

Empleo del vidrio volcánico en el hormigón celular

The use of volcanic glasses in cellular concrete

fecha de recepción: 18-VI-96

fecha de aceptación: 4-IX-96

J. L. ALVAREZ, División de Materiales. CTDMC, La Habana;
N. VEGA, LACEMI. "J. I. DEL CORRAL", La Habana
CUBA

RESUMEN

Se hace un estudio con diferentes mezclas, teniendo como variables la arena sílice, el vidrio volcánico y el polvo de aluminio.

Al hormigón celular, una vez curado en autoclave, se le hace un estudio de resistencia a la compresión, densidad en estado seco y difracción de rayos X, llegándose a la conclusión de que los mejores resultados se obtienen cuando se emplea el vidrio volcánico al 50% en sustitución de la arena sílice.

Cuando se disminuye el porcentaje de polvo de aluminio de 0,11% a 0,09%, se presenta un ligero aumento en la densidad, con un notable crecimiento de la resistencia a la compresión.

SUMMARY

This paper covers studies made using different mixes for cellular concrete variating silica sand, volcanic glass and aluminium powder contents.

Studies on compressive strength, dry density and X-ray diffraction are performed on autoclave cured cellular concrete, concluding that best results are attained when volcanic glass contents reaches 50% of silica sand.

When percentage of aluminium powder is diminished from 0.11% to 0.09%, alight increase in density, with noticeable growth of compressive strength are observed.

1. INTRODUCCIÓN

Los hormigones celulares están formados por aglomerantes, los cuales pueden ser cemento, cal o ambos, más un agregado que fundamentalmente es arena sílice; aunque la literatura habla de tobas volcánicas y colas de caolín (1,2,3,4,5,6), aditivos, agua y un producto formador de espuma o poros, que, en dependencia del empleado, da lugar a un hormigón gaseoso o espumoso.

1. INTRODUCTION

Cellular concrete are composed by binders, like cement, lime or both, aggregates, mainly silica sand, even when literature speaks about volcanic tuff and tails of kaolin (1,2,3,4,5,6) additives, water and a expansive agent, which, depending on the type used, will give a gassy foaming concrete.

En este caso se trabaja con polvo de aluminio, obteniéndose un hormigón del tipo gaseoso.

El objetivo de este trabajo es emplear vidrio volcánico en sustitución de la arena sílice en la producción del hormigón celular tipo gaseoso, disminuyendo también el contenido de aluminio, obteniendo un producto ligero y resistente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo del trabajo, se emplearon los siguientes materiales:

- Cemento Portland P-350
- Arena sílice
- Vidrio volcánico
- Hidrato de cal (calidad II)
- Yeso de fraguado lento
- Polvo de aluminio
- Hidróxido de sodio (48%)
- Agua potable

El esquema de trabajo fue el siguiente:

1. Análisis químico de las materias primas utilizadas.
2. Preparación de las dosificaciones.
3. Obtención de el hormigón
4. Medición de las propiedades físicas y análisis de la significación.
5. Determinación de las fases que se forman.

La difracción de rayos X se realizó a las muestras en un difractómetro Phillips PW 1750, luego de pulverizadas hasta 0,1 mm en morteros de ágata.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico de los materiales utilizados se presenta en la Tabla I.

Se realizaron dosificaciones, variando el % de arena sílice y aluminio en 100, 75, y 50%, la arena vs, vidrio y el aluminio en 0,11 y 0,09%.

A todos los hormigones obtenidos con estas mezclas se les practicaron los ensayos de densidad σ , resistencia a compresión R, crecimiento al borde del molde y temperatura de fundición, tal y como se presentan en la Tabla II.

Para la confección de los morteros se emplearon moldes cúbicos de 100 x 100 x 100 mm, los cuales fueron calentados a 60 °C y engrasados antes del vertido del

In our study, the use of aluminium powder as expansive, gives a gassy concrete.

The main scope of this study is to use volcanic glass instead of silica sand in order to produce a gassy type cellular concrete, diminishing also aluminium contents, and so to attain a lightweight and resistant product.

2. MATERIALS AND METHODS

During this study, this materials where used:

- *Portland cement P-350 type*
- *Silica sand*
- *Volcanic glass*
- *Hydrated lime (II quality)*
- *Low-setting gypsum*
- *Aluminium powder*
- *Sodium hydroxide (48%)*
- *Potable water.*

Working path was as follows:

1. *Chemical analysis of materials used.*
2. *Mix design.*
3. *Making of concrete.*
4. *Measurement of physical properties of concrete, analysis of significance.*
5. *Determination of phases formed.*

X-ray diffraction was made to samples in a Phillips PW 1750 diffractometer after grinding down to 0,1 mm size in an agat mortars.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table I shows chemical analysis of used materials.

Mixes were made varying % of silica sand and aluminium powder in 100, 75 and 50%, sand to glass and aluminium from 0.11 and 0.09%.

Tests of density, σ , compressive strength, R, overgrowth from mould edge and setting temperature, as shown in Table II, were performed over all samples of concrete prepared with designed mixes.

For casting all concretes, cubic moulds 100 x 100 x 100 mm were used, after a previous heating up to 60 °C and a light grease covering of sides and bottom.

TABLA I (TABLE I)

Análisis químico de las materias primas
(Chemical analysis of raw materials)

	UM	Cemento (Cement) P-350	Arena Silice (Silica Sand)	Hidrato de Cal (Hydrated Lime)	Vidrio Volc. (Vulcan. Glass)	Yeso Lento (Gypsum)
SiO ₂	%	22,10	98,84	---	68,10	---
Al ₂ O ₃	%	4,72	0,39	---	11,78	---
Fe ₂ O ₃	%	3,40	0,27	---	1,79	---
CaO	%	62,24	---	84,74	1,84	35,74
SO ₃	%	2,44	---	0,31	0,30	45,24
PPI	%	2,45	0,32	26,41	7,80	---
RI	%	2,05	0,18	20,76	---	---

hormigón. El hormigón fue preparado en una mezcladora, empleando agua caliente, con el objetivo de que el producto final alcanzara una temperatura de, aproximadamente 46 °C.

Todos los materiales se vertieron en la mezcladora, excepto el polvo de aluminio, controlándose el tiempo de mezclado del cemento y del aluminio. Una vez que el hormigón está dentro del molde se determinó la temperatura y crecimiento al borde del molde. El hormigón celular fue desmoldado a las 24 h y puesto en autoclave por espacio de 10 h de acuerdo con el siguiente ciclo de curado: aumento de temperatura y presión por 2 h, curado a presión constante de 12 kg/cm² durante 6 h y descenso de temperatura y presión por 2 h.

La medición de la resistencia a compresión y de la densidad se realizó por triplicado, para realizar el análisis de varianza de estos parámetros, con la variación del % de vidrio volcánico y de polvo de aluminio, realizándose un total de 24 mediciones.

Obteniéndose para la σ :

$F_{A1} = 3,8$ mientras que la $F(2,8)$ con 95% de significación es 4,46

y

$F_{vv} = 24,4$ mientras que la $F(4,8)$ con 95% de significación es 3,84

Para la resistencia R:

$F_{A1} = 13,57$ mientras que $F(2,8)$ con 95% de significación es 4,46

Concrete mixes were made in a lab mixer using hot water, aiming for final product temperature about 46 °C.

All materials were put together into mixer's bowl except aluminium powder, controlling mixing time of cement and aluminium. Once poured the fresh mix of concrete inside forms, temperature and overgrowth from mould edge were measured. Cellular concrete was taken off forms after 24 hours and put to autoclave for a 10 hours cycle, following these steps: rise temperature and pressure, 2 hours, constant pressure of 12 kg/cm², 6 hours, and 2 hours for relief of pressure and temperature.

Testing for compressive strength and density were performed three times each in order to determine variance analysis regarding per-cent variation of volcanic glass and aluminium powder, giving 24 tests in the whole.

Results for σ were:

$F_{A1} = 3,8$ as $F(2,8)$ with 95% significance is 4,46

and

$F_{vv} = 24,4$ as $F(4,8)$ with 95% significance is 3,84

For strength R:

$F_{A1} = 13,57$ as $F(2,8)$ with 95% significance is 4,46

TABLA II (TABLE II)

Dosificaciones y propiedades físicas
(Mix composition and physical properties)

	UM	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Cemento Portland P-350 <i>(Portland Cement P-350)</i>	%	41,62	41,62	41,62	41,62	41,63	41,63	41,63	41,63
Arena sílice <i>(Silica sand)</i>	%	57,34	28,67	14,18	---	57,36	28,67	14,18	--
Vidrio volcánico <i>Vulcanic glass)</i>	%	---	28,67	43,16	57,34	---	28,67	43,17	57,36
Hidrato de cal <i>(Hydrated lime)</i>	%	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Yeso lento <i>(Low set - time gypsum)</i>	%	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Polvo aluminio <i>(Aluminium powder)</i>	%	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09
Agua 70°C <i>(Water 70°C)</i>	ml	1.100	1.150	1.175	1.200	1.100	1.150	1.175	1.200
NaOH (48%)	ml	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Temperatura fundición <i>(Setting temperature)</i>	°C	45,00	47,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00
Crecimiento al borde <i>(Over. from mould edge)</i>	min	---	5,00	6,00	10,00	5,00	9,00	12,00	14,00
Densidad <i>(Density)</i>	g/cm ³	0,500	0,458	0,465	0,481	0,563	0,552	0,571	0,552
Resistencia a compresión <i>(Compressive strength)</i>	kg/cm ²	28,3	28,7	23,7	20,0	30,1	34,5	27,8	23,4

y

$F_{vv} = 4,20$ mientras que $F(4,8)$ con 95% de significación es 3,84.

Los parámetros establecidos para la resistencia y la densidad son:

$$R > 25 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } \sigma = 0,5 \text{ g/cm}^2$$

El análisis por difracción de rayos X, evidenció, como fases cristalinas fundamentales, la tobermorita de 11 A°, el cuarzo y la calcita, en las proporciones que aparecen en la Tabla III. La formación de tobermorita de 11 A° favorece la resistencia a la compresión.

En el proceso de conformación de la mezcla se observó que, a medida que aumenta el % de vidrio volcánico, aumenta la cantidad de agua que hay que adicionar para alcanzar la fluidez requerida; ésta no varía al cambiar el % de polvo de aluminio.

La temperatura de fundición se mantuvo prácticamente constante, lo cual se logró sin mayor dificultad.

El crecimiento al borde fue más lento con el aumento del vidrio volcánico, aunque la porosidad y homogeneidad del hormigón celular fue buena.

Las densidades se comportan normalmente, observándose que los mayores valores de resistencia a compresión se obtienen cuando se emplea el 50% de arena y 50% de vidrio volcánico, y es independiente del % de polvo de aluminio adicional, tal y como se refleja en el análisis de la varianza.

and

$$F_{vv} = 4.20 \text{ as } F(4,8) \text{ with 95\% significance is 3.48}$$

Parameters established for strength and density are:

$$R > 25 \text{ kg/cm}^2 \text{ and } \sigma = 0,5 \text{ g/cm}^2$$

X-ray diffraction analysis showed as main crystalline phases, tobermorite 11 A° quarts and calcite in proportions shown in Table III. Forming at 11 A° tobermorite favoreus compressive strength.

During mix forming process, it was noted that as the percent of vulcanic glass increases, a certain amount of water has to be added in order to attain required fluidity, as amount of water does not change while changing amount of aluminium powder.

Setting temperature was kept practically constant, without troubles.

Overgrowth over form lid top was slower respecting increase of vulcanic glass, even when porosity and homogeneity of cellular concrete were good.

Behaviour of densities were considered normally, observing higher values of compressive strength were obtained when 50% of sand and 50% of vulcanic glass were used, non depending upon % aluminium powder added, as it's shown in variance analysis.

TABLA III (TABLE III)

Fases Cristalinas Fundamentales en el Homigón Celular
(Fundamental crystalline phases in cellular concrete)

Muestras (Samples)	% Tobermorita (% Tobermorite)	% Calcita (Calcite)	% Cuarzo (% Quartz)
Patrón W % Al	12	0,33	41
50 % V.V. 11 % Al	77	0,30	18
75 % W 11 % Al	58	0,49	8,75
100 % V.V. 11 % Al	72	0,27	1
Patrón 9 % Al	22	0,46	41
50 % W 9 % Al	67	0,42	18
75 % V.V. 9 % Al	59	0,37	8
100 % V.V. 9 % Al	57	4,10	---

4. CONCLUSIONES

1. Sustituyendo el 50% de la arena por vidrio volcánico se logra obtener un hormigón celular con mayor resistencia a compresión y una ligera disminución de su densidad, por lo que se obtiene un producto final con mejores características que el empleado tradicionalmente.
2. La tobermorita formada con estas formulaciones es la de 11 A°, con una relación de 0,75 de intensidad entre las reflexiones 2,95 A°/11 A°.
3. La mayor cantidad de tobermorita se forma con la dosificación de 50% de vidrio y 50% de arena de sílice.

4. CONCLUSIONS

1. *Sustituting 50% of sand for volcanic glass, it's possible to obtain a cellular concrete with higher compressive strength and a light density decrease, which means a best featured product than formerly employed.*
2. *Tobermorite attained with these mixes is of 11 A°, with a 0.75 relation of intensity between reflexions of 2.95 A°/11 A°.*
3. *Higher amount of tobermorite is formed with a 50% of glass and 50% silica sand.*

5. BIBLIOGRAFÍA

- (1) ÁLVAREZ, J.L. y RIVERA, N.: (1984). "Influencia de diferentes tobas cubanas en la producción del hormigón celular". Ponencia. IV Conferencia Científica ISPJAE. Habana.
- (2) GÓMEZ, M y ÁLVAREZ, J.L.: (1984). "Estudio e escala experimental de la influencia de la granulometría de las zeolitas en algunos parámetros del hormigón celular". Ponencia. IV Conferencia Científica ISPJAE. Habana.
- (3) ESCALONA, I., GÓMEZ, M. y ÁLVAREZ, J.L.: (1987). "Composición del hormigón ligero y procedimiento de obtención". Patente No. 21759. Habana.
- (4) GÓMEZ, M., ÁLVAREZ, J.L. y RIVERA, N.: (1985). "Hormigón celular sobre la base de tobas". Informe final. Tema 046.18. Habana.
- (5) RIVERA, N., GÓMEZ, M. y ÁLVAREZ, J.L.: (1984). "Aprovechamiento de las colas de caolín en la producción de hormigón celular". IV Concurso BTJ. Habana.
- (6) RIVERA, N., GÓMEZ, M. y ÁLVAREZ, J.L.: (1989). "Composición para la producción de hormigón celular a partir de las colas de caolín". Patente 21850. Habana.

* * *