

# PIRÓLISIS DE BAGAZO DE CAÑA A ESCALA DE LABORATORIO. PARTE I: INFLUENCIA DE CONDICIONES DE OPERACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE PRODUCTOS

Margarita Penedo Medina, Ana Sánchez del Campo Lafita, José Falcón Hernández  
Universidad de Oriente

*El presente trabajo trata sobre los resultados obtenidos al aplicar la pirólisis del bagazo de la caña de azúcar, en una instalación a escala de laboratorio, con el interés de conocer la influencia de determinados factores en el rendimiento de productos de la pirólisis del bagazo de caña, y en particular, con relación a los líquidos de pirólisis; estos productos son aplicados a nivel de investigación como agentes emulsificantes y de extracción. La instalación de pirólisis cuenta con un horno de cama fija y un sistema de separación de productos volátiles en tres etapas; se utilizó una bomba de vacío para la extracción rápida de los productos volátiles de la cámara de reacción. Los experimentos se realizaron de acuerdo con un diseño factorial 2 k, analizándose la influencia de variables tales como velocidad de calentamiento, temperatura, tiempo y densidad aparente. El rendimiento de los diferentes productos, a las condiciones experimentales donde se alcanza la mayor producción de volátiles son las siguientes: 61 % de productos líquidos, 25,4 % de gas de pirólisis y 27,5 % de carbón vegetal (expresados en base seca).*

**Palabras clave:** pirólisis, ácido piroleñoso, bagazo de caña, rendimiento de líquido.

*The present paper has to do with the results obtained from the pyrolysis of waste pulp of sugar cane in an installation, applied at a scale of laboratory, in order to know the influence of determined factors in the performance of products of the pyrolysis of the sugarcane bagasse, and in particular with respect to the liquids of pyrolysis; These products are applied at fact-finding level as emulsificant and extraction agents. The set of pyrolysis has an oven of fixed bed and a system of separation of volatile products in three stages; A vacuum-pump for fast extraction of volatile products of the chamber of reaction was used. The experiments were carried out following a factorial 2k design, taking into account the influence of variables such as the speed of heating, temperature, time and apparent density. The performance of different products at the experimental conditions, where the highest production of volatile is obtained, is as follows: 61 % of pyrolysis liquid, 25.4 % of pyrolysis gas and 27.5 % of charcoal (expressed in dry base).*

**Key words:** pyrolysis, pyrolenoced acid, sugar cane wastepulp.

## Introducción

Entre los asuntos que ocupan a la sociedad actual se encuentra la búsqueda de alternativas para la obtención de portadores energéticos y de materiales para la obtención de productos químicos. En ese contexto se insertan los procesos de conversión de la biomasa, en particular la termoconversión vía pirólisis de diferentes materiales de desecho. La pirólisis es una alternativa atractiva, y se ha avanzado en su aplicación para la obtención de biocombustibles a partir de diferentes residuos como residuos sólidos municipales, de la agroindustria y forestales.

Previo al desarrollo de la industria petrolera, el etanol, el ácido acético y el metanol, entre otras sustancias, se obtenían a partir de la biomasa

mediante procesos de fermentación o pirólisis de la madera. Nuestro país tiene motivos que justifican las investigaciones que se realizan sobre pirólisis de materiales lignocelulósicos por contar con grandes volúmenes de desechos agrícolas, los cuales pudieran convertirse en líquidos combustibles o en productos químicos, así como en carbón vegetal; este último muy utilizado en la obtención de carbón activado, material adsorbente que tiene aplicación en la purificación de aguas y de corrientes gaseosas, como catalizador o como soporte de catalizadores /4/. Por pirólisis se obtienen productos químicos de aplicación en la industria química, farmacéutica, y de la construcción, entre otros. Se plantean muy buenas perspectivas en la utilización de los proproductos líquidos de pirólisis

en la emulsificación de combustibles /2/, en la formulación de agentes de flotación /6,7/ y en la formulación de agentes de extracción en la industria hidrometalúrgica /5/.

Entre los residuos agrícolas que pueden ser aprovechados, tratándolos por procesos de pirólisis, se encuentran el bagazo y la paja de caña, cáscara de arroz, cáscara de café, residuos de la industria tabacalera, cascarón de coco, aserrín de pino, residuos maderables; los cuales se acumulan localmente, los cuales pueden dar lugar a focos de contaminación ambiental.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el estudio de la pirólisis del bagazo de caña a escala de laboratorio, haciendo énfasis en aquellos factores que favorecen la obtención de los productos líquidos, ya que los mismos han adquirido mucha importancia en el desarrollo de diferentes sustancias con aplicaciones especiales /1, 2, 5-7/.

## Fundamento teórico

La pirólisis consiste en la descomposición térmica de materiales de constitución orgánica por la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante. Los productos de pirólisis son los gases de pirólisis, líquidos de pirólisis y el carbón. La figura 1 muestra esquemáticamente los principales productos primarios y secundarios. El alquitrán primario puede dar lugar a una serie de productos secundarios por reacciones de craqueo y polimerización. El rendimiento de los productos de pirólisis de materiales lignocelulósicos depende de las condiciones de pirólisis, la composición química, características estructurales y propiedades físicas de la biomasa tales como densidad, conductividad térmica, capacidad calorífica.

Sobre la pirólisis del bagazo de caña en particular se reportan numerosos estudios que describen factores que influyen en la reacción de pirólisis, rendimientos y características de los productos gaseosos, líquidos y sólidos /1, 3, 8/.

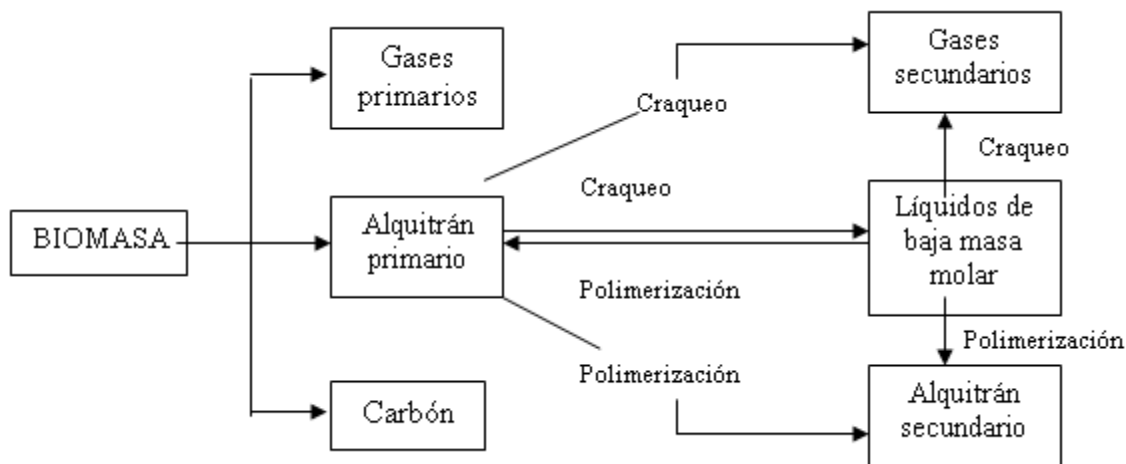


Fig. 1 Productos de pirólisis y etapas fundamentales.

La pirólisis de materiales lignocelulósicos tiene lugar a través de una serie de reacciones complejas, donde son de gran importancia las condiciones de operación y variables tales como régimen de calentamiento, tiempo de residencia de los productos de la reacción, la temperatura de reacción y la presión. La temperatura es una variable determinante; en la medida en que dicha variable aumenta, se produce mayor cantidad de producto volátil y gas, pero a determinado valor de temperatura, unido con un régimen de calentamiento específico, puede ocurrir

el craqueo de determinados compuestos, los cuales se convertirán en gas, disminuyendo así el rendimiento de líquido. El rendimiento de carbón vegetal es máximo a baja velocidad de calentamiento, baja temperatura y alto tiempo de residencia.

Con respecto a la presión, se debe decir que la operación a baja presión disminuye el tiempo de residencia de los productos volátiles y provoca un incremento notable de alquitrán a temperaturas medias, siendo mayor el rendimiento de líquido, y bajo el rendimiento de gas y de carbón vegetal.

---

La mezcla de productos volátiles que se produce en el horno de pirólisis contiene alquitrán en forma de aerosol; estas gotas de alquitrán se separan, por lo general, mecánicamente, y la mezcla vapor-gas pasa a un sistema de separación donde se efectúan operaciones de condensación, separaciones mecánicas y otras, para separar los productos volátiles del gas y del carbón vegetal, este último, en ocasiones, mezclado con la corriente gaseosa.

Cada tipo de biomasa exhibe un comportamiento particular en cuanto a la distribución de los productos bajo determinada condición de operación; una característica relevante con relación a ello es la densidad aparente de la biomasa, la cual puede estar dispersa o alimentarse en forma de briquetas o pellets. Esta variable ha demostrado tener un efecto marcado en la distribución de los productos de pirólisis. Por ello, en los estudios de pirólisis de biomasa se consideran como factores fundamentales para estudiar en el desarrollo del proceso, la velocidad de calentamiento, la temperatura, el tiempo y la densidad aparente, entre otras variables. En el caso del presente estudio, el interés está centrado en identificar aquellas condiciones que favorecen el mayor rendimiento de líquido de pirólisis, a partir del bagazo de caña.

## Métodos utilizados y condiciones experimentales

### Metodología experimental

Para el estudio de la pirólisis del bagazo de caña, se utilizó una instalación a escala de laboratorio, cuyo esquema se presenta en la figura 2. La pirólisis se desarrolla de forma discontinua; la instalación cuenta con un horno eléctrico, un sistema de condensación y una bomba de vacío que extrae los productos volátiles de la zona de reacción. En el interior del horno se coloca la muestra de biomasa en forma de briqueta; el horno debe cerrarse de modo que se asegure hermeticidad, con el fin de evitar la entrada de aire, procediéndose luego a iniciar el proceso de calentamiento hasta la temperatura final que se

fija en cada experimento. La bomba de vacío instalada en la parte final del sistema de separación, permite la extracción rápida de los productos volátiles de la zona de reacción, y la circulación de estos productos por el sistema de separación, garantizando, de forma rápida, el enfriamiento de los mismos en tres etapas.

Durante el desarrollo de la reacción de pirólisis se produce carbón vegetal y una mezcla vapor-gas que pasa por el sistema de separación. El alquitrán, producto de la reacción que acompaña los gases y vapores en forma de aerosol, se separa de dicha mezcla en una primera etapa, consistente en un frasco colector colocado a la salida del horno de pirólisis; esta fracción líquida se denomina fracción I.

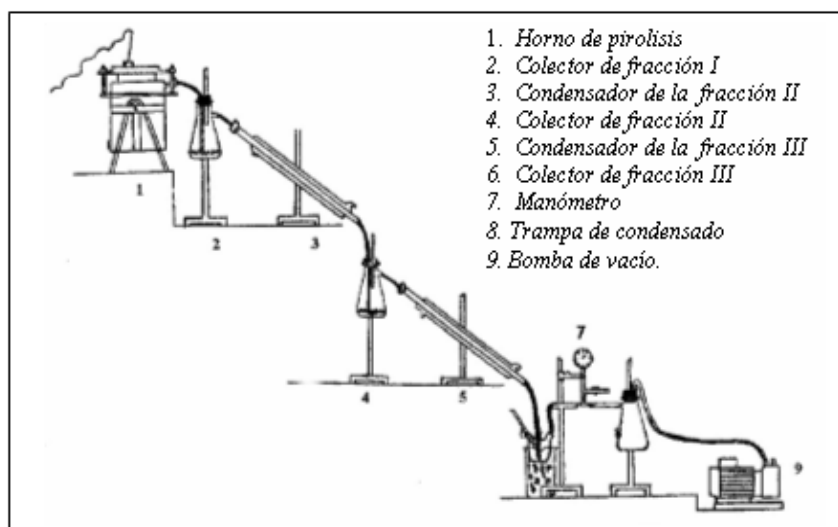
En las dos etapas posteriores de condensación, se recolectan las fracciones líquidas II y III. El recipiente donde se acumula la fracción III se sumerge en un recipiente con agua helada, para lograr la mayor condensación, de los vapores efluentes. Al final del sistema de condensación se coloca un frasco trampa para evitar el arrastre de gotas de líquido de pirólisis a la bomba de vacío.

### Características de la biomasa bagazo de caña

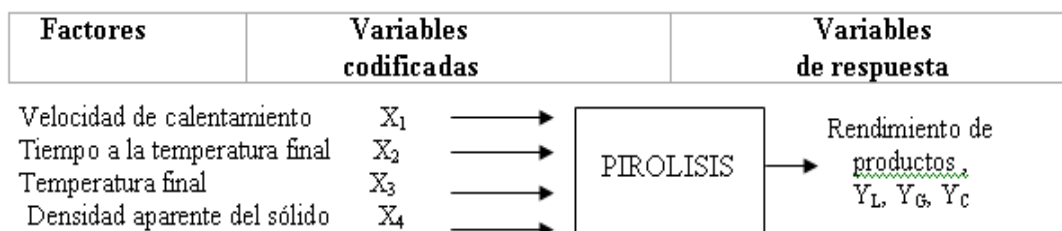
El bagazo de caña sometido a pirólisis poseía una humedad de 16,66 % (base húmeda), y un diámetro promedio de partícula de 0,76 mm. La composición química del bagazo está dada, fundamentalmente, por celulosa (41,3 %), hemicelulosa (22,64 %), lignina (18,26 %), pentosanas (entre un 8-12 %).

### Planificación de los experimentos

Diseño factorial completo  $2^4$ . Los experimentos de pirólisis se realizan considerando un diseño experimental factorial  $2^4$ , para tener en cuenta la influencia de cuatro factores, los cuales se muestran en la figura 3. Las variables de respuestas consideradas en el estudio experimental fueron rendimiento de líquido de pirólisis, rendimiento de carbón y rendimiento de gas de pirólisis. En la tabla 1 se presentan los niveles de los cuatro factores considerados en el plan experimental. La tabla 2 muestra la matriz de los experimentos.



**Fig. 2** Instalación experimental para la pirolisis a vacío de biomasa vegetal.



**Fig. 3** Factores considerados en el diseño experimental 2<sup>4</sup>.

$Y_L$ : Rendimiento de líquido, %;  $Y_G$ : Rendimiento de gas, % (base seca);  $Y_C$ : Rendimiento de carbón vegetal, % (base seca)

Tabla 1  
Niveles de los factores considerados en el plan experimental

Variables analizadas	Niveles		
	-1	0	1
Velocidad de calentamiento, $X_1$	5,4	8,9	12,4
Tiempo a la temperatura final, $X_2$	0	10	20
Temperatura final, $X_3$	425	450	475
Densidad aparente, $X_4$	263,8	313,1	362,4

**Ajuste de un modelo completo 2<sup>k</sup>. Forma del polinomio**

$$y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

Tabla 2  
Matriz del plan experimental factorial completo 2<sup>4</sup>

Exp	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0

### Diseño central compuesto ortogonal

Cuando la superficie de respuesta presenta curvatura, un modelo de primer orden resulta inadecuado para representar los resultados en la zona experimental; se hace necesario el uso de un modelo de segundo orden. Se puede aplicar, en ese caso, un diseño central compuesto ortogonal, un diseño central compuesto no ortogonal o un diseño central compuesto rotacional.

En este trabajo se aplicó un diseño central compuesto ortogonal, para el análisis de dos factores; la descripción de los factores se presenta en la figura 4. La matriz del diseño queda estructurada de la forma mostrada en la tabla 3; como en este caso se trabajó con dos variables independientes, el valor de  $a=1$  (distancia de los puntos axiales). Este diseño permite el ajuste de un modelo del siguiente tipo:

$$Y = b_0X_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (2)$$

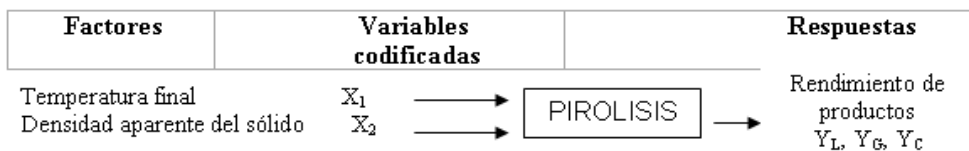


Fig. 4 Factores considerados en el diseño experimental central compuesto ortogonal.

Tabla 3  
Matriz experimental

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	
-1	-1	Núcleo del diseño
+1	-1	
-1	+1	
+1	+1	
+α	0	Puntos axiales
-α	0	
0	+α	
0	-α	
0	0	Punto central

## Resultados y discusión

En la tabla 4 se muestran los resultados de las variables de respuesta para cada experimento del diseño factorial 2<sup>4</sup>; los cuales fueron procesados estadísticamente haciendo uso del programa estadístico STATGRAPHICS Plus 5.1; el análisis estadísticos se muestra más adelante.

### Análisis estadístico de los resultados experimentales del rendimiento de productos de pirolisis para el diseño factorial 2<sup>4</sup>

Influencia de los factores en las variables de respuesta. En la figura 5 se muestra el diagrama de Pareto del efecto de los factores sobre el rendimiento de líquido, gas y carbón. Se puede apreciar, que en el rendimiento de líquido, tienen un efecto muy significativo las variables velocidad de calentamiento (con un intervalo de confianza de 97,5 %) y densidad aparente del sólido, (con un intervalo de confianza de 95 %). También en el rendimiento de líquido las interacciones de velocidad de calentamiento-temperatura final, y tempe-

ratura final–densidad aparente, tienen una influencia significativa con un intervalo de confianza de 90 % y 95 %, respectivamente. Los niveles de las variables que permiten obtener el mayor rendimiento de líquidos son:

- velocidad de calentamiento en su nivel superior: 12,4 °C/min.
- densidad aparente en el nivel inferior: 263,8 kg/cm<sup>3</sup>.
- temperatura en el nivel inferior: 425 °C.

En el caso de la variable de respuesta rendimiento de gas, Y<sub>G</sub>, los factores principales densidad aparente, temperatura final y velocidad de calentamiento, tienen un efecto muy significativo, así como la interacción velocidad de calentamiento–temperatura final, todas con un nivel de confianza de 90 %. En el rendimiento de carbón vegetal, los factores que influyen más significativamente son: velocidad de calentamiento y temperatura final; las interacciones velocidad de calentamiento–densidad aparente; y velocidad de calentamiento–tiempo a la temperatura final; todos con un nivel de significación de 97,5 %.

Tabla 4  
Resultados experimentales del rendimiento de productos en la pirolisis del bagazo de caña

Exp	Y <sub>L</sub>	Y <sub>G</sub>	Y <sub>C</sub>
1	49,98	35,55	28,09
2	60,33	25,25	28,05
3	47,22	39,87	26,53
4	62,34	22,65	28,63
5	48,35	36,81	28,47
6	49,52	39,95	24,16
7	48,09	41,35	24,18
8	51,24	37,30	25,09
9	37,27	39,39	36,96
10	53,76	38,91	20,95
11	42,24	41,67	29,72
12	48,77	36,32	28,54
13	45,85	37,68	30,07
14	52,09	42,56	18,98
15	44,46	41,92	27,24
16	51,65	38,07	23,90
17	53,50	32,10	28,03
18	57,32	27,39	28,91
19	56,56	29,79	27,27





Fig. 5 Diagrama de Pareto de efectos de las variables del proceso sobre rendimiento de los productos.

## Modelos de primer orden ajustados

### Rendimiento de líquido

$$Y_L = 50,5547 + 4,14 * X_1 - 2,56125 * X_4 - 1,92125 * X_1 * X_3 + 2,1675 * X_3 * X_4 \quad (3)$$

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) de 76,24 % ; 95 % significación.

### Rendimiento de gas

$$Y_G = 36,0279 - 2,07688 * X_1 + 2,25188 * X_3 + 2,36187 * X_4 + 2,09188 * X_1 * X_3 - 1,75938 * X_3 * X_4 \quad (4)$$

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) de 57,81 % ; 90% significación.

### Rendimiento de carbón vegetal

$$Y_C = 27,0405 - 2,06 * X_1 - 1,58625 * X_3 + 1,87125 * X_1 * X_2 - 1,8925 * X_1 * X_4 \quad (5)$$

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) de 84,94 % ; 95 % significación.

## Resultado de chequeo de efecto de curvatura para rendimiento de líquido

Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F calculado
97,76 531	1	97,76 531	24,02

$F_{\text{crítico}} = 18,51$ , para un nivel de significación de un 95 %;  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$

Se puede concluir que la curvatura es significativa, y que en la región experimental estudiada existe un punto de máxima respuesta para el rendimiento de líquido. Es necesario expandir la región experimental, con el objetivo de obtener un modelo cuadrático que describa adecuadamente dicha curvatura. Se procede a plantear un diseño central compuesto ortogonal, que parte de los resultados obtenidos en el primer diseño. Teniendo en cuenta que el tiempo a la temperatura final

no influye significativamente en el rendimiento de líquido, y que en la instalación experimental no es posible incrementar la velocidad de calentamiento por encima de 12,4 °C/min, estas dos variables se fijan en los niveles que más favorecen el rendimiento de líquido. Los factores que se consideran en el diseño central compuesto ortogonal se muestran en la tabla 5, y en la tabla 6 se reflejan los resultados experimentales de este plan experimental.

Tabla 5

Diseño experimental central compuesto ortogonal: factores y niveles

Variables analizadas	Unidades	Niveles		
		-1	0	1
Temperatura	°C	425	450	475
Densidad aparente	kg/m <sup>3</sup>	263,8	313,1	362,4

Tabla 6  
Resultado del diseño experimental central compuesto ortogonal

N° EXP	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>L</sub>	Y <sub>C</sub>	Y <sub>G</sub>
1	-1	-1	58,28	32,86	25,51
2	1	-1	45,95	21,56	49,15
3	-1	1	48,84	25,72	42,09
4	1	1	38,70	19,17	58,79
5	-1	0	53,87	34,34	28,45
6	1	0	47,07	22,98	46,61
7	0	-1	52,75	22,01	41,89
8	0	1	48,03	21,86	46,76
9	0	0	63,40	32,56	20,69
10	0	0	62,00	30,99	23,69

### Efecto de los factores sobre el rendimiento de los productos

Aplicando el programa profesional STAGRAPHICS. Plus 5.1, se analiza el efecto de las diferentes variables, se pudo comprobar, que la temperatura final tiene un efecto muy significativo en el rendimiento de los tres productos; la densidad aparente sólo tiene efecto significativo en el caso de rendimiento de líquido. Los términos cuadráticos correspondientes a la temperatura final y a la densidad aparente tienen una influencia significativa en el rendimiento de líquido, y

$$Y_L = 59,905 - 4,878\ 33X_1 - 3,568\ 33X_2 - 6,64X_1^2 - 6,72X_2^2 \quad (6)$$

$$R^2 = 87,5\ 948\ \%, \quad R^2 \text{ (ajustado para G.L.)} = 72,088\ 3\ \%$$

este último es significativo también en el rendimiento de gas y carbón. Estos efectos se muestran en los diagramas de Pareto de la figura 6.

### Ajuste de una correlación de segundo orden para rendimiento de líquido. Análisis de la adecuación del modelo

Se realizó el ajuste de una correlación de segundo orden para el rendimiento de líquido, obteniéndose el modelo de la ecuación (6); posteriormente se determinó el óptimo para esta variable de respuesta.



Fig. 6 Diagrama de Pareto de efectos de las variables del proceso sobre rendimiento de los productos. Diseño central compuesto ortogonal.

Para evaluar el ajuste del modelo se procedió a comparar el valor de F calculado vale para la falta de ajuste que se reporta en los resultados de análisis de varianza,  $F = 17,05$ , con el valor de F crítica; este último se determina considerando 1 grado de libertad para la varianza del error puro y un nivel de significación de 90 %,  $F \text{ crítica} = 55,8$

resultando que:  $F \text{ calculada} < F \text{ crítica}$ , por lo que se afirma, que no hay razón para rechazar el modelo. En la figura 7 se muestra la superficie de respuesta de la variable rendimiento de líquido, además de la superficie de respuesta por contornos, las cuales permiten mostrar la naturaleza de las respuestas.



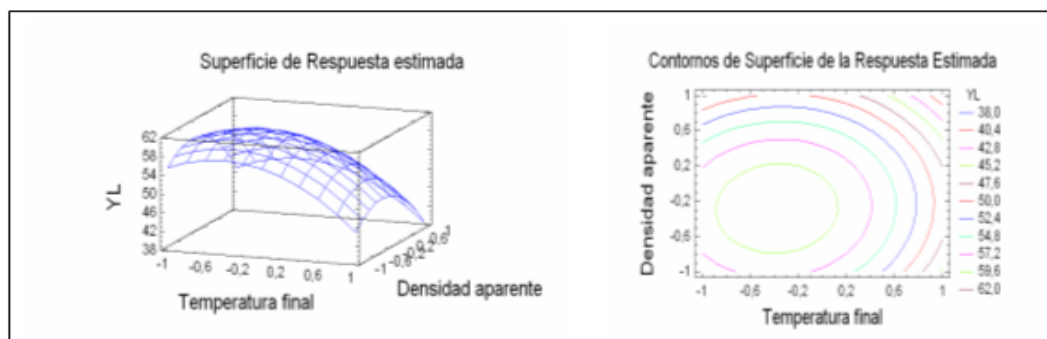


Fig. 7 Representación del punto óptimo para el rendimiento de líquido

### Determinación del punto óptimo, para el rendimiento de líquido

Para hallar el punto óptimo se determinan las derivadas parciales del modelo estadístico de rendimiento de líquido con relación a los dos factores  $X_1$  y  $X_2$ ; se iguala a cero cada ecuación diferencial, y se determinan los valores para los cuales las derivadas se igualan a cero, logrando así las coordenadas del punto estacionario, es decir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y_L}{\partial X_1} &= -4,878 \ 33 - 2 * 6,64 X_1 = 0 \\ \frac{\partial Y_L}{\partial X_2} &= -3,568 \ 33 - 2 * 6,72 X_2 = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

obteniéndose como resultado que el rendimiento óptimo de líquido es:  $Y_L$ , óptimo = 61,27 %; a una temperatura de 440,81 °C, y densidad aparente de 300 kg/m<sup>3</sup>. Para estas condiciones de temperatura y densidad se puede comprobar, que el rendimiento de carbón vegetal es de 27,5 %, mientras que el rendimiento de gas es bajo con un 25,4 %, todos con relación a la masa de sólido seco.

### Conclusiones

El proceso de pirólisis de materiales lignocelulósicos está dado por un conjunto de etapas, dentro de las cuales el reactor de pirólisis es el área más relevante con relación a la distribución de los productos, estando asociadas un conjunto de variables a dicha característica, las que resultan determinantes en el rendimiento de los tres productos básicos.

Aplicando un diseño experimental factorial 2<sup>k</sup> y un diseño central compuesto ortogonal, se ha podido estudiar el efecto de factores como la velocidad de calentamiento, la temperatura final, el tiempo a la temperatura final y la densidad aparente del sólido.

De los resultados de un primer diseño factorial 2<sup>4</sup>, se comprobó que la velocidad de calentamiento y la densidad aparente del sólido tienen un efecto muy significativo en el rendimiento de líquido (con un intervalo de confianza de 97,5 y 95 %, respectivamente), al igual que las interacciones de la velocidad de calentamiento-temperatura final, y temperatura final-densidad aparente, con un intervalo de confianza de 90 % y 95 % respectivamente.

Las condiciones que favorecieron el mayor rendimiento de líquido correspondieron a:

- Nivel superior de velocidad de calentamiento: 12,4 °C/min.
- Nivel inferior de densidad aparente del sólido : 263,8 kg/m<sup>3</sup>.
- Nivel inferior de temperatura final: 425 °C.

Los resultados del diseño experimental 2<sup>4</sup> demostraron la existencia de curvatura, por lo cual se aplicó un diseño central compuesto ortogonal, con el objetivo de obtener un modelo cuadrático que describiera adecuadamente dicha curvatura. La determinación del punto óptimo para el rendimiento de líquido permitió obtener las coordenadas del punto estacionario, y como resultado se obtuvo que el rendimiento óptimo de líquido fue de 61,27 %; a una temperatura de 440,81 °C, y densidad aparente de 300 kg/m<sup>3</sup>, siendo el rendimiento de carbón vegetal de 27,5 % y el rendimiento de gas de 25,4 %.

---

## Bibliografía

Brossard, L. E., Cortez, L. A. B., "Potencial for the Use of Pyrolytical tar from Bagasse in Industry", En Biomass and Bioenergy, vol. 12, No.5, 1997, págs. 363.

Falcón H.J., J. Carbonell M., "Fuel Emulsion Employed Lignocellulosic Pyrolysis as Emulsifying Agents", En Energy & Fuels, Nov./Dic. 2002.

García P. M., Chaala A., Roy C., Vacuum Pyrolysis of Sugarcane Bagasse", En Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 65, 2002, pág. 111.

Labrada Vázquez, B. L., "Obtención de carbón activado de residuos lignocelulósicos por método de activación con etapa de lixiviación a escala de laboratorio", Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, 2005.

Penedo Medina, M., Maury C. E., Giralt O. G.,

Beltrán G. Y., "Lixiviación de las colas del proceso carbonato amoniacal de extracción de níquel y cobalto con productos líquidos de la pirolisis del bagazo de caña", XVIII Conferencia de Química, Diciembre de 2005.

Varela, N. M., *et al.*, "Influencia de las soluciones alcalizadas en la flotación de minerales de cobre. Parte I", Revista Tecnología Química, vol. XXII, No. 1, 2002, pág. 93.

Varela, N. M., "Influencia de las soluciones alcalizadas en la flotación de minerales de cobre. Parte II", Revista Tecnología Química, vol. XXII, No. 2, 2002, pág. 101.

Zandersons, J., *et al.*, "Studies of the Brazilian Sugarcane Bagasse Carbonization Process and Products Properties", En Biomass and Bioenergy, vol. 17, 1999, pág. 209.