

**VALORACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN
CONCRETO LIVIANO UTILIZANDO COMO ÁRIDO ORGÁNICO POROSO,
EL RESIDUO AGROINDUSTRIAL CASCARILLA DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) ENTERA***

**Valuation of the Compressive Strength of Light Concrete as Porous Organic
Like Barren Using the Agro-Industrial Waste of Whole Rice Husk (*Oryza sativa L.*)**

Ernesto Hernández¹ y Tonny. García².

(1) Programa Ingeniería, Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales,
Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora",
UNELLEZ, San Carlos, Estado Cojedes 2201, Venezuela.

Teléfono: (0258) 4330657, e-mail: ehernandezgil@cantv.net

(2) Universidad Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela.

*Tesis de maestría Área de Postgrado Unellez

Recibido: 10-04-2006 / Aceptado: 07-05-2006

RESUMEN

El uso de la cascarilla de arroz para la elaboración de concreto liviano constituye una alternativa de construcción. No obstante, la valoración del asentamiento (T) y la resistencia a la compresión (R) se desconoce. El estudio presenta la técnica estadística-matemática de superficie de respuesta para valorar T y la R del concreto liviano, utilizando como aglomerante el cemento Portland tipo 1, marca Caribe y como árido poroso el residuo agroindustrial, cascarilla de arroz. Los factores de estudio fueron: cascarilla de arroz entera (F), cemento (C), arena (A) y agua (W). La respuesta T se midió con el cono de Abrams y la variable R se cuantificó a los 28 días de elaborado previo curado húmedo, utilizando formaletas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de altura. El diseño estadístico utilizado fue un compuesto central ortogonal con cinco niveles de prueba, 24 tratamientos y tres puntos centrales; para un total de 27 experimentos, repitiendo completamente el ensayo a las cinco semanas. El análisis se basó en la generación de modelos lineales de segundo orden completo, con interacciones de primer orden, análisis de varianza de F de Fisher para los factores, la significancia de la contribución para cada uno de ellos, así como la interacción entre estos; se usó la prueba de T de Student para la significancia de los coeficientes estimados. Se consiguió que la cascarilla de arroz disminuye T, el cemento aumenta la R. Los términos cuadráticos F^2 y A^2 no influyen significativamente a T y los cuadráticos F^2 , C^2 y A^2 no influyen significativamente a R.

Palabras clave: diseño de mezclas, concreto liviano, cascarilla de arroz, superficie de respuesta.

SUMMARY

The use of rice shells to make light concrete is an alternative to concrete construction; nevertheless, its setting (T) and compression (R) values are unknown. This study presents an statistic and mathematical technique of surface response to evaluate (T) and (R) of light concrete in a mix of cement Portland type 1, Caribe trade mark, and industrial residue of rice shells. Ingredients used were: whole rice shells (F), cement (C), sand (A) and water (W). Abrams cone was used to measure (T) response, and variable (R) was measured after 28 days of humid curing in cylindrical moulds 6" diameter and 12" high. The statistical design used was an orthogonal central composite one, with five testing levels, 24 treatments and 3 central points, for a total of 27 trials. The entire test was repeated in a span of 5 weeks. Results were processed by a statistical analysis based in a complete second order linear model with first order interactions, Fisher variance analysis of the factors, significance of the contribution of each one, and also the interaction among them. A Student T test was used for the estimated coefficients. It was found that rice shells lowers (T) and cement increases (R). The quadratic F^2 and A^2 don't influence (T) significantly and quadratic F^2 , C^2 and A^2 don't influence (R) significantly.

Keywords: *mixture design, light concrete, rice shells, response surface*

INTRODUCCIÓN

Venezuela cultiva en los llanos centro occidentales 150.000 hectáreas de arroz por año, con un rendimiento promedio de 5.000 Kg/Ha, para un total de 750.000 toneladas de arroz paddy al año, del total producido, el 93,25% se consume como arroz de mesa, y el resto es utilizado como Flakes cervecero y cremas para niños (Ministerio de Agricultura y Cría, 1998).

El consumo de arroz per cápita en Venezuela esta alrededor de 22 Kg/año requiriéndose para el año 2004 (25.500.000 habitantes) producir 561.000 Tm/año de arroz paddy húmedo al 22%, sobre la base de que la cascarilla representa el 20% del peso del grano (FEDNA, 1999) se estima que la cantidad de concha de arroz sea de 112.200 toneladas para este año. Donde el veintisiete por ciento (27%) es utilizado como "cama" en los criaderos de pollos de carne o de gallinas ponedoras, un tres por ciento (3%) es incorporado al suelo en forma de compost y el setenta por ciento (70%) es un residuo contaminante ambiental al ser incinerado a las orillas de las carreteras y autopistas (ADA-COJEDES, 1999). Estos efectos son reportados por COLCIENCIAS (2001), señalando que la cascarilla de arroz es un producto que por sus características físico-químicas resulta poco biodegradable y se convierte en un desecho altamente contaminante en especial para las fuentes de agua, además, por ser poco digestible, su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales, es restringido. Igualmente Salas (1992) aclara que su uso como forraje se encuentra proscrito por la FAO. Fentanes y López (2003), reseñan que en el proceso de quema, cuando la combustión no es completa, se forman monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCs, e.g. metano), N₂O y otros materiales, que pueden generar impactos serios en la salud de las personas, además son gases de efecto invernadero, por lo que se debería minimizar su formación. Es por ello, se plantea el objetivo de esta investigación el cual es valorar mezclas de cascarillas de arroz entera en la fabricación de concreto liviano, utilizándolas como componente árido poroso; esto como una forma de gestión de este tipo de residuos.

La importancia práctica radica en que se creará un método de diseño de concreto liviano basado en los factores cascarilla de arroz, cemento, arena y agua, los cuales podrán ser aplicados por cualquier ente público o privado, interesado en elaborar componentes estructurales o de cerramiento, tales como paredes y cielo raso, de alto uso en la fabricación de edificaciones ya que este tipo de concreto es más liviano que el tradicional y sirve además como aislante térmico (Salas *et al.* 1986).

El interés del trabajo se fundamenta en la factibilidad y viabilidad de obtener datos experimentales nativos para sustituir parcialmente la arena de río y completamente la arcilla expandida, por cascarilla de arroz entera en el concreto, por las siguientes razones prácticas:

- a) La cascarilla de arroz es un residuo que ocasiona contaminación.
- b) Las zonas rurales bajas de los Llanos del estado Cojedes - Venezuela no poseen ríos con arena adecuada para la construcción, razón por la cual tienen que adquirirla en otros estados vecinos, situados a más de 200 kilómetros, a un costo de Bs. 40.000,00 - 45.000,00 el metro cúbico, incrementando excesivamente los costos de construcción en el medio rural de los llanos occidentales.
- c) El valor de la arcilla expandida en Venezuela es costoso.

La justificación de la investigación radica en el aprovechamiento de un residuo, contaminante del medio ambiente, asimismo, al utilizarlo como materia prima en materiales de construcción, se le está dando valor agregado, lo cual se revierte en beneficio económico a la sociedad.

La literatura nacional e internacional hacen poca referencia a la utilización del diseño experimental en el estudio de materiales alternativos para la construcción. Se observa en los trabajos precitados, que los diseños poseen muy pocos datos experimentales, limitándose a comparar los resultados entre ellos y denotando las tendencias, sin embargo, no valoran ni generan ninguna ecuación o metodología para el diseño de este tipo de concreto.

El objetivo del presente estudio se basa en el hecho de utilizar metodología de superficie de respuesta (MSR), para valorar el asentamiento y la resistencia a la compresión del concreto, siendo las variables que intervienen: cascarilla de arroz, arena lavada de Acarigua, cemento Portland tipo I y agua. El asentamiento será medido en el cono de Abrams y la resistencia a la compresión se determinará a los 28 días de elaborado el concreto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño utilizado fue un compuesto central ortogonal (DCCO), con base a un factorial $2^2 +$ puntos estrellas; con 16 tratamientos en la porción cúbica, ocho en la porción estrella y tres puntos centrales, con una distancia axial α para ortogonalidad de 1,54671 para un total de 24 tratamientos distintos más tres puntos centrales, ejecutados en forma completamente aleatorizada, con repetición de la experimentación, a las cinco semanas, esto último con la finalidad de estimar más eficientemente el error experimental.

La matriz de diseño de tratamientos codificada, utilizada se generó con el Software Statgraphics Plus bajo windows 2.1.

La generación de los β , estimados del modelo lineal cuadrático, su significancia y la bondad de ajuste del modelo completo, se realizó con los Software Statgraphics Plus bajo windows 2.1 y Statistica bajo windows.

La suma de cuadrados (SC) de cada fuente de variación del análisis de la varianza (ANAVAR) se realizó según las recomendaciones de González (1994).

Los supuestos del error (residual) se procesaron a través del Software Statgraphics Plus bajo windows 2.1.

Matriz de diseño de tratamientos codificada.

La matriz de diseño de tratamientos codificada, utilizada se generó con el Software Statgraphics Plus bajo Windows 2.1, para los factores cascarilla de arroz, cemento, arena y agua, la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de diseño de tratamientos codificada de DCCO para cuatro factores con $\alpha = 1,54671$; con tres repeticiones del punto central.

Tratamientos	F ₁ Cascarilla	C ₁ Cemento	A ₁ Arena	W ₁ Agua
1	1,54671	0	0	0
2	1	1	-1	-1
3	0	0	-1,54671	0
4	-1	-1	1	1
5	1	-1	1	-1
6	0	1,54671	0	0
7	0	-1,54671	0	0
8 (pc)	0	0	0	0
9	0	0	1,54671	0
10	-1	-1	1	-1
11	0	0	0	-1,54671
12	1	1	-1	1
13	0	0	0	1,54671
14	-1	1	-1	-1
15	1	-1	1	1
16	-1	-1	-1	1
17	1	-1	-1	-1
18	1	1	1	-1
19	1	1	1	1
20 (pc)	0	0	0	0
21	-1,54671	0	0	0
22	-1	-1	-1	-1
23	1	-1	-1	1
24	-1	1	1	-1
25 (pc)	0	0	0	0
26	-1	1	-1	1
27	-1	1	1	1

Fuente: Software Stagraphics, 1994-1996

pc: puntos centrales

Definición de los niveles o dosis utilizadas.

Los niveles máximos y mínimos se definieron con base en el rango de resistencias de 50 a 300 Kg/cm² tomando como referencia la prueba piloto realizada previamente. Los niveles o dosis se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles o dosis de los factores experimentales basados en un m³ de concreto

Factor	Unidad	- α	-1	0	+1	+ α
Cascarilla de arroz (F)	Kg	21,7924	33	53,5	74	85,21
Cemento (C)	Kg	166,20	278	482,5	687	798,80
Agregado Fino (A)	Kg	733,62	899	1201,5	1504	1669,38
Agua (W)	Kg	200,17	245	327	409	453,83

Al momento de realizar la mezcla se procedió a determinar la humedad del agregado fino y la cascarilla de arroz, a efecto de realizar los ajustes respectivos por déficit o exceso de agua, de la siguiente manera:

$$A = A_1 * \{1 + (H_A\% - B_A\%) / (100 + B_A\%)\}$$

[1]

$$F = F_1 * (100 / (100 + H_F))$$

[2]

$$W = W_1 - A_1 * (H_A\% - B_A\%) / (100 + B_A\%) - F_1 * (H_F\% / 100)$$

[3]

Donde:

H_A: humedad del agregado fino.

H_F: humedad de la cascarilla de arroz

B_A: absorción del agregado fino.

Elaboración de las mezclas ó tratamientos.

Corregido cada tratamiento por humedad, se procedió a la elaboración de las mezclas, siguiendo lo establecido por la Norma COVENIN 354-79 "Método para el mezclado de concreto en el laboratorio". La mezcla se realizó manualmente, procediendo inicialmente a colocar la arena y el cemento, una vez mezclados se le agregó la cascarilla de arroz y se continuó mezclando, finalmente se vertió el agua, removiendo hasta obtener una mezcla homogénea.

En estado fresco se le realizó la prueba de asentamiento conforme a la Norma COVENIN 339-78 "Método para la medición del asentamiento medido en el Cono de Abrams".

Se siguió lo establecido en la norma COVENIN 338-94 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto". Todos los ensayos realizados se dejaron por un lapso de 24 horas en los moldes, para luego colocarlos en un tanque de agua, saturado de cal, realizándose el ensayo a la compresión a los 28 días de elaborado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos preliminares

A la arena empleada se le realizó el ensayo granulométrico (Tabla 3), además de materia orgánica, cloruros, sulfatos, densidad, absorción y peso unitario (Tabla 4).

Tabla 3. Granulometría del agregado fino.

Tamiz o Cedazo	% Pasante Arena Acarigua
3/8"	93
Nº 4	80
Nº 8	66
Nº 16	56
Nº 30	40
Nº 50	18
Nº 100	6
Nº 200	2

Tabla 4. Ensayos de materia orgánica, cloruros, sulfatos, peso unitario,

Ensayos	Arena Acarigua	Cascarilla
Materia Orgánica	Ausente	n.a.
Cloruros	Ausente	n.a.
Sulfatos	Ausente	n.a.
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1750	n.a.
Peso unitario compacto (Kg/m ³)	1950	n.a.
Densidad (Kg/m ³)	2.62	1.28
Absorción	2	n.a.

n.a.: no aplica

Las densidades de la arena y la cascarilla de arroz ensayados, son similares a las presentadas por Bizzotto *et al.* (1998); en cuanto a los pesos unitarios sueltos y compactos obtenidos, difieren entre un 10 y un 12,8% a los señalados por Bizzotto *et al.* (1998), siendo mayores los del presente estudio, indicando que el agregado del estado Portuguesa, presenta menos fricción, favoreciendo que las partículas ocupen con más facilidad los espacios vacíos.

Ensayos realizados al Concreto.

Los tratamientos o ensayos se le realizaron pruebas en estado fresco y en estado endurecido ya que estas

determinan su desempeño.

Ensayos al concreto fresco.

Los resultados de las pruebas de asentamiento, se muestran en la tabla 5.

Los asentamientos estudiados van de 0 a 27 cm, rango mayor a los analizados por Bizzotto *et al.* (1998), cuyos valores de asentamientos oscilan entre 3 a 19 cm.

Ensayos al concreto endurecido.

Los resultados de la resistencia a la compresión se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores obtenidos de las variables asentamiento y resistencia a la compresión para cada experimento diseñado.

Tratamientos	Asentamiento (cm)		Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	
	Ensayo 1*	Ensayo 2**	Ensayo 1*	Ensayo 2**
1	1,25	0,25	74,56	64,14
2	0,25	0	58,11	32,34
3	15	16	134,31	148,57
4	15	13	40,57	46,05
5	0,5	0,5	11,51	15,08
6	6	4	251,63	294,39
7	6	1	9,32	10,96
8	14	14	151,86	149,11
9	9	11	132,12	158,98
10	12	9	84,97	88,26
11	0	0,25	48,24	70,17
12	15	14	168,30	172,14
13	18	20	82,78	91,55
14	0,5	6,5	359,63	360,73
15	5	3,5	21,38	21,93
16	13	17,5	33,99	42,76
17	0,5	2	19,19	26,31
18	0	0	26,86	24,67
19	12	9	158,98	173,78
20	15	13	138,70	163,92
21	24	26	211,61	197,91
22	17	20,5	80,59	132,67
23	4	1,5	20,83	15,35
24	0	0	155,69	167,75
25	15	13,5	158,43	134,86
26	27	26	214,90	205,03
27	20	26	216,55	215,45

* Primer Ensayo / **Repetición

Los valores de las respuestas asentamiento (cm) y resistencia a la compresión (Kg/cm^2), para el experimento bajo diseño, mostrados en el cuadro 8, se observa que la resistencia a la compresión está en el rango de 10,96 a 360,73 Kg/cm^2 , intervalo más amplio que los reportados por Álvarez *et al.* (1987), Bizzotto *et al.* (1998) y Hess (2000), los cuales experimentaron en un rango de 5 a 85 Kg/cm^2 , principalmente porque se utilizó valores de relación agua/cemento más amplios ($0,3566 < \rho < 1,9675$).

Modelo de regresión lineal completo para el asentamiento.

El modelo de regresión lineal completo obtenido para el asentamiento, da un coeficiente de determinación de 91,50%, un R^2 ajustado en 88,45% y un error estándar estimado de 2,845, es el siguiente:

$$T = 24,66336597 - 0,434089337x_F - 0,011928701x_C - 0,017676889x_A + 0,078252318x_W + 0,000379394x_F^2 - 8,23969E-05x_C^2 + 1,17139E-06x_A^2 - 0,000182214x_W^2 + 0,000326123x_Fx_C + 0,000132282x_Fx_A - 0,000590236x_Fx_W - 2,39952E-06x_Cx_A + 0,000244592x_Cx_W + 1,35431E-05x_Ax_W$$

[4]

Donde:

- T: asentamiento en cm.
- F: cantidad de cascarilla de arroz en Kg.
- C: cantidad de cemento en Kg.
- A: cantidad de arena en Kg.
- W: cantidad de agua en l.

El R^2 obtenido, significa que los factores estudiados explican el 91,50% de la variabilidad de la respuesta "T", bajo el modelo propuesto.

Modelo de regresión lineal completo para la resistencia a la compresión.

Para la resistencia a la compresión, el modelo de regresión lineal completo alcanzado, da un coeficiente de determinación de 91,73%, un R^2 ajustado en 88,76% y un error estándar estimado de 29,58 es:

$$R = 131,5263 - 6,4106x_F + 0,5782x_C - 0,1852x_A + 0,9332x_W - 0,0123x_F^2 - 0,0001x_C^2 + 0,0000A^2 - 0,0047x_W^2 - 0,0051x_Fx_C + 0,0018 Fx_A + 0,0177 Fx_W - 0,0002x_Cx_A + 0,0010x_Cx_W + 0,0007x_Ax_W$$

[5]

Donde:

- R: Esfuerzo o Resistencia a la compresión en Kg/cm^2

Corrección volumétrica de las ecuaciones de diseño obtenidas.

Los valores obtenidos por las ecuaciones [4] y [5], es decir F, C, A y W, se deben chequear por volumen con la ecuación [6], la cual corresponde a volumen absoluto:

$$V = F/\gamma_F + C/\gamma_C + A/\gamma_A + W/\gamma_w$$

[6]

Donde:

V: es el volumen ocupado por los materiales inicialmente considerados.

F: Cantidad de cascarilla de arroz (Kg).

C: Cantidad de cemento (Kg).

A: Cantidad de agregado fino (Kg).

W: Cantidad de agua (l.).

γ_F : Densidad de la cascarilla de arroz (Kg/dm³), indicado en el cuadro 4.

γ_A : Densidad del agregado fino (Kg/dm³), indicado en el cuadro 4.

γ_w : Densidad del agua (Kg/dm³), este valor se asumió como 1 Kg/dm³.

Si el volumen es diferente a 1 m³ (1000 litros) se procede a realizar la corrección por volumen, es decir, los factores F, C, A, y W se afectan por un factor de volumen (Fv)

$$F_v = 1000 / V$$

[7]

Obteniendo los valores correspondientes al diseño en condición saturada con superficie seca:

$$F_c = F \times F_v$$

[8]

$$C_c = C \times F_v$$

[9]

$$A_c = A \times F_v$$

[10]

$$W_c = W \times F_v$$

[11]

La condición saturada con superficie seca de los agregados es poco probable, en condiciones de almacenamiento normal, se debe realizar la corrección de humedad del agregado fino como lo indican las ecuaciones [12], [13] y [14].

$$A = A_1 \times \{1 + (H_A\% - B_A\%) / (100 + B_A\%)\}$$

[12]

$$F = F_1 \times (100 / (100 + H_f))$$

[13]

$$W = W_1 - A_1 \times (H_A\% - B_A\%) / (100 + B_A\%) - F_1 \times (H_f\% / 100)$$

[14]

Donde:

HA: humedad del agregado fino.

HF: humedad de la cascarilla de arroz

BA: absorción del agregado fino.

Estudio gráfico de las respuestas de estudio (análisis de las superficies de respuestas y curvas de contornos para la variable asentamiento).

En las figuras 1 y 2, se representan las superficies de respuestas y las graficas de contorno, de los factores independientes cantidad de cascarilla de arroz (F) y agua (W), las cuales tienen la mayor contribución, según el ANAVAR, en la respuesta asentamiento, designando como factores fijos el cemento (C) y la arena (A) por ser los que menos contribuyen en la variabilidad de esta respuesta.

En la figura 1, los factores C y A se fijaron en el nivel 0, o punto central, observándose que al incrementar la F el asentamiento disminuye, opuestamente ocurre con la W que al aumentarla en la mezcla, se obtienen mayores valores de asentamiento, esta última aseveración si coincide con la relación triangular, reportada por Porrero *et al.* (1996).

En la gráfica de contorno (figura 2), muestra las isocuantas o curvas de nivel para las combinaciones de cascarilla de arroz y agua de la respuesta T. En la gráfica se puede corroborar lo comentado en el párrafo anterior, donde un aumento de W y/o una reducción de F incrementan T. Igualmente se observa que para valores de $F < 22$ Kg y $W > 420$ l, se obtienen asentamientos superiores a 25 cm. Los asentamientos nulos o casi nulos se logran para proporciones de F superiores a los 70 Kg y W inferiores a 240 l.

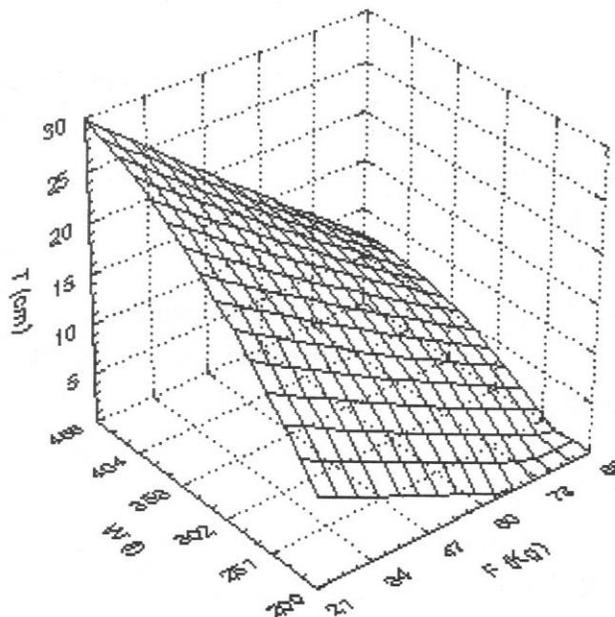


Figura 1. Superficie de respuesta para los efectos cascarilla de arroz y agua en el asentamiento con 482,5 Kg de C y 1201,5 Kg de A.

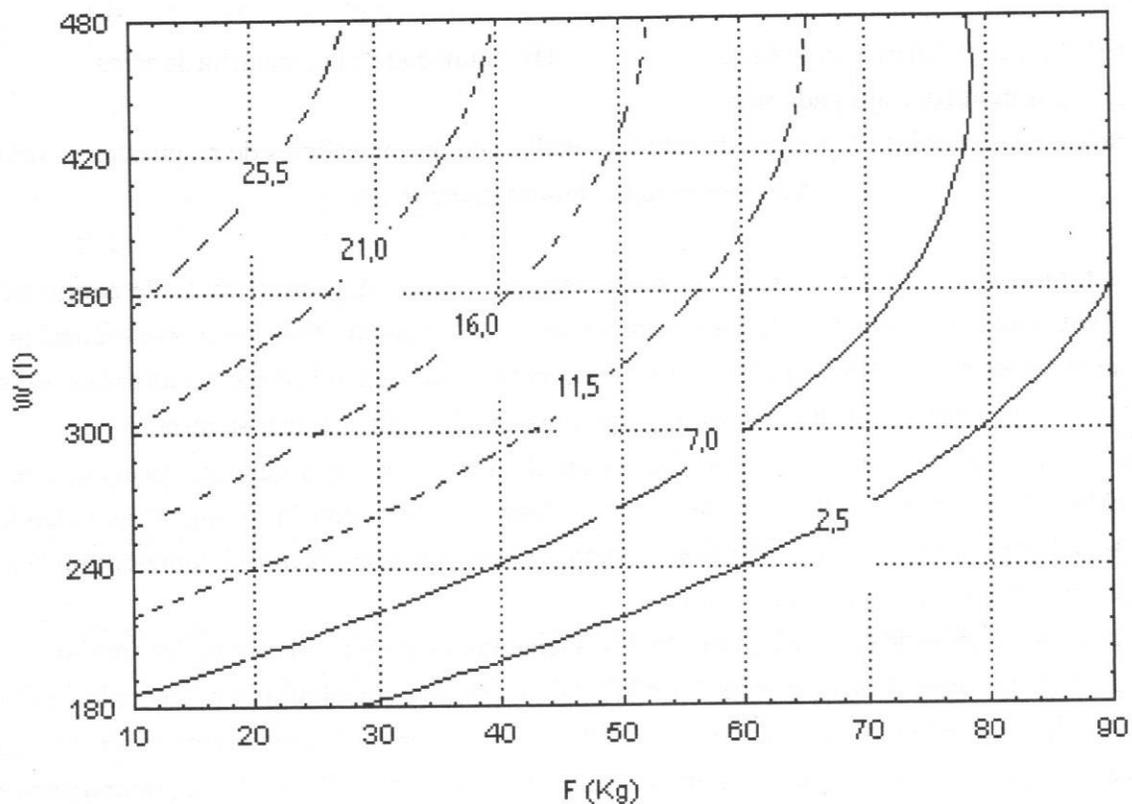


Figura 2. Gráfica de contorno bidimensional para la evaluación del asentamiento en función de los efectos cascarilla de arroz y agua, con 482,5 Kg de C y 1201,5 Kg de A.

Estudio gráfico de las respuestas de estudio (análisis de las superficies de respuesta y curvas de contorno para la variable resistencia a la compresión).

Los factores independientes cantidad de cascarilla de arroz (F) y cemento (C) los cuales tienen la mayor contribución, según el ANAVAR, en la respuesta resistencia a la compresión se presentan en las figuras 3 y 4.

En la figura 3 (los factores A y W se fijaron en el nivel 0 se denota que al adicionar más Kg de cascarilla de arroz, la resistencia a la compresión descende, esto coincide con lo reportado por Bizzotto *et al.* (1998), inversamente ocurre con el cemento, favoreciendo el desarrollo de la resistencia a medida que se incrementa la dosis del aglomerante, concordando con Hess (2000) y coincidiendo con lo establecido por la Ley de Abrams (Porrero, *et al.* 1998).

En la curva de contorno de la figura 4, se aprecia que la respuesta resistencia a la compresión se maximiza en un valor de 335 Kg/cm² para rangos 20 a 25 Kg de cascarilla de arroz y más de 750 Kg de cemento. En cuanto a resistencias por debajo de los 20 Kg/cm², se obtiene para dosis de cemento por debajo de los 200 Kg y cantidades de cascarilla de arroz superior a los 70 Kg.

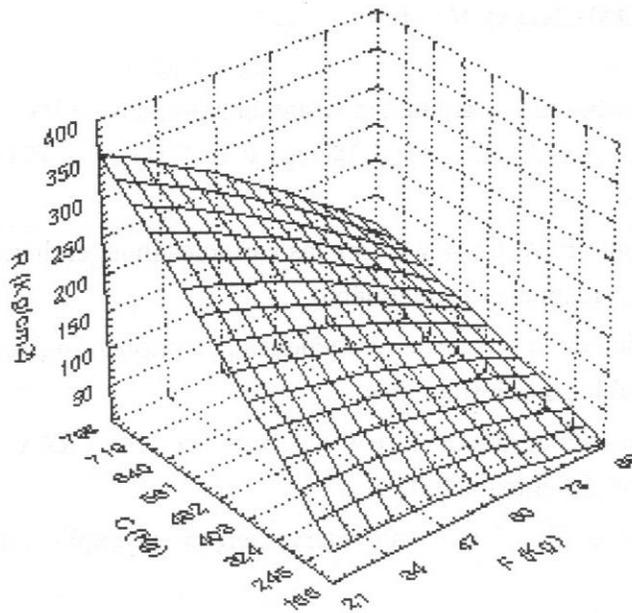


Figura 3. Superficie de respuesta para los efectos cascarilla de arroz y agua en la resistencia a la compresión, con 327 Kg de W y 1201,5 Kg de A.

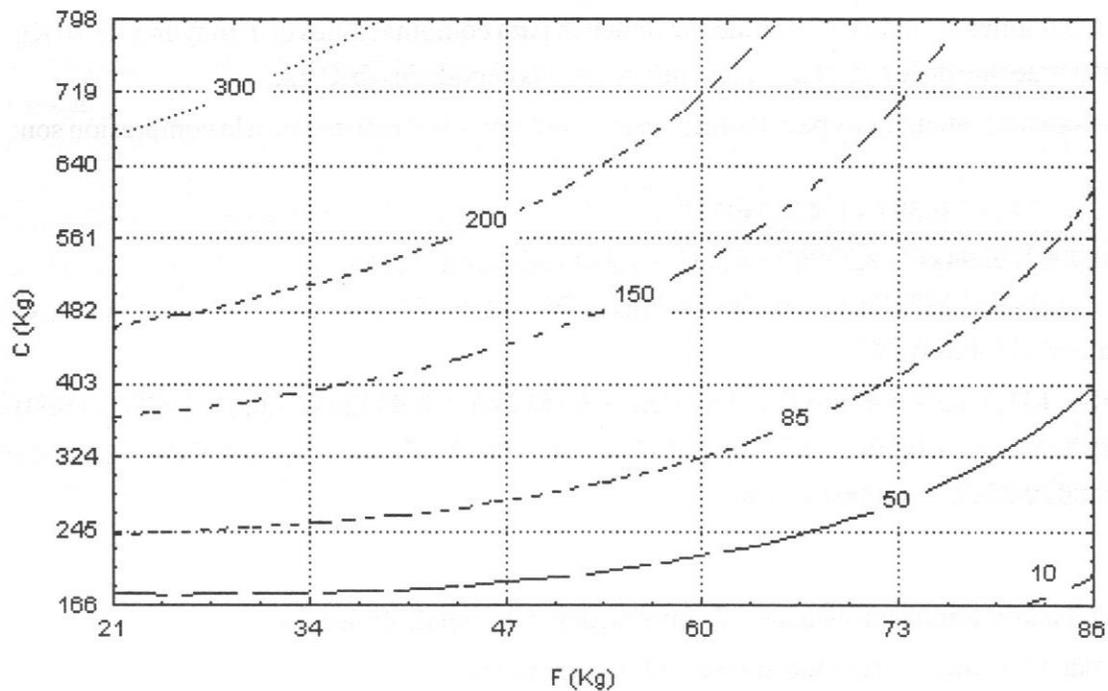


Figura 4. Gráfica de contorno bidimensional para la evaluación de la resistencia a la compresión función de los efectos F y W, con 482,5 Kg de C y 1201,5 Kg de A.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones que a continuación se plantean están enmarcadas en los rangos de F (21,79 a 85,21 Kg), C (166,20 a 798,8 Kg), A (733,62 a 1669,38 Kg) y W (200,17 a 453,83 l), analizados en esta investigación.

- Los efectos de tratamiento F, W, CxW y C² son las variables independientes que más influyen en el modelo matemático de la respuesta asentamiento.
- En el modelo matemático de la respuesta resistencia a la compresión del concreto, los efectos C, F, FxW y W², son las variables más influyentes.
- Los efectos de tratamiento cuadráticos F² y A² y las interacciones CxA y AxW no contribuyen en la determinación de la asentamiento (p>0,05).
- Los términos cuadráticos F², C² y A² no intervienen en la explicación de la resistencia a la compresión (p>0,05).
- El efecto de tratamiento F, reduce el asentamiento.
- La resistencia a la compresión disminuye a medida que incrementar la dosis de F, para dosis de A menores de 1201,5 Kg y W inferior a 327 l, independientemente de la cantidad de C.
- El factor W incrementa el asentamiento para dosis de C mayores de 482,5 Kg y A superiores de 1201,5 Kg, independientemente de la cantidad de F.
- El componente C mejora el desarrollo de la resistencia a la compresión.
- Los asentamientos nulos o casi nulos se obtienen para combinaciones de F mayores de 70 Kg y dosis de W por debajo de los 250 Kg, independiente de las cantidades de C y A.
- Los modelos matemáticos para las respuestas asentamiento y resistencia a la compresión son:
 - $T = 24,66336597 - 0,434089337xF - 0,011928701xC - 0,017676889xA + 0,078252318xW + 0,000379394xF^2 - 8,23969E-05xC^2 + 1,17139E-06xA^2 - 0,000182214xW^2 + 0,000326123xFxC + 0,000132282xFxA - 0,000590236xFxW - 2,39952E-06xCxA + 0,000244592xCxW + 1,35431E-05xAxW$
 - $R = 131,5263 - 6,4106xF + 0,5782xC - 0,1852xA + 0,9332xW - 0,0123xF^2 - 0,0001xC^2 + 0,0000 A^2 - 0,0047xW^2 - 0,0051xFxC + 0,0018 FxA + 0,0177 FxW - 0,0002xCxA + 0,0010xCxW + 0,0007xAxW.$

Se recomienda continuar en esta línea de investigación, haciendo énfasis en:

- Tomar por lo menos tres muestras en cada experimento.
- Realizar al menos dos ensayos de asentamiento en cada tratamiento.
- Estudiar asentamientos que no sean menores de 5 cm y menores de 25 cm.
- Incorporar agregado grueso de origen pétreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADA-COJEDES. (1999). Asociación de Agricultores del Estado Cojedes. San Carlos. Venezuela.
- Álvarez, M., Díaz, P., Estrada, E., Guinea, M. y Oteiza, I. (1987). Viviendas de muy bajo coste. Instituto Eduardo Torroja de España.
- Bizzotto, M., Natalini, M. y Gómez, G. (1998). Mini hormigones con cascarilla de arroz natural y tratada como agregado natural. [Resumen en línea]. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingeniería. Argentina. Disponible: a través de www.google.com. [Consulta: 2002, diciembre, 3]
- Castillo, P., Sánchez I. y Veras J. (1986). Las cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros". Revista Materiales de Construcción del Instituto Eduardo Torroja. 36 (203)
- COLCIENCIAS. (2001). Cascarilla de Arroz como Combustible. [Resumen en línea]. Un Proyecto Universidad - Empresa. República de Colombia. Bogotá D.C. Disponible: a través de www.google.com. [Consulta: 2004, Marzo, 13]
- FEDNA, (1999). Cilindros de arroz. [Resumen en línea]. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. Disponible: a través de www.google.com. [Consulta: 2004, Marzo, 13].
- Fentanes, K. y López, M. (2003). Energías Alternativas. [Resumen en línea]. Universidad Politécnica de Cataluña. España. Disponible: a través de www.google.com. [Consulta: 2004, Marzo, 13].
- González, W. (1994). Bloques incompletos en los diseños de superficie de respuesta compuestos de Box y sus aplicaciones agronómicas. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 100 p.
- Hess, A. (2000). El asbesto un material contaminante. [Resumen en línea]. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingeniería. Argentina. Disponible: a través de www.google.com. [Consulta: 2002, diciembre, 3]
- Ministerio de Agricultura y Cría. (1998). Dirección de Estadística. Venezuela.
- Norma Venezolana. COVENIN 354-79. Método para el mezclado de concreto en el laboratorio. FONDONORMA. Caracas.
- Norma Venezolana. COVENIN 338-94. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. FONDONORMA. Caracas.
- Norma Venezolana. COVENIN 339-78. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams. FONDONORMA. Caracas.
- Porrero, J., Salas, R., Ramos, C., Grases, J. y Velasco, G. (1996). Manual del concreto. SIDETUR. Caracas. 391 p.
- Salas J. (1992). Contra el hambre de vivienda. 1era Edición. Escala. Bogota, Colombia. 312 p.
- Salas J., Álvarez M. y Veras J. (1986). Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascarilla de arroz. Informe de la Construcción. Madrid, España. 37 (372). pp. 1-12
- STATGRAPHICS Plus for Windows (versión 2.1). [Programa de computación en DC]. (1996). Disponible: Statistical Graphics Corp.
- STATISTICA for Windows (versión 5.1) [Programa de computación en DC]. (1997). Disponible: <http://www.statsoft.com>.