

MATERIALES DE CONSTRUCCION CON PROPIEDADES AISLANTES A BASE DE CÁSCARA DE ARROZ

(BUILDING MATERIALS WITH INSULATING PROPERTIES BASED ON RICE HUSK)

Julián Salas Serrano,
Dr. Ingeniero Industrial (IETcc-CSIC)

603-2

Janer Veras Castro,
Ingeniero Civil (Becario ICI-CSIC)

RESUMEN

El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación "Materiales, Tecnologías y Prototipos de Viviendas de muy Bajo Coste". Se pretende conseguir un material de construcción para su empleo como aislante térmico, a base de cemento y cáscara de arroz tratada.

Se analiza el comportamiento de distintas dosificaciones optando, en base a los resultados, por dos de ellas, con las que se realizaron paneles patrón de $60 \times 90 \times 6$ cm que se ensayaron a flexión y se determinaron los valores de la conductividad térmica, valor de λ , que oscila entre 0,105 y 0,123.

Asimismo se trata de un conjunto de resultados parciales, de distintas aplicaciones, que se encuentran en proceso de resolución en el marco del estudio de hormigones pobres, especialmente pensados para su elaboración en países en vías de desarrollo.

SUMMARY

This work within the research project "Material, Technologies and Low Cost Housing Prototypes" has the purpose to obtain a building material based on cement and treated rice husk, for its use as thermal insulator.

The performance of different dosages was analyzed and according to the results two dosages were chosen to make standard panels of $60 \times 90 \times 6$ cm which were tested for bending, and the thermal conductivity values were determined, value of λ , which fluctuate between 0,105 and 0,123.

It also deals with a whole of partial results, of diverse applications, which are to be resolved within the frame-work of poor concretes study, pointing mainly for its elaboration in developing countries.

1. INTRODUCCION *

El trabajo que sigue se inscribe en el proyecto de investigación «Materiales, Tecnologías y Prototipos de Viviendas de Muy Bajo Coste» y, más específicamente, en el objetivo de trabajo de dicho proyecto, que se ocupa de la utilización de la cáscara y paja de arroz como conglomerante y material aligerante del hormigón.

Valgan los resultados que siguen como primera aportación de posibles empleos de la cáscara de arroz (natural, tratada, molida o quemada) como material de construcción.

El planteamiento de partida del trabajo es el tratar de conseguir un material de construcción para su empleo como aislante térmico en el contexto de países en vías de desarrollo con climas fundamentalmente cálidos. Se trata de buscar un material en el espíritu de las llamadas «tecnologías apropiadas», que, en base al cemento como conglomerante y a la cáscara de arroz como «árido ligero», permita sustituir con un balance técnico-económico positivo a otros materiales,

(*) Deseamos dejar constancia de nuestro agradecimiento por la valiosa información bibliográfica que nos facilitó al inicio del trabajo el Dr. Tortosa, del Instituto de Tecnología de Alimentos del CSIC.

generalmente importados. Se pretende pues conseguir un material que aun siendo inferior en resultados técnicos a las gamas actuales de poliuretanos, poliestirenos, fibras minerales, etc., permita perfilar una respuesta autóctona a ciertos problemas de aislamiento en construcción.

El perfil de «performances» del material que se busca (en base al cemento y a la cáscara), lo definimos apriorísticamente en la forma siguiente:

- Peso específico (γ) comprendido entre $800 \div 1.200 \text{ kg/m}^3$.
- Coeficiente de conductividad (λ) del orden de $0,15 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C}$.
- Resistencia mecánica (compresión, flexión, tracción...) suficiente para asegurar su trabajabilidad, transporte, puesta en obra y uso en forma de elementos de pequeñas/medianas dimensiones. Esta resistencia estaría comprendida entre $20 \div 40 \text{ kg/cm}^2$.
- Debería ser fácilmente cortable y suficientemente resistente al fuego.
- Debería presentar una adecuada respuesta al ataque de insectos, al contacto con el agua y a los ambientes climatológicos de características tropicales.

- El proceso de producción de semiproductos (paneles, bloques u otros) deberá poder realizarse con materiales y medios propios de la construcción en PVD (*).

La «universalidad» del arroz y, por consiguiente, de su cáscara es notoria en los PVD; su abundancia queda patente en el dato aportado por Mehta y Pitt (1), que estiman en 500×10^6 metros cúbicos la producción mundial de cáscara de arroz por año.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CÁSCARA DE ARROZ

La cáscara de arroz empleada y, por tanto, a la que se refieren los valores que siguen, procede del molino «Divina Pastora» de Sueca (Valencia). El suministro se ha realizado en sacos de unos 8 a 10 kg de peso cada uno.

Uno de los primeros datos que necesitamos cuantificar es el peso específico de esta materia prima. Hemos procedido a su determinación en las condiciones de «ambiente» de la nave de hormigonado del Instituto Eduardo Torroja, «suelto» y «compactado». También se ha determinado el peso específico «saturado seco» y la «absorción de agua».

2.1. Pesos unitarios de la cáscara «suelta» y «compactada»

Para su determinación, en condiciones ambientales, hemos definido un proceso sencillo y lo más universal posible.

Hemos partido de la utilización de un molde normalizado para probeta cilíndrica de hormigón de $\varnothing 15 \times 30$ cm de altura, lo que equivale a un volumen de $5.301,44 \text{ cm}^3$.

La determinación del peso específico de la cáscara «suelta» se ha realizado vertiendo desde la boca del molde hasta llenarlo, procediendo con la barra de compactado en posición horizontal a su enrase. El peso del contenido se determinó con una balanza capaz de precisar $\pm 0,1$ g.

El peso específico medio de diez mediciones resultó ser de $121,5 \text{ kg/m}^3$.

Para la determinación del peso específico de la cáscara «compactada» hemos llenado el molde mediante tres tongadas (aproximadamente de un tercio del volumen total cada una), compactando mediante 25 golpes con barra de $\varnothing 15$ mm y extremo esférico. El enrasado se hizo de la misma forma que en el caso anterior. El peso específico «compactado» medio resultó ser de $145,28 \text{ kg/m}^3$.

(*) PVD, abreviaturas empleadas para nombrar genéricamente a los Países en Vías de Desarrollo.

En forma idéntica se procedió con la cáscara tratada, a la que nos referiremos más adelante, resultando los siguientes valores medios de diez pruebas: peso específico suelta: $118,10 \text{ kg/m}^3$; peso específico compactada: $167,68 \text{ kg/m}^3$.

2.2. Peso específico de la cáscara «saturada seca» y absorción de agua de la cáscara

Para la determinación de ambos valores hemos seguido básicamente la Norma UNE 7.140: «Determinación de los pesos específicos y absorción de agua en áridos finos». No obstante, por las características específicas de la cáscara de arroz, en su empleo como árido nos hemos apartado del contenido de esta norma en dos puntos concretos:

- La cantidad de muestra de cáscara con superficie saturada seca, preparada de acuerdo con el Punto 4 de la norma citada, en lugar de ser de $500 \pm 0,1$ g se ha tomado de $50 \pm 0,1$ g, ya que debido al bajo peso específico de la cáscara, un peso de 500 g haría muy difícil su manejo.
- La determinación del peso total de agua añadida hasta conseguir un enrase en el matraz aforado de 500 cm^3 resulta difícil, y por supuesto, fuera de la posibilidad de conseguir errores menores de 0,1 g como indica la norma. Esto se debe a que al flotar parcialmente la cáscara en el agua, incluso transcurrida la hora señalada por la norma, la determinación del plano de nivel resulta imprecisa.

Al objeto de paliar estos problemas, la medición se ha efectuado diez veces, encontrándose en la Tabla n.º 1 los resultados de las mismas. Se han determinado los siguientes valores medios:

— Peso específico aparente de la cáscara:

$$X_d = \frac{G}{V - V_1} = 453,1 \text{ kg/m}^3$$

— Peso específico aparente de la cáscara saturada:

$$X_s = \frac{P_1}{V - V_1} = 787,2 \text{ kg/m}^3$$

— Peso específico neto de la cáscara:

$$X_n = \frac{G}{(V - V_1) - (P_1 - G)} = 690,3 \text{ kg/m}^3$$

— Absorción de agua de la cáscara:

$$A = \frac{P_1 - G}{G} \cdot 100 = 73,70 \%$$

Tabla n.º 1

DETERMINACION DE PESOS ESPECIFICOS DE LA CASCARA DE ARROZ

Medición N.º	P ₁ Peso de muestra con s.s.s. (g)	V Volumen del matraz (cm ³)	V ₁ Volumen de agua añadida	G Peso muestra seca (48 h a 110 °C)	$X_d = \frac{G}{(V - V_1)}$	$X_s = \frac{P_1}{(V - V_1)}$	$X_a = \frac{G}{(V - V_1) - (P_1 - G)}$	$A = \frac{P_1 - G}{G} \cdot 100$
1	50	500	446,6	27,3	0,5112	0,9363	0,8893	83,15 %
2	50	500	436,3	29,2	0,4584	0,7849	0,6807	71,23 %
3	50	500	425,6	28,1	0,3777	0,6720	0,5352	78,21 %
4	50	500	447,4	28,7	0,5456	0,9506	0,9169	74,22 %
5	50	500	440,0	28,6	0,4767	0,8333	0,7409	74,83 %
6	50	500	443,7	29,4	0,5222	0,8881	0,8235	70,07 %
7	50	500	431,7	29,3	0,4290	0,7321	0,6155	70,65 %
8	50	500	425,5	28,9	0,3879	0,6711	0,5412	76,36 %
9	50	500	426,6	29,4	0,4005	0,6812	0,5568	70,07 %
10	50	500	430,8	29,2	0,4220	0,7225	0,6033	71,23 %
VALORES MEDIOS					0,4531	0,7872	0,6903	73,70 %

2.3. Absorción debida a la humedad ambiente

Se trata de un parámetro extraordinariamente cambiante al ser dependiente de las condiciones ambientales en las que se encuentre el material. Con carácter puramente informativo, para las condiciones de la nave de hormigonado del IETcc, el día de toma de muestras se determinó un valor medio del 11,12 %.

2.4. Granulometría y módulo de finura

Para el análisis granulométrico se ha seguido el procedimiento corriente de tamizado. La muestra tomada ha sido, en los diez casos, de 180 g de cáscara en las condiciones de ambiente y se ha seguido el procedimiento de los cuantiles. Se adoptó esta cantidad por acomodarse bien al tamaño de los tamices normalizados.

Se empleó la serie de tamices Tyler constituida por los números: 4, 8, 16, 30, 50 y 100, con las aberturas que se indican en la Tabla n.º 2. El tamizado se efectuó de manera mecánica haciendo uso del equipo adecuado para esta finalidad.

Los valores medios recogidos en la Tabla n.º 2 y la figura 1, proporcionan las características granulométricas básicas de la cáscara de arroz. Puede

señalarse que el 98,06 % del material se encuentra comprendido entre 0,59 mm (tamiz n.º 30) y 4,76 mm (tamiz n.º 4).

El *módulo de finura* o módulo granulométrico de un árido, en este caso cáscara, es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie Tyler. En el caso estudiado el módulo de finura medio resultante es de 4,444 valor alto, si se compara con el de las arenas comunes, como consecuencia de la escasa proporción de componentes finos.

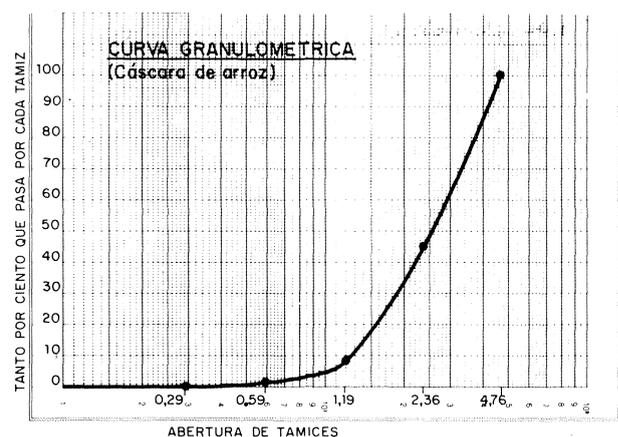


Fig. 1

Tabla n.º 2

Tamiz N.º	Abertura (mm)	CANTIDADES RETENIDAS POR LOS DISTINTOS TAMICES											% Retenido	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media	Parcial	Δ W
4	4,76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0,00	0,00
8	2,38	90,50	99,50	98,50	102,50	95,80	107,50	95,20	92,00	106,00	108,80	99,63	55,48	55,48
16	1,19	76,90	66,90	69,20	62,30	66,50	58,20	67,60	73,20	61,10	58,00	65,99	36,75	92,23
30	0,59	8,90	9,90	9,60	11,00	12,20	10,00	12,30	11,30	9,90	9,60	10,47	5,83	98,06
50	0,29	1,30	1,50	1,10	2,00	2,50	2,40	2,70	2,00	1,60	1,80	1,89	1,05	99,11
100	0,149	0,70	0,90	0,80	0,90	1,20	1,20	1,20	0,90	0,60	0,90	0,93	0,52	99,63
	FONDO	0,70	0,90	0,60	0,60	0,80	0,50	0,70	0,50	0,60	0,70	0,66	0,37	100,00
	SUMA	179,0	179,6	179,8	179,3	179,0	179,8	179,7	179,9	179,8	179,8	179,5	100,0	544,5

Tabla n.º 3

DOSIFICACIONES TENTATIVAS

		Cemento P-350	Cáscara de arroz	Agua	Totales
Dosificación n.º 1 $\frac{a}{c} = 1,00$	% de Peso	34,26 %	28,51 %	34,26 %	100,00 %
	% Volumen	4,40 %	82,14 %	13,45 %	100,00 %
Dosificación n.º 2 $\frac{a}{c} = 1,00$	% Peso	39,24 %	21,50 %	39,24 %	100,00 %
	% Volumen	6,58 %	73,29 %	20,11 %	100,00 %
Dosificación n.º 3 $\frac{a}{c} = 0,80$	% de Peso	45,32 %	19,35 %	35,32 %	100,00 %
	% Volumen	8,30 %	71,95 %	19,74 %	100,00 %
Dosificación n.º 4 $\frac{a}{c} = 0,65$	% de Peso	49,85 %	17,77 %	32,40 %	100,00 %
	%	9,79 %	70,78 %	19,43 %	100,00 %

3. DOSIFICACIONES TENTATIVAS

Al objeto de delimitar, en una primera aproximación, posibles dosificaciones adecuadas con el objeto perseguido, se optó por definir cuatro dosificaciones, que en adelante denominaremos números: 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Todas a base de cáscara de arroz en estado ambiente, cemento PA-350 (con un 18 % de adiciones puzolánicas) y agua.

De cada una de las cuatro amasadas se tomaron tres probetas de $7,5 \times 15,0$ cm. Las razones que llevaron a adoptar estas probetas en lugar de la de $15,0 \times 30,0$ no son otras que facilitar el manejo, ahorrar material y que, al tratarse de un trabajo con fines poco estructurales, era menos necesario el empleo de probetas grandes, ya que éstas suponen un volumen de material unas ocho veces superior al de las empleadas.

Las dosificaciones se recogen en la Tabla n.º 3 y los resultados cuantitativos deducidos a tres, siete y sesenta días en la Tabla n.º 4.

La compactación en todos los casos fue manual mediante barra y el curado se realizó en cámara a 24 ± 1 °C y 95 % de humedad.

La ejecución de éstas y sucesivas probetas y el seguimiento de su evolución proporcionaron algunas enseñanzas específicas que nos parece oportuno comentar por tratarse de un material de ensayo relativamente poco divulgado.

Se optó por una compactación manual mediante barra al juzgar ésta como la más acorde con las condiciones de los PVD, aún conscientes de las fuertes dispersiones que ello podía suponer en el peso por probeta. Esta variación pudo cuantificarse posteriormente analizando los pesos de 37 probetas de la dosificación que denominaremos «patrón», realizadas por la misma persona. Los resultados del estudio estadístico confirmaron la hipótesis con un valor de la desviación típica de 44,01 y del rango de 175 g, presentando pesos que oscilaban desde 427 g hasta un máximo de 602 g.

La operación de rotura a compresión de probetas, al inicio de este trabajo, mostró de forma nítida cómo

Tabla n.º 4
RESULTADOS DE LAS DOSIFICACIONES «TENTATIVAS»
RESULTADO A TRES DIAS

Dosificación	Peso al desmoldar (g)	Peso específico al desmoldar	Peso al meter en estufa	Peso a las 72 horas a 110 °C	Peso específico material seco	Pérdida de peso en %	Resistencia a compresión
1	303,8	0,458	298,3	203,4	0,307	31,81 %	0,1 kg/cm ²
2	494,5	0,746	487,2	301,6	0,455	31,10 %	0,7 kg/cm ²
3	517,8	0,781	512,4	387,8	0,585	24,32 %	0,7 kg/cm ²
4	652,5	0,984	638,5	434,7	0,656	31,92 %	2,37 kg/cm ²

RESULTADO A SIETE DIAS

Dosificación	Peso al desmoldar (g)	Peso específico al desmoldar	Peso al meter en estufa	Peso a las 72 horas a 110 °C	Peso específico material seco	Pérdida de peso en %	Resistencia a compresión
1	373,1	0,563	368,3	242,9	0,366	34,05 %	2,80 kg/cm ²
2	516,7	0,779	510,4	314,4	0,474	38,50 %	15,84 kg/cm ²
3	567,1	0,855	561,9	357,2	0,539	34,43 %	22,64 kg/cm ²
4	656,0	0,989	647,3	436,8	0,659	32,52 %	38,03 kg/cm ²

RESULTADO A SESENTA DIAS

Dosificación	Peso al desmoldar (g)	Peso específico al desmoldar	Peso al meter en estufa	Peso a las 72 horas a 110 °C	Peso específico material seco	Pérdida de peso en %	Resistencia a compresión
1	472,2	0,7126	466,2	251,1	0,3789	46,18 %	11,77 kg/cm ²
2	577,4	0,8713	571,4	335,9	0,5069	41,48 %	42,10 kg/cm ²
3	625,3	0,9436	621,1	381,0	0,5749	38,66 %	59,75 kg/cm ²
4	675,4	1,092	670,4	438,1	0,6611	34,65 %	71,53 kg/cm ²

ésta se iniciaba en el tercio superior de la misma, por ser ésta la parte menos compactada. Para subsanar esta circunstancia acoplamos a los moldes un collarín de Ø 7,5 cm y 5 cm de altura, que fijado sobre el molde metálico permitió conseguir una compactación manual más homogénea. Pese a ello, se presenta la dispersión de valores ya comentados en el párrafo anterior.

Otro imprevisto detectado en el proceso fue la aparición sobre las probetas de eflorescencias orgánicas cuando éstas permanecían varios días en el ambiente normalizado de la cámara de curado (23 ± 1 °C y 95 % de humedad). *El fenómeno no se da en probetas con cáscara de arroz tratada con cal, tratamiento que tomamos de Lemus (5), (Fig. 2).*

A la vista de los resultados de los ensayos que se detallan en la Tabla n.º 4 y figura 2, teniendo presentes las cantidades de cemento empleadas en las cuatro dosificaciones y los valores propuestos por J. A. Aguirre y P. F. Sierra (6), nos decantamos por considerar como dosificación «patrón» o de referencia una de valores muy cercanos a la dosificación 3, constituida por:

- 267 kg de cemento PA-350;
- 141,38 kg de cascarilla «ambiente»;
- 201,58 l de agua para una relación a/c = 0,75.

Tomando como pesos unitarios sin compactar (materiales sueltos) 1.328 kg/m³ para el cemento

Tabla n.º 5

	Cemento P-350	Cáscara de arroz ambiente	Total	Relación a/c
Peso	267,0 kg	141,38 kg	408,38	0,755
(por m ³)	65,38 %	34,62 %	100 %	
Volumen	201,0 dm ³	1163,6 dm ³	1364,6 dm ³	
(por m ³)	14,73 %	85,27 %	100 %	

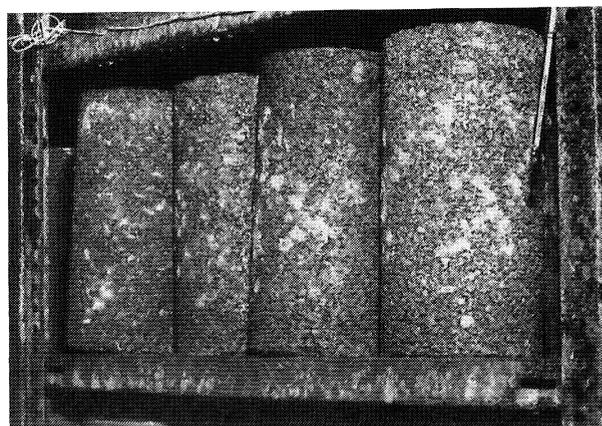


Fig. 2

y 121,5 kg/m³ para la cascarilla en estado ambiente. En volumen, la dosificación «patrón» resulta en material suelto de 201,0 dm³ de cemento por 1.163,6 dm³ de cascarilla, lo que supone un 85,27 % de cáscara por un 14,73 % de cemento. (Ver Tabla n.º 5). La dosificación «patrón» en peso de materiales sueltos resultó ser: 65,38 % de cemento y 34,62 % de cáscara.

4. OTRAS DOSIFICACIONES REALIZADAS

Partiendo de la dosificación «patrón» se plantearon dos con valores simétricos de aquella que llamaremos «A» y «B», resultando de aumentar y disminuir un 10 % respectivamente la cantidad de cemento de la «patrón». Los valores de las mismas se recogen en la Tabla 6.

Por otra parte, al objeto de iniciar la utilización de la cáscara tratada con cal, se plantearon las dosificaciones «F», «G» y «L». En todas ellas se preparó una disolución acuosa al 5 % en peso de cal y se dejó la cáscara 24 horas procediéndose a remover varias veces en este periodo. Posteriormente, la cáscara se secó hasta conseguir la situación de «superficie saturada seca» (s.s.s.).

Las probetas realizadas empleando cáscara tratada con cal no presentaron durante el proceso de curado las eflorescencias orgánicas ya comentadas.

Finalmente, y a efectos de determinar el coeficiente de equivalencia entre los resultados obtenidos en las probetas de 7,5 × 15 cm y de 15 × 30 cm, se procedió

a la ejecución de probetas «QG» y «QP», grandes y pequeñas respectivamente con la misma dosificación patrón, para lo que, utilizando la misma amasada y forma de compactación, se alternó la confección de probetas grandes y pequeñas.

Los datos relativos a la evolución y resultados de ensayos de las dosificaciones mencionadas se recogen en las respectivas figuras 3 a 8, en las que se recogen los siguientes datos:

- Resistencias a compresión a 3, 7, 28 y 60 días.
- Valores medios de las resistencias a compresión.
- Humedades relativas al romper y valores medios.
- Peso de las probetas al romper y peso específico medio del conjunto de probetas.

A la vista de los valores tabulados y del gráfico-resumen de la figura 9, cada uno de cuyos puntos corresponde a una serie de tres valores, se concluye lo siguiente:

- A. La dosificación «B» supone un ahorro de 10 % en peso de cemento respecto de la «patrón» pero una caída de resistencias que la invalidan para su utilización. El incremento de un 10 % de cemento respecto de la «patrón», dosificación «A», aporta ligeros incrementos en las resistencias a 3 y 7 días pero proporciona valores sensiblemente inferiores a 28 y 60 días a los de la «patrón». A la vista de los resultados se concluye que para cáscara sin tratar, la dosificación «patrón» se perfila como la idónea para los fines perseguidos de este trabajo.

Tabla n.º 6

Nomenclatura	DOSIFICACION				Relación a/c	
	Cemento	Cáscara	Agua			
Patrón P	PA-350 43,77 % 4,57 kg	Ambiente 23,18 % 2,42 kg	33,04 % 3,45 l		0,755	Se ha adoptado esta dosificación como patrón a efectos comparativos.
A	PA-350 46,75 % 5,05 kg	Ambiente 17,96 % 1,94 kg	35,27 % 3,8 l		0,755	Partiendo de la patrón y manteniendo igual relación a/c se aumenta un 10 % en peso de cemento disminuyendo la cáscara en igual peso.
B	PA-350 40,73 % 4,11 kg	Ambiente 28,54 % 2,88 kg	31,28 % 3,45 l		0,755	Partiendo de la patrón y manteniendo igual relación a/c se disminuye un 10 % el peso de cemento y se aumenta la cáscara en igual proporción.
F	PA-350 43,77 % 4,57 kg	s.s.s. en disolución de cal 23,18 % 2,42 kg	33,04 % 3,45 l		0,755	Con cáscara tratada en disolución de cal al 5 % en agua, se seca la cáscara hasta s.s.s. y se reproduce la patrón.
G	PA-350 48,43 % 6,97 kg	s.s.s. en disolución de cal 25,64 % 3,69 kg	25,92 % 3,73 l		0,535	Con cáscara tratada en disolución de cal al 5 % en agua, se seca hasta s.s.s., se aumenta un 10 % en peso el cemento y la cáscara de la patrón, disminuyendo el agua un 20 %.
L	PA-350 46,75 % 5,05 kg	s.s.s. en disolución de cal 17,96 % 1,94 kg	35,27 % 3,81 l		0,755	Repetir la dosificación A pero con cáscara tratada con cal y en estado de s.s.s.
Contraste de probetas 7,5 × 15 y 15 × 30 QG-1 a 8 QP-1 a 9 Panel 90 × 60 × 6 cm	PA-350 43,77 % 28,55 kg	Ambiente 23,18 % 15,13 kg	33,04 % 21,57 l		0,755	Se reproduce la dosificación patrón a efectos de contraste por la influencia del tamaño de las probetas.

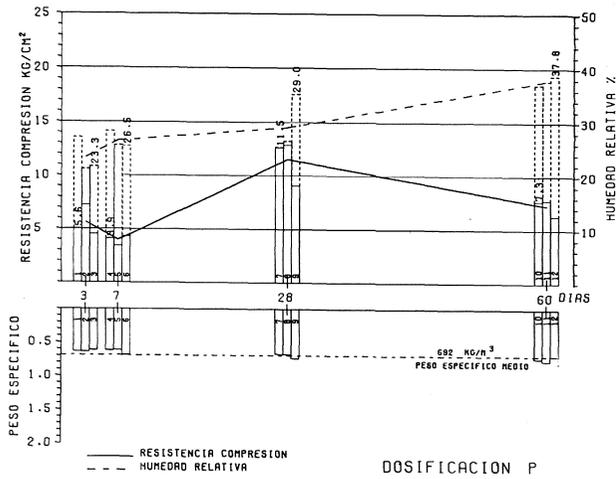


Fig. 3

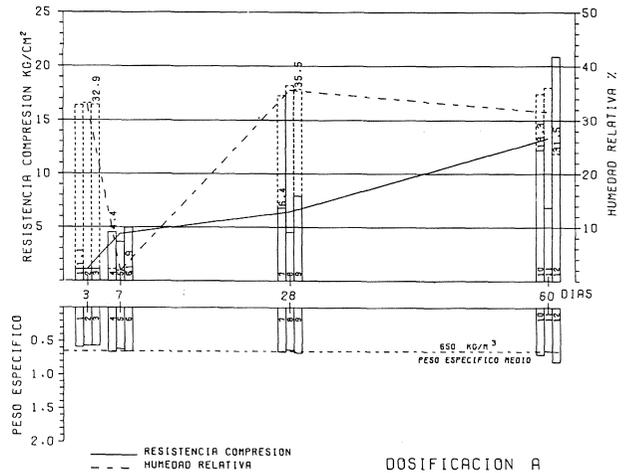


Fig. 4

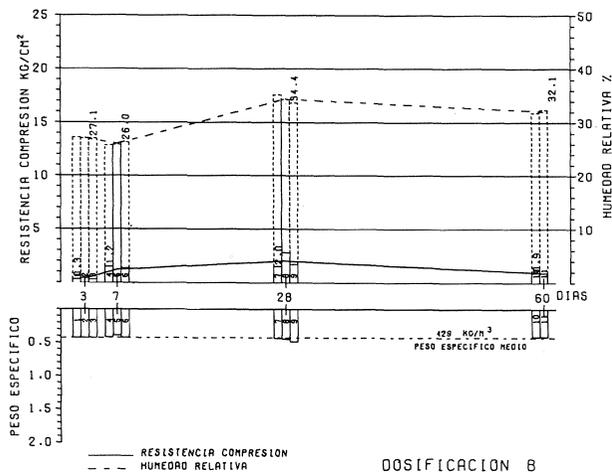


Fig. 5

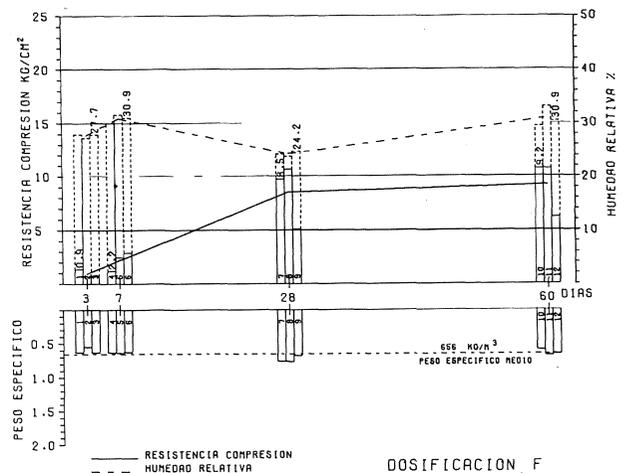


Fig. 6

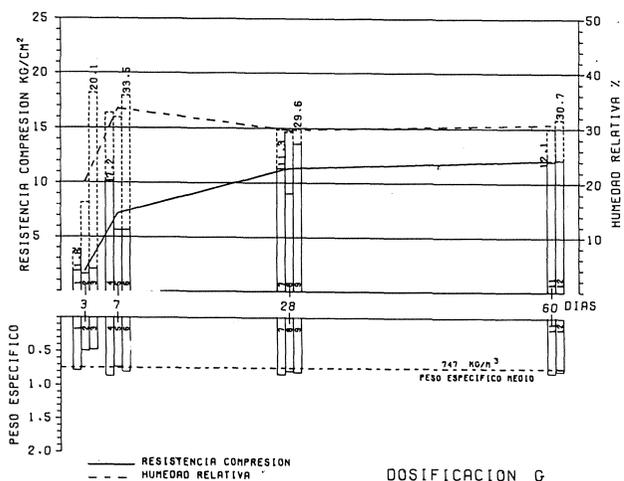


Fig. 7

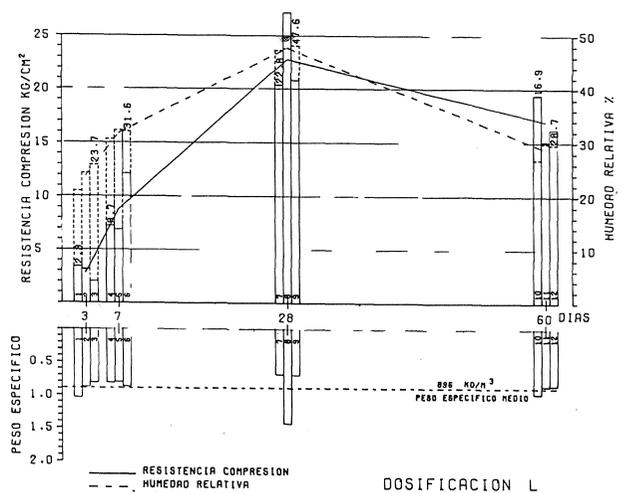


Fig. 8

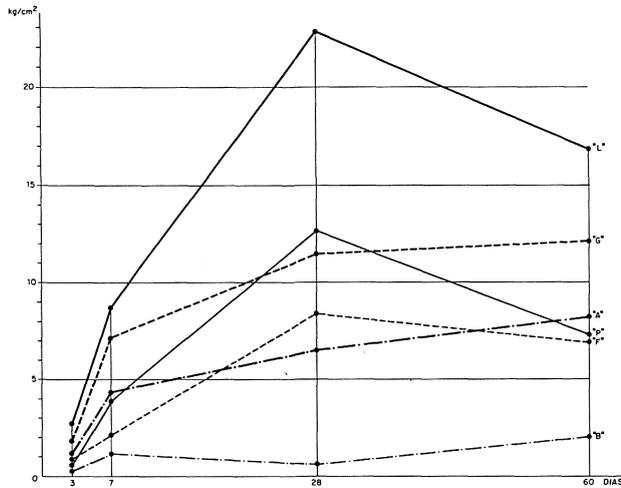


Fig. 9

- B. En los casos de las dosificaciones «F», «G» y «L», todas empleando cáscara tratada con cal, resulta evidente: que la «F» (idéntica a la «patrón», sólo que con cascarilla tratada con cal), proporciona resistencias muy por debajo de la «patrón». Que la «G» presenta resistencias considerables que estimamos se deben a la baja sensible de 0,755 a 0,535 en la relación agua/cemento. Finalmente, es notorio el excelente comportamiento de la dosificación «L» que, con igual cantidad de cemento, duplica prácticamente las resistencias obtenidas por la dosificación «A» a todas las edades.
- C. En base a las conclusiones anteriores se decidió estudiar dos series de probetas con dosificaciones «patrón» y «L», modificando únicamente la relación agua/cemento que se fijó en: 0,50 y 0,60 respectivamente.
- D. Se moldearon paneles de las cuatro dosificaciones seleccionadas, al objeto de determinar el comportamiento resistente y aislante de los mismos, en la forma que se detalla en los Apartados 5 y 6 que siguen.
- E. Se detecta en los casos de las dosificaciones «L», «patrón» y «F» una caída de resistencia al pasar de 28 días a 60 manteniendo el curado en cámara, lo cual es un problema que debe ser estudiado.

5. DOSIFICACIONES DE CORRECCION AGUA/CEMENTO

A la vista de los resultados de resistencia a compresión (ver Fig. 9), se procedió a determinar la posible influencia que sobre las dosificaciones «patrón» y «L» podían suponer pequeñas variaciones de la relación agua/cemento.

Se realizaron doce probetas $7,5 \times 15$ cm para relaciones agua/cemento de 0,50, 0,60 y 0,85 respectivamente, que nominaremos en adelante como:

P50, P60, P85, L50, L60 y L85. Igualmente, de cada una de las seis dosificaciones mencionadas se confeccionaron paneles de $60 \times 60 \times 6$ cm a efectos de determinar el valor de λ ; no fue posible el desmoldeo de los elementos P50 que claramente rompieron por falta de resistencia.

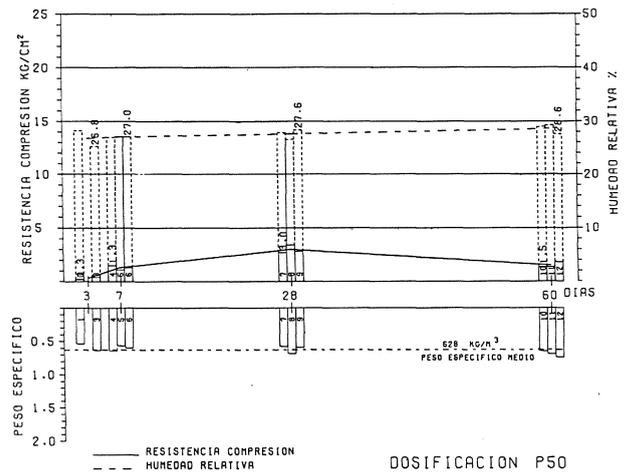


Fig. 10

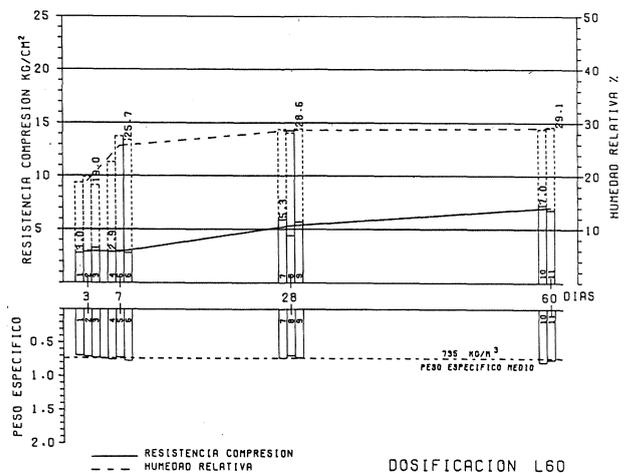


Fig. 11

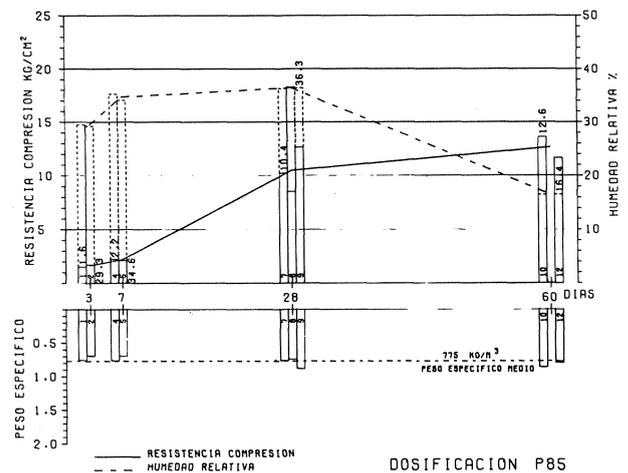


Fig. 12

Al igual que en los casos anteriores, en las figuras 10 a 15 se registran los valores medios de las series de tres probetas. De la figura 16, resumen de resultados, se deduce:

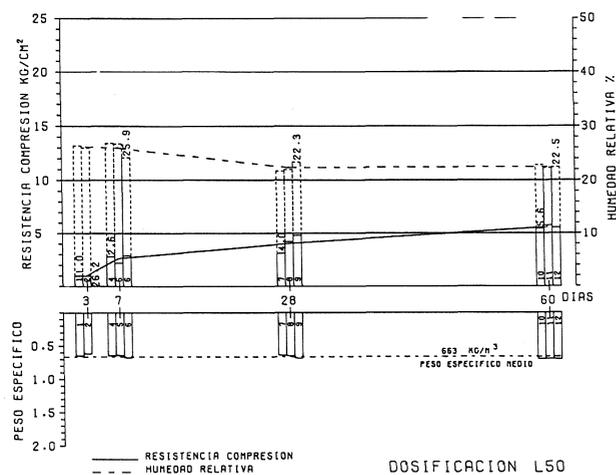


Fig. 13

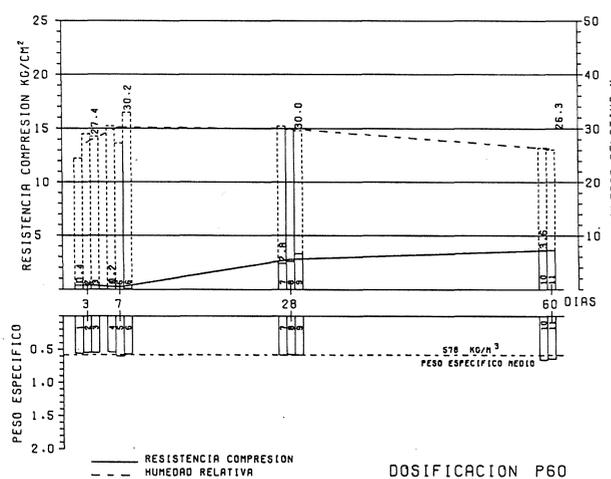


Fig. 14

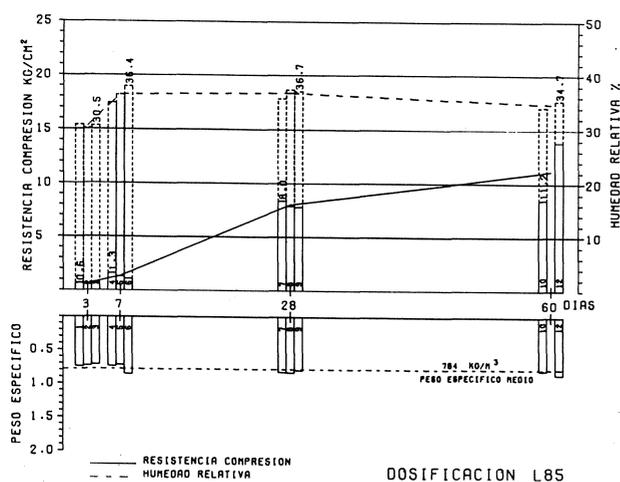


Fig. 15

INFLUENCIA DE LAS RELACIONES AGUA/CEMENTO EN LAS DOSIFICACIONES «L» Y «P»

(Resistencias a compresión probetas de $7,5 \times 15$ cm)

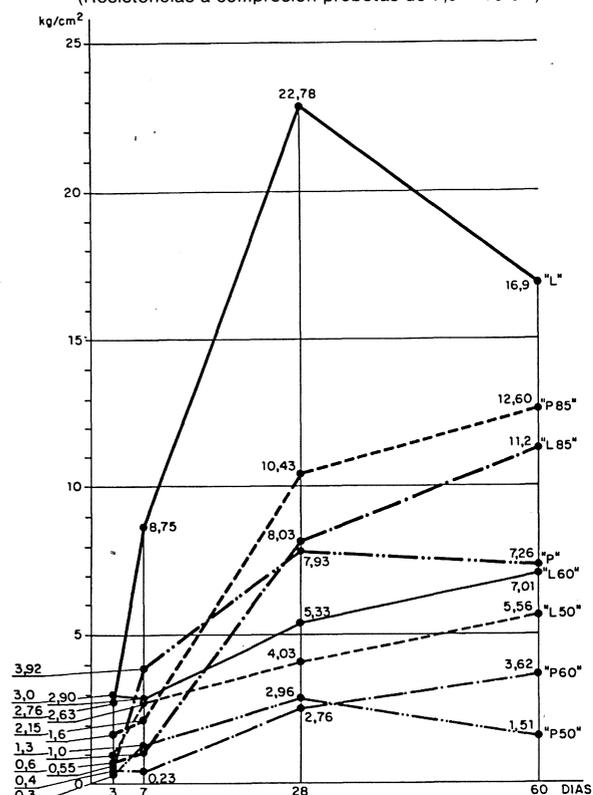


Fig. 16

- En todos los casos de dosificaciones «P», se producen incrementos de resistencias a compresión al aumentar las relaciones agua/cemento desde 0,50, 0,60, 0,75 a 0,85. Resulta por tanto aconsejable el adoptar la «P85» como la más conveniente a reserva de ensayar dosificaciones con relaciones agua/cemento superiores aún.
- En las dosificaciones «L» (cáscara tratada), la que proporciona mejores resultados es la adoptada como patrón «L», de relación agua/cemento 0,75.
- Resultan dignas de mencionarse las caídas de resistencias después de los 28 días de permanencia en la cámara de curado en las dosificaciones: L, P y P50.

6. REALIZACION DE PANELES DE DOSIFICACIONES «PATRON» y «L»: ENSAYO A FLEXION

En molde metálico y mediante compactación manual se realizaron paneles de $90 \times 60 \times 6$ cm que permanecían en el molde, en el ambiente de la nave de hormigonado, durante tres días; a los 28 días se ensayaron a flexión simple apoyado en los extremos por peso propio (ver esquema, Fig. 17), tomándose mediante los tres flexímetros señalados las flechas en los tercios y el centro, cada dos días.

Al estabilizarse las flechas, se procedió a ensayar con carga repartida por escalones de 10,80 kg, equivalente a 20 kg/m² con los resultados que se recogen en las Tablas 7 y 8.

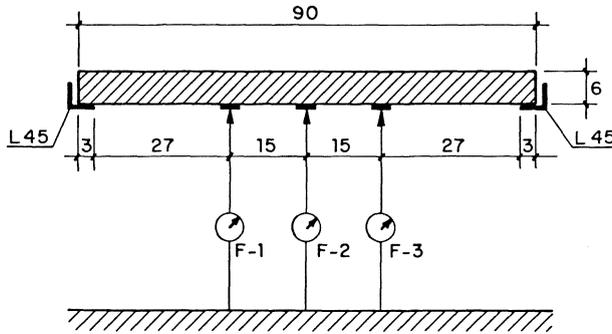


Fig. 18

Tabla 7

PANEL DE DOSIFICACION «PATRON»
Dimensiones: 90 × 60 × 6 cm (Luz libre 870 mm)
Flechas medidas cada dos días

Carga	Valores medidos en mm			Relación F2/luz
	F1	F2	F3	
Peso propio	0,00	0,00	0,00	1/200
	3,86	4,36	4,20	
20 kg/m ²	7,47	8,37	7,73	1/104
	12,72	14,23	12,83	1/67
40 kg/m ²	13,52	15,15	13,64	1/57
	14,64	16,42	14,91	1/53
60 kg/m ²	15,40	17,30	15,49	1/50
	17,34	18,38	16,40	1/47
80 kg/m ²	17,38	19,62 ROMPIO	17,45	1/44

Tabla 8

PANEL DE DOSIFICACION «L»
Dimensiones: 90 × 60 × 6 cm (Luz libre 870 mm)
Flechas medidas cada dos días

Carga	Valores medidos en mm			Relación F2/luz
	F1	F2	F3	
Peso propio	0,63	1,52	0,61	1/592
20 kg/m ²	0,05	0,68	0,03	1/1323
40 kg/m ²	0,04	0,68	0,03	1/1323
60 kg/m ²	0,23	0,88	0,23	1/1023
280 kg/m ²	3,02	3,92	2,93	1/222
300 kg/m ²	3,19	4,13	3,09	1/210
360 kg/m ²	3,93	5,07	3,85	1/172
420 kg/m ²	4,65	6,72	4,42	1/129

El panel con dosificación «patrón» rompió para una sobrecarga repartida de 80 kg/m², midiéndose antes de la rotura una flecha en el centro de 19,62 mm, equivalente a una relación flecha/luz de 1/44.

De forma semejante a la descrita se procedió con un elemento de dosificación «L», anotándose los datos que se recogen en la Tabla 8. El panel rompió para una sobrecarga repartida de 420 kg/m², midiéndose antes de la rotura una flecha en el centro de 6,72 mm, equivalente a una relación flecha/luz de 1/129. (Ver Fig. 18 correspondiente a un estado intermedio de carga).

7. DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE CONDUCTIVIDAD DEL MATERIAL

Por razones de la instrumentación empleada por el equipo del IETcc que trabaja en el proyecto «Ahorro de Energía en Edificación», para la determinación del coeficiente de conductividad, se ejecutaron placas de 60 × 60 × 6 cm con las dosificaciones «P» y «L». Al objeto de facilitar la manipulación de las placas se procedió a dar una lechada de mortero en el fondo del molde y otra en la cara superior de las placas de aproximadamente 5 mm de espesor. Los elementos permanecieron 3 días en los moldes, procediendo a determinar la estabilización de peso mediante estufa.

El ensayo de medida del flujo térmico se realizó en todos los casos entre 30 y 10 °C para las caras caliente y fría respectivamente, mediante equipo «R-Matic» diseñado conforme a la norma ASTM C518. (Ver tabla 9).

Tabla n.º 9

Dosificación	kg Peso del elemento	Peso estabilizado del elemento	Absorción de agua (%)	(kg/m ³) Peso específico seco	Espesor e (mm)	Conductividad térmica λ	Resistencia térmica $R = e/\lambda$	Transmisión térmica $K = 1/R$
«Patrón»	17,480	15,321	12,35	653,57	63,00	0,1055	0,5975	1,6736
«L»	20,468	18,696	8,66	824,33	62,07	0,1230	0,505	1,980

NOTA: Valores medios de series de tres medidas.



Fig. 19

Se tomaron tres medidas en intervalos de 30' cada una y se anotaron los respectivos valores de cada medición, determinándose el valor medio de la serie de tres placas para el coeficiente de conductividad (λ) y la resistencia térmica interna que resultaron ser las siguientes:

Dosificación	Valor Medio λ (W/m °C)	Valor Medio R (m ² °C/w)
Patrón	0,1055	0,5975
«L»	0,123	0,5050

El valor de la constante N de calibración del aparato para una temperatura de 20 °C se tomó igual a 0,1560 W/m.cm.mV. (Ver Fig. 19).

8. COEFICIENTE DE CORRECCION DE RESISTENCIAS ENTRE PROBETAS

Al objeto de determinar la posible equivalencia o coeficientes de transformación entre los valores de las resistencias obtenidas entre probetas de 7,5 × 15,0 cm y de 15 × 30 cm, se realizaron, utilizando idénticas amasadas de dosificación «patrón» para ambos tipos, el mismo curado y compactación por barra, en ambos casos, dos series de probetas cuyos resultados se recogen en la Tabla 10 y en la figura 20.

Tabla n.º 10

	Prob. 7,5 × 15 Resistencia media	Prob. 15 × 30 Resistencia media	Coefficiente de transformación de 7,5 × 15 a 15,30
A 3 días	0,56	3,30	0,169
A 28 días	7,93	2,72	2,915
A 60 días	7,26	5,43	1,337

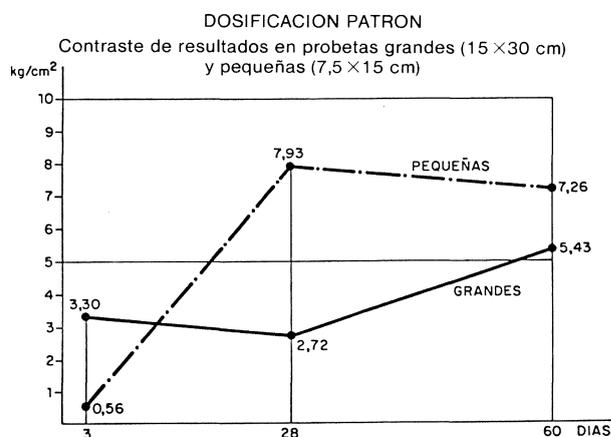


Fig. 20

En base a los datos aludidos resulta muy problemático el establecer, con cierta fiabilidad, unos coeficientes de transformación válidos, ya que la disparidad de la tendencia es absoluta. Se evidencia la necesidad de profundizar en el tema.

9. PERDIDA DE PESO AL FUEGO

Una muestra de material, dosificación «patrón», aproximadamente cúbica de 6 × 6 × 6 cm y un peso de 119,65 g, se ha sometido a incrementos de temperatura de 100 °C desde la temperatura ambiente hasta 1.000 °C, mediante horno. En el transcurso del ensayo se han determinado los pesos de la muestra y se han anotado referencias sobre el aspecto.

Por encima de 200 °C el peso y la forma externa prácticamente se mantienen, aunque no la resistencia. En la Tabla 11 y figura 21 se recogen los resultados del ensayo.

Por encima de 200 °C el peso y la forma externa prácticamente se mantiene, aunque no la resistencia. En la Tabla 11 y Fig. 21 se recogen los resultados del ensayo.

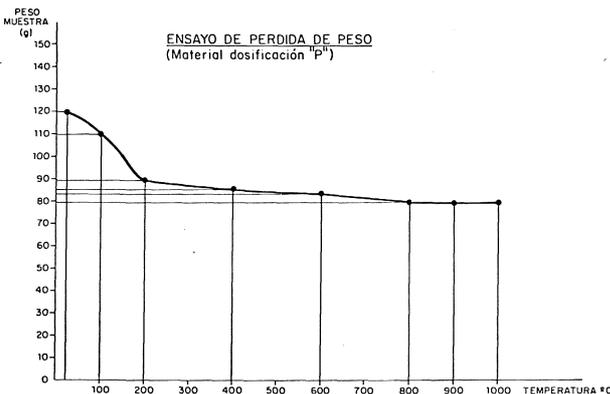


Fig. 21

Tabla n.º 11

COMPORTAMIENTO DE UNA MUESTRA AL VARIAR LA TEMPERATURA

Temperatura	Peso de la muestra	Aspecto
T ambiente	119,65 g	La muestra tiene forma cúbica, su color es grisáceo.
100 °C	110,39 g	La muestra tiene forma cúbica, su color es grisáceo.
200 °C	89,45 g	La muestra tiene forma cúbica, su color es grisáceo.
400 °C	86,05 g	La forma se mantiene, pero el color se vuelve más oscuro.
600 °C	84,04 g	Cuando se presiona la muestra se deshace.
800 °C	79,80 g	Cuando se presiona la muestra se deshace.
900 °C	79,47 g	Cuando se presiona la muestra se deshace.
1.000 °C	79,39 g	Cuando se presiona la muestra se deshace.

BIBLIOGRAFIA

1. Mehta, P. K., y Pitt, N.: «A New Process of Rice Husk Utilization», Proceedings of the «Rice Husk Utilization», Valencia (CSIC), 1974.
 2. Borasio, G.: «Analysis of Rice husk ash», Riscicoltura, Roma, Italia, 1928.
 3. Ojha, T. P.; Maheshwary, R. C., y Shukla, B. D.: «Optimizing technologies of rice husk utilization as source of fuel and industrial board». International Conference, Valencia, 1974.
 4. Francesco Bennuti: «Aprovechamiento Industrial de Productos Agrícolas», Ingeominas, 1974.
 5. Lemus, V.; López, H., y Olvera, H.: «Materiales a base de desechos agrícolas e industriales», Informes de la Construcción n.º 344-345, Noviembre, 1982.
 6. Aguirre, J. A., y Sierra, P. F.: «Uso de la cascarilla de arroz como aligeramiento y su ceniza como aditivo en el hormigón». Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, 1980.
- * Moha, D.; Rai, M., and Relipi, S. S.: «Industrial wastes and building materials». V. N. Seminar on the Use of Industrial and Agricultural Wastes for low Cost Construction, Puerto Rico, dec., 1974.
 - * Singh, S. M.: «Agro-industrial wastes and their utilization». Research and Industry 19, n.º 4, 1974.
 - * Vasisht, R. C. and Chandramouli, P.: «New panel boards from rice husks and other agricultural by products». Background Paper n.º 30, FAO, New Delhi. Feb., 1975.
 - * Datta, R. K., and Dass, K.: «Use of rice husk in building materials». Seminar on Rice Mill Modernization, East India Rice Mills Assoc., Calcuta. Sep., 1974.
 - * Stackman, M., and others: «Rice hull utilization». Final Report. URS Research Co. California. Sep., 1970.
 - * Coté, W. A.: «Rice husk characterization using SEM and EDXA». J. Indian Acad. Wood. Sci. 5, n.º 1 (1974).
 - * Singh, S. M., and Aggarwal, L. K.: «Portland cement bonded panel products from agricultural wastes». Research and Industry 22, n.º 4, 242-245 (1977).
 - * George, J.; Zoolagud, S. S., and Jagadeesh, H. N.: «New building materials from rice husk production, properties and application». National Seminar. Trivandrum, India. Sept., 1976.
 - * Chaudramouli, P.: «Comparative properties of rice husk board, particle board and wafer board. Interim Report». Cor. Tech. 2, 1973.

☆☆☆