, restos vegetales, materia orgánica, y toda otra sustancia perjudicial.

Para empleo en mezclas asfálticas deberán cumplimentar además las siguientes exigencias:

a) Para el material que pasa el tamiz IRAM Nº 200 (74µ), la relación Vía Seca/Vía Húmeda deberá ser:

— Si el material que pasa el tamiz IRAM Nº 200 (de 74µ) es ≤ 5% no hay exigencias.

— Si el material pasa más del 5% por el tamiz IRAM Nº 200 (de 74µ), la relación Vía Seca / Vía Húmeda deberá ser ≥ 50.

b) La fracción que pasa el tamiz Nº 40 (420 µ) tendrá una plasticidad menor o igual a 4% debiendo ser realizado el ensayo de plasticidad de manera algo distinto a lo establecido en la Norma V.N. E-2 y 3/65. La diferencia consiste en que una vez pasado el material en seco por el tamiz Nº 40, el material retenido en este tamiz se lava sobre el mismo con la menor cantidad de agua posible; todo el material pasado por el tamiz Nº 40 por vía seca y por vía húmeda se colocan en una misma bandeja enlozada y luego se elimina el agua por secado a estufa a temperatura menor de 60°C. Cuando la muestra se halla con una humedad equivalente entre el L.P. y el L.L., deberá procederse de acuerdo a la norma citada.

c) De acuerdo a la Norma V.N. E-10-67 "Equivalente de arena" el material librado por el tamiz Nº 4, (4,76 mm), previo mortereado del retenido en dicho tamiz empleando una manga de goma, deberá tener un valor mayor o igual a 50.

Como comentario general diremos que estas exigencias para los agregados finos se hallan en vigencia para los nuevos proyectos.

Además deberían ser especificadas las maneras para cubrir los montones y acopios de materiales finos para que no sufran contaminación con elementos extraños perjudiciales, a partir desde su fuente de producción y hasta su inmediata colocación en la planta asfáltica.

VII. PLAN DE TRABAJOS E INVESTIGACIONES SOBRE AGREGADOS QUE DESARROLLA LA D.N.V.

Los continuos controles de calidad en obras han permitido reunir una considerable cantidad de información y de resultados de ensayos de agregados.

Los datos son clasificados, en principio, en dos grandes grupos: los que corresponden a agregados de origen "comercial" y los provenientes de origen local (a estos últimos es mejor denominarlos de origen "no comercial").

Se realiza otra clasificación vinculada a agrupar a las rocas por "clases petrográficas" que presentan textura y estructura bien diferenciadas, que están integradas por minerales esenciales que las definen, y además poseen propiedades físicas y mecánicas que las caracterizan. A dichas clases se le puede fijar en las especificaciones las exigencias límites que deben cumplir para las distintas obras viales. Al agrupamiento resultante se lo ha denominado agregados pétreos "convencionales", constituidos por cuarcitas, rocas graníticas, rocas basálticas.

Distinta calificación, tienen los que por otra parte se han denominado agregados "no convencionales", cuyas características mineralógicas, físicas y químicas no han sido bien definidas, lo cual hace imposible por ahora establecer convencionalmente exigencias generales. Las exigencias son establecidas en cada caso particular con la correspondiente "Especificación complementaria" y/o "Especificación especial" y están destinadas a otros tipos de rocas de características petrográficas distintas a las mencionadas anteriormente, a ripios, a escorias y arcilla expandida, etc.

1. Características del inventario de la información

a) Datos de ensayos de agregados provenientes de canteras comerciales.

Mediante encuestas programadas se visita periódicamente todas las canteras comerciales del país, registrándose en formularios especiales la actividad técnica que desarrollan en la elaboración de agregados.

Los resultados de los ensayos de recepción que se efectúan en las obras en ejecución, proveen la información sobre la calidad de los agregados que producen las canteras comerciales.

Posteriormente dichos resultados son ordenados teniendo en cuenta el origen petrográfico de los materiales. Generalmente los agregados provienen de las siguientes clases de rocas:

- Silíceas: que comprende las areniscas cuarcíticas y las cuarcitas.
- Graníticas que incluye a granitos, dioritas, aplitas, ortogneises, gneises, etc.
- Basálticas.

Cada clase de las citadas no debe contener más de un 5% de otros tipos de rocas ajenos a esa clase considerada, puesto que de otra forma y a objeto de establecer las exigencias que deberán cumplir para su empleo no pueden ser consideradas como del tipo "convencionales".

Sólo como dato ilustrativo se dan a continuación los valores promedios resultantes de ensayos de desgaste Los Angeles y de Estado de

Conservación para cada clase de las mencionadas, pero haciendo una generalización para cada una de ellas en razón de no considerar la especie de roca ni la edad geológica a la que ésta pertenece, que como sabemos presenta ciertas distinciones regionales.

Clases de rocas	Desgaste Los Angeles %	Estado de Conservación % de material deficiente
Cuarcíticas	27,4	6,8
Graníticas	22,7	3,7
Basálticas	17,5	2,6

De origen comercial pueden también proveerse agregados del tipo que hemos denominado "no convencionales". Pueden consistir de: especies de rocas que no están incluidas en las clases señaladas anteriormente como ser pórfido, andesita, grauvaca, filita, tosca silicificada, conchilla fosilífera, ripio, escoria, arcilla expandida. Las exigencias que deben cumplir cada una de las especies citadas son establecidas para cada caso en particular.

b) Datos de ensayos de agregados provenientes de yacimientos y canteras "no comerciales".

Los agregados pétreos que produce el contratista extrayéndolos de yacimientos fijados por la Repartición para una obra determinada, a los que comúnmente se conoce como locales y que también denominamos "no comerciales", consisten generalmente en ripios de depósitos aluvionales. Pueden además ser cualquiera de las especies de rocas antes designadas.

Los datos que se disponen corresponden a dos fuentes de información:

- los que provienen de los estudios de materiales para el proyecto del camino;
- los que corresponden a ensayos de calidad de los acopios de agregados de las obras en ejecución.

Los registros son clasificados y evaluados por regiones, y por las específicas características de los yacimientos.

Especialmente los ripios presentan gran heterogeneidad de calidad en depósitos cercanos dentro de un área relativamente pequeña. Ello conduce a intensificar la prospección y el estudio en las etapas previas al proyecto, con el objeto de fijar los más convenientes para la seguridad y economía de la obra.

No existiendo en ciertas "áreas económicas" canteras comerciales en explotación deben estudiarse y evaluarse todos los materiales locales susceptibles de empleo vial.

2. Trabajos en desarrollo y futuros planes.

Con el objeto de fijar con la mayor exactitud las exigencias a que deberán someterse los agregados se están realizando algunos trabajos

Recientemente, por ejemplo, a pedido a la Jefatura del 16º Distrito de la D.N.V. - Santiago del Estero, fueron actualizadas las "informaciones de actividades" de todas las canteras comerciales en explotación en dicha provincia, y también visitándose aquellos lugares donde se paralizaron los trabajos, o donde existen posibilidades de nuevas explotaciones.

Las muestras que se extrajeron fueron ensayadas en el Laboratorio Central empleando toda la gama de métodos que disponemos para ayudar distintos parámetros físicos y mecánicos. Ello conducirá a la determinación de aptitudes.

El plan más ambicioso que está en elaboración para la calificación de agregados, consiste en efectuar estudios de servicialidad de bases y carpetas asfálticas construidas con distintas especies de rocas características de las canteras en explotación, constatando paralelamente el comportamiento del agregado empleando Los resultados comparativos podrán definir los valores a exigir en cada ensayo, para determinada clase petrográfica, y según la capa de pavimento al que estarán destinados los agregados.

Respecto a los ensayos en laboratorio se ha introducido el de Fragmentación Dinámica, según el método francés. Si bien este se basa en el ensayo británico contenido en la norma B. S. 812, existe una diferencia entre ambos debido a que mientras el primero utiliza el tamiz Nº 12 para separar los materiales después de efectuadas las operaciones de rotura por impacto, los británicos hacen dicho cribado con el tamiz Nº 7.

El ensayo de Fragmentación Dinámica se ha empleado hasta el presente en nuestro laboratorio para ensayar algunas rocas graníticas encontrándose una buena correlación con el de desgaste Los Angeles. De resultar satisfactorias estas comparaciones, el empleo del primero podrá aliviar las tareas de control de fabricación y de control de calidad de recepción en obrador, debido a la facilidad y rapidez operativa.

Dicho ensayo necesita solo 350 gramos de material, y la fragmentación por impacto con el pisón se realiza en no más de 5 minutos. Con el tiempo que insume la preparación de la muestra y el cribado final por el tamiz Nº 12, puede decirse que la duración total del ensayo es de

unas cinco veces menor que el de Los Angeles, particularmente cuando se trabaja con varias muestras.

No se pretende desalojar de su empleo al ensayo Los Angeles que tiene las características dobles de abrasión por frotamiento y fragmentación por impacto, sino de complementar con el de Fragmentación Dinámica. Además, hasta que no existan mayores informaciones lo que indiquen la necesidad de incorporar este último ensayo en las piezas contractuales, seguiremos empleándolo por ahora sólo para realizar investigaciones con distintas clases petrográficas de agregados para acumular resultados.

Otro objetivo de nuestros planes consiste en obtener el equipo para el ensayo de Coeficiente de Pulimento Acelerado, definido por la norma inglesa B.S. 812 En tal sentido estamos reuniendo todos los antecedentes. En las especificaciones de algunos países figuran exigencias de este parámetro para capas de rodadura asfáltico.

CONCLUSIONES.

- Los resultados de los controles de calidad de recepción que realiza en obrador la D.N.V., en general satisfacen los requerimientos y exigencias establecidos actualmente en las especificaciones de los pliegos de contrato.
- Para mejorar la homogeneidad de calidad y la regularidad granulométrica de los agregados, es conveniente efectuar controles de fabricación en las operaciones de cantera: A tal fin deberían formularse programas entre las partes interesadas: canterista, contratista, Repartición.
- Incrementar la investigación de todos los recursos pétreos del país, comerciales o no, con el criterio de "áreas económicas", clasificando y evaluando calidades y aptitudes para su empleo como agregados en distintas capas de pavimentos asfálticos.
- Realizar estudios de servicialidad y constataciones en forma permanente y continua, en capas asfálticas construidas en distintas zonas del país, en las que se empleó determinada clase y tipo petrográfico de agregado.
- Intensificar paralelamente las investigaciones en laboratorio para una mejor valorización de la aptitud de ciertos tipos de agregados, para especificar en definitiva las exigencias a que deberán someterse los mismos para determinado ensayo de calidad, y de acuerdo a los controles requeridos.

El agregado pétreo en las especificaciones para concreto asfáltico en caliente

Por la Ing. Nancy VILLABONA de SUAREZ*

* De la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
Trabajo presentado en el 8º Simposio de la Comisión Permanente del Asfalto.

El objeto del presente análisis es la consideración de las actuales especificaciones corrientes sobre calidad de agregados pétreos, a emplear en las mezclas asfálticas de construcción en caliente, de tipo superior, como las normalmente utilizadas en las bases granulares y carpetas de la provincia de Buenos Aires.

Toda especificación referente a control de calidad en materia vial ofrece dos aspectos: el primero es positivo, responde a la necesidad de establecer cánones que permitan seleccionar materiales, equipos y procesos constructivos con los que pueda lograrse una calidad aceptable de mezclas en obra, y el segundo tiene carácter punitivo, por cuanto conduce al rechazo de determinados materiales, procesos o equipos cuando de ellos, a través de los requisitos especificados, no es dable esperar aquel nivel de calidad.

De lo expuesto surge la importancia bien conocida por todos nosotros, de contar con especificaciones que se ubiquen en un punto justo

atendiendo a la motivación técnica sin descuidar la económica.

Previo al tratamiento de las mismas, y dado que se trata de juzgar la calidad de mezclas que cumplen una función específica dentro del paquete estructural, pasaremos a recordar algunos parámetros que influyen en su comportamiento y que dependen del tipo de agragado que las integra.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MEZCLA ASFALTICA DENSA EN ETAPA CONSTRUCTIVA —TRABAJABILIDAD—

En realidad, la mezcla asfáltica comienza a interrelacionarse con las cargas que debe soportar a partir del momento constructivo, cuando la viscosidad del ligante es tal que facilita el acomodamiento máximo de las partículas que forman su esqueleto granular. La propiedad fundamental de la mezcla que rige el proceso en esta etapa es la trabajabilidad, gracias a la cual se obtendrían las máximas densidades compatibles con el mínimo esfuerzo requerido aplicado por los equipos de compactación, restando en la economía consiguiente.

Independientemente de la influencia citada del ligante, es decisiva la participación del agregado en su conjunto, puesto que una trabazón excesiva, si bien aumentaría su resistencia friccio-

nal en servicio podría conspirar contra la colocabilidad de la mezcla, afectando a su densificación y por ende, a la resistencia desarrollada por la misma.

Gracias a los estudios del Dr. Celestino Ruiz y colaboradores, nuestras especificaciones actuales contemplan el equilibrio ideal entre ambos factores mediante la introducción del Índice de Compactabilidad, que puede calcularse fácilmente empleando datos surgidos del ensayo Marshall, de rutina para los laboratorios que efectúan control de calidad.

$$I_c = \frac{1}{PEA_{50g} - PEA_{5g}} \geq 5$$

El límite adoptado puede ser susceptible de una acotación de máxima, aún cuando debe recordarse que ese valor no es aislado, sino que forma parte de un conjunto donde figuran ESTABILIDAD, FLUENCIA, tenor de vacíos, que aseguran la calidad aceptable de la mezcla, evitando que la excesiva compactabilidad derivada de una posible introducción de agregados redondeados redunde en una pérdida de calidad a través de la colmatación de los vacíos por efecto del tránsito u otros factores coadyuvantes.

Es de destacar que la adopción del Índice de Compactabilidad, al ser la resultante de la respuesta del material frente a la sollicitación derivada de la aplicación de dos energías distintas, nos exime de la medida de otros factores como rugosidad, y forma de partículas de los agregados considerados individualmente y que inciden en la trabajabilidad. Lo importante aquí es la mezcla, pues la especificación no podría descalificar desde el punto de vista de la trabajabilidad a un agregado grueso demasiado friccional, marcadamente angular, dado que su efecto se puede atenuar con la inclusión de agregados finos de partículas redondeadas, que posibiliten una fácil compactación del material.

Desde que han comenzado a emplearse modernos equipos de compactación vibrante, cuya eficiencia, dentro del marco de condiciones adecuadas de amplitud, frecuencia, temperaturas y espesores sería mayor que la de los tradicionalmente utilizados, resultaría de interés el estudio de los límites de aceptación del Índice de Compactabilidad para esos casos, donde la energía máxima y mínima (representada por los 5 y 50 golpes del ensayo Marshall) tuviera correlación con la que es capaz de

transmitir el equipo a la mezcla dentro de un rango de valores práctico y económico. Entendemos que el grupo de trabajo dirigido por el Ing. Santángelo sabrá dar respuesta al problema.

De todas maneras, el mantenimiento en los Pliegos del Índice Calculado en base a ensayo de laboratorio responde a la imposibilidad práctica de prever el equipo y trabajo de compactación que se empleará realmente en obra en el momento del proyecto, por cuanto la especificación al fijar condiciones contractuales, debe responder a una normalización lo suficientemente amplia como para prever todos los casos.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MEZCLA ASFALTICA DENSA EN RELACION CON SUS AGREGADOS - RESISTENCIA.

Ya compactada la mezcla asfáltica y a su temperatura adecuada, se encuentra en condiciones de absorber los esfuerzos derivados del tránsito, así como la acción que le es impuesta por condiciones de drenaje y ambientales específicas de cada estructura en función de su emplazamiento.

Las propiedades determinantes en la etapa de servicio son las RESISTENCIA y DURABILIDAD en función del tiempo.

Dado que las mezclas que nos ocupan forma parte de las capas superiores del pavimento, la sollicitación principal a considerar por acción del tránsito es de corte, respondiendo el material según la ecuación conocida.

$$\tau = \tau_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \phi + n \frac{d\delta}{dt}$$

- τ = Resistencia al corte
 τ_0 = Resistencia inicial, para velocidad de deformación y carga exterior nula.
 δ_n = Esfuerzo normal; ϕ = ángulo de fricción interna
 η^* = Viscosidad de masa
 $\frac{d\delta}{dt}$ = Velocidad de deformación, dependiente de la velocidad de aplicación de la carga.

El aporte principal del esqueleto granular a esa resistencia se canaliza a través del ángulo de fricción de la mezcla, aún cuando también contribuye a modificar, en sus fracciones más finas, el comportamiento viscoso de la misma.

Contribuyen a dotarle de un adecuado

ángulo de fricción los siguientes parámetros principales:

- Distribución granulométrica de las partículas.
- Forma de partículas.
- Rugosidad superficial de las mismas.

Nuestras especificaciones se ocupan, generalmente, de los dos primeros parámetros:

- La distribución granulométrica queda fijada en base a límites de mínima y máxima, para cada mezcla particular. Las destinadas a carpeta y base granular asfáltica obedecen a curvas granulométricas sin puntos bruscos de inflexión, cóncavas hacia arriba dispuestas de modo de obtener un mínimo de vacíos.

Se fijan asimismo tolerancias granulométricas, a aplicar una vez que se ha aprobado la Fórmula de Obra, de modo de acotar los desplazamientos que pudieran redundar en una calidad heterogénea para la mezcla por cuanto la granulometría tiene una incidencia directa en la compactabilidad, el tenor de vacíos y los requerimientos de asfalto. Una variación notable en la granulometría traería aparejada la necesidad de adoptar una nueva Fórmula de Obra, puesto que la primitiva ya no cumpliría la condición de óptima en la realidad.

También las especificaciones lo consignaron así; para carpeta asfáltica, las tolerancias granulométricas, referidas a determinaciones y agregados extraídos de silos calientes y mezclados junto con filler en los porcentajes que fija la Fórmula de Obra, varían entre el $\pm 6\%$ para tamaños gruesos (tamices 3/4" a 3/8") y $\pm 1\%$ para el material que pasa el tamiz nº 200, siguiéndose un criterio similar para base granular asfáltica.

- La forma de partículas contribuye a lograr el "empaquetamiento" necesario como para que el esqueleto granular transmita las tensiones derivadas de los esfuerzos de tránsito, no en forma puntual sino repartida en una mayor superficie, con lo que las presiones se hacen menores. Esta cualidad también se constituye en determinante durante la etapa constructiva cuando la elevada temperatura de la mezcla hace disminuir el aporte viscoso y cohesivo a la resistencia, acentuándose el papel del esqueleto pétreo.

Se comprende aquí la importancia de que las partículas, además de resistir "empaquetadas", es decir, solidarias entre sí sean capaces de hacerlo individualmente. Una partícula de agregado lajosa o con forma de aguja podría quebrarse en el momento en que es sollicitada por carga.

Las especificaciones contemplan la necesidad de contar con agregados de forma adecuada a través del Factor de Cubicidad, desarrollado por el Ingeniero Tagle; y cuya determinación se encuentra normalizada por Vialidad Nacional (Norma de ensayo E II) y por IRAM—

Para mezclas asfálticas de tipo superior, las especificaciones en la Provincia de Buenos Aires, fijan un límite mínimo de 0,5 para base granular asfáltica y 0,6 para carpeta ensayando el material retenido por la criba de 3/8".

- Respecto de la rugosidad superficial de las partículas, no se ha previsto todavía la necesidad de incluir exigencias de este tipo para la aceptación o rechazo del agregado individual aún cuando dado que, implícitamente contribuyen a lograr una adecuada relación Estabilidad/Fluencia e Índice de Compactabilidad, su aporte es valorado a través de los ensayos de aprobación de las mezclas, desde el punto de vista de la resistencia y trabajabilidad.

Preveemos que en el futuro a medida que avancen los estudios sobre resistencia al deslizamiento de pavimentos en servicio vinculados al tema seguridad en el tránsito, podría requerirse el empleo de determinados agregados o el rechazo de otros, en función de su rugosidad individual y su incidencia sobre la macro y microrugosidad de las mezclas resultantes.

Hasta aquí hemos consignado el criterio seguido en la Provincia de Buenos Aires, para acotar variables que, como las apuntadas, traducen una contribución directa del agregado sobre la resistencia al corte de las mezclas.

EVALUACION DIRECTA DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE AGREGADOS

Como dato complementario, apuntaremos que en Inglaterra se ha propuesto introducir una escala de clasificación de agregados desde el punto de vista de su aptitud para resistir a la aplicación de esfuerzos de corte.

El trabajo, desarrollo por el Road Research Laboratory, obedece a nuestra misma necesidad económica de valorizar en su justa medida el empleo de los agregados de tipo local disminuyendo en lo posible la incidencia de la distancia de transporte.

El instrumental empleado fue una caja de corte modificado de sección cuadrada, de 300 mm² y capaz de lograr una velocidad de desplazamiento variable entre 8×10^{-9} y $8 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$, con lectura electrónica. No se empleó ensayo triaxial por la dificultad práctica

de trabajar con membranas tensionadas en contacto con agregados muy angulares.

Los agregados se mezclaron y compactaron sin ligante bituminosos, sólo con agua, de modo de poner en evidencia al máximo la calidad del agregado.

El equipo de compactación de laboratorio, incluía un martillo vibrante con potencia de 1,5 kw y frecuencia de 14 Hz sujeto a un marco rígido. El ensayo de compactación (BS) prevee el molde según 3 capas y aplicando la vibración durante 60 segundos en c/u se confeccionaron las probetas.

Se ensayaron agregados provenientes de 17 canteras, variando el tipo mineralógico, la graduación granulométrica a través de distintas curvas, la forma y rugosidad de partículas.

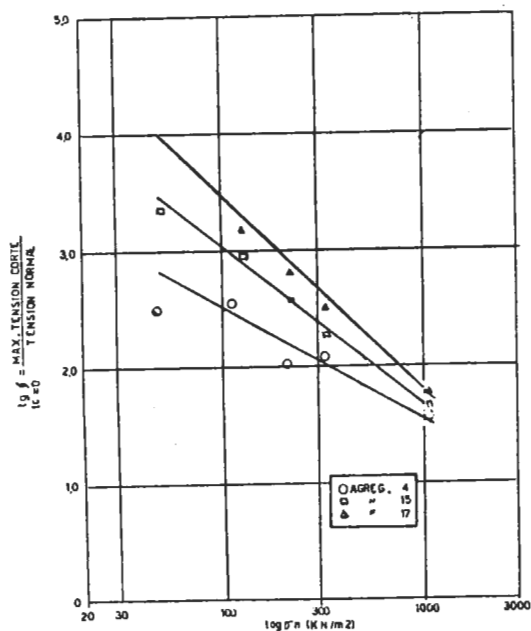


Fig. 1 — Relación entre ángulo de fricción y logaritmo de la tensión normal.

Los resultados obtenidos confirman la influencia de esas variables sobre la resistencia al corte.

Del análisis de los envolventes triaxiales surgió una correlación lineal entre la tangente del ángulo de fricción y el logaritmo de la presión normal aplicada durante el ensayo, como puede apreciarse en la Fig. 1 para cada material ensayado.

El agregado de mejor comportamiento, simbolizado con triángulos es escoria, de forma angular y textura muy rugosa, en tanto que el cuadrado simboliza una roca ígnea, de similares

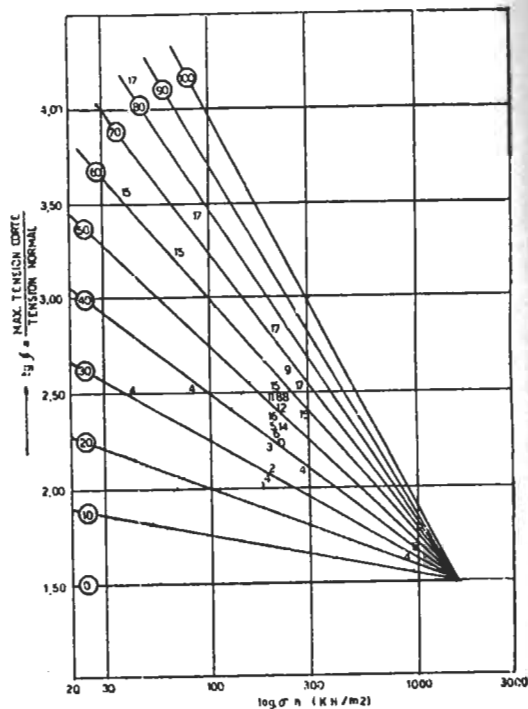


Fig. 2 — Índice de resistencia al corte

características en lo que hace a forma y textura y el círculo corresponde a una cuarcita de forma redondeada y textura lisa.

Vuelve a marcarse mayor resistencia friccional que aporta una forma y rugosidad adecuada, como asimismo la influencia del tipo de agregado sobre la resistencia al corte.

Las rectas convergen aparentemente hacia un punto para altas presiones, dado que las envolventes de corte determinan allí menores valores de ϕ que para las bajas, debido probablemente a que comienza a triturarse el material por la elevada sollicitación vertical modificándose las condiciones iniciales especialmente en la que hace a tamaño y forma de partículas, así como a rugosidad.

El análisis de los ensayos efectuados condujo a la propuesta de una carta de clasificación de agregados, como la que se ve en fig. 2, definiéndose un índice de Resistencia al Corte, variable entre 0 y 100. Esto es, realizando el ensayo en condiciones normalizadas y a partir de la envolvente de corte, superponiendo la recta que vincula $t_g \phi$ con $\log \sigma_n$ en la carta por interpolación se obtiene el índice de Resistencia al Corte.

Los números que se intercalan sin círculo corresponden a las denominaciones de muestras ensayadas, según la tabla siguiente:

TABLA 1

Origen, tipo petrológico y descripción de forma y textura superficial de las partículas gruesas de las 17 muestras de agregados:

Ref. Nº	Nombre	Tipo general (1)	Tipo petrológico	Descripción de partículas gruesas	
				Forma	Textura
1	Bridport	G	Pedernal	Muy redondeada	Muy lisa
2	Chertsey	G	Pedernal	Irregular	Lisa
3	Longfield	G	Pedernal	Angular	Muy lisa
4	Branston	G	Cuarcita	Redondeada	Lisa
5	Rugeley	G	Cuarcita	Intermedia	Intermedia
6	Hartshill	R	Cuarcita	Angular	Rugosa
7	Cerney	G	Caliza	Redondeada	Lisa
8	Carnforh	G	Caliza	Lajosa	Intermedia
9	Holcomb	R	Caliza	Angular	Rugosa
10	Stänley Ferry	G	Arenisca Silícea	Redondeada	Rugosa
11	Scorton	G	Idem	Angular	Muy rugosa
12	Haughmond	R	Idem	Angular	Muy rugosa
13	Harehill	G	Ígnea	Redondeada	Intermedia
14	Ll wyn	G	Ígnea	Intermedia	Intermedia
15	Croft	R	Ígnea	Angular	Muy rugosa
16	Clee Hill	R	Ígnea	Angular	Rugosa
17	Corby	S	Escoria	Angular	Muy rugosa

(1) G: Arena y grava
R: Piedra partida
S: Escoria

Algunos límites tentativos de caracterización que proponen, a partir de la carta citada son:

agregados cuarcíticos, partículas redondeadas 30 a 40.

agregados de origen ígneo, partículas angulares, textura muy rugosa 50 a 60.

agregados de escoria, angulares, muy rugosa 70 a 80.

El valor de la experiencia inglesa surge de la consideración del comportamiento del agregado como un todo y no en función de fracciones, ya que las curvas de las muestras empleadas en los ensayos incluyen a la granulometría de la mezcla de áridos graduados, con tamaños que van desde 1 1/2" a 0,074 mm (tamiz nº 200), cóncava hacia arriba y de curvatura continua, similar a las adoptadas por

nuestras especificaciones. Es decir, se aproxima más al esqueleto pétreo real de una mezcla asfáltica de concreto que las granulometrías uniformes empleadas en otros métodos de valoración.

También pone de manifiesto la gran incidencia de la naturaleza mineralógica del agregado sobre la resistencia al corte, por cuanto agregados de forma angular y textura muy rugosa, como los simbolizados en los números 15 y 17, merecen distinta calificación en la escala, como consecuencia de la diversa respuesta que se observa en Fig. 1 frente al ensayo de corte.

Asimismo, por inclusión de fracciones con determinadas características de forma de partículas y rugosidad podrían mejorarse agregados cuyo empleo aislado no se justificaría

de otro modo, en el caso de contarse con especificaciones de límites de aceptación.

Los valores a obtenerse con el ensayo son conservativos, pues no se incluye en la realización del mismo el efecto benéfico del ligante bituminoso, tanto en lo que hace al aumento de Resistencia al Corte como a la disminución de la degradación de las partículas por fricción entre sí.

Con relación a nuestras Especificaciones, se confirma numéricamente el acierto de exigir una cubicidad adecuada y agregados gruesos de trituración para las mezclas asfálticas de concreto, en función de una ganancia de resistencia inicial complementada con exigencias respecto de la naturaleza del agregado, que aseguren el mantenimiento de esa resistencia en función del tiempo.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MEZCLA ASFALTICA TIPO CONCRETO EN RELACION CON SUS AGREGADOS = DURABILIDAD

Dosificada la mezcla asfáltica en base a los criterios usuales de Marshall, con un nivel adecuado de resistencia, debe ser capaz, a través del grado de calidad de cada uno de los materiales que la componen, de resistir determinadas acciones de factores externos que tienden a degradarla, afectando su durabilidad.

Como veremos, las Especificaciones fijan criterios de calidad que permiten efectuar una selección desde este punto de vista.

a) AGRESION TERMICA:

Refiriéndonos a los agregados, ya desde el momento constructivo sufren agresión por la elevada temperatura a que son sometidos en el horno secador; así, el agua que contienen los poros del agregado pétreo se convierte rápidamente en vapor. Como esa producción de vapor es más rápida que la evacuación del mismo, se crean tensiones internas que producen la fractura o el fisuramiento de las partículas.

El tema ha sido desarrollado durante las Reuniones de la Comisión Permanente del Asfalto de años 1973 y 1978 a través de un trabajo presentado por el Dr. Celestino Ruiz, Ing. Silvio Magran y Técnico Gastón Fernández.

Los autores observaron la variabilidad que se verificaba, para distintos tipos de agregados en los valores de desgaste Los Angeles antes y

después de someterlos a la acción del horno secador.

Reproduciendo el calentamiento en laboratorio, variando las temperaturas mediante la exposición de los agregados en una mufla eléctrica para calentamiento a 650 °C, llegaron a obtener relaciones del tipo: que consta en Fig. 3:

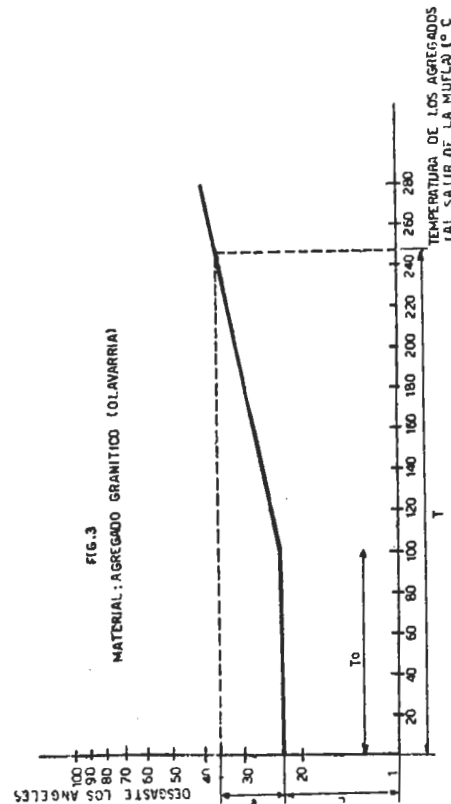
La temperatura graficada en abscisas, corresponde a la obtenida a la alcanzada por el agregado en la mufla, para tiempos variables de exposición. En ordenadas se ubicó el log. del desgaste Los Angeles, medido sobre agregados en condición saturada y de superficie seca.

La relación que satisface a las gráficas del tipo de la que consta en fig. 3 es:

$$\text{Log} \left(\frac{L + 1}{L} \right) = \frac{T - T_0}{2,3 \times K}$$

donde L = desgaste inicial o el obtenido por una temperatura de hasta 100 °C.

1 = variable dependiente que presenta el desgaste resultante para una determinada temperatura T.



T = temperatura alcanzada por el agregado.

T0 = temperatura inicial del comienzo de la alteración térmica.

K = temperatura por encima de la cual se incrementa el desgaste 2.718 veces (característica de cada agregado).

Habiendo ensayado agregados provenientes de 17 canteras del país se encontró una respuesta diferente en función de la naturaleza mineralógica y del grado de alteración de la roca.

Las alteraciones térmicas mayores se produjeron en la arenisca (E. Ríos y Chaco), ya que, si bien los granos de cuarzo son resistentes en sí, no lo es el medio cementante, muy susceptible al calor.

Las cuarcitas (Chaco), presentan una alteración similar a los granitos de Olavarría (Los Angeles 30 a 31 después de 4 minutos en la mufla, para temperaturas del agregado de 170° a 185 °C).

Los basaltos sanos resisten satisfactoriamente al calor por su composición mineralógica y el tamaño reducido de sus granos: para los alterados la variación relativa porcentual entre desgaste antes y después de someterlos a elevadas temperaturas es relativamente baja.

En general, esa variación relativa del desgaste es mayor para los agregados de mayor porosidad y tamaño de los minerales. Como vemos, la aplicación generalizada del ensayo propuesto podría conducir a una revalorización de determinados materiales considerando no sólo el desgaste inicial, L, sino también la constante de variación K para cada muestra.

Por otra parte, existe una temperatura límite por encima de la cual se supera la tolerancia máxima del ensayo Los Angeles fijada en las Especificaciones. Resulta de gran interés comparar esa temperatura obtenida para cada agregado con la que se verifica en los silos calientes de la planta.

También consideramos muy importante que se continúe con la aplicación de esta técnica en función de los requerimientos de calidad de agregados en los procesos de reciclaje de pavimentos asfálticos en caliente: En ellos se posibilita la mezcla entre agregados provenientes del viejo pavimento, y los nuevos en base al principio de transferencia de calor. Se calienta mucho más acentuadamente el agregado nuevo para que traspase calor al agregado reciclado, que no se encuentra en condiciones

de admitir temperaturas elevadas.

Justamente existe un balance entre economía y calidad de la mezcla, gobernado por las temperaturas de calentamiento de los agregados, tenor de humedad del acopio y las proporciones entre material nuevo y reciclado que integrarán la mezcla final.

Para que se pueda elevar el rendimiento económico del proceso, empleando mayor tenor de material reciclado, se elevan notablemente las temperaturas a aplicar al agregado en función de la temperatura requerida para la mezcla en el momento de descarga.

Por ejemplo, suponiendo un 3% de contenido de humedad del material reciclado, y una temperatura final de la mezcla de 138 °C el agregado deberá calentarse hasta los siguientes límites:

Para 30% de material reciclado y 70% de agregado virgen 246 °C

Para 50% de material reciclado y 50% de agregado virgen 374 °C

Si comparamos con las curvas que constan en el trabajo mencionado sobre alterabilidad de agregados, la última temperatura descalificaría el uso, por ejemplo, de los basaltos pues para la misma los valores de desgaste Los Angeles superan el límite de 30 fijado por algunas especificaciones en tanto que para temperaturas del orden de 246 °C corresponde LA ≤ 30. En consecuencia, el grado de alteración térmico acotaría económicamente el reciclaje, por cuanto, con un agregado basáltico, como los ensayados, quedaría limitado al aprovechamiento del pavimento existente al 30%.

De aquí se infiere la importancia futura de la adopción del ensayo de alterabilidad térmica trazando las curvas para temperaturas aún superiores a los 185° C, que es la propuesta para medir la variación relativa porcentual del desgaste.

b) AGRESION MECANICA:

Entendemos por agresión mecánica la que es impuesta al esqueleto granular por la acción de transmisión directa de cargas y por amasado de la mezcla, que se inicia durante el proceso constructivo y continúa a lo largo de la vida útil de la misma, afectando a su durabilidad.

En lo que hace al papel del agregado, las Especificaciones habitualmente califican su aptitud para resistir mecánicamente en base al ensayo de Desgaste Los Angeles, mundialmente generalizado.

Así, las Especificaciones de nuestra Pro-

vincia (Bs. As.), fijan un máximo $LA = 35$ para carpetas asfálticas y $LA = 50$ para base granular asfálticas.

No pasaremos a discutir el valor que tiene esta normalización como lenguaje comparativo casi universal, ni la sencillez de la técnica de ensayo, cuyo instrumental posibilita la determinación al pie de las obras, con relativa rapidez.

Sin embargo, existen algunos factores de incertidumbre que hacen aconsejable el paulatino reemplazo de este ensayo por otros más adaptados a la realidad;

a) La acción que le imprime al agregado dentro del tambor con sus cargas hace que el mismo se vea solicitado por *impacto* y *abrasión* propia de los finos que rozan a la fracción gruesa, en un estado *prácticamente suelto*.

En cambio, dentro de la estructura granular real de la mezcla densa en servicio, el impacto se ve amortiguado por la cohesión de la misma, en tanto que la presencia de la película bituminosa que rodea a las partículas proporciona lubricación como para disminuir el rozamiento que podría producirse entre las mismas por el efecto de amasado del tránsito.

Al reducirse la fricción, se aminora la producción de finos provenientes de los agregados, disminuyéndose la degradación real con respecto a la determinada por el ensayo Los Angeles.

b) La degradación medida por este ensayo expresa sólo la producción de finos, que pasan el tamiz Nº 12 en tanto que las posibles fracturas de fracciones más gruesas donde otras

de granulometría intermedia, que son retenidas por este tamiz, no se detectan.

Así se ha dado el caso de agregados graníticos con 17% en peso de material alterado, que arrojaron un desgaste $LA < 30$, aún cuando las partículas más gruesas se rompían fácilmente con la presión de la mano. Su forma redondeada y textura lisa, probablemente, producían menos finos durante el ensayo que un agregado friccional, más solicitado aún cuando sus cualidades mecánicas, no fueran satisfactorias como para integrar una buena mezcla.

c) El ensayo Los Angeles analiza fracciones por separado de granulometría casi uniforme aún cuando la mezcla en realidad se comporta a través de un múltiple sistema de puntos de contacto, determinado por sus condiciones granulométricas. Es decir, que un adecuado diseño de la mezcla asfáltica podría en determinados casos hacer que se pudieran utilizar agregados cuyo LA esté ligeramente por sobre el límite de 30-35 adoptado para carpeta, multiplicando los puntos de contacto a fin de repetir mejor la transmisión de carga, reduciendo la intensidad de la misma.

Así el uso de máquinas de ensayo como el Compactador Giratorio, empleado en la Provincia de Buenos Aires, salvaría los inconvenientes planteados en los puntos anteriores, ya que el esfuerzo, que se aplica a la mezcla total de áridos, es del tipo de corte con amasado de la mezcla, más aproximado a la sollicitación real durante las etapas constructivas y de servicio (Fig. 4).

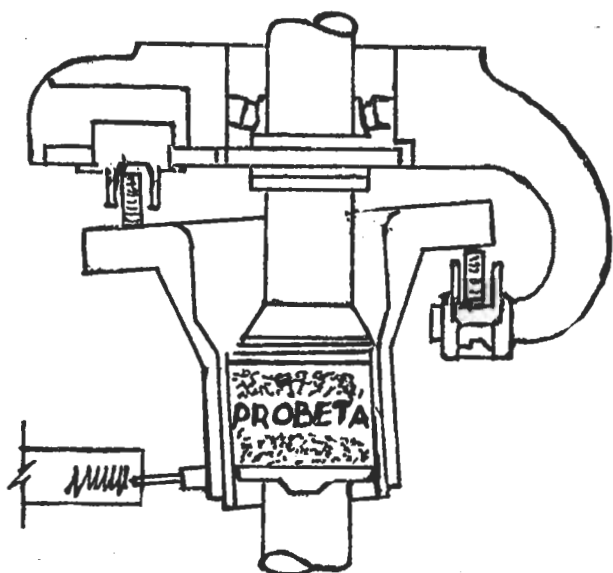


Fig. 4 — Corte del compactador giratorio

Con este criterio, se mide la degradación de la mezcla total tomando un promedio del desplazamiento de las curvas granulométricas, antes y después del ensayo, definiéndose el Índice de Degradación como la sumatoria de los desplazamientos (en ordenadas) de las curvas granulométricas correspondientes a la mezcla primitiva y ensayadas por una serie estándar de tamices, dividida por el nº de tamices empleados. Existe un límite tentativo de aprobación para la mezcla de agregados, según su posición en la estructura, determinada por el Ing. Lockhart y Agr. Marchetti: Carpeta asfáltica $ID \leq 5$; Base asfáltica $ID \leq 7$.

Las probetas se moldean en la misma máquina, hasta llegar a la densidad máxima, para una presión vertical de $10,5 \text{ kg/cm}^2$, representativa de un tránsito de peso más que mediano, y se aplican 500 giros según un ángulo de inclinación de un grado y medio. El tenor de humedad para el moldeo (no se considera el efecto beneficioso de la lubricación por betún) es el que surge del ensayo de compactación normalizado en la Prov. de Buenos Aires para materiales granulares (molde de 150 mm. de diámetro y 120 mm. de alto, pisón de $5,5 \text{ kg}$ $\varnothing 75 \text{ mm.}$, altura de caída 305 mm. y aplicación de 35 golpes por capa, en 3 capas).

Respecto de la inclusión de esta exigencia en las Especificaciones, se tropieza con el inconveniente de que la envergadura y costo del instrumental requerido dificulta su empleo para ensayo de rutina en obra.

No obstante, habiéndose encontrado una cierta correlación entre el ID determinado mediante compactación aplicada por los equipos Proctor de ensayo, para mayor números de golpes por capa, y el medido por el compactador giratorio, creemos que sería de gran utilidad profundizar en el estudio de la correlación para distintos tipos de agregados, a fin de proceder si fuera posible, a un reemplazo del criterio de desgaste Los Angeles en las Especificaciones.

c) AGRESION POR AGENTES COMBINADOS

Este tipo de agresión es el que se impone a la mezcla cuando, debido a condiciones desfavorables de porosidad y drenaje, ve ocupados sus vacíos por agua, en tanto que se la somete a las sollicitaciones derivadas del tránsito. Los factores que inciden sobre la respuesta del agregado frente a ella son: naturaleza del mismo, porosidad y adherencia en el betún.

c.1.) Naturaleza petrográfica del agregado grueso.

El papel que desempeña la naturaleza geológica del agregado mineral en tal sentido es preponderante.

A los efectos de ordenar la exposición en lo que hace a métodos y límites de aceptación en las Especificaciones, consideraremos una diferenciación granulométrica entre agregado grueso (retenido sobre el tamiz Nº 10) y agregado fino (pasante por el tamiz Nº 10).

En lo que respecta a *agregados gruesos* es bien conocida la relación directa que existe entre presencia de minerales secundarios producto de alteración de las rocas, y fallas de superficies en los pavimentos.

Esos minerales se forman como resultado de la degradación química profunda de las rocas por el agua subterránea, aire, gases calientes o ácidos orgánicos disueltos. Dichos agentes atacan la superficie del cuerpo rocoso, penetran en las grandes grietas, en las microfracturas y finalmente entre los cristales mismos.

El deterioro producido varía entre parcial alteración sobre la superficie o márgenes de un cristal hasta el reemplazo completo de un mineral primario por otro menos estable. Cualquier hueco en la estructura de la roca se llena con minerales secundarios, y es así que rocas como el granito o el basalto, que contienen feldespatos como material primario, pueden dar origen a arcillas tipo caolín y calcita, inestables y ávidas de agua.

Otros minerales, como la calcita (CO_3CA) son solubles en agua y se destruyen rápidamente.

A fin de evitar que acciones de ese tipo conspiran contra la durabilidad de las mezclas asfálticas es muy importante que las Especificaciones contemplen el reconocimiento petrográfico de los agregados de acopio, que debe ser realizado por profesionales de la geología, por cuanto se trata de predecir el comportamiento futuro del material a través de un reconocimiento de su naturaleza geológica.

En general, las Normas incluyen como condición que los agregados gruesos serán obtenidos por trituración de rocas homogéneas sanas, limpias de alta dureza, trituradas en fragmentos angulares y de arista viva, no permitiéndose presencia de un cierto porcentaje de agregado con mineral en descomposición. No se admitirá el uso de ningún tipo de tosca. Cada

una de las fracciones que integran la mezcla total deberá estar constituida por agregados pétreos del mismo origen geológico.

Vialidad Nacional ha normalizado (VNE 66-75 y 67-75) una codificación para agregados en base a su aptitud vial. La clasificación petrográfica, como la identificación de materiales

perjudiciales o deficientes, se realiza para cada fracción de agregado por separado, según métodos que van desde la observación visual sobre fractura fresca de la roca hasta el empleo del microscopio petrográfico.

Los agregados aptos se clasifican según la tabla siguiente:

MATERIAL		CLASIFICACION	
TIPO	CARACTERISTICAS	PETROGRAFICA	
I	Duro algo soluble en agua (no se descompone)	a)	Calizas (sedimentarias y metamórficas)
		b)	Dolomitas
II	Muy duro insoluble en agua	1	Descomponible muy lentamente en estado fresco o con descomposición sólo incipiente en grado más avanzado
		a)	Gran vaca
		b)	Anfibolita y gneis anfibólica
		c)	Basalto y gabbro
		d)	Vulcanitas no básicas
		e)	Rocas de tipo granítico.
	2 INALTERABLE	a)	Cuarzo filónico o de vetas.
		b)	Cuarcita

También se contempla la discriminación entre material perjudicial y deficiente (blando o semi duro), según el cuadro que se consigna a continuación:

Material perjudicial (inestabilidad física)	* Concentración de productos finales de la alteración química susceptibles a la humedad (caolinita, montmerillonita, Illita, etc.). * Minerales, laminares fisibles, como único componente de partículas (biotita, muscovita, clorita, etc.). * Presencia de sales solubles y muy baja dureza (yeso, alumbre, boratos). * Sustancias extrañas al agregado pétreo.	
Material deficiente (conserva estructura original pero sus imperfecciones afectan resistencia y durabilidad)	Material blanco (coherente pero friable, se desmenuza fácilmente)	Roca descompuesta (alteración química muy avanzada) abundan los productos hidrolíticos, secundarios. Roca pobremente diagenizada aglutinantes físicos (arcilla), o sólo cementación química incipiente (areniscas). Roca muy micácea (debilitada por la fisibilidad de la mica).
	Material semiduro (coherencia disminuida pero no se disgrega)	Roca semi descompuesta (alteración incipiente; escasos minerales secundarios. Comienza a declinar en calidad. Roca cementación acentuada pero incompleta (areniscas cuarcíticas). Roca exfoliable o esquistosa (pizarra, filita).

Una vez realizada la identificación petrográfica de la muestra de agregados, con porcentajes definidos en peso para materia lapto, perjudicial y deficiente, el criterio de aprobación

para agregado grueso a emplear en carpeta y base de concreto asfáltico está regido por los límites siguientes:

	Porcentajes en peso máximo admisibles		
	Tipo de material		
	Perjudicial	Deficiente	
	Blando	Semiduro y/o total inaptos	
Base de concreto asfáltico (recubierta por carpeta o tratamiento)	1	3	6
Carpeta de concreto asfáltico	1	2	4

Base de concreto asfáltico (recubierta por carpeta o tratamiento)

Carpeta de concreto asfáltico

Se considera conveniente, reiteramos incluir la nomenclatura de Vialidad Nacional en las Especificaciones a fin de uniformar el lenguaje aún cuando tal vez la experiencia local en cada provincia, basada en diferenciaciones de clima (temperatura y humedad) y tránsito pudiera adaptar los límites a sus características particulares.

De la observación de las tablas de clasificación de los materiales surge la necesidad de contar con profesionales de geología vinculados al quehacer vial para este tipo de evaluación, como lo consignamos precedentemente.

c.2.) Naturaleza del agregado fino.

Los yacimientos de arenas, naturales, en general, están contaminados por presencia de material orgánica y finos arcillosos, diseminados en todo el yacimiento o concentrados en zonas o lentes u horizontes. Dicho efecto puede ser original, es decir, contemporáneo con la formación del depósito o posterior, debido principalmente a contaminación por circulación de agua.

La calidad de la arena de trituración depende de dos factores: La naturaleza del yacimiento y los métodos de elaboración, las sucesivas trituraciones tienden a concentrar en las fracciones más finas los elementos más alterados, y en consecuencia, las propiedades de la arena dependen en parte del número de etapas de trituración y del número de eliminaciones de fracciones finas.

No obstante, por más que se perfeccione

el método de producción, el factor decisivo resulta ser una roca sana como procedencia.

El grado de alteración de la roca, siendo perjudicial en las fracciones gruesas, lo es más acentuadamente en las finas, por cuanto la superficie específica es mayor, acelerándose el proceso de producción de finos plásticos por exposición frente al agua y al tránsito.

No siempre se puede contar con muestras del agregado origen como para evaluar su calidad mineralógica. Sin embargo las Especificaciones cuentan con el auxilio de un ensayo de técnica simple y rápido. La determinación del Equivalente de Arena.

Sus resultados orientan sobre la capacidad de la arena para resistir a los esfuerzos deformantes, en función de la razón volumétrica existente entre las fracciones, granular y fina, determinante de la existencia de un esqueleto granular.

Asimismo, ilustra sobre la capacidad de la fracción fina para absorber y retener agua, pudiendo llegar a destruir la estructura formada por contacto entre las partículas de arena.

Dado que en una base a carpeta asfáltica la fracción clasificable granulométricamente como arena proviene de una mezcla de áridos, se especifica como límite para aprobación el EA mínimo de 50 para dicha mezcla en base granular asfáltica y 55 para carpeta asfáltica.

Respecto de la composición del agregado fino (pasa tamiz Nº 10), los pliegos de la Prov. de Bs. As. establecen que estará constituido por una mezcla de arena natural y de tritura-

ción, libre de arcilla y otras materias extrañas. La arena de trituración deberá provenir de rocas que cumplan lo exigido al agregado grueso y entrar en una mezcla con la arena natural en un porcentaje no menor de 40% en tanto que la arena natural será de origen silíceo de granos limpios, duros, durables, sin películas adheridas alguna.

c.3.) Porosidad del agregado

Uno de los factores que pueden incidir sobre la durabilidad de las mezclas asfálticas en relación a la capacidad de absorber líquidos agresivos, especialmente cuando hay fallas de recubrimiento bituminosos, es la porosidad del agregado.

No necesariamente proviene la agresividad de la composición química del líquido, aún el agua que pueden contener los poros, en condiciones de clima riguroso se congela, aumentando su volumen y creando tensiones internas que llegarán hasta la rotura de partículas.

Existe un ensayo de laboratorio que reproduce esa acción acelerándola, a través del ataque por solución saturada de sulfato de sodio, cuyos cristales ejercen un trabajo similar de expansión en el seno del agregado (Norma IRAM 1525).

Se emplea tanto para fracción gruesa (para tamiz 4" retiene 3/8") como para fracción fina (pasa 3/8" - retiene tamiz Nº 50), constando de cinco ciclos iguales de inmersión en la solución saturada (16 a 18 hs) y secado a horno. La pérdida de peso porcentual para cada fracción granulométrica después de los cinco ciclos, referida a la granulometría total da el porcentaje de pérdida.

Nuestras Especificaciones en general estipulan un límite máximo de aceptación de 12% de pérdida de peso para los agregados a emplear en base granular y carpeta asfáltica.

Como hemos apuntado, el ensayo posee un interés particular para los casos en que las condiciones de exposición a agentes químicamente agresivos o al clima muy riguroso hacen prever un ataque dentro de las partículas de agregado. Asimismo puede resultar de utilidad para descartar el empleo de agregados que no resisten al ataque por su inestabilidad física (perjudiciales) o cuya cohesión no es suficiente (blandos) desde que abundan los productos de alteración química avanzada o micáceos.

Como contrapartida, la repetición de los

ciclos hace que la ejecución del ensayo insuma unos 10 días, es decir, no proporciona una respuesta inmediata cuando se requiere un control diario, pero sí cuando debe analizarse la calidad en un volumen determinado de acopio. Dado que las especificaciones poseen valor de contrato, y en consecuencia deben cubrir todas las contingencias de calidad posibles, consideramos conveniente mantener la condición fijada por esta técnica en las mismas.

c.4.) Adherencia Betun-Agregado

Para que la mezcla mantenga sus condiciones de serviciabilidad, la *adherencia* entre asfalto y agregado debe mantenerse dotando de un buen recubrimiento bituminoso que impermeabilice las partículas.

Desde el punto de vista del agregado, son factores muy importantes para lograr una buena adherencia su composición mineralógica porosidad y textura superficial.

No obstante siempre debe analizarse el problema con relación a las interfases agua-agregado-asfalto, es decir, que un simple estudio sobre el agregado aislado no conduce normalmente a una conclusión de descarte de determinado tipo. Aún para agregados de naturaleza ácida y cuya forma angulosa podría originar descubrimiento en los puntos de contacto, es posible mejorar la adherencia empleando aditivos adecuados a dosificar mediante ensayos de descubrimientos (I.T.T. y T.W.I.T. normalizados por Vialidad Nacional a ensayos Nicholson).

La evaluación de esta propiedad forma parte de los ensayos correspondientes a disificación de las mezclas asfálticas, y es por ello que las Especificaciones no incluyen a ese tipo de determinaciones dentro de los requerimientos de calidad aislada para los agregados, aún cuando debe realizarse la valoración, especialmente cuando la naturaleza del agregado a una baja estabilidad, remanente de la mezcla indiquen posibles fallas en tal sentido.

Este tema ha sido especialmente tratado en las Reuniones de la Comisión Permanente del Asfalto por autores de la importancia de los Dres. Ruiz, Pinilla, Petroni, Agnusdei y los Ings. Añón Suárez y Tosticarelli dado que la vastedad de su enfoque escapa al carácter sintético del esquema que aquí se plantea remitimos a los colegas interesados a la lectura de los mismos.

CONCLUSIONES:

1) En general, las Especificaciones, vigentes en la Prov. de Buenos Aires, contemplan una acertada acotación de las variables que inciden en la trabajabilidad y resistencia al corte de la mezcla asfáltica de carpeta y base en su faz inicial de comportamiento, relacionadas al esqueleto granular.

Como toda especificación, es susceptible de introducir las modificaciones que surjan de estudios posteriores como los referentes a compactabilidad de mezclas.

2) En lo que hace a durabilidad, se considera conveniente insistir en cuanto a identificación petrográfica, alteración térmica de agregados y evaluación del desgaste que sufren en servicio.

3) La identificación petrográfica realizada por geólogos vinculados al quehacer vial, tiene por objeto principal clasificar la aptitud de los agregados desde el punto de vista de su durabilidad en servicio.

Se propone generalizar la nomenclatura de Vialidad Nacional, tomando como límites de admisión de material perjudicial y deficiente (duro y/o blando) los fijados por dicha Reparación, aún cuando la experiencia de cada provincia, especialmente en lo que hace a condiciones, de clima, drenaje y tránsito, podrá adaptar los mismos a su contexto particular.

4) Se considera de particular interés futuro, frente al desarrollo alcanzado en el exterior por las nuevas técnicas de reciclaje, adoptar el método para determinar alterabilidad térmica de agregados, especialmente para temperaturas de hasta 350 °C.

5) Asimismo se estima necesario continuar con los estudios tendientes a evaluar la degradación frente a la acción mecánica de los agregados, según métodos que midan el comportamiento real de la mezcla pétreo total, teniendo en cuenta el desplazamiento granulométrico, de cada uno de los tamaños que la forman. Esos métodos, como el derivado de la aplicación del Compactador Giratorio, deberán

correlacionarse con ensayos fácilmente reproducibles en obra, a fin de posibilitar un control ágil y eficiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Ruiz C. L. y Dorfman — "Sobre la medida de la compactación y de la compactabilidad de mezclas asfálticas de tipo superior" XX Reunión Anual Comisión Permanente del Asfalto 1968.
2. Santángelo R. (y colaboradores) "Síntesis de una experiencia sobre compactación de mezclas asfálticas en general" "Fundamentos para actualizar las especificaciones" VIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito 1977.
3. Magran S., Fernández G., Ruiz C. "Alterabilidad térmica de los agregados pétreos" XVIII y XXI Reunión Anual del Asfalto 1973 y 1978.
4. Pike D. C. "Shear Box Tests on Graded aggregates" TRRL Report IR 584, 1973.
5. Lockhart J. M., Marchetti C. F., "La degradación de los materiales granulares en relación con su durabilidad", Vialidad Prov. de Bs. As. Nº 34.
6. Duarte R. A., y Marchetti C. F., "Interpretación del ensayo equivalente de Arena", IV Concurso de Trabajos Viales, Direc. Vialidad Prov. Bs. As. 1962.
7. The Asphalt Institute, "Asphalt hot-mix recycling" MS 20, 1981.
8. Especificaciones Dirección Vialidad Prov. Bs. As.
9. Normas Técnicas Dirección Nacional de Vialidad.
10. Normas Técnicas y Especificaciones ASTM.
11. Massaccesi D. y Villabona de Suárez N. "Las superficies asfálticas de rodamiento y su vinculación con las condiciones de reflectancia y resistencia al deslizamiento" — IX Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito 1981 Revista Carreteras Nº 100.

