680-43

Hormigones de cemento portland con agregados normales. Relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y el agua de amasado para distintas consistencias y relaciones agua/cemento

M. SABESINSKY FELPERIN (*)

RESUMEN

En el presente trabajo se examinan hormigones de cemento portland proyectados con esqueletos granulares compactos, de diferentes tamaños máximos y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas).

Se establece para distintas consistencias del hormigón fresco, dentro del rango plástico y para cada relación agua/cemento adoptada, la relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y la cantidad de agua de amasado requerida.

OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO

Este trabajo es parte de un Plan amplio de investigación tendente a:

- 1) establecer relaciones de semejanza entre hormigones de cemento portland con esqueletos granulares de distintos tamaños máximos;
- 2) investigar las propiedades mecánicas y fisicoquímicas del hormigón de cemento portland a través del comportamiento del micro-hormigón o mortero tipo;
- 3) emplear, en el examen de estos últimos, técnicas más avanzadas con instrumental más adecuado a la búsqueda de parámetros micro-estructurales.

En este trabajo se investiga, a través de los requerimientos de agua de amasado, la influencia del tamaño máximo nominal del esqueleto granular y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas) para distintas consistencias y relaciones agua/cemento del hormigón fresco.

INTRODUCCION

En este trabajo se examinan hormigones de cemento portland con agregados normales,

(*) Profesor Titular Investigador, a cargo del Laboratorio de Tecnología de Materiales (Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras-IMAE) Facultad de Ciencias e Ingeniería-Universidad Nacional de Rosario — (Argentina).

componentes de esqueletos granulares compactos, de diferentes tamaños máximos y forma de sus partículas (angulosas o redondeadas).

La investigación se lleva a cabo con esqueletos granulares compactos, de tamaños máximos nominales: 1,1 - 4,3 - 8,5 - 11,8 - 17,0 - 23,5 y 35,0 mm y relaciones agua/cemento: 0,35 - 0,40 - 0,50 - 0,57 y 0,70.

El hormigón normal está compuesto por agregados pétreos naturales, cemento portland, agua de amasado y a veces una pequeña cantidad de un aditivo mineral o químico, para conferirle propiedades especiales, ya sea en estado fresco o en estado endurecido.

Los agregados pétreos, generalmente considerados como material inerte (aunque no siempre lo son), ocupan aproximadamente entre el 65 y el 85 % del volumen sólido del hormigón, y su función es la de:

- 1) suministrar un material económico de relleno;
- 2) reducir y localizar la retracción;
- 3) mejorar la resistencia al desgaste.

En relación al cemento portland y al agua de amasado se ha concluido, en base a las investigaciones llevadas a cabo en trabajos previos (1), (2) y (3) que ambos deben ser considerados en forma conjunta, en lugar de estimar al cemento portland como a un elemento granular más en el conjunto de componentes del hormigón a elaborar.

El agua de amasado y el cemento portland constituyen la pasta conglomerante que envuelve a las partículas pétreas, gruesas y finas, componentes del esqueleto granular.

De acuerdo con L'Hermite (4), la influencia de la pasta de cemento portland se hace sentir desde el momento de su incorporación al conjunto granular de agregados. Faury (5) expresa que, en la concentración de esta pasta, dada por la relación "agua/cemento", se tiene el factor de mayor influencia en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del hormigón.

En la pasta de cemento portland, el agua que no se combina químicamente con los componentes del cemento origina poros dentro de la estructura de la misma. La porosidad inicial es máxima en el momento del amasado y se va reduciendo a medida que la hidratación del cemento se va completando, ya que el grado de hidratación afecta el espacio de los poros al ocupar los productos de hidratación más volumen que el cemento sin hidratar.

A medida que se incrementa la relación agua/cemento, aumenta la porosidad de la pasta hidratada. Según Brunauer (6), para relaciones agua/cemento de 0,35 a 0,70, la porosidad total de la pasta de cemento portland completamente hidratada varía respectivamente de 25 a 50 % del volumen total.

Estos poros que pueden llegar a intercomunicarse contienen agua y aire. En el material endurecido, a medida que la humedad ambiente se hace mayor, el agua penetra en el sistema de poros, sucediendo lo contrario cuando decrece esta humedad.

El diámetro de estos poros también depende de la relación agua/cemento inicial y aumenta a medida que lo hace esta relación. La pasta más viscosa empleada, de relación agua de amasado/cemento 0,35, tiene los poros de dimensiones suficientes como para permitir la completa hidratación del cemento portland normal.

Considerando, en consecuencia, a la pasta de cemento por una parte y a los agregados

gruesos y finos por la otra, se puede definir al hormigón de cemento portland como a un “cuerpo compuesto plásticamente deformable, integrado por un esqueleto granular y una cola conglomerante (la pasta de cemento)”.

En el caso de empleo de aditivos incorporadores intencionales de aire, el sistema de microburbujas, formadas en el mortero del hormigón, se considera parte componente del esqueleto granular.

Durante el proceso de hormigonado, si la compactación del cuerpo compuesto fresco se detiene en el preciso momento en que la pasta de cemento aparece en la superficie, al no quedar huecos sin llenar, la resistencia mecánica del hormigón, una vez endurecido, sigue la Ley de la relación agua/cemento (1).

De acuerdo con Lorenzen (7), y como se expresara antes, al considerar que la mayor parte de las buenas o malas propiedades del hormigón pueden ser atribuidas a la pasta conglomerante, investigaciones recientes han señalado que el agregado pétreo a menudo contiene componentes capaces de reaccionar con los productos de hidratación del cemento, dando lugar a reacciones internas.

En la serie de trabajos programados, del cual el presente es parte, se considera exclusivamente a los agregados normales, libres de minerales reactivos a los álcalis del cemento, o con contenidos en este último de álcalis en cantidad menor de 0,60 % (expresados como óxido de sodio) y además incapaces de desarrollar una reacción “cemento-agregados” (reacción de Conrow, examinada de acuerdo a ASTM-C-227).

En relación con el esqueleto granular, en un trabajo anterior (3) se ha investigado la composición de agregados compactos, gruesos y compuestos, para estructurar esqueletos granulares de distintos tamaños máximos nominales, para proyecto de hormigones normales.

Previamente fueron examinadas las curvas ideales para agregados de partículas angulosas y redondeadas, de Fuller, la asimilada parabólica de Gessler, las distintas de Bolomey, para hormigones plásticos y fluidos y las unificadas posteriores.

Dado que estas curvas clásicas fueron elaboradas para hormigones de masa indefinida, incluyendo con los agregados a los granos de cemento, se interpretaron las mismas excluyendo a las partículas finas que pasan por el tamiz N.º 100 (0,149 mm).

Las conclusiones surgidas del mencionado examen llevaron a investigar la composición de agregados compuestos, de máxima compacidad, para hormigones de masa definida, con efecto pared.

De acuerdo con Villey (8), las partículas gruesas, por el efecto pared, están limitadas en su libertad de desplazamiento al encontrarse con las caras, ángulos y aristas del encofrado. Al ubicarse tangencialmente a los planos límites, hacen entrar en juego a los elementos finos. El hormigón se consolida mal cerca de las superficies rígidas, ya que las partículas no pueden moverse más que en direcciones paralelas a las paredes. La estructura cavernosa del hormigón que a veces se observa sobre los paramentos y especialmente en los ángulos, es consecuencia del efecto pared.

De acuerdo con L'Hermite (4), Faury (5) y Villey (8), el efecto pared ha transformado la teoría clásica de la granulometría y hace que las fórmulas granulares deban ser previstas en función de otras consideraciones, y que, en este caso, una mayor proporción de agregado fino se hace necesario.

Sin embargo, debe tenerse presente que es el agregado grueso quien mejora la calidad del hormigón, ya que con su aumento se consigue una reducción de la superficie total de las partículas componentes del esqueleto granular.

Interesa en consecuencia obtener, para los hormigones de masa definida con efecto pared, un agregado compuesto (el esqueleto granular), de mínima superficie específica, el cual para una determinada relación agua/cemento y una requerida consistencia permita reducir al mínimo la cantidad necesaria de agua de amasado. En esta forma, la composición de partículas y la naturaleza de los agregados gruesos y finos obran de manera importante, aunque indirectamente, sobre la resistencia mecánica y química del hormigón.

En base a los módulos granulométricos del agregado compuesto compacto de acuerdo a (2), el esqueleto granular puede reproducirse partiendo de los módulos granulométricos de los agregados componentes y aplicando la Ley de las Mezclas, o bien por composición de retenidos parciales.

Las distintas curvas de distribución de las partículas, por tamaños, para el agregado compuesto compacto (1) y (2), evidencian que, entre los esqueletos granulares de mínima superficie específica, el óptimo es proporcionado por los granulados discontinuos.

Sin embargo, si bien la discontinuidad resulta beneficiosa cuando están ausentes determinados granulados intermedios, los agregados gruesos y finos componentes deberán tener una granulometría bastante continua.

Como se observa en (9), el agregado grueso componente deberá respetar la Norma IRAM 1627 (basada en la Norma ASTM-C-33), donde se establecen los "límites de granulometría para los agregados de peso normal". De acuerdo a esta Norma, el agregado fino deberá también tener una granulometría continua, con módulos de finura entre valores: 2,15 a 3,38.

El agregado grueso mejora la calidad del hormigón, ya que con su presencia se reduce la superficie específica del esqueleto granular. De acuerdo con Barceló (10), es de gran importancia económica emplear la mayor cantidad posible de agregado grueso, graduado hasta el mayor tamaño que lo permita la obra. Para los agregados grandes, la necesidad de agua por unidad de volumen del hormigón fresco es menor por la reducción de la superficie total de mojado.

De acuerdo con Lorenzen (11), la cantidad de agua de amasado requerida para producir una mezcla, de determinada consistencia, es influenciada por:

- 1) el tamaño del agregado;
- 2) la granulometría del mismo y la forma de sus partículas;
- 3) la temperatura del hormigón.

Kesselheim ha demostrado (10) que en la Presa de Bleiloch (Alemania), al elevar el tamaño máximo del agregado de 60 a 120 mm, se hubiesen ahorrado el 15 % de cemento como consecuencia de la menor cantidad de agua de amasado requerida. Además, la reducción en la cantidad de pasta de cemento hubiese logrado una notable disminución en la retracción del hormigón.

De acuerdo a un trabajo anterior (12), para una dada relación agua/cemento, la retrac-

ción por secado se hace mayor a medida que aumenta la relación “pasta de cemento portland/esqueleto granular”. Esto corrobora la afirmación precedente.

Las conclusiones de Papadakis y Venuat (13) concuerdan con las afirmaciones anteriores: “la retracción en el hormigón (por secado, pre y postfraguado y térmica por liberación del calor producido y por variaciones de temperatura en el obrador) disminuye a medida que se hace mayor el tamaño máximo del agregado grueso”.

El tamaño máximo de los agregados está ligado a las dimensiones mínimas de los moldes y al espacio mínimo libre entre las barras de las armaduras. En consecuencia, y en relación al esqueleto granular y a su tamaño máximo, deberá considerarse, dentro de las limitaciones mencionadas, cuál es el mayor permisible a adoptar.

Sobre las bases de las consideraciones expuestas se examinan, en este trabajo, esqueletos granulares de diferentes tamaños máximos nominales, estructurados por composición de retenidos parciales. Se excluyen las partículas menores de 0,149 mm (tamiz N.º 100), las que, según se ha comprobado, resultan ser elementos activos, tanto en el mortero fresco, desde el comienzo del amasado, como también en el mortero endurecido.

En un trabajo anterior (1) se concluyó que estos finos al ser incorporados en su seno por la pasta conglomerante modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco y la resistencia química y mecánica del hormigón endurecido.

En un trabajo anterior (14), donde se examina la influencia de estos finos a través del examen conductimétrico durante el proceso de fraguado, se observa su influencia en la incorporación natural de aire durante el amasado (aire atrapado) y en el mismo proceso en observación.

TRABAJO EXPERIMENTAL

a) Consideraciones Generales

Los distintos esqueletos granulares empleados fueron proyectados en base a módulos granulométricos según (1) y (2) y reproducidos por composición de retenidos parciales, con partículas en estado seco.

Para cada relación agua/cemento examinada se proyectó hormigones con cada uno de los esqueletos granulares adoptados y consistencias del hormigón fresco, variables dentro del rango de los hormigones plásticos.

La consistencia del hormigón fresco fue siempre estimada por mediciones de asentamiento del tronco de cono al desmoldarse, en un todo de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM-C-143.

El rendimiento del hormigón fresco, para la determinación del contenido de agua de amasado y de cemento portland, fue determinado por mediciones de acuerdo a las recomendaciones contenidas en la Norma ASTM-C-138.

Las muestras del hormigón fresco, recién elaborado, fueron extraídas siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM-C-172.

Los distintos retenidos parciales componentes del esqueleto granular fueron previamente mezclados entre sí y luego con el cemento portland, hasta distribución uniforme. Final-

mente, fue incorporada el agua de amasado, siendo el tiempo de amasado el mismo para las diferentes preparaciones.

En cada preparación, inmediatamente después de concluido el amasado, se efectuaron tres mediciones de rendimiento y tres estimaciones de consistencia. Los valores obtenidos respectivamente fueron promediados, considerándose el valor medio resultante. Estos valores medios fueron considerados en relación a cada grupo, clasificado por su esqueleto granular (forma de las partículas y tamaño máximo nominal) y la relación agua/cemento.

Durante todo el trabajo experimental las condiciones del laboratorio fueron: temperatura: $20 \pm 2^\circ\text{C}$; humedad relativa: $65 \pm 5 \%$.

b) Consistencias del Hormigón fresco

Para cada uno de los esqueletos y relación agua/cemento adoptados, por incremento simultáneo en las cantidades de agua de amasado y de cemento portland, se fue variando la relación “pasta de cemento/esqueleto granular”.

La variación de la mencionada relación, por incremento de la cantidad pasta de cemento, permite variar la consistencia del hormigón fresco, dentro del rango plástico estimable por el Método del Tronco de Cono.

c) Esqueletos Granulares

En la figura 1 se indica cómo fueron estructurados, por composición de retenidos parciales, los distintos esqueletos granulares empleados en el presente trabajo. Para cada tamaño máximo nominal y forma de las partículas se indica el aporte correspondiente a cada retenido parcial, expresado en por ciento del volumen sólido total por tratarse de partículas de diferentes pesos sólidos.

El tamiz de abertura de malla N.º 16 (1,19 mm) establece en cada esqueleto granular la separación entre las distintas partículas componentes de los agregados clasificados como “agregado fino” y “agregado grueso”, respectivamente.

En este trabajo se ha empleado como único agregado fino el compuesto por los retenidos parciales cuyos porcentajes de aporte se indican a continuación:

	%
Retenido por tamiz N° 16 (1,19 mm)	0
Retenido por tamiz N° 30 (0,59 mm)	57
Retenido por tamiz N° 50 (0,297 mm)	31
Retenido por tamiz N° 100 (0,149 mm)	12

Las diferentes partículas son redondeadas y fueron obtenidas procesando arena silícea del Río Paraná.

En las proporciones indicadas, constituidas exclusivamente por tres retenidos parciales, con exclusión de partículas menores de 0,149 mm, se puede componer un “micro-esqueleto granular” de máxima compacidad y mínima superficie específica. A este agregado fino compuesto le corresponde un módulo granulométrico $M_s = 2,45$, y un tamaño máximo nominal $D_{m\acute{a}x.} = 1,1 \text{ mm}$.

Las partículas mayores de 1,19 mm, correspondientes al agregado grueso, según su forma (angulosas o redondeadas), proporcionan, juntamente con el agregado fino común, las dos familias de esqueletos granulares empleados.

En la figura 1 se indica, para cada uno de estos esqueletos granulares, el módulo granulométrico y el tamaño máximo nominal ($D_{\text{máx.}}$). Se define como tamaño máximo nominal del agregado pétreo analizado, al lado de la abertura de malla de un tamiz hipotético, a través del cual pasa en forma acumulada el 95 % del peso total del material.

Se observa en la misma figura cómo estos esqueletos granulares de máxima compacidad y de mínima superficie específica corresponden a granulometrías discontinuas por ausencia de partículas intermedias. Esta discontinuidad resulta más evidente a medida que se hace mayor el tamaño máximo nominal del esqueleto granular compuesto.

d) Cemento portland

El cemento portland normal, de fabricación nacional, empleado en el presente trabajo, responde a las siguientes características:

d.1) Composición potencial del clínker:

	%
— silicato tricálcico (C_3S)	40-45
— silicato dicálcico (β - C_2S)	33-36
— aluminato tricálcico (C_3A)	8-9
— ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF)	5-10

d.2) *Alcalis*: (expresados como Na_2O) ... 0,35-0,50 %

d.3) *Superficie específica* (BLAINE) ... 3.000-3.200 cm^2/g

De acuerdo a conclusiones obtenidas en trabajos anteriores (6) y (15) en relación con la influencia del molido del cemento portland sobre la consistencia obtenida en el hormigón fresco, se tuvo especial cuidado en mantener la superficie específica dentro del entorno señalado.

e) Agua de amasado

Se empleó en todas las preparaciones agua de amasado proveniente de la red de alimentación de agua potable al laboratorio, cuyo análisis químico se transcribe:

— residuo (por evaporación)	833 p.p.m.
— sulfatos (como SO_3)	282 p.p.m.
— cloruros	43 p.p.m.
— dureza (como CO_3Ca)	74 p.p.m.
— reacción al tornasol	neutra.
— materia orgánica	—

Fig. 1.—Diferentes esqueletos granulares empleados, según tamaño máximo nominal correspondiente.

INTERPRETACION DE LOS VALORES OBTENIDOS

Consideraciones Generales

Se interpretan los valores medios obtenidos, relacionando la consistencia del hormigón fresco con la correspondiente cantidad de agua de amasado y de cemento portland por metro cúbico, de este cuerpo compuesto fresco y compactado.

Se establecen estas correspondencias para:

- 1) cada relación agua/cemento adoptada;
- 2) cada esqueleto granular de diferente tamaño máximo nominal;
- 3) cada una de las dos formas de partículas del agregado grueso componente.

De acuerdo a lo expresado, se han conformado los gráficos de las figuras 1 y 2.

Para el hormigón fresco, de consistencia plástica, correspondiente a asentamiento entre 1,0 y 17,5 cm (estimados por el Método del Tronco de Cono-ASTM-C-143), con esqueletos granulares compactos, compuestos con partículas angulosas y redondeadas y con las relaciones agua de amasado/cemento adoptadas, se observa que:

- 1) la consistencia obtenida resulta ser proporcional a la cantidad de agua de amasado empleada;
- 2) esta proporcionalidad resulta ser diferente para cada relación agua/cemento;

Fig. 2.—Hormigones de cemento portland con agregados normales.

— Contenido de agua de amasado (kg/m^3 de hormigón fresco y compactado), en función del tamaño máximo nominal del esqueleto granular, forma de las partículas y relación agua/cemento, para distintas consistencias del hormigón fresco.

- 3) se produce un aumento de 2,5 cm en el asentamiento del hormigón fresco con incrementos entre 4,5 y 9 kg de agua de amasado por metro cúbico de hormigón fresco y compactado. Estos resultan ser mínimos para la relación agua/cemento: 0,50 y máximos para la relación agua/cemento: 0,35. Además estos valores resultan ser independientes del tamaño máximo y forma de las partículas del esqueleto granular;
- 4) para una requerida consistencia y una determinada relación agua/cemento, la cantidad necesaria de agua de amasado resulta ser menor a medida que se hace mayor el tamaño máximo del esqueleto granular;
- 5) para una dada cantidad de agua de amasado y relación agua/cemento, la consistencia se traduce en aumentos en los asentamientos de hormigón fresco a medida que aumenta el tamaño máximo del esqueleto granular;
- 6) para un dado esqueleto granular, consistencia y relación agua/cemento, la cantidad necesaria de agua de amasado resulta ser mayor para esqueletos con partículas angulosas que con partículas redondeadas.

En trazo grueso, y para partículas redondeadas, se indica la cantidad de agua de amasado necesaria para micro-hormigones cuyo esqueleto granular corresponde al agregado fino empleado.

Fig. 3.—Hormigones de cemento portland con agregados normales.

— Contenido de cemento (kg/m^3 de hormigón fresco y compactado) en función del tamaño máximo nominal del esqueleto granular, forma de las partículas y relación agua/cemento, para distintas consistencias del hormigón fresco.

Para el hormigón fresco, de consistencia plástica, correspondiente a asentamientos entre 1,0 y 17,5 cm, (estimados por el Método del Tronco de Cono-ASTM-C-143), con esqueletos granulares compactos, compuestos con partículas angulosas y redondeadas y con las relaciones agua de amasado/cemento adoptadas, se observa (fig. 3) que:

- 1) para una requerida consistencia y una determinada relación agua/cemento, la cantidad necesaria de cemento portland será menor a medida que se hace mayor el tamaño máximo del esqueleto granular;
- 2) para una dada cantidad de cemento portland y relación agua/cemento, la consistencia se traduce en aumentos en los asentamientos del hormigón fresco a medida que aumenta el tamaño máximo del esqueleto granular;
- 3) para un dado esqueleto granular, consistencia y relación agua/cemento, la cantidad necesaria de cemento portland resulta ser mayor para partículas angulosas que para partículas redondeadas.

En trazo grueso, y para partículas redondeadas, se indica la cantidad de cemento portland necesaria para micro-hormigones cuyo esqueleto granular corresponde al agregado fino empleado.

CONCLUSIONES

La consistencia obtenida en el hormigón fresco resulta ser proporcional a la cantidad de agua de amasado empleada, siendo esta proporcionalidad distinta para cada relación agua/cemento.

En el hormigón fresco, dentro del rango plástico y para una dada relación agua/cemento, la variación en la consistencia por efecto de un aumento o disminución de agua de amasado resulta ser independiente del tamaño máximo y forma de las partículas del esqueleto granular. La relación agua/cemento: 0,50 es menos sensible a variaciones en la consistencia por variaciones en la cantidad de agua de amasado.

Para una requerida consistencia y una determinada relación agua/cemento, la cantidad necesaria de agua de amasado será menor a medida que se hace mayor el tamaño máximo del esqueleto granular.

Para una dada cantidad de agua de amasado y relación agua/cemento, la consistencia se traduce en aumentos en los asentamientos del hormigón fresco a medida que crece el tamaño máximo del esqueleto granular.

Para un dado esqueleto granular, consistencia y relación agua/cemento, la cantidad necesaria de agua de amasado resulta ser mayor para partículas angulosas que para partículas redondeadas.

REFERENCIAS

- (1) M. SABESINSKY FELPERIN.: "Método para Proyecto de Hormigones". I Simposio sobre Materiales. LEMIT, La Plata, 1964.
- (2) M. SABESINSKY FELPERIN.: "Composición de agregados compactos, gruesos y compuestos, para Proyecto de Hormigones Normales, de distintas consistencias y relaciones agua/cemento". XIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, 1969.
- (3) M. SABESINSKY FELPERIN.: "Influencia del tamaño máximo del esqueleto granular en el Proyecto de Hormigones de cemento Portland". Reunión Conjunta de las XIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y el IV Simposio Panamericano de Estructuras. Buenos Aires, 1970.
- (4) R. L'HERMITE.: "Idées actuelles sur la Technologie du Béton". Edit. Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.
- (5) J. FAURY.: "Le Béton. Influence de ses constituants inertes, règles à adopter pour sa meilleure composition". París, 1942.

- (6) S. BRUNAUER.: "The Structure of hardened Portland cement paste and Concrete". VIII Conference on the Silicate Industry. Budapest, 1965.
- (7) E. N. LORENZEN.: "Materials, design and control of quality Concrete". Denver, Colorado, 1964.
- (8) J. VILLEY.: "El efecto pared sobre la compacidad de las mezclas granulosas binarias". Le Genie Civil. Nov., 1944.
- (9) M. SABESINSKY FELPERIN.: "El Hormigón de cemento Portland, su resistencia Química y Mecánica". IMAE, Informe Técnico, N° 9. Facultad de Ciencias, Ingeniería y Arquitectura. Rosario, 1969.
- (10) G. BARCELO.: "Hormigón vibrado. Su técnica, su ejecución, dosificaciones". Edit. Dossat, Madrid.
- (11) E. N. LORENZEN.: "Design of Concrete Mixes". Denver, Colorado, 1964.
- (12) M. SABESINSKY FELPERIN.: "The Portland cement paste in the Shrinkage of micro-concretes, for different water/Cement ratios". International RILEM/CEMBUREAU Symposium on Shrinkage on Hydraulic Concrete", Madrid, 1968.
- (13) M. PAPADAKIS., M. VENUAT.: "Fabrication et utilisation des Liants Hydrauliques". L'Ecole Spéciale du Bâtiment et des Travaux Publics. Paris, 1966.
- (14) M. SABESINSKY FELPERIN.: "El mortero RILEM/CEMBUREAU. Influencia de los finos de Sílice a través del Examen Conductimétrico del Proceso de Fraguado". Grupo Latinoamericano de la RILEM-INTI, Buenos Aires, 1968.
- (15) M. SABESINSKY FELPERIN.: "Examen Conductimétrico del Proceso de Fraguado y de Endurecimiento de las pastas de cemento Portland y efecto de los finos de Sílice en las mismas". X Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires, 1965.