

## PREFABRICADOS DE MICRO-HORMIGON Y SU EMPLEO COMO LIGANTE HIDRAULICO

(MICRO-CONCRETE PRE-CASTS AND THEIR USE AS HYDRAULIC BINDING)

Gastón Barrios, L., Profesor Titular, Investigador - Facultad de Ingenieros,  
Escuela de Construcción Civil - Pontificia Universidad Católica de Chile

686-3

CHILE

### RESUMEN

*La investigación estuvo destinada, en su primera parte, a la aplicación de micro-hormigones, compuestos de desechos industriales o minerales químicamente reactivables, cemento y agua, para obtener pavimentos y ladrillos.*

*Posteriormente se iniciaron ensayos para emplearlo como ligante hidráulico de partículas orgánicas.*

*El conglomerar con resinas partículas orgánicas, provenientes de la agricultura y la agro-industria, ha dado como resultado la obtención de placas de resistencias mecánicas bajo las exigencias estructurales de la edificación, comúnmente permeables y propagadoras del fuego, siendo sólo aceptables como materiales de terminación interior.*

*En la búsqueda de mejorar resistencias y bajar costos, se ha ensayado ocupar pastas o morteros hidráulicos para reemplazar estas resinas, no llegando al objetivo por el bajo porcentaje de partículas que estos aceptan.*

*Observando las cualidades físicas de los micro-hormigones, se intentó ensayarlo como ligante hidráulico y obtener prefabricados para viviendas.*

*Los pavimentos monolíticos y ladrillos, en cuanto a resistencia y costo, no presentaron ventajas sobre los tradicionales. Se podría justificar su aplicación sólo por mejor aspecto de textura y colorido. Las baldosas en módulos de 20 x 20 cm. a 30 x 30 cm a iguales resistencias, resultan de un costo 51 % menor a las tradicionales y los ladrillos para muros resultaron de condiciones similares a los mecanizados actuales.*

*Los paneles obtenidos usando el micro-hormigón como ligante de aserrín de madera, de 230 x 50 x 6 cm, dieron como resultado elementos modulares estructurales, de fácil montaje y cualidades térmicas, acústicas e hidrófugas de acuerdo a las normas y a menor costo que sus similares más usados en la construcción, constituyendo así un material nuevo que, continuando en su ensayo para otros prefabricados, puede mejorar las características de los ya conocidos especialmente en viviendas económicas.*

### Introducción

Durante años se han ejecutado investigaciones tendientes a crear nuevos materiales de construcción, dirigidos a la edificación y en menor escala a obras civiles.

Es fácil comprobar como esta búsqueda, ha recaído siempre en diversas combinaciones de materiales ya conocidos, para constituir elementos heterogéneos que, sumando cualidades, sólo alcanzan a cumplir condiciones mínimas térmicas, acústicas e hidrófugas,

### SUMMARY

*Research was directed, in its early stage, towards the application of micro-concrete, compounds of industrial wastes or minerals which can be chemically reactivated, cement and water, in order to obtain paving and bricks.*

*Subsequently, tests were started to use it as hydraulic binding for organic particles.*

*Conglomerating resins with organic particles, proceeding from agriculture and the farming industry, has resulted in obtaining plates of mechanical resistance under the structural demands of construction, which are generally permeable and fire-spreading, and are only acceptable as materials for interior finish.*

*In the quest for improving resistance and lowering costs, research has been undertaken to use pastes or hydraulic mortars to replace these resins, without the objective being achieved due to the low percentage of particles which these accept.*

*On observing the physical qualities of micro-concrete, an attempt was made to test it as a hydraulic binding and obtain pre-casts for housing.*

*Monolithic paving and bricks did not offer any advantages over traditional ones as far as resistance and cost were concerned. Their application could only be justified on account of their better appearance in texture and colouring. Tiles in 20 x 20 cm to 30 x 30 cm modules with the same resistance work out at 51 % cheaper than traditional ones and bricks for walling turned out having conditions similar to those currently being mechanized.*

*Panels obtained by using micro-concrete as a binding for sawn wood measuring 230 x 50 x 6 cm, resulted in structural modular elements that are easy to assemble and have thermal, acoustic and water-proof characteristics which comply with standards and costs less than similar ones of widest use in construction. Thus they constitute a new material, which, along with continued testing for other pre-casts, may improve the characteristics of those already known, particularly in cheap housing.*

en menor grado retardadoras del fuego y raramente estructurales.

Con este mismo fin, se ha ensayado el empleo de aditivos químicos, tratamientos térmicos y otros, para modificar las cualidades de morteros, hormigones y arcillas, adaptándolos así a ciertas necesidades físicas de los componentes. El principio sobre el cual se ha trabajado más en el último tiempo y que, aunque estrictamente constituye un compuesto, podríamos calificar como nuevo material, es el aglomerar partículas orgánicas provenientes de desechos de la agricultura o

de la agro-industria. Para obtener esta ligazón se ha recurrido a resinas, que dan un producto final únicamente auto-soportante y de elevado costo, que sólo cumple funciones de paneles de relleno de estructuras tradicionales o placas de cerramientos interiores.

Pensando siempre en mejorar las propiedades estructurales y bajar costos, se ha recurrido al empleo de morteros y pastas tradicionales como ligantes, que sólo aceptan volúmenes bajos de material orgánico y finalmente sus cualidades físicas son prácticamente las mismas de los prefabricados de hormigón tradicional. Con el advenimiento de los micro-hormigones (1) (2), que permiten obtener pastas más homogéneas, plásticas y dúctiles que los morteros normales y densidades finales de un 75 % de estos, con mejores resistencias mecánicas, además de su menor costo por constituirse en gran parte de desechos industriales o minerales; se abrió un vasto campo para la obtención de nuevos prefabricados para la construcción.

Observando la composición mineralógica y química; se pensó en su empleo para elementos sometidos a desgaste; por sus propiedades físicas, en prefabricados pretensados y por su plasticidad y ductibilidad, destinarlos a ligantes de partículas orgánicas.

La presente investigación estará limitada a:

- Pavimentos constituidos por prefabricados de pequeños módulos; baldosas, adoquines y pastelones hasta de 1 m<sup>2</sup>., que aunque tuviesen igual costo y resistencia de los tradicionales, tendrán mejor apariencia por su fina textura y colorido dado por los residuos incorporados.
- Módulos estructurales para viviendas de un nivel o cerramientos de edificios en altura, compuestos de aserrín de madera y ligante de micro-hormigón, que cumplan con los siguientes requisitos: peso adecuado para manipulación sin maquinaria, retardadores de fuego, impermeabilidad suficiente para no requerir tratamiento hidrófugo, aislamientos térmicos y acústicos iguales o superiores a un muro de ladrillo de 15 cm. y resistencias a pandeo, flexotracción e impacto de acuerdo a las normas internacionales.

## 1. Materiales y metodología

La investigación se realizó a partir del año 1977 dándose por terminada en 1983, en el Laboratorio de Construcción Civil de la Universidad Católica de Chile. El instrumental utilizado fue el existente, debiéndose solamente diseñar y montar una mezcladora helicoidal de doble eje horizontal, especial para las mezclas de aserrín y un marco de carga de 210 Toneladas en confección de paneles.

### 1.1. Elección de materiales y características

Para seleccionar los componentes a ensayar, se eligieron los residuos industriales o minerales que en Chile causan mayor contaminación (2) como relaves de

explotaciones mineras, cenizas volantes, flotación de fábricas de cemento y otros provenientes de yacimientos naturales no explotados y de fácil extracción. Así orientada la selección, además de producir un nuevo elemento aprovechable en la construcción de viviendas, se tendería a disminuir la contaminación ambiental, evitar en parte el uso de suelo laborable que se convierte año a año en nuevos lagos inertes y el costo en presas para retener estos residuos. Como ejemplo cabe destacar que solamente para el mineral de cobre "El Teniente" el año 1984 se destinaron a disposición de relaves US\$ 155 millones.

En un comienzo, sin entrar en mayores consideraciones, se pensó que, por aparecer en las probetas el color del residuo empleado, este envolvía las partículas de cemento, debiendo elegirse desechos más finos que el cemento y de alta superficie específica o molerlos hasta obtener esta condición (1).

Basados en este principio, se seleccionó una veintena de residuos para ser ensayados en probetas RILEM, variando relaciones cemento/residuo, agua/cemento +residuo, sistemas de conservación, vibraciones o prensados.

Observando las dispersiones de resultados de resistencias mecánicas, que no coincidían con el primer marco de referencia (2), se estimó que estas dispersiones se deberían a las reacciones de hidratación del cemento y, para predecir los resultados, se debería conocer cuales son las reacciones durante el curado y cuales sus condiciones para mejorar las uniones o enlaces.

Basados en esta hipótesis, se inició una investigación que, confirmándola, serviría para seleccionar residuos o desechos evitando extensos ensayos empíricos de laboratorio antes de su adopción.

Se seleccionaron cinco de los residuos más representativos: relave de cobre "La Africana" (N1, M1, P1), relave de mineral aurífero "Punitaqui" (N2, M2, P2), relave de cobre "El Teniente" (N3, M3, P3), ceniza volante "Chilectra" (N4, M4, P4) y puzolana de "Pudahuel" (N5, M5, P5), además de arena normal (6) y cemento Portland puro P-450 (Z).

#### 1.1.1. Análisis de residuos y resultados (4)

La metodología empleada fue: microscopia electrónica de barrido (SEM) con microsonda (EPMA), difracción de rayos X, microscopia óptica y análisis químico gravimétrico, volumétrico, extracción por solventes orgánicos, electrocolorimétrico, de conductometría en solución y de absorción atómica.

La reactividad química de los materiales se determina con Ca (OH)<sub>2</sub> (6). Se analiza la fase sólida y la fase acuosa de mezclas material: CaO: H<sub>2</sub>O = 5:1:30, entre 1 y 120 días de reacción a 20 ± 5°C.

La composición mineralógica, relación entre análisis químico, óptico y difractométrico, permite predecir la

reactividad química de los componentes cristalizados del material de desecho. Para conocer la reactividad química de la fase amorfa, es decir, de la fase vitrificada, se debe recurrir al estudio de la reactividad con CaO, que a partir de los 28 días de reacción se hace diferenciable.

El material más reactivo es la puzolana "Pudahuel"; en orden decreciente reaccionan la ceniza volante "Chilectra", el relave de cobre "El Teniente", el relave de cobre "La Africana" y el relave de oro "Punitaqui".

Las arcillas: clorita, biotita y serecita, presentes en los relaves, no producen expansión nociva, ya que son del tipo de las micas que no absorben agua en su red cristalina.

La cal adicionada a la puzolana "Pudahuel" se combina totalmente entre los 90 y 120 días de reacción, esta reacción es homogénea, como ya se puede apreciar a los 56 días.

### 1.1.2. Análisis de probetas de micro-hormigón y resultados (4)

Determinadas las propiedades físicas y químicas de los desechos seleccionados, se confeccionaron probetas RILEM de micro-hormigón con estos desechos, para analizar los productos de hidratación formados, detectar la distribución de los elementos, medir resistencias mecánicas, densidades y porosidades estableciendo finalmente las relaciones entre las propiedades mecánicas, y los productos de hidratación, cristalinos y amorfos encontrados.

#### Confección de probetas y ensayos

Desechos y cemento.

De cada uno se separaron muestras secas de distintas finuras, obtenidas en molino de bolas y naturales tamizadas (Malla 4 ASTM). Ver Cuadro n.º 1.

El cemento Portland puro "Z" por su granulometría  $61\% < \mu_{30}$ , la superficie específica  $3.500 \text{ cm}^2/\text{gr}$ . (Blaine) y ausencia de puzolana.

Relación desecho/cemento.

Considerando las condiciones bajo las cuales se empleará el material como componente constructivo (2), (3) por su productividad en rendimiento/costo, se eligió la razón de 2 partes de desecho por una de cemento.

Relación agua sólidos.

Según la capacidad de absorción de cada desecho, la relación  $H/(Z+D)$  varió hasta llegar a la plasticidad necesaria para moldear. Entre un mínimo de 0.25 para los cobres y oro, 0.28 para las puzolanas y 0.30 para las cenizas. Con estos mínimos se obtuvieron las mayores resistencias. Cuadro N.º 6.

Confección.

— Mezcla en mezcladora de morteros HOBART, a 139

giros/min. y 61 giros/min. del eje planetario, durante 5 min., vertiendo el agua a partir del segundo min.

— Moldeo en probetas RILEM,  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ .

— Vibración de 20 ciclos/seg. durante 2 min.

— Desmolde a 24 horas para entrar a etapa de conservación.

Conservaciones.

Para cada serie de probetas se hicieron tres conservaciones distintas:

— Ambiente laboratorio  $T = 8 > 22^\circ\text{C}$ ,  $P = 30 \geq 45\%$ .

— Confiados en polietileno durante 30 días y posteriormente en ambiente.

— Cámara húmeda  $T = 20^\circ\text{C}$  HR = 100 %.

Ensayos mecánicos.

Habiéndose comprobado que hasta los 60 días el incremento de resistencia es significativo, tendiendo a estabilizarse posteriormente (1) (2), los ensayos se hicieron a esa edad, según Normas ASTM C348 y C349.

Se emplearon para compresión una prensa Soiltest de 300 Ton. y una Galileo de brazo para la flexotracción. Cuadros N.º 4, 5 y 6.

Porosidad.

Sin intención de medir la porosidad total y sólo para establecer comparaciones relativas, se hicieron por inmersión de keroseno durante 24 horas. El resultado se da S.S.S. en vol/vol. Cuadros N.º 4, 5 y 6.

Retención de agua.

Bajo las mismas condiciones, se observó que los desechos en estado natural retuvieron menos agua que molidos. Gráficos 1 y 2.

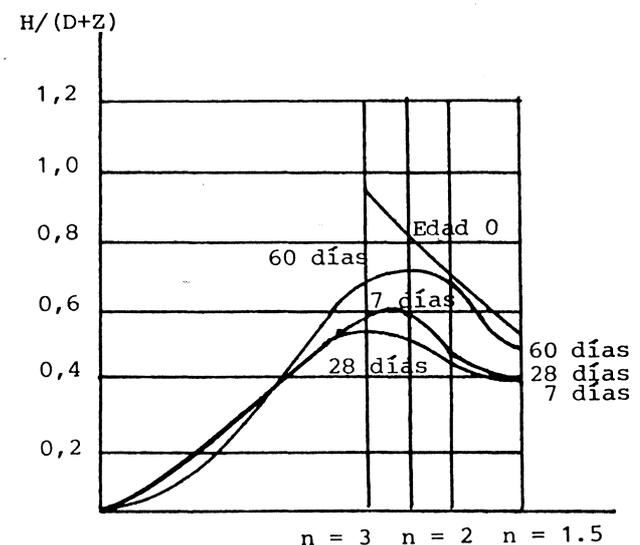


Gráfico 1.—Retención de agua (flotación P. natural).

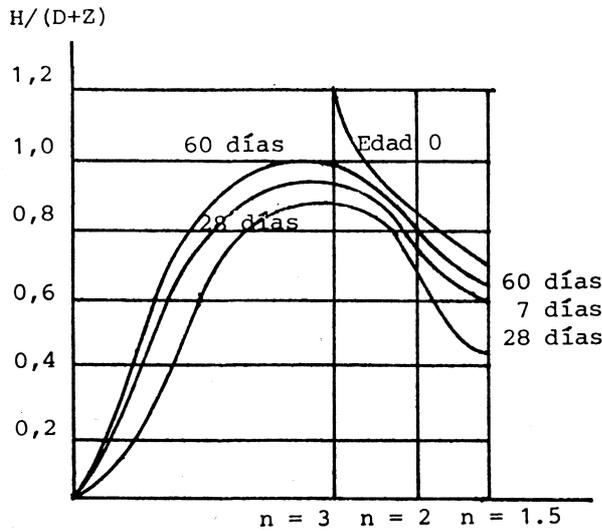


Gráfico 2.—Retención de agua (flotación P. molido).

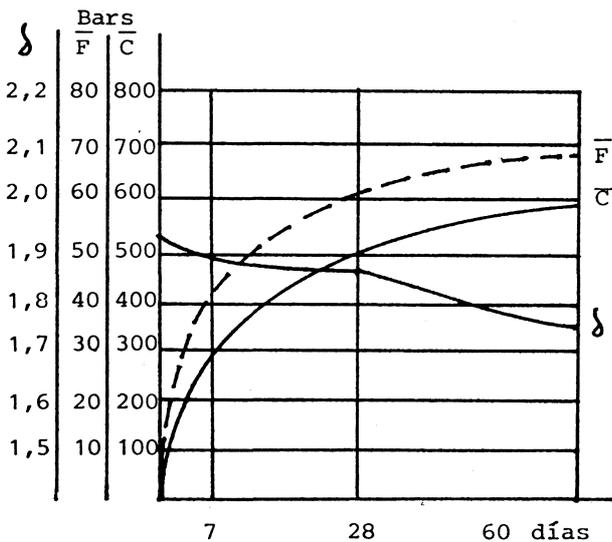


Gráfico 3.—Densidad-Resistencia-Edad. (Puzolana molida, Cámara húmeda 28 días).

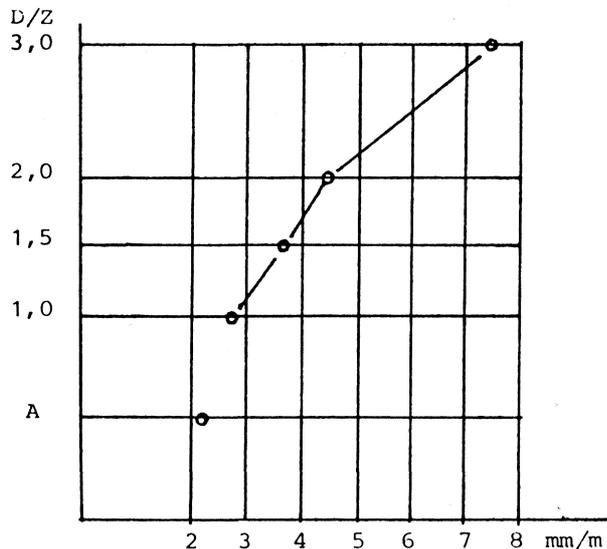


Gráfico 4.—Retracciones (A = D + 0,3 As (D + Z)).

Variación de densidad.

En general las densidades disminuyen hasta 28 días entre 2 % y 5 % y hasta los 60, donde se estabilizan, bajo el 5 % y el 13 % de la inicial. Gráfico 3.

Retracción y expansión.

Las retracciones aumentan en función e n función de la relación D/Z. El volumen aumenta durante la conservación en polietileno o cámara húmeda, bajando en el 0.7 % y 0.1 % respecto a la inicial a los 60 días. Gráfico 5. (Pág. 74).

Evaluación de probetas de desecho y cemento Portland puro.

Se determinan los productos de reacción de hidratación cristalizados formados por difracción de rayos X en polvo.

Se estudia la superficie interna de las probetas con microscopio electrónico de barrido (SEM) y microsonda (EPMA) para determinar la distribución de la pasta de cemento y del material de desecho.

Conclusión de análisis de probetas

La resistencia a la compresión (C) de las probetas confeccionadas con cemento Z es directamente proporcional a la dureza del material y su reactividad con cal (ca(OH)<sub>2</sub>).

CUADRO N.º 1

Propiedades físicas de los materiales de desecho analizados

Sigla	superficie específica Blaine cm <sup>2</sup> /gr.	granulometría		peso específico gr/cm <sup>3</sup> .	densidad aparente gr/cm <sup>3</sup> .
		% < μ 30	% < μ 45		
N 1	700		18,00	2,84	1,34
M 1	4.600		73,36	2,86	1,07
P 1	8.100		84,00	2,88	0,98
N 2	1.400		43,60	2,81	1,25
M 2	1.900		54,40	2,76	1,17
P 2	5.400		90,28	2,79	0,96
N 3	2.700	15,17		2,73	1,07
M 3	5.200	72,90		2,67	0,85
P 3	6.700		91,60	2,67	0,85
N 4	2.000		49,60	2,33	0,95
M 4	3.900		91,40	2,50	0,94
P 4	5.300		96,28	2,70	0,89
N 5	2.300	9,80		2,42	1,04
M 5	4.100	66,60		2,38	0,86
P 5	5.800		93,40	2,38	0,79

N = Material natural seco tamizado malla n.º 4 ASTM.  
M = Material seco molido durante 1 hora y 30 min. en molino de bolas.  
P = Material seco molido durante 3 horas en molino de bolas.

## CUADRO N.º 2

## Resultados de análisis químicos efectuados.

%	1	2	3	4	5	6	Z
Solubles en ácidos	16,74	14,58	15,19	28,11	3,98	—	—
Solubles en agua	0,59	0,23	0,46	0,95	0,04	—	—
Humedad a 105°C	0,79	0,68	0,90	0,35	0,58	0,69	—
Pérdida por calcinación entre 105 y 1100°C		2,36					
SiO <sub>2</sub>	3,20	69,10	4,41	0,90	3,13	3,89	1,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub>	58,00	9,80	60,00	48,10	68,50	56,95	20,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	15,20	10,80	19,70	20,90	15,10	19,61	6,67
CaO	14,10	2,50	5,70	22,30	2,26	6,80	2,77
MgO *	1,38	1,00	1,34	3,81	1,85	5,06	62,66
Cu	1,18	0,45	2,64	1,42	0,60	1,32	1,47
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58	0,07	0,14	0,00	0,00	0,02	—
Na <sub>2</sub> O *	0,03	2,01	0,03	0,09	0,09	0,14	0,15
K <sub>2</sub> O	3,07	1,09	1,92	2,10	4,64	4,09	0,30
S soluble oxidable	2,93	0,16	3,55	1,43	3,87	1,94	0,78
Cloruro (Cl)	1,58	0,01	0,64	0,13	0,02	0,05	3,50**
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,00	—	0,03	0,44	0,02	—	—
	—	—	—	—	—	3,19	—

\* Parte del Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se encuentra en forma de FeO en la clorita y como Fe en la piritita. El Na<sub>2</sub> y MgO se encuentra en forma de Na y Mg en cloruros.

\*\* SO<sub>3</sub>

Productos de reacción de probetas con cemento Portland puro (Z), relación H/Z = 0,35 (ZH) y material molido 1,5 hrs. (M) relación H/Z + D = 0,35 y relación D/Z = 2.

Z Composición potencial según Bogué	ZH	M1ZH	M2ZH	M3ZH	M4ZH	M5ZH
C <sub>3</sub> S 41,93 % C <sub>2</sub> S 26,61 % C <sub>3</sub> A 12,99 % C <sub>4</sub> AF 8,43 % CsH <sub>2</sub> 718 % resto 2,86 %	> CH CSH C <sub>3</sub> A. CcH <sub>11</sub> C <sub>3</sub> (A, F) Cs <sub>3</sub> H <sub>2</sub> -160	> CH CSH C <sub>3</sub> A. CcH <sub>11</sub> C <sub>3</sub> (A,F) Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub> C <sub>3</sub> (A,F) C <sub>3</sub> H <sub>12-16</sub>	> CH CSH C <sub>3</sub> AcCH <sub>11</sub> C <sub>3</sub> (A,F)Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub> C <sub>3</sub> (A,F)CsH <sub>12-16</sub>	> CH CSH,C <sub>2</sub> ASH <sub>8</sub> C <sub>3</sub> AcCH <sub>11</sub> C <sub>3</sub> (A,F)Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub> C <sub>3</sub> (A,F) C <sub>3</sub> H <sub>12-16</sub>	> CH CSH, C <sub>2</sub> ASH <sub>8</sub> C <sub>3</sub> A.CaCl <sub>2</sub> H <sub>10</sub> C <sub>3</sub> (A,F)Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub> C <sub>3</sub> (A,F) C <sub>3</sub> H <sub>12-16</sub>	> CH CSH,C <sub>2</sub> ASH <sub>8</sub> C <sub>3</sub> AcCH <sub>11</sub> C <sub>3</sub> (A,F)Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub> C <sub>3</sub> (A,F) C <sub>3</sub> H <sub>12-16</sub>

La molienda de material de relave no produce un incremento en la resistencia a la compresión.

La ceniza volante es el único material que mejora su resistencia a la compresión con la molienda. Esto se debe a la morfología del material, que mayoritariamente consta de esferas huecas. La disminución en contenido de esferas huecas aumenta la resistencia a la compresión.

A menor porosidad, es decir, a menor dosificación en agua, se obtiene mejores resistencias a la compresión.

La dosificación de agua debe ser disminuida y adaptada a cada material.

La resistencia a la flexotracción (F) de las probetas depende de la composición mineralógica de los materiales. Los materiales de relave tienen mejores resistencias a la flexotracción.

Difieren de la ceniza volante y de la puzolana por su contenido en feldespatos y arcillas (Cuadro N.º 3), que aumenta la flexibilidad del producto.

La molienda de los materiales debilita la resistencia a la flexotracción.

A menor porosidad, es decir, menor dosificación en agua, se obtienen mejores resistencias a la flexotracción.

La dosificación en agua debe ser disminuida y adaptada a cada material.

Existe una relación directa entre los productos de hidratación, cristalizados formados: C<sub>3</sub>A.CsH<sub>12-16</sub>, C<sub>3</sub>A.Cs<sub>3</sub>.H<sub>32</sub> y C<sub>3</sub>A.Cc.H<sub>11</sub> y la resistencia a la flexotracción.

El estudio del grado de polimerización de las fases CSH formadas, es decir, el desarrollo de hidratos fibrosos, amorfos en los productos de reacción material —cal y material— cemento Z dará la confirmación a la conclusión obtenida.

Para predecir, si un material es apto para la fabricación de micro-hormigones, se debe conocer su compo-

CUADRO N.º 3

## Resumen de resultados

Composición mineralógica, reactividad química y productos de reacción de los materiales (D) molidos 1,5 h. (M) y de la arena normal (6).

Composición mineralógica (%)	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Reactividad con cal	Productos de reacción*	Dureza mohs
Cuarzo (Q) EPMA 1	43,5	50,9	43,2	8,8	8,4	5,9	+	CHS	7
Hematita (F) EPMA 4	5,4	3,5	—	3,5	—	1,4	—	—	5,5-6,5
Feldspatos (f) EPMA 2	18,4	17,8	6,5	—	5,2	9,8	+	Na, K Ca	6
Arcillas									
Clorita (C1) EPMA 3	6,6	8,5	14,2	—	—	1,7	—	—	2-2,5
Biotita (m)	—	1,0	2,0	—	—	0,3	+	Na, K Ca	2,5-3
Muscovita (Serecita)	—	—	—	0,7	0,7	—	+	Na, K Ca	
Amfibolas	—	—	—	—	—	—	+	Na, K Ca	
Mullita (A <sub>3</sub> S <sub>2</sub> )*	—	—	—	10,8	—	—	—	—	6-7
Vidrio EPMA 5-8 (amorfo, isotrópico y opaco)	19,8	12,9	23,9	74,9	84,5	73,3	+++	C <sub>3</sub> AH <sub>6</sub> CSH, C <sub>2</sub> ASH <sub>8</sub>	
Yeso	3,8	—	2,9	0,6	0,1	—	+++	C <sub>3</sub> A.Cs <sub>3</sub> H <sub>32</sub>	
Calcita	—	3,9	1,2	—	1,1	7,4	+++	C <sub>3</sub> A.CcH <sub>11</sub>	
Halita	—	—	—	0,7	—	—	+++	C <sub>3</sub> A. CaCL <sub>2</sub> H <sub>10</sub>	
Granate	—	1,3	—	—	—	—	—	—	6,5-7,5
Rutilo	—	0,2	0,7	—	—	—	—	—	6-6,5
Turmalina	—	—	5,3	—	—	—	—	—	7,7,5
Componentes menores como Cu <sub>2</sub> S y FeS <sub>2</sub>	2,5	—	0,2	—	—	0,1	+++	C <sub>3</sub> ACs <sub>3</sub> H <sub>32</sub>	
<b>Reactividad química</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>				
gr. Ca(OH) <sub>2</sub> combinados/100 gr.m									
28 días de reacción	9,7	3,9	10,5	15,1	24,2				
56 días de reacción	8,9	4,1	11,1	16,9	24,4				
120 días de reacción	8,5	5,1	10,9	17,4	26,4				
Resistencia a la abrasión	++	++++	+	++++	+++				

\* Nomenclatura internacional de óxidos inorgánicos A = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S = SiO<sub>2</sub>, C = CaO, H = H<sub>2</sub>O, s = SO<sub>3</sub>, c = CO<sub>2</sub>

sición mineralógica, que está dada por el análisis químico, el análisis óptico y el análisis difractométrico.

Los materiales deben estar exentos de montmorillonitas y caolines, es decir, exentos de arcillas que absorben agua en su red cristalina según la humedad relativa del medio. El contenido en hematita debe ser bajo, menor que 5 %, porque debilita las resistencias del micro-hormigón, rechazando la liga con el mortero de cemento y generando fisuras.

La reactividad con cal del material es directamente proporcional a la resistencia a la compresión por alcanzar en el micro-hormigón, cuando se logra obtener una baja porosidad con dosificación óptima en agua.

El contenido en alcalinos debe ser bajo, para evitar expansión nociva del micro-hormigón (reacción alcali-sílice).

La fase amorfa no debe contener vidrio flint, comúnmente denominado pedernal, ya que a largo plazo reacciona con la cal del mortero, dando tensiones internas, fisuras según la humedad relativa del medio y expansión nociva.

## 2. Aplicación en elementos constructivos

### 2.1. Confección de pavimentos y ladrillos

Las relaciones D/Z se eligieron tomando en cuenta los costos competitivos con materiales tradicionales.

— Pavimentos monolíticos.

Se confeccionaron paños de 1 X 1 m., relación n = 3 D/Z y curado bajo polietileno. Los residuos se tomaron en estado natural y pasados por malla 16 ASTM.

Posteriormente fueron sometidos a intemperie durante 90 días bajo temperaturas de -2.5°C y 26°C y lluvias intermitentes.

— Baldosas.- n = 1.5, 2 y 3 D/Z.

La dimensión fue de 20 X 20 X 2 cm., íntegramente de micro-hormigón sin superficie especial de desgaste. Se confeccionaron a mano y fueron sometidas a presión instantánea de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

El curado se hizo en cámara húmeda:

— Ladrillos.- n = 5 D/Z.

**CUADRO N.º 4**  
**Influencia del agua**

**Resultados:**

**Ensayos de cinco series de probetas RILEM seleccionadas para esta investigación.**

Edad = 60 días.

n = 2, despacho/Cemento Portland.

H = agua mínima para formar pasta y 0,35 H/2 + D.

Conservación = 30 días confinadas en polietileno más 30 días ambiente.

T = 8 > 22° C HR = 30 > 45 %.

Componentes  
molidos 1:30 h

Sigla	Agua H/Z+D	Serie	Densidad		Porosidad 60 d. %	Resistencia mecánica 60 días			
			Inic. 24 h.	Final 60 d.		C Bar	F Bar	C/F	Abrasión gr/cm
M1ZH	0,30 0,35	K 47 K 14	2,02	1,84	16,95	322	66	4,88	0,26
			2,02	1,82	19,69	245	64	3,83	
M2ZH "	0,25 0,35	K 89 K 43	2,02	1,92	13,33	347	64	5,42	0,25
			1,90	1,69	17,09	161	46	3,50	
M3ZH "	0,28 0,35	K 58 K 16	1,94	1,80	12,65	413	87	4,75	0,27
			1,90	1,65	16,01	243	63	3,86	
M4ZH "	0,30 0,35	K 51 K 44	1,90	1,81	5,10	347	20	17,35	0,31
			1,87	1,74	7,31	263	17	15,47	
M5ZH "	0,28 0,35	K 61 K 17	1,84	1,77	14,85	384	42	9,14	0,37
			1,80	1,67	19,15	276	19	14,52	
*5ZH	0,15	CE 3	2,12	2,06	9,55	402	67	6,00	0,39
**ZH	0,35	CE 1	2,03	1,99	5,70	461	41	11,24	0,32

\* 6 = arena normal NCh 158 Of. 67 - 6/Z = 2 en peso.

H/Z = 0,60 H/Z + 6 = 0,15. Iguales condiciones de confección, conservación y ensayos.

\*\* Pasta cemento. Igual tratamiento.

Se confeccionaron en máquina de moldeo y presión, en tamaños de 22.5 X 11.0 X 8.5 cm.

Manteniéndolos a condiciones ambientales de laboratorio 18° C ± 3 y 70 % H.R. hasta su ensayo, simulando el proceso a seguir en confección a pie de obra, si se lleva a la práctica.

— Adoquines.- n = 3 D/Z.

Se ensayaron únicamente con relave de cobre.

El procedimiento de confección fue el mismo de los ladrillos.

## 2.2. Confección de paneles de aserrín-micro-hormigón

Simbología:

Z = Cemento.

D = Residuo o desecho.

A = Aserrín de pino.

H = Agua.

n = D/Z en peso.

El aserrín elegido, se compone de 60 % de partículas irregulares bajo 0.4 mm., 32 % bajo 0.8 mm. y 8 % alargadas entre 1 a 3 mm.

Se procedió en la siguiente secuencia: mezclar Z + D, humectación del A en mezcladora de eje horizontal y paletas helicoidales, mezcla durante 3 min. de compuesto seco (Z + D) y A húmedo.

La mezcla húmeda se vacía en el molde suelta, se coloca en prensa, manteniéndose en esta el tiempo programado, para proceder al tratamiento de curado.

Para la confección se hicieron series de probetas variando las siguientes relaciones: H(Z + D) = 0.2 a 0.6, D/Z = 2, A = 0.2 a 0.4 en peso sobre el total = 0.398 a 0.598 en volumen absoluto y 1.242 a 1.863 en aparente, la presión de 5 a 20 kg/cm<sup>2</sup> en tiempos de 0,1 a 24 h.

El proceso de curado se hizo inicialmente en cámara húmeda y en cámara de vapor a 80°C, durante 28 días y 7 h. respectivamente, comprobándose que las partículas de aserrín sufría descomposición orgánica.

**CUADRO N.º 5**  
Influencia de la finura

Componentes Agua = 0,35 (Z + D)			Serie	Densidad		Porosidad 60 días	Resistencias mecánicas a 60 días	
Sigla	Blaine cm <sup>2</sup> /gr	Granulo- metría > $\mu$ 45 %		Inic.	Final		C bar	F bar
N1ZH	740	18	K.24	1,89	1,74	—	196	67
M1ZH	4.640	74	K.14	2,02	1,82	19,69	245	64
P1ZH	8.060	84	K.40	1,94	1,71	19,63	184	42
N2ZH	1.360	44	K.21	1,87	1,75	18,75	165	58
M2ZH	1.950	54	K.43	1,90	1,69	17,09	161	46
P2ZH	5.390	90	K.41	1,91	1,69	18,80	179	48
N3ZH	3.090	59	K.23	1,89	1,65	22,18	231	55
M3ZH	5.220	90	K.16	1,90	1,65	16,01	243	63
P3ZH	6.740	92	K.42	1,88	1,74	11,42	148	47
N4ZH	2.000	50	K.22	1,76	1,60	10,58	211	20
M4ZH	3.870	91	K.44	1,87	1,74	7,31	263	17
P4ZH	5.260	96	K.11	1,89	1,76	3,36	383	17
N5ZH	2.320	24	K.25	1,81	1,67	12,16	287	68
M5ZH	4.140	86	K.17	1,86	1,67	19,15	276	19
P5ZH	5.800	93	K.18	1,79	1,68	—	315	16

**CUADRO N.º 6**  
Resistencias óptimas a compresión y/o flexotracción

Componentes			Serie	Densidad		Porosidad 60 d. %	Resistencias mecánicas a 60 días		
Sigla	Blaine cm <sup>2</sup> /gr	Agua H/Z + D		Inic. 24 d.	Final 60 d.		C	F	C/F
P1ZH	8.060	0,22	K.48	2,08	2,01	8,29	368	80	4,60
P2ZH	5.390	0,25	K.57	2,06	1,93	9,67	363	60	6,05
N2ZH	1.360	0,30	K.33	2,00	1,79	19,19	248	69	3,59
M3ZH	5.220	0,28	K.58	1,94	1,80	12,65	413	87	4,75
P4ZH	5.260	0,30	K.52	1,91	1,82	4,65	377	30	12,57
P5ZH	5.800	0,28	K.59	1,84	1,77	7,80	470	24	19,58
N5ZH	2.320	0,30	K.26	1,87	1,73	14,00	318	74	4,30
6ZH	50	0,15	CE.3	2,12	2,06	9,55	402	67	6,00
ZH		0,35	CE.1	2,03	1,99	5,70	461	41	11,24

N = desecho natural; M = molienda 1:30 h.; P = molienda 3:00 h.; 6 = arena.

CUADRO N.º 7

Densidad de componentes

Componentes	huecos %	Densidades		
		Aparente suelto	Absoluta suelto	Absoluta Compr. 18 kg/m <sup>2</sup>
Cemento Z	53	1.410	3.100	3.150
Residuo D	47	1.293	2.440	2.562
Aserrín seco A	68	0.161	0.502	—
Aserrín saturado	—	—	—	1.000

CUADRO N.º 8

Material	Edad de deterioros en días			Desgaste a 90 días gr/cm <sup>2</sup>
	Fisurac.	Retrac.	Erosión	
Residuos flotación	—	28	60	1.75
Relave Cu	50	28	—	0.88
Puzolana	60	28	—	1.21
Hormigón 400 kgZ/m <sup>3</sup>	—	28	60	0.39

CUADRO N.º 9

Material	Desgaste a 90 días gr/cm <sup>2</sup> .	Ruptura a Impacto de 590 gr. cm. altura	Aceptado como tipo por NCh 187 Clase
Flotación natural	0.39	20.5	B-A
Flotación molido	0.32	17.3	A-A
Relave Cu natural	0.44	20.7	B-A
Relave Cu molido	0.27	18.7	A-A
Puzolana natural	0.67	17.3	X-A
Puzolana molida	0.37	20.3	B-A
Cemento puro	0.32	17.0	A-A

CUADRO N.º 10

Material	Compresión kg/cm <sup>2</sup> .	Adherencia kg/cm <sup>2</sup> .	Porosidad % vol/vol
Flotación natural	65	3.06	24.13
Relave Cu natural	81	3.78	17.63
Puzolana natural	69	2.47	25.35
Arcilloso cocido	85	1.25	30.72

CUADRO N.º 11

Material	Compresión kg/cm <sup>2</sup> .	Desgaste gr/cm <sup>2</sup> .	Porosidad % vol/vol
Relave de Cu	90	1.11	16.1
Adoquín hormigón	222	0.40	12.6

CUADRO N.º 12

Edad días	$\delta$ final	Clase ensaye	Deform. mm.		Ruptura	Variables sobre standard
			Elast.	Perm.		
60	1,31	Comp.	30	5	15.500 kg/ml	—
120	1,29	Comp.	28	4	14.900 kg/ml	—
60	1,34	Comp.	25	3	12.000 kg/ml	sin $\phi$
60	1,19	Flex.	18	—	191 kg	—
60	1,22	Flex.	20	11	85 kg	sin $\phi$
90	1,24	Impacto	4	—	80 julio	—

Protegiendo el aserrín con agregados de resinas en el agua se evitó dicha descomposición.

Finalmente, debido a que la resina incrementaba el costo entre 60 % y 90 %, se descartó su empleo, adoptando el método de confinar las probetas en polietileno y así activar la cristalización en su propia humedad.

Ejecutadas las series de probetas y determinadas las relaciones de componentes y tratamientos óptimos se procedió a fabricar paneles de altura piso-cielo, de ancho y espesor suficiente para no sobrepasar los 80 kg.; 230 X 50 X 6 cm., con un refuerzo interno de 3  $\phi$  de 4 mm. longitudinales soldados a 4  $\phi$  de 4 mm. transversales.

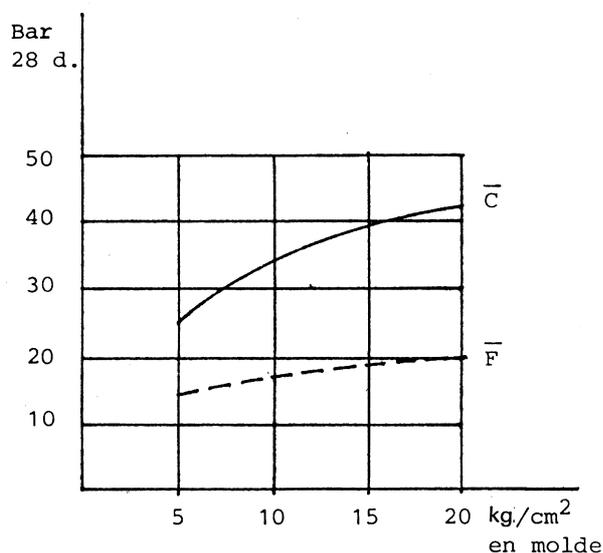


Gráfico 4.—Retracciones  
 $A = D + Z + 0.3 A_s (D + Z)$

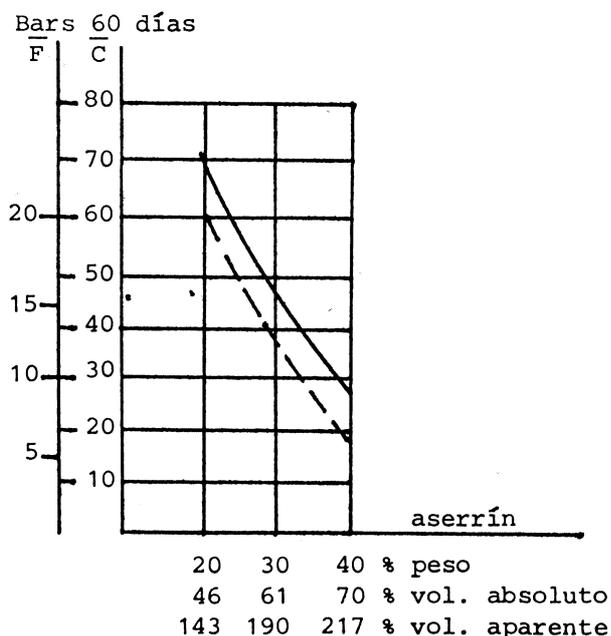


Gráfico 5.—Variación % aserrín sobre total.

## 2.3. Resultados en pavimentos (2)

— **Pavimentos monolíticos**, ejecutados con residuos sin moler malla 16 ASTM. D/Z = 3. Curado bajo polietileno durante 15 días y expuestos a intemperie, temperaturas extremas de -2.5 y 26°C con lluvias intermitentes.

— **En baldosas al líquido**. D/Z = 2 Dimensiones 20 X 20 X 2 cm.

Presión instantánea de 200 kg/cm².  
Residuo natural malla 16 ASTM y molido.

— **En ladrillos**. Confección en máquina de moldeo y baja presión instantánea D/Z = 5. Residuo natural pasado por malla 16 ASTM.  
Ensaye a 28 d.

— **Adoquines**. Confeccionados con la misma máquina de los ladrillos D/Z = 3. Residuo natural. Ensaye a 60 días.

## 2.4. Resultados en paneles micro-hormigón aserrín (3). Resultados previos en probetas RILEM

Se adoptó la relación D/Z = 2. Presión 24 h. a 18 kg/cm².

En series de probetas variando el aserrín, se obtuvieron los resultados del Gráfico N.º 5.

— Variación aserrín.

Las de 20 % en peso sobre el total, presentaron superficie lisa, sin problemas de desmolde y densidad a 60 días 1.31, con 30 % de aserrín la superficie fue menos compacta sin problema de desmolde y densidad 0.84, finalmente con 40 % la textura fue desuniforme quedando partículas adheridas al molde, con densidad de 0.67. Una cuarta serie con 50 % de aserrín en peso, 95 % en volumen absoluto y 300 % en volumen aparente, al ser desmoldada se desgranó en pequeños trozos.

— Variación de presión y tiempo de carga.

Con D/Z = 1, Aserrín 20 %, H = 0.4, tiempo de carga 6 h., curado en polietileno 28 días, ensaye a 30 días y variando cargas entre 5 y 20 kg/cm²., se obtuvieron los resultados del Gráfico N.º 6.

— Tiempo de carga en el molde.

A probetas confeccionadas en iguales condiciones anteriores, se les varió el tiempo de carga entre 0.1 a 24 horas en el molde, con los resultados que se aprecian en el Gráfico N.º 7.

— Absorción de humedad.

Por inmersión saturadas superficialmente secas, se obtienen los resultados del Gráfico N.º 8, comparativo a ladrillos.

— Hielo deshielo.

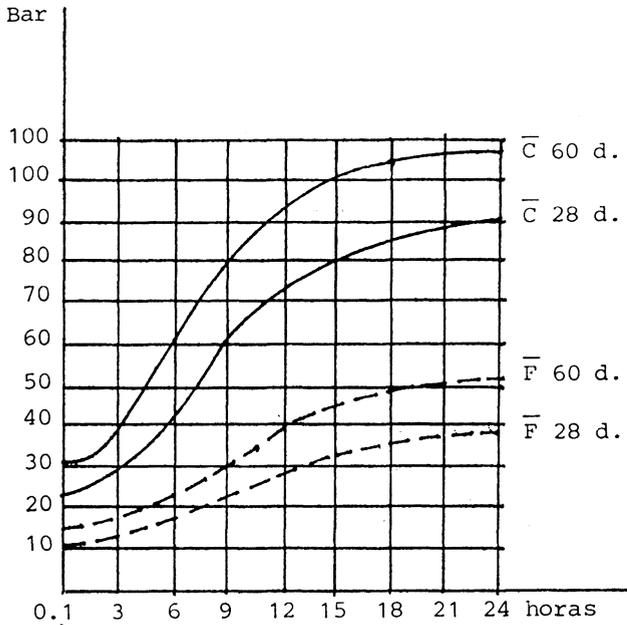


Gráfico 7.—Tiempo de carga en el molde a 16 kg/cm<sup>2</sup>.

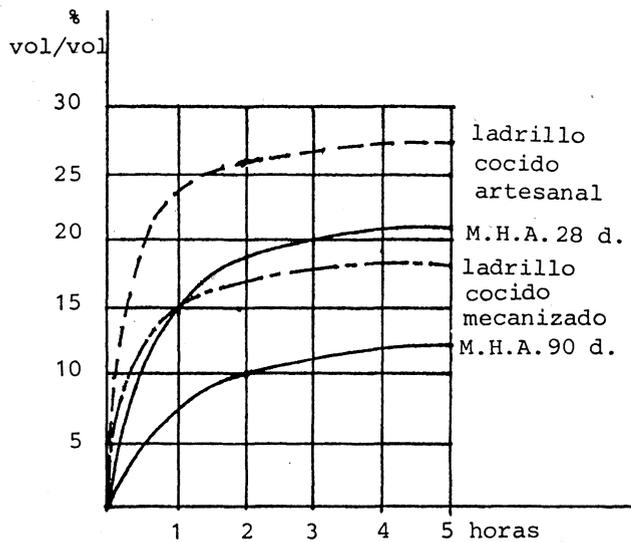


Gráfico 8.—Absorción S.S.S.

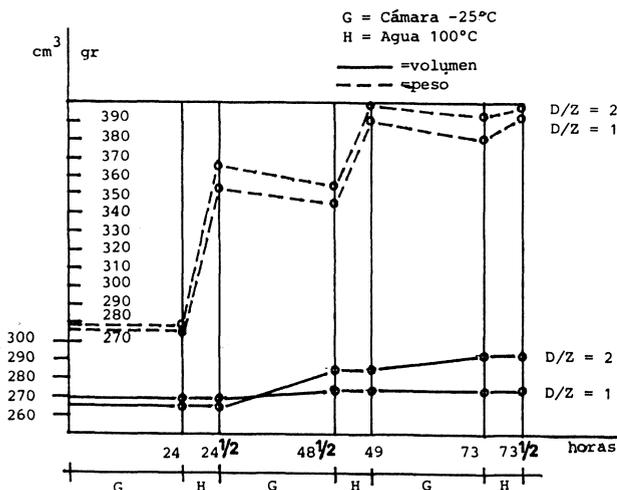


Gráfico 9.—Hielo-deshielo M.H.A.

Las 2 series de probetas con 20 % de aserrín en peso, H = 0.4 de D + Z, Resina 0.10 de H y 24 h. de presión a 16 kg/cm<sup>2</sup>, variando la relación D/Z; para series "A" D/Z = 1 y para "B" D/Z = 2. El ensayo se efectuó a la edad de 28 días, con los ciclos que se indican en el Gráfico N.º 9.

**Resultados en paneles**

Vistos los resultados en probetas, se confeccionaron paneles en las siguientes condiciones: n = D/Z = 2, H = 0.40 de (D + C), A = 20 % del peso total, prensado 24 h., a 18 kg/cm<sup>2</sup>, confinados en polietileno 30 d. y ensayos a 60 d. Refuerzo interno ya indicado, de 3 ϕ de 4 mm. longitudinales y 4 ϕ de 4 mm. transversales.

Los residuos "D" para series de ensayo fueron puzolanas, cambiando a relaves minerales y cenizas volantes los resultados fueron similares.

De los 67 ensayos se extraen los 6 más significativos en promedios.

— Aislación térmica ASTM C 177.

Conductividad térmica: 0.30 k. cal m/h m<sup>2</sup>., °C.

Conductancia térmica en 6 cm: 5 k cal/h m<sup>2</sup> °C.

— Aislación acústica. Emisión de 100 dB y rango de 20 a 20.0000 Hz en 6 cm.: 39 dB.

— Higrometría.

Absorción de humedad S.S.S. = 12.9 % vol/vol.

Lluvia impelida medida en Túnel Higrométrico 84 mm/h. y viento de 60 km/h., = 4.16 % vol/vol.

— Reacción intemperie:

Durante 400 días con lluvia total de 623.4 mm. y temperaturas extremas de 34.8°C a -2.4°C, no se observan alteraciones.

— Resistencia al fuego:

Llama directa a 850°C durante 60 min.; fisuración craquelada de 0.1 mm., temperatura lado opuesto 35°C. Sometida el área a impactos se desprende película de 1.5 mm. y material carbonizado en 15 mm. de espesor. No desprende llama ni humo.

**4. Conclusiones**

**4.1. Análisis de resultados**

Dependiendo de la morfología, capacidad de reactivación química y porcentaje de elementos duros del desecho industrial o mineral empleado, los micro-hormigones pueden superar las propiedades mecánicas de los hormigones tradicionales.

Por su plasticidad y finura, confieren mejor textura y apariencia que los hormigones tradicionales.

CUADRO N.º 13

Costo vida útil de pavimentos y ladrillos\*. (solo materiales)

Material	Materiales Costo US\$/m	Desgaste gr/cm	Resistencia compresión kg/cm	Costo vida útil US\$
<b>Pavimentos monolíticos 5 cm:</b>				
Puzolana nat.	2,11	1,21	—	2,55
Relave Cu nat.	2,37	0,88	—	2,09
Hormigón	2,31	0,39	—	0,90
<b>Baldosas:</b>				
Puzolana mol.	0,0102	0,37	—	0,0038
Relave Cu mol.	0,0102	0,27	—	0,0028
Cemento al líquido	0,0210	0,32	—	0,0067
<b>Ladrillos:</b>				
Puzolana nat.	0,170	—	69,32	0,0025
Relave Cu nat.	0,163	—	81,21	0,0020
Arcilloso cocido	0,182	—	84,81	0,0021

Por su precisión en las formas y colorido propio, no requieren terminaciones superficiales, condición que incide en los costos de la construcción.

Como se suponía, por sus características físicas, el micro-hormigón se constituyó en un ligante hidráulico eficiente de residuos orgánicos que, sometidos a presión, conformó elementos constructivos de densidad y compacidad apropiadas para aislaciones acústicas, térmicas e hidrófugas y simultáneamente resistencias mecánicas que sobrepasan las exigidas por las Normas, pudiendo sustituir las pastas hidráulicas, morteros o resinas, con ventajas técnicas y económicas.

#### 4.2. Aplicaciones en edificación

Si bien es cierto que las resistencias de prefabricados para pavimentos en general no sobrepasan a los tradicionales (Cuadros N.º 8, 9 y 11) y los ladrillos a compresión están bajo el ladrillo de arcilla cocido (Cuadro N.º 10), antes de desechar su aplicación estimamos necesario calcular su rendimiento por costo.

De este cuadro se desprende que se justifica el micro-hormigón sólo en baldosas y eventualmente en ladrillos, por su costo semejante y mejor adherencia (Cuadro N.º 10).

En cuanto a la aplicación como ligante hidráulico de partículas orgánicas, observando los resultados (Cuadro N.º 12), se decidió fabricar una serie de paneles en laboratorio, diseñar un sistema de montaje en rieles metálicos y construir un módulo experimental de vivienda. El tiempo de construcción sin empleo de

equipos mecanizados, incluyendo estructura, instalaciones sanitarias y terminaciones es de 0.5 días hábiles por m<sup>2</sup>., y 16.79 horas-hombre por m<sup>2</sup>.

Su costo, incluyendo utilidad de empresa, es de US\$ 124.30- el m<sup>2</sup>., contra US\$ 180 para estructura de ladrillo reforzada e iguales instalaciones y terminaciones.

#### Módulo base para vivienda progresiva

Dentro de las políticas para solucionar el déficit habitacional de las clases socio-económicas de menores ingresos, ningún plan puesto en ejecución en los países Latinoamericanos, por sí sólo, ha dado integralmente los resultados esperados.

Pareciera que la solución más viable es la "vivienda progresiva", que podríamos definir como la combinatoria sucesiva de "operación sitio"\* "módulo base construido con subsidio estatal" y "autoconstrucción complementaria".

Estas tres etapas, para constituir una vivienda aceptable, deben otorgar las condiciones mínimas de seguridad, salubridad, confort y funcionamiento, acorde con nuestra época.

De lo expuesto se desprende que la búsqueda dirigida a obtener una "vivienda progresiva" debería encuadrarse en las siguientes condiciones:

— Estar emplazada en un conjunto urbanizado, que

\* Asignación estatal de sitios urbanizados, para erradicación de viviendas marginales y futura construcción de vivienda definitiva.



Fig. 1.

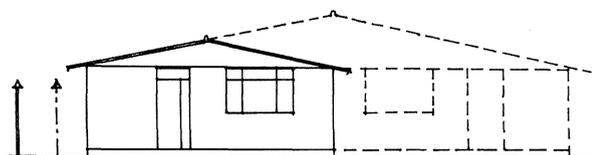
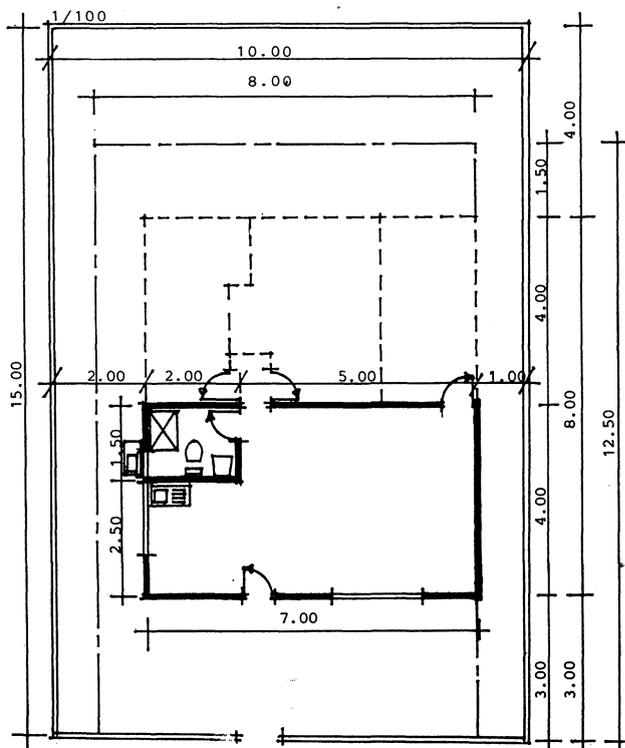


Fig. 2.—Alzado en proyección y planta.

incluya a lo menos matrices de agua, colectores sanitarios y servicio eléctrico ("Operación Sitio").

- El "módulo base" debe cubrir los siguientes requisitos:
  - a. Su estructura debe ser antisísmica.
  - b. Estar constituido de elementos perimetrales hidrófugos y aislantes térmicos y acústicos de acuerdo a la zona climática y/o grado de contaminación acústica.
  - c. Los cerramientos interiores deberán ser aislantes acústicos, en la medida necesaria de los recintos que separen.
  - d. Sus componentes estructurales deberán ser retardadores del fuego.
- Deben consultarse en el módulo base las instalaciones sanitarias completas para el grupo familiar previsto.
- Las especificaciones técnicas, sistemas y métodos constructivos deben conducir a una vivienda económica, de tal manera que el módulo base, cumpliendo con los requisitos enumerados, no sobrepase en su costo la posibilidad de ser cubierto por el subsidio.
- El proyecto, además de ser funcional, debe disponer claramente las alternativas de ampliación para autoconstrucción.
- El sistema constructivo debe ser de una simplicidad tal que no requiera mano de obra especializada y así posibilitar, en la ampliación, una autoconstrucción sólo guiada por instrucciones de montaje, sencillas

#### VIVIENDA PROGRESIVA DE PANELES DE MICRO-HORMIGÓN MÓDULO BASE DE 28 m<sup>2</sup>



y fáciles de ejecutar, sin necesidad de previos conocimientos artesanales o técnicos de construcción ni el empleo de maquinarias o equipos especiales.

Referente a "operación sitio", en el caso de Chile se planificó y llevó a cabo, a fines de la década del sesenta, un plan de urbanización, asignación de sitios y erradicación del orden de cuarenta mil unidades. Dicho plan no cerró su ciclo y actualmente esos terrenos se encuentran ocupados por viviendas hechas con los mismos elementos provisionales que se trasladaron de las poblaciones marginales y sin instalaciones sanitarias unidas a las redes públicas de la urbanización.

La estructura levantada para el módulo experimental y descrito (Figuras N.º 1 y 2) ejecutada con paneles de micro-hormigón-aserrín, cumpliría las condiciones ya planteadas en cuanto a propiedades físicas (Cuadro N.º 12 y observaciones siguientes) y su costo de US\$ 3.480 para 28 m<sup>2</sup>., se encuadraría en el subsidio mínimo o préstamos a largo plazo, que otorga el Estado actualmente.

Su modulación y sistema de montaje serían apropiados para ampliación por autoconstrucción, ya que consiste en manipulación de elementos de menos de 80 kg., para ser colocados en soleras metálicas y unidos entre sí por simples lengüetas plásticas o adhesivos.

#### 4.3. Proposiciones de continuar aplicaciones

Por las cualidades propias del micro-hormigón que aventaja al hormigón tradicional; mayor resistencia a la

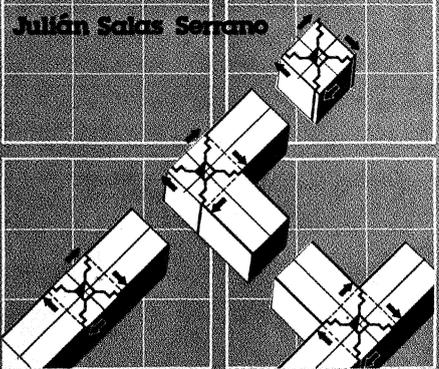
flexotracción, (salvo en cenizas volantes), menor densidad y mejor aspecto por textura superficial, debería ensayarse para la confección de módulos de prefabricación abierta. Para acelerar el proceso y disminuir costos, podrían prefabricarse en serie unidades como bloques o paneles, que no requieran armadura, por extrusión y vacío, acelerando el curado por vía térmica.

Finalmente cabe destacar que, siempre tendiendo a recuperar residuos, hemos iniciado una investigación dirigida a incorporar azufre al micro-hormigón, suponiendo que además de incrementar resistencias, como en los hormigones tradicionales, pueda formar una nueva liga por reactivaciones químicas con los componentes minerales.

### Bibliografía

1. M. LAQUERBE, F. TATARD: 1976. "Mortiers Argile-Ciment". Institut des Sciences Appliquées INSA. Rennes, Francia. (28 págs.)
2. G. BARRIOS: 1978. "Arcillas y Desechos Industriales en la Producción de Micro-Hormigones". Organización de Estados Americanos, O.E.A. Dpto. Científico. (149 págs.)
3. G. BARRIOS, R. DIAZ: 1981. "Paneles de Micro-Hormigón-Aserrín". Dirección de Investigación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. (62 págs.)
4. G. BARRIOS, M. KARPSEK: 1983. "Gémenes de Cristalización de los Micro-Hormigones". Dirección de Investigación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. (97 págs.)
5. O. E. RADZEWski: 1961. "Die Unterscheidung von Mineralien durch optische Anfärbung im Grenzdunkelfeld". Ber. DKG 38, 389-395.
6. K. TAKEMOTO, H. UCHIKAWA: 1980. "Hydration of pozzolanic cement". Proc. 7th Int. Congr. Chem. Cement París. Vol. I, pp. IV-2/5 - IV-2/12. (Editions Septima, París).



<p>Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento</p> <p>Consejo Superior de Investigaciones Científicas</p>	<p><b>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?</b></p> <p>Julian Salas Serrano</p> 	<p><b>SUMARIO:</b></p> <p>Prólogo Prof. G. Ciribini.</p> <p><b>Introducción</b></p> <p>Capítulo 1.—La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.</p> <p>Capítulo 2.—¿Réquiem por la construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 3.—Algunos conceptos básicos.</p> <p>Capítulo 4.—¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 5.—Componentes.</p> <p>Capítulo 6.—La coordinación dimensional hoy.</p> <p>Capítulo 7.—Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.</p> <p>Capítulo 8.—Industrialización, normativa y calidad.</p> <p>Capítulo 9.—Reflexiones finales.</p> <p><b>publicación del</b></p> <p><b>INSTITUTO EDUARDO TORROJA</b></p>
<p><b>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?</b></p> <p>JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.)</p> <p>Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 × 168 mm. Encuadernado en rústica. Precios: España, 1.200 ptas; extranjero, 17 \$ USA.</p>		