
NOTAS TECNICAS

USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES LIVIANOS

Vladimiro VALDES R.*

Carlos VALLEJOS R.**

RESUMEN

Se estudia la posibilidad de aplicar cascarilla de arroz como agregado en la confección de hormigones livianos.

Después de determinar algunas propiedades físicas de la cascarilla, se confeccionan series de hormigones con cemento con cascarilla de arroz y cemento con cascarilla y arena.

A los hormigones fabricados se les determina las resistencias mecánicas a compresión y flexotracción, conductividad térmica, clavabilidad y serrabilidad.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que técnicamente es posible la fabricación de hormigones livianos con cascarilla de arroz y su aplicación en la confección de tabiques, paneles, sobrelosas etc., no soportantes.

Finalmente se dan algunas recomendaciones, que conviene tener presente, al confeccionar estos hormigones.

* Investigador del IDIEM.

** Constructor Civil, Universidad Técnica del Estado.

INTRODUCCION

El hormigón liviano ha tenido gran auge en la última década, especialmente en países industrializados, porque a la mayor economía que significa su bajo peso, se agregan otras ventajas (sobre el hormigón tradicional), como son sus mejores propiedades de aislación térmica que el hormigón normal.

El ACI define como agregado liviano para hormigón aquel cuyo peso no excede de $1\,123\text{ kg/m}^3$ (70 lb/pie^3). Se consideran como hormigones livianos los que tienen un peso específico aparente no superior a $1\,605\text{ kg/m}^3$ (100 lb/pie^3).

Hummel,¹ por otra parte, define tres grupos de hormigones livianos:

- a) Hormigones con pesos específicos aparentes de 300 a 800 kg/m^3 .
- b) Hormigones con pesos específicos aparentes de 800 a $1\,200\text{ kg/m}^3$.
- c) Hormigones con pesos específicos aparentes de $1\,200$ a $1\,600\text{ kg/m}^3$.

En nuestro país, aunque el empleo del hormigón liviano no está difundido —tampoco existe aún normalización chilena al respecto— se han y se están realizando investigaciones con diferentes tipos de áridos ligeros, tales como piedra pómez, arcilla expandida, poliestireno expandido, agregados de origen orgánico etc., todas ellas tendientes a obtener un producto que reúna las mejores propiedades de aislación térmica y/o que proporcione las más altas resistencias mecánicas.

Posiblemente, uno de los principales inconvenientes que presentan los agregados livianos es su elevado costo: no siempre se encuentran en abundancia y generalmente necesitan de un proceso previo antes de ser usados en la confección de hormigones, lo que indudablemente va en perjuicio de la economía del material.

De allí que se haya pensado en el empleo de la *cascarilla de arroz* que, entre los agregados de tipo orgánico, no necesitan de ningún tratamiento previo, es bastante liviano, por su contenido de sílice es el menos perjudicial para la hidratación del cemento y —lo que es de especial importancia— de bajo costo, ya que actualmente se usa solamente como combustible en algunos molinos o como abono. Siendo un producto de desecho, su costo sería únicamente el que demande su retiro de los molinos donde se procesa el arroz. Por otra parte, de acuerdo a una encuesta realizada, se ha podido constatar que la producción de cascarilla es relativamente elevada.

Los autores recogieron la información sobre la producción diaria de paddy, es decir, arroz antes de ser procesado, en la zona central de Chile, que es donde se procesa la casi totalidad del arroz elaborado en nuestro país. Esta información, correspondiente al año 1976, se presenta en la Tabla I, y allí se puede ver que la cantidad de cascarilla que resulta diariamente es apreciable. Puesto que este material, según lo hemos ya dicho, es de muy bajo costo, podría tener aplicación como agregado para hormigones livianos.

TABLA I

PRODUCCION DIARIA DE CASCARILLA DE ARROZ
EN LA ZONA CENTRAL

Molino	Paddy t/diarias	Cascarilla t/diarias
Santiago		
Ega	60	15 - 17
Tucapel	25 - 30	6 - 9
Orsini	22 - 25	4 - 5
Cristal	40	8
Talca		
Miraflores	60	12 - 13
Zaror	50	10
Jotabeche	18	4
Talca	13	0.5

LA CASCARILLA DE ARROZ

Características

Este producto de desecho, obtenido de la elaboración del arroz, presenta forma de cucharilla alargada y tiene un tamaño uniforme, que es aproximadamente de 7 mm de largo y 3 mm de ancho. Al microscopio, e incluso al tacto, presenta una superficie fibrosa y rugosa, lo que puede constituir una ventaja para su adherencia con la pasta de cemento. Al respecto ver Figs. 1, 2, 3 y 4.

Por las condiciones ya enunciadas, la cascarilla puede constituir un buen agregado para la confección de hormigones ligeros². Sin embargo, hasta el momento no se conocen investigaciones sistemáticas -al menos en nuestro país- para determinar su comportamiento como integrante del hormigón.

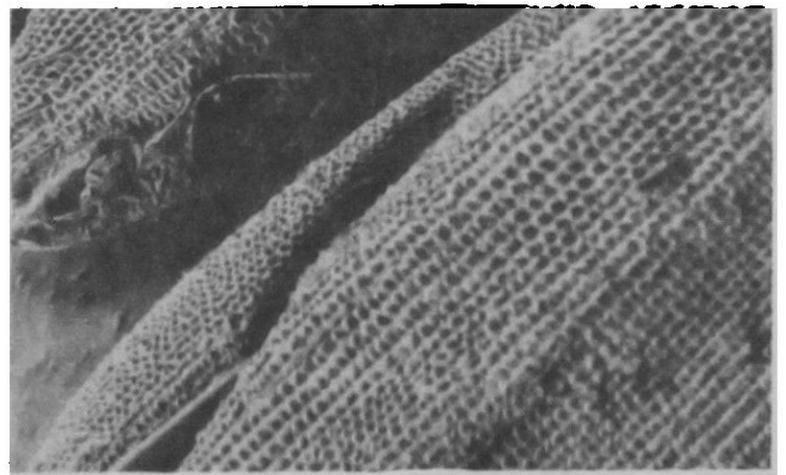


Fig. 1. Cascarilla de arroz, tamaño natural.

Fig. 2. Microscopía de barrido de la cascarilla de arroz, 15 X.

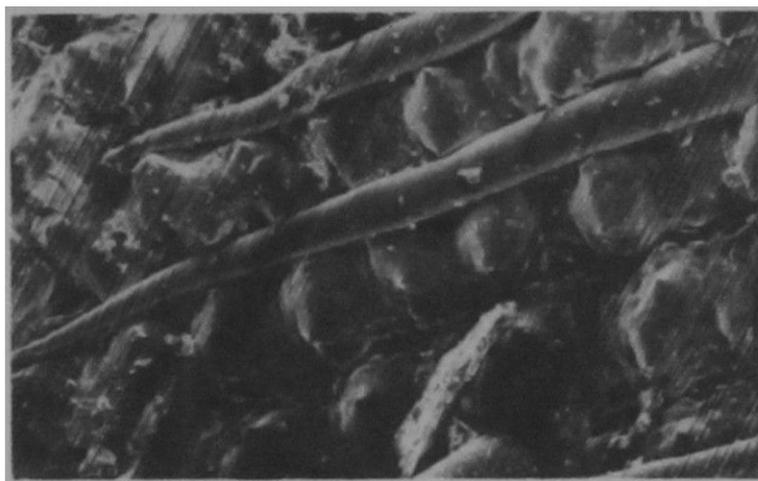


Fig. 3. Cara exterior de la cascarilla. Microscopía de barrido, 600 X.

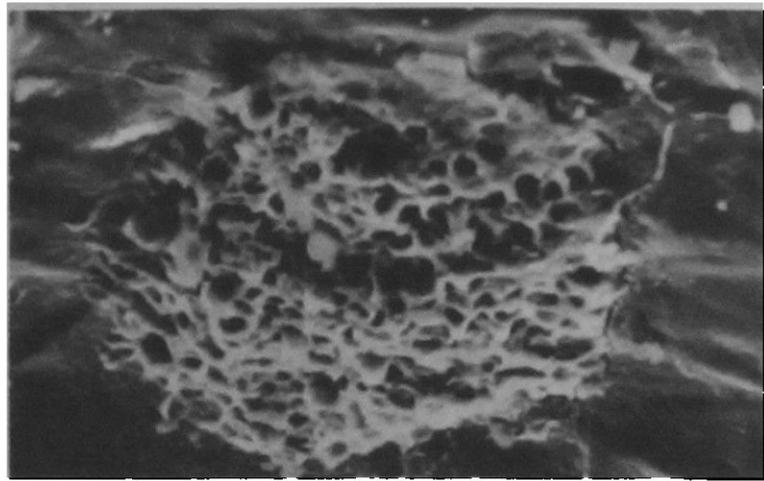


Fig. 4. Cara interior de la cascarilla. Vista de la estructura interna a través de una rotura de la membrana que cubre la cascarilla. Microscopía de barrido, 1 120 X.

Propiedades físicas de la cascarilla de arroz

La determinación de algunas de las propiedades físicas de la cascarilla de arroz ha presentado problemas, porque no nos fue posible encontrar métodos normalizados para medirlas ya que no existen normas nacionales aplicables a este caso, ni siquiera por asimilación, y tampoco encontramos normas extranjeras que vinieran al caso. Fue necesario recurrir a métodos de ensayos no tradicionales y conformarse con resultados aproximados.

A continuación en la Tabla II se presentan las propiedades físicas de la cascarilla de arroz que se determinaron. Son ellas las densidades en distintas condiciones de humedad y de compactación, la absorción y el contenido de huecos. Estas nos parecieron las características más importantes desde el punto de vista del empleo de la cascarilla como árido para hormigón liviano, y por ese motivo se eligieron.

TABLA II

PROPIEDADES FISICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Densidad aparente suelta	(kg/m ³)	107
Densidad aparente asentada	(kg/m ³)	118
Densidad aparente apisonada	(kg/m ³)	134
Densidad real seca*	(kg/m ³)	700
Densidad real del material saturado con superficie seca*	(kg/m ³)	1.240
Absorción*	(%)	60
Contenido de huecos*	(%)	80

* Valores sólo aproximados, debido a problemas de metodología de ensayo.

EXPERIENCIAS PARA DETERMINAR RESISTENCIAS MECANICAS Y DENSIDADES APARENTES

Programación

Antes de hacer la programación, se realizaron algunos hormigones preliminares con el fin de dejar definidos algunos aspectos y reducir, de esa manera, el número de coladas a fabricar.

Se contemplaron dos alternativas de hormigones: 1) cemento con cascarilla y cemento con cascarilla y arena. En ambos casos se confeccionaron hormigones con diferentes dosis de cemento. Para la alternativa 1) se elaboró una colada por cada dosis de cemento programada, con un total de 5 hormigones. En la alternativa 2), para cada una de las dosis de cemento empleadas, se trabajó con las siguientes proporciones de cascarilla/arena: 1/1; 1/2; 1/3; 1/4 y 1/5, lo que dió un total de 5 coladas.

Los materiales se midieron en peso. Se comprobó que, por la gran compresibilidad de la cascarilla, las mediciones en volumen resultaban poco precisas.

Se estableció que para todos los hormigones confeccionados el volumen real del hormigón fresco producido no podría ser inferior al 95^o%, ni superior al 105^o% del volumen teórico. Debido a la gran compresibilidad de la cascarilla, es muy difícil pretender una precisión mayor.

Los hormigones preliminares indicaron, entre otras cosas, que consistencias relativamente secas de la mezcla producen menos segregación. Por ello, se programó confeccionar hormigones de consistencia seca para todas las coladas.

Se confeccionaron coladas de 45 l para llenar 6 probetas cilíndricas y 4 prismáticas (viguetas); una serie compuesta de 3 probetas cilíndricas se mantuvo bajo agua (curado húmedo) durante 7 días y las 3 restantes se recubrieron con polietileno, con el fin de apreciar la influencia del tipo de curado. Se ensayó una probeta de cada serie a compresión a 7 días de edad y las 2 restantes a 28 días. Las probetas prismáticas se ensayaron solamente a 28 días a flexotracción: 2 tuvieron curado húmedo y las 2 restantes con polietileno.

Con el fin de, por una parte, facilitar el amasado y, por otra, de evitar los problemas derivados de la absorción, la cascarilla se usó en estado saturada con superficie seca. Se estimó que añadiendo una cantidad de agua equivalente al 50^o% del peso de la cascarilla se obtendría la condición antes mencionada. La cascarilla se recibió con un promedio de 8^o% de humedad.

La compactación de las probetas se efectuó con un pisón metálico normalizado de ϕ 16 mm, de 60 cm de longitud y, con las siguientes pautas de operación deducidas de la información recogida al confeccionar los hormigones preliminares: las probetas cilíndricas se llenaron en 3 capas iguales, con 14 golpes de pisón cada una. Cada capa se asentó posteriormente, golpeando el molde 5 veces contra una base firme. Las probetas prismáticas se llenaron en 2 capas, recibiendo cada una 30 golpes de pisón. Cada capa se asentó 5 veces contra una base firme.

Dosificaciones empleadas

En general el cálculo de dosificación con áridos livianos difiere de los métodos aplicables a hormigón normal. En el caso de la cascarilla de arroz, debido a su gran compresibilidad – y de ahí las fuertes variaciones de volumen que pueden obtenerse para distintos grados de compactación – hubo necesidad de realizar una serie de intentos hasta seleccionar el método que mostró ser más fiel, vale decir, que entregó menos diferencias entre el volumen proyectado y el volumen obtenido.

Hormigón de cemento con cascarilla de arroz

Para 1m^3 de hormigón se emplearon 1 000 l de cascarilla. Teóricamente el cemento y agua de amasado deben quedar incluidos en los huecos de la cascarilla. Para el tipo de compactación elegido resultaron 155 kg de cascarilla por m^3 de hormigón elaborado.

En Tabla III se indican las dosificaciones empleadas para las distintas dosis de cemento.

TABLA III
DOSIFICACIONES EMPLEADAS EN HORMIGONES DE
CEMENTO CON CASCARILLA

Materiales	Dosificaciones				
Cemento, kg/m^3	300	350	400	450	500
Agua de amasado, kg/m^3 *	158	182	204	225	245
Cascarilla, kg/m^3	155	155	155	155	155
Razón A/C*	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49

* No incluyen agua de absorción.

Hormigón de cemento con cascarilla de arroz y arena

En el párrafo anterior señalamos que los huecos de las cascarillas de arroz deben quedar totalmente ocupados por el cemento y el agua de amasado. No sucede lo mismo cuando se agrega arena debido a que ésta, por el gran tamaño de sus partículas, no se acomoda totalmente dentro de los huecos de las cascarillas. Por ello, independientemente de las cantidades de cemento y agua que ocupan los huecos de la cascarilla, para cada una de las 5 combinaciones de cascarilla y arena elegidas, fue necesario calcular las cantidades de estos materiales, de manera que se ajustaran a los rendimientos programados para los hormigones.

En Tabla IV se indican las dosificaciones empleadas.

TABLA IV

DOSIFICACIONES EMPLEADAS EN HORMIGONES DE CEMENTO CON CASCARILLA Y ARENA. MATERIALES EN kg/m^3 ; RAZONES AGUA/CEMENTO, EN PESO

Relación Cascarilla/Arena	Materiales	Dosificaciones				
1:1	Cemento	300	350	400	450	500
	Agua de amasado	177	179	180	180	190
	Cascarilla	140	140	140	140	140
	Arena	140	140	140	140	140
	Razón A/C	0.59	0.51	0.45	0.40	0.38
1:2	Cemento	300	350	400	450	500
	Agua de amasado	180	182	188	207	199
	Cascarilla	140	140	140	140	140
	Arena	280	280	280	280	280
	Razón A/C	0.60	0.52	0.45	0.46	0.40
1:3	Cemento	300	350	400	450	500
	Agua de amasado	186	186	196	212	215
	Cascarilla	133	133	133	133	133
	Arena	399	399	399	399	399
	Razón A/C	0.62	0.53	0.49	0.47	0.43
1:4	Cemento	300	350	400	450	500
	Agua de amasado	189	193	200	216	200
	Cascarilla	125	125	125	125	125
	Arena	500	500	500	500	500
	Razón A/C	0.63	0.55	0.50	0.48	0.44
1:5	Cemento	300	350	400	450	500
	Agua de amasado	192	196	204	220	225
	Cascarilla	112	112	112	112	112
	Arena	560	560	560	560	560
	Razón A/C	0.64	0.56	0.51	0.48	0.45

Confección y ensayos

Como ya se ha indicado, todos los materiales se midieron en peso. El amasado se realizó en una betonera de eje vertical y tuvo, en todos los casos, una duración de 3 minutos para asegurar un buen amasado.

Previo remezclado después de la descarga, se llenaron los moldes respectivos, compactando el hormigón mediante el apisonado ya programado.

Después de moldeadas las probetas, se colocaron en ambiente de laboratorio, cubriéndolas con polietileno durante las primeras 24 horas. Posteriormente, la mitad de cada tipo de probetas se colocó bajo agua de temperatura controlada,

hasta los 7 días de edad; la otra mitad se mantuvo cubierta con polietileno, en ambiente de laboratorio, también hasta 7 días. A partir de esa fecha, todas las probetas se mantuvieron en ambiente de laboratorio hasta los 28 días.

Las probetas de cada dosificación se ensayaron, para determinar sus resistencias a compresión y flexotracción, según normas NCh N° 1037³ y NCh 1038⁴ respectivamente. Antes de ser ensayadas, las probetas debieron refrentarse, lo cual se realizó con mortero de cemento, según normas ASTM C 617⁵.

RESULTADOS OBTENIDOS

Resistencias y densidades aparentes

En Tablas V y VI se presentan las resistencias a compresión y a flexión y densidades aparentes obtenidas en las experiencias. Cada valor que se presenta corresponde al promedio de 4 probetas, ya que no hubo diferencias significativas entre los dos métodos de curado utilizados.

TABLA V

RESISTENCIAS A COMPRESION Y A FLEXOTRACCION Y DENSIDADES APARENTES A 28 DIAS

Relación Cascarilla/Arena en peso	Dosis de cemento kg/m ³	Densidad aparente kg/m ³	Resistencias, kgf/cm ²	
			Compresión	Flexotracción
1:1	300	785	6	4
	350	911	8	5
	400	940	10	5
	450	1.026	12	8
	500	1.073	13	9
1:2	300	876	6	4
	350	980	8	4
	400	1.046	14	6
	450	1.104	16	9
	500	1.200	17	11
1:3	300	990	7	5
	350	1.161	15	7
	400	1.145	16	7
	450	1.140	17	10
	500	1.320	21	15
1:4	300	1.065	9	4
	350	1.213	18	8
	400	1.225	21	10
	450	1.338	27	11
	500	1.380	28	14
1:5	300	1.195	11	6
	350	1.220	19	9
	400	1.365	31	15
	450	1.446	37	18
	500	1.500	39	19

TABLA VI

RESISTENCIAS A COMPRESION Y A FLEXOTRACCION Y DENSIDADES APARENTES DE HORMIGONES HECHOS CON CASCARILLA Y DIFERENTES DOSIS DE CEMENTO, A 28 DIAS DE EDAD

Dosis de cemento kg/m ³	Densidad aparente kg/m ³	Resistencias, kgf/cm ²	
		Compresión	Flexotracción
300	604	3	2
350	720	6	4
400	813	6	5
450	890	8	5
500	930	9	7

Relaciones entre los parámetros considerados

Con el fin de visualizar la influencia de dosis de cemento y proporción cascarilla arena en las resistencias y en las densidades aparentes de los hormigones, se han graficado los resultados que se presentan en Tablas V y VI, estableciendo las relaciones que se ilustran en Fig. 5.

OTRAS EXPERIENCIAS

Determinación de la conductividad térmica

Para cada ensayo se emplearon dos placas de hormigón de cascarilla, de 33 cm x 33 cm x 2,5 cm. Fueron en total 4 ensayos de conductividad térmica, que corresponden a las menores y mayores densidades obtenidas para cada alternativa.

A los 28 días de edad, las probetas fueron secadas en horno, a una temperatura de 55°C, hasta obtener un peso constante, para luego ser ensayada por el método de placas térmicas con anillo de guarda, especificado en la norma NCh 850 of.71.

Los coeficientes de conductividad térmica λ obtenidos, son los que se indican para cada alternativa.

Hormigón de cemento con cascarilla

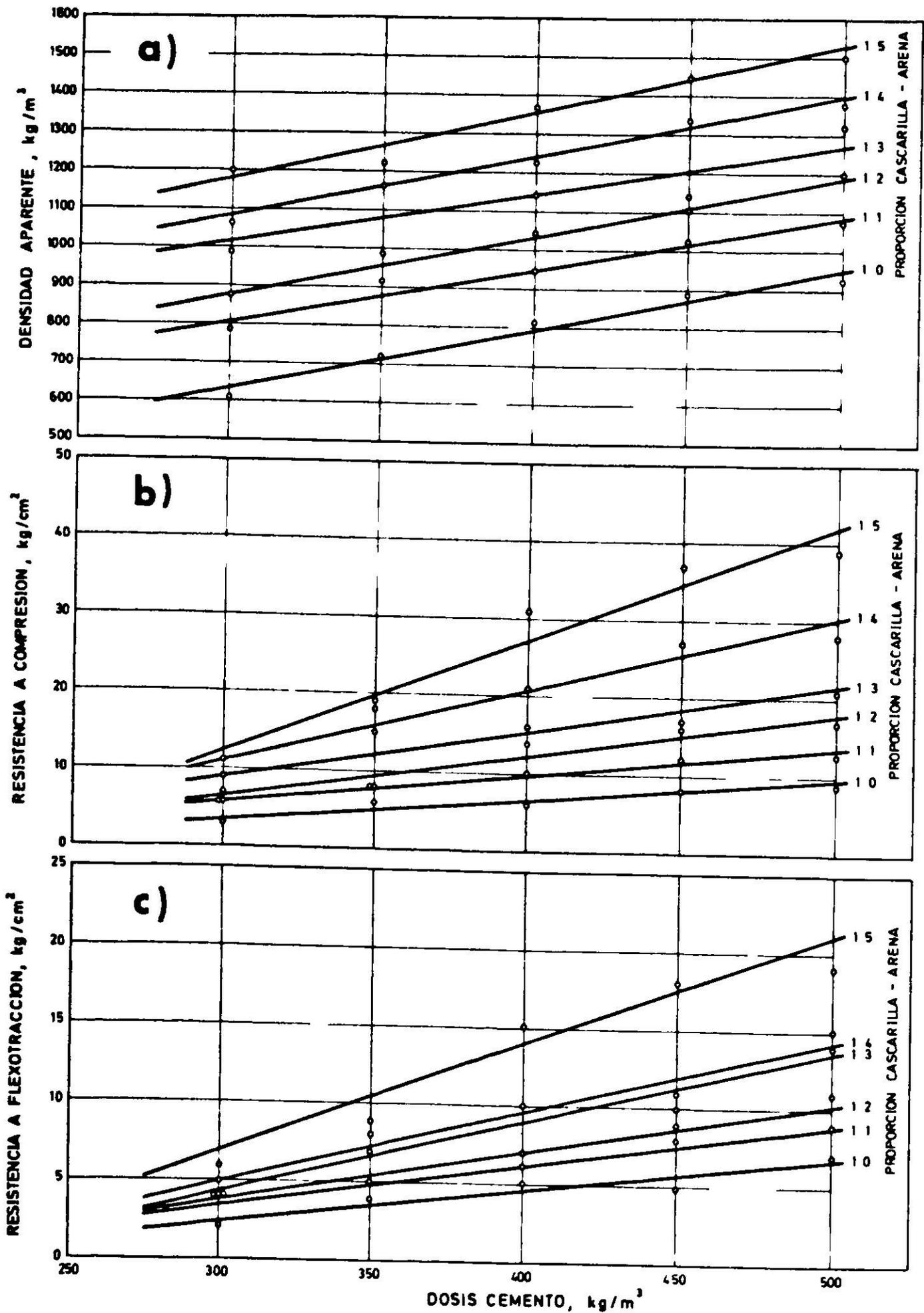
Dosis de cemento 300 kg/m³. Densidad aparente 570 kg/m³. $\lambda = 0.11$ Kcal m/m²h°C

Dosis de cemento 500 kg/m³. Densidad aparente 770 kg/m³. $\lambda = 0.16$ Kcal m/m²h°C

Hormigón de cemento con cascarilla y arena

Dosis de cemento 300 kg/m³. Densidad aparente 840 kg/m³. $\lambda = 0.18$ Kcal m/m²h°C

Dosis de cemento 500 kg/m³. Densidad aparente 1180 kg/m³. $\lambda = 0.28$ Kcal m/m²h°C



5. Relaciones entre las dosis de cemento empleadas y: a) la densidad aparente; b) la resistencia a la compresión a 28 días, y c) la resistencia a la flexión a 28 días, para distintas proporciones cascarilla arena.

En Tabla VII se indican coeficientes de conductividad térmica para diferentes materiales, los cuales fueron determinados en IDIEM⁶. Se incluyen los valores obtenidos en esta experiencia.

TABLA VII

COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD TERMICA DE HORMIGONES
CON CASCARILLA DE ARROZ Y DE OTROS MATERIALES

Material	Densidad aparente kg/m ³	λ K·cal·m/m ² h°C	
a {	Aire quieto a 0°C	12	0.021
	Poliestireno expandido	18	0.032
	Lana de vidrio	130	0.037
	Pino insigne	140	0.098
	Raulí	520	0.11
	Panel pasta + cascarilla	570	0.11
b {	Hormigón celular	700	0.13
	Yeso	700	0.22
	Panel pasta + cascarilla	770	0.16
	Panel mortero + cascarilla	840	0.18
	Panel mortero + cascarilla	1.180	0.28
	Ladrillo chonchón	1.500	0.40
	Ladrillo prensado	1.700	0.40
c {	Mortero 1:3	1.700	0.48
	Hormigón simple	2.400	0.90
	Hormigón armado	2.400	1.40

CLASIFICACION: (a) Buenos aislantes; (b) Aislantes medios; (c) Malos aislantes

Serrabilidad y clavabilidad

Para estos ensayos se utilizó el mismo tipo de probetas usadas para determinar resistencias mecánicas.

Para el ensayo de serrabilidad se cortaron probetas cilíndricas con serrucho carpintero. A mayores densidades del hormigón, menor fue la facilidad para aserrarlas, pero, en cambio, aumentó la resistencia a la extracción del clavo en el hormigón.

En todo caso, y dentro del rango de densidades obtenidas en este trabajo, de los ensayos efectuados se concluyó que el hormigón de cascarilla tiene propiedades aceptables de serrabilidad y clavabilidad, que se hacen más favorables a medida que aumenta la densidad de éste.

CONCLUSIONES

El hormigón de cascarilla de arroz tiene baja resistencia a compresión; se le puede calificar, por ello, como hormigón liviano de relleno, no resistente. Con una compactación más rigurosa del hormigón fresco y/o aumentando la dosis de cemento se pueden lograr resistencias mayores, pero se pierden las ventajas de aislación térmica y de ligereza.

La resistencia a flexotracción es superior a las logradas con otros hormigones livianos (por ejemplo con poliestireno).

Por los coeficientes de conductividad térmica obtenidos, el hormigón de cascarilla puede clasificarse como un material aislante medio.

La dosis mínima de cemento debe ser de 300 kg/m^3 . Con dosis inferiores no se logra la cohesión necesaria entre la pasta y la cascarilla.

La cascarilla, aun cuando tiene un elevado porcentaje de absorción (60%), en estado húmedo no sufre esponjamientos que pudieran ser ocasionados por hinchamiento de sus partículas u otras causas.

Debido a la gran compresibilidad de la cascarilla, debe esperarse una dispersión hasta de 5% en el rendimiento del hormigón obtenido.

El curado del hormigón de cascarilla puede efectuarse bajo agua o con polietileno.

Para fabricar hormigones de cascarilla de arroz conviene tener presente las siguientes recomendaciones.

Saturar previamente la cascarilla de arroz — 24 horas si es posible — antes de su empleo en la confección de hormigones. Con ello se evita la absorción del agua de amasado y que las partículas vuelen durante su manipulación para colocarla en la betonera.

Dosificar de preferencia en peso. La medición en volumen de la cascarilla está sujeta a errores por su gran compresibilidad.

Fabricar hormigones secos. La pasta de cemento tiende a depositarse en las capas inferiores del hormigón, por lo que a mayor cantidad de agua, mayor será la segregación del hormigón.

Elegir un método de compactación que garantice la homogeneidad del hormigón producido. En todo caso, la compactación debe ser manual.

BIBLIOGRAFIA

1. HUMMEL, A. *Prontuario del hormigón*.
2. CASAS O. D. y GARCIA, A. P. Uso de la cascarilla de arroz en concreto liviano. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga, Colombia, año 1973.
3. NCh 1 038of.76. Hormigón. Ensayo de tracción por flexión.
4. NCh 850of.71. Acondicionamiento ambiental térmico. Materiales de construcción. Determinación de la conductividad en aparato de placas térmicas con anillo de guarda.
5. ASTM. *Standard C-29-71*. Unit weight of aggregate.
6. RODRIGUEZ, G. *La aislación térmica en la construcción nacional*. Publicación del Ministerio de Obras Públicas, noviembre 1968.