

FORMACIÓN DE LA TEXTURA DEL COQUE DE PETRÓLEO EN COQUIZADORES RETARDADOS

ALEJANDRO REQUENA, MARÍA M. PÉREZ, LUISA A. DELGADO

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos y Sistemas. Apartado Postal 89000, Caracas-Venezuela
e-mail: arequena@usb.ve

Recibido: noviembre de 2007

Recibido en forma final revisado: febrero de 2008

RESUMEN

Se procesaron distintos residuales en unidades de coquización retardada a escala piloto y comercial y se compararon las propiedades físicas, químicas y texturales de los coques obtenidos en cada caso. Los resultados evidencian que la naturaleza química de los residuales condiciona la textura del coque, sin embargo, las condiciones operacionales, el perfil térmico y el desprendimiento de los gases durante la coquización pueden afectar fuertemente el desarrollo de mesofase y la formación de la textura del coque. Los resultados también sugieren que las plantas pilotos diseñadas para simular el rendimiento en productos livianos y coque, no resultan apropiadas para predecir las propiedades texturales de los coques obtenidos, dado que cambios en las condiciones de operación y/o las variaciones introducidas con el cambio de escala y condiciones de turbulencia propias de los tambores industriales, pueden modificar sustancialmente las propiedades físicas del medio de reacción y por ende las propiedades de los coques obtenidos.

Palabras clave: Coque retardado, Índice de textura óptica, Mesofase.

FORMATION OF PETROLEUM COKE TEXTURE DURING DELAYED COKING

ABSTRACT

Physical, chemical and textural properties of cokes obtained from the processing of four residues in pilot and commercial scale delayed coking units are compared. Results reveal that, even though the chemical nature of the residue influences the coke's texture, operational parameters regarding thermal profiles and gas evolution during the coking process significantly affect the texture development and formation. Consequently, results suggest that pilot plants designed to simulate light product and coke yield do not accurately predict the structural properties of the coke since variations introduced due to scale changes modify the physical properties of the coke.

Keywords: Delayed coke, Optical microscopy index, Mesophase.

INTRODUCCIÓN

Las distintas aplicaciones del coque de petróleo obtenido como subproducto de los procesos de coquización retardada están determinadas por la microtextura y propiedades físico-químicas de dichos coques. Tradicionalmente, y con base en su textura y propiedades físicas, estos coques se han clasificado como coque aguja, panal o esponja, asociando la generación de cada una de estos tipos de textura a la naturaleza química de la carga (Jakob, 1971); más recientemente se ha ampliado esta clasificación incluyendo

el coque tipo bala (Ellis, 1996; Adams, 1997; Vieman, 2002), a cuya formación se asocian tanto la naturaleza química de la carga como las condiciones operacionales de los coquizadores industriales.

Numerosos estudios sugieren que la textura y las propiedades del coque son el resultado de la combinación de una gran variedad de factores, sin embargo, la contribución de cada uno de ellos a la formación de la textura del coque es aún tema de investigación. Desde el punto de vista de la composición química de la carga, los primeros

estudios vinculan la obtención de coque aguja a cargas ricas en aromáticos, mientras que la obtención de coque esponja se asoció a elevados contenidos de resinas y asfaltenos en las cargas al coquizador; por otra parte, el coque panal, con estructura intermedia entre los dos anteriores, parece estar relacionado con cargas de bajo contenido en asfaltenos y resinas (Jacok, 1971). Sin embargo, esta visión simplista del efecto de la naturaleza química de la carga no resulta adecuada para explicar la formación del coque tipo bala.

Estudios recientes evidencian la importancia de la estructura molecular promedio de los asfaltenos para el desarrollo de la textura del coque (Siskin *et al.* 2006a y 2006b) así como también del efecto catalítico de los metales vanadio y níquel sobre el patrón de crecimiento y coalescencia de mesofase durante la coquización y su incidencia en la textura del coque resultante (Keleman *et al.* 2007). Por otra parte, aspectos como el mecanismo y cinética de las reacciones condicionan la viscosidad y desprendimiento de gases, factores físicos para los cuales se ha demostrado una marcada incidencia en el establecimiento de la textura del coque (Romero, 1990; Vieman, 2002; Ozgen, 2003; Siskin, 2006a).

En este trabajo se comparan las propiedades de coques obtenidos al procesar simultáneamente, en unidades pilotos y comerciales, residuales que difieren en composición química, para tratar de explicar las diferencias observadas entre ellas, a la luz de modelos propuestos por diversos autores para la formación de la textura y propiedades físicas del coque.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Residuales correspondientes a cargas típicas a las unidades de coquización retardada de refinerías nacionales, se sometieron a coquización en las unidades de coquización retardada de las propias refinerías y en una planta piloto diseñada para reproducir el rendimiento en destilados de estas unidades comerciales.

Los residuales, identificados en lo sucesivo con los códigos A, B, C y D, se caracterizaron por análisis elemental (% C, % H y % S, determinado según normas indicadas en la tabla 1), contenido de cenizas (según norma ASTM D482), ensayos termograviméticos y proporción de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA) (según norma ASTM D4120). Adicionalmente, se contó con resultados de caracterización con base en parámetros moleculares promedios, obtenidos mediante resonancia magnética nuclear (RMN), haciendo uso de un espectrómetro Broker modelo ACP-400 operado a una frecuencia de 400,13 MHz para protones, con ancho de pulso de 2µs, 5s de tiempo entre pulso y 64 acumulaciones.

Tabla 1. Parámetros y métodos empleados en la caracterización de los coques.

Parámetro	Método o Norma para su determinación	Observaciones
Análisis inmediato % humedad % cenizas % mat. volátiles	COVENIN 1866-81 COVENIN 1646-80 COVENIN 1647-80	Balanza Bravender Residuo de combustión Método gravimétrico
Análisis elemental % C e H % S	AFNOR M03-032 ASTM D3120	Combustión alta T Combustión alta T
Densidad real a xilenos	ISO 1014	Un (1)g de coque 0,2mm. Pignómetro 50 ml xilenos

La coquización a escala piloto se realizó en una unidad de coquización retardada con capacidad para procesar 5×10^{-4} kg/s (30 g/min) de alimentación fresca, en un tambor a 0,24 MPa (20 psig) y cuyo perfil térmico garantiza temperaturas de 773K (500°C), 733K (460°C) y 683K (410°C) en el fondo, su parte media y superior, respectivamente. El proceso de coquización en la planta piloto se realizó siguiendo un procedimiento similar al comercial, por lo que una vez lleno el tambor y completo el proceso de despojamiento (cocción del coque para alcanzar los rendimientos en destilados propios de las unidades comerciales), se procedió a inyectar agua desde el fondo del tambor para su enfriamiento y posterior descarga del coque empleando procedimientos mecánicos. En las plantas comerciales, la descarga se realiza haciendo uso de la tradicional herramienta de corte con agua a elevada presión (Elliot, 2001; Malik, 2000).

Posteriormente se evaluaron las muestras de coques recuperadas de la parte superior, media e inferior de los tambores de coquización de las refinerías comerciales y se compararon con sus equivalentes obtenidos al procesar la misma carga en la planta piloto. La identificación de las distintas muestras de coque se realizó con códigos de la forma XYZ, donde el campo «X» hace referencia al residual del que se origina el coque (A, B, C ó D según el caso), el campo «Y» indica la escala del equipo utilizado para la generación del coque (I para coquizadores industriales ubicados en las refinerías nacionales o P para la unidad de coquización retardada a escala piloto), finalmente el campo «Z» indica la posición de la muestra de coque en el tambor del coquizador (S, M ó I para los coques ubicados en la parte superior, media o inferior, respectivamente, de cada coquizador).

La evaluación de los coques se realizó por análisis inmediato (% humedad, % cenizas, % materias volátiles), análisis elemental (% C, % H y % S) y densidad real a xilenos, según las normas y procedimientos indicados en la tabla 1. También

se evaluaron propiedades de superficie y microscopía óptica de los coques según los procedimientos descritos a continuación:

Propiedades de superficie

Se determinó el área superficial y la distribución de volumen de poros por adsorción de nitrógeno a 298K (25°C) en un equipo ASAP, marca Micromeritics, modelo 2000. Estos ensayos se efectuaron sobre 0,5 g de muestra previamente secada en estufa a 383K (110°C) y posterior desgasificación a 523K (250°C) y presión absoluta de $6,8 \times 10^{-2}$ MPa (vacío de 250 mm Hg).

Microscopía óptica

Haciendo uso de un microscopio óptico LEITZ, modelo Orthoplan, provisto de luz polarizada reflejada, prismas birrefringentes, retardador de fase λ y analizador, se determinó el índice de textura óptica (OTI) de los coques según la norma ASTM D5061. Para la determinación del OTI, las muestras de coque fueron embutidas en resina epóxica de curado en frío, desbastadas con lijas de granos N° 400, 600 y 800 y pulidas con alúmina de 1,0; 0,3 y 0,05 μm en medio acuoso. Para todas las observaciones al microscopio se emplearon objetivos de inmersión en aceite con magnificación de 32X y oculares de 10X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las cargas

En la tabla 2 se presentan los resultados de caracterización de los residuales empleados como cargas a las unidades de coquización retardada. Estos residuales difieren en composición química, siendo los aspectos más relevantes sus diferencias en contenido de azufre de 3,9 a 5,1%, relación carbono-hidrógeno de 0,57 a 0,71 y distribución relativa de las especies SARA, destacando las variaciones en el contenido de asfaltenos de 13 a 21%, con diferencias significativas en la proporción relativa de SAT, ARO y RES, para los cuales se registran relaciones aproximadas de 2:2:1 (residual A), 2:1:1 (residual B), 1:2:1 (residuales C) y 1:3:1 (residual D), expresadas en base libre de asfaltenos.

Las diferencias en las proporciones relativas de las especies SARA pueden ser responsables de cambios en la cinética y mecanismos de reacción durante la coquización, afectando además la viscosidad del medio de reacción y condicionando de esta manera la formación de la textura del coque resultante, tal como lo señalan diversos autores (Oi *et al.* 1978; Mochida & Korai, 1986; Romero, 1990; Requena *et al.* 1998; Siskin *et al.* 2006a). Altos contenidos de azufre, conjuntamente con

Tabla 2. Caracterización elemental, SARA y parámetros moleculares promedio para los residuales.

Parámetro	Residual A	Residual B	Residual C	Residual D
% Cenizas	0,37±0,01	0,16±0,01	0,29±0,01	0,17±0,01
% Carbono	86,8±0,1	80,9±0,1	81,4±0,6	84,8±0,7
% Hidrógeno	12,7±0,1	9,9±0,1	10,7±0,1	9,9±0,2
% Azufre	3,93±0,03	3,96±0,03	4,81±0,03	5,10±0,03
C/H	0,57	0,68	0,63	0,71
S/C	0,017	0,018	0,022	0,023
% C aromáticos	25,93	27,63	28,01	29,83
% C saturados	58,98	57,08	56,03	54,55
% C nafténicos	9,96	10,66	9,50	9,39
% C periféricos	49,02	46,42	46,53	45,15
Índice aromaticidad	0,31	0,33	0,33	0,35
I. Condensa. Aro.	0,65	0,96	0,84	0,81
SARA (% p/p)				
Saturados (SAT)	32,3±0,5	35,7±0,3	20,1±0,6	18,4±0,7
Aromáticos (ARO)	34,2±0,3	22,7±0,5	40,9±0,6	48,3±0,5
Resinas (RES)	19,7±0,4	20,9±0,6	18,8±0,2	17,2±0,5
Asfaltenos (ASF)	13,7±0,5	21,1±0,5	18,0±0,6	16,4±0,3

bajos valores de la relación C/H, se vinculan a una elevada reactividad del residual en las reacciones de polimerización-condensación inducidas por tratamiento térmico, sin embargo, estas reactividades pueden verse afectadas por las proporciones relativas de fracciones SARA (Carbognani *et al.* 1999; León, 1998).

La relativamente baja proporción de saturados se corresponde con valores típicos para fondos de vacío, y resulta comparable al esperado para un crudo pesado. Según se reporta en la literatura, la fracción SAT está conformada por compuestos alifáticos y alicíclicos que pueden sufrir reacciones deshidrogenativas con relativa facilidad para formar radicales libres; la estabilidad de estos radicales resulta menor que los obtenidos cuando las reacciones deshidrogenativas tienen lugar sobre las cadenas alifáticas presentes como sustituyentes en las fracciones ARO y RES, para los cuales, la actividad de los centros aromáticos y las funcionalidades polares modifican la reactividad y estabilidad de los radicales formados (Siskin *et al.* 2006b).

Las diferencias estructurales entre las especies que conforman los residuales se evidencian en los índices de aromaticidad y condensación calculados por RMN. Los menores valores de los índices de aromaticidad y condensación aromática reportados para el residual A permiten esperar la menor tendencia a la formación de coque en este residual, mientras que el residual B, por presentar elevado índice de aromaticidad y la máxima condensación

aromática, debe mostrar la mayor tendencia a la formación de coque; para los residuales C y D cabría esperar un comportamiento intermedio (León, 2001). Estos resultados también se corresponden con la tendencia a incrementar la producción de coque al aumentar el contenido de asfaltenos, según lo reportan diversos autores (Marsh *et al.* 1985; Ellis & Bacha, 1996; Rodríguez-Reinoso *et al.* 1998). Sin embargo, la microtextura de los coques formados estará condicionada por factores asociados tanto a la naturaleza química de las cargas como a las condiciones de coquización y sus efectos sobre la viscosidad del medio (Vieman, 2002).

Aspectos como el peso molecular promedio, proporciones relativas de las fracciones SARA, relación C/H, etc., pueden tener una marcada influencia en la estabilidad de los radicales libres formados como intermediarios en las reacciones de polimerización y condensación, también pueden modificar la viscosidad del medio o afectar la velocidad de desprendimiento de los gases durante el desarrollo de la carbonización; todos estos factores han sido reportados por su influencia en el establecimiento de la textura del coque (Mochida & Korai, 1986; Romero, 1990; Requena, 2004).

Evaluación de los coques

Los resultados de caracterización por análisis inmediato, elemental, densidad real en xilenos, textura óptica y propiedades de superficie de los coques obtenidos a escala industrial y sus equivalentes generados en planta piloto se resumen en las tablas 3 y 4, respectivamente.

Los coques obtenidos a escala industrial se generaron en coquizadores que presentan diferencias en cuanto a relación de reflujo y geometría del tambor de coquización, lo que se traduce en variaciones en los perfiles térmicos e hidrodinámicos que pudiesen modificar la textura del coque; estas condiciones pueden considerarse constantes para los coques obtenidos en planta piloto por lo que la comparación entre este último grupo de coques resulta válida para estudiar el efecto de la naturaleza de la carga sobre la textura del coque, no obstante, estos resultados no pueden ser extrapolados directamente a los distintos sistemas comerciales.

La dificultad para reproducir a pequeña escala el proceso

Tabla 3. Caracterización de coques obtenidos por coquización retardada de los residuales en refinerías comerciales.

Parámetro de Caracterización	Residual A			Residual B			Residual C			Residual D		
	AIS	AIM	AII	BIS	BIM	BII	CIS	CIM	CII	DIS	DIM	DII
Análisis inmediato												
% humedad	0,8	1,2	0,8	0,6	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	1,3	1,4	1,7
% cenizas (bs)	0,57	0,54	0,54	0,55	0,68	0,75	0,68	0,72	0,75	0,37	0,40	0,50
% mat. volátiles (Iac)	12,51	11,76	11,48	11,8	10,9	9,70	10,34	10,34	9,70	12,51	11,06	11,91
Análisis elemental												
% Carbono	76,2	75,3	77,4				76,2	74,4	75,9	80,8	80,1	83,9
% Hidrógeno	6,9	6,6	5,6				6,0	6,4	6,7	6,6	5,1	6,7
% Azufre	5,2	5,1	4,9				5,0	5,2	5,1	5,2	4,9	5,1
Densidad real												
Método Xilenos	1,55	1,60	1,64				1,60	1,58	1,61	1,48	1,50	1,64
Índice de textura óptica	3,7	6,3	9,0	8,9	9,1	9,5	6,6	6,3	7,9	8,6	8,6	9,6
Tipo de microtextura												
% Mosaico fino (Mf)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
% Mosaico medio (Mm)	69,4	46,1	28,4	22,0	14,4	12,7	56,8	46,5	26,5	--	--	--
% Mosaico grueso (Mc)	17,6	40,2	51,7	52,1	57,9	57,4	25,4	39,2	51,1	84,3	79,3	61,8
% Supramosaicos (Ms)	2,7	5,9	1,5	5,7	6,9	9,3	1,8	4,8	5,0	4,3	10,7	23,8
% Pequeños dominios (SD)	--	7,8	20,6	20,2	18,8	20,7	13,7	7,7	13,5	11,4	9,9	14,4
% Dominios (D)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
% Anisotropía fluida (AFM)	2,3	--	4,7	--	2,0	--	2,1	1,7	3,9	--	--	--
Propiedades texturales (*)												
Dp (Å)	83,3	27,9	137,2	17,8	16,3	14,7	76,6	56,9	21,8	77,9	119,2	70,7
A. Sup. (m ² /g)	3,48	3,69	1,34	33,5	26,9	32,7	2,6	3,6	3,0	4,9	3,0	3,3
Dis. Vol. Poros (%)												
<i>Microporos</i>	7,3	26,9	6,3	70,7	86,4	69,0	11,7	13,2	43,5	9,9	7,1	9,9
<i>Mesoporos</i>	28,6	64,1	0,0	0,0	3,2	0,0	7,1	24,9	41,6	21,2	10,6	25,4
<i>Macroporos</i>	64,2	9,0	93,7	29,3	10,4	31,0	81,2	61,9	14,5	68,8	82,4	64,4

(*) Método BJH (adsorción de N₂ a 296 K).

Tabla 4. Caracterización de los coques obtenidos por coquización retardada de los residuales en la planta piloto.

Parámetro de Caracterización	Residual A			Residual B(**)			Residual C			Residual D		
	APS	APM	API	BPS	BPM	BPI	CPS	CPM	CPI	DPS	DPM	DPI
Análisis inmediato												
% humedad	0,8	1,2	0,8				0,8	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0
% cenizas (bs)	0,49	0,84	0,86				0,52	0,34	0,89	0,32	0,54	0,48
% mat. volátiles (lac)	9,63	8,56	7,06				9,84	7,82	8,64	8,29	7,70	7,57
Análisis elemental												
% Carbono	87,0	86,1	87,0				88,3	90,9	89,8	82,1	80,2	83,1
% Hidrógeno	7,0	6,8	7,3				5,5	5,7	5,9	7,8	6,0	7,8
% Azufre	5,2	5,1	5,3				5,1	5,0	5,2	5,2	5,1	5,3
Densidad real												
Método Xilenos	1,62	1,58	1,55				1,56	1,54	1,62	1,58	1,64	1,54
Índice de textura óptica	11,3	8,4	5,5				7,9	7,5	4,6	8,2	9,0	3,9
Tipo de microtextura												
% Mosaico fino (<i>Mf</i>)	--	1,8	3,0				--	2,8	12,0	--	--	--
% Mosaico medio (<i>Mm</i>)	3,1	6,0	60,1				7,7	29,0	58,0	59,5	52,6	79,1
% Mosaico grueso (<i>Mc</i>)	41,7	32,8	26,1				76,8	47,0	24,1	7,3	10,8	17,3
% Supramosaicos (<i>Ms</i>)	0,6	1,8	1,1				4,5	5,5	1,1	--	2,8	2,0
% Pequeños dominios (<i>SD</i>)	32,5	27,6	7,8				8,0	12,9	4,9	27,3	31,3	--
% Dominios (<i>D</i>)	0,9	--	--				--	--	--	--	--	--
% Anisotropía fluida (<i>AFM</i>)	21,2	3,2	18				2,9	2,8	--	5,5	2,5	1,6
Propiedades texturales (*)												
Dp (Å)	29,1	23,1	111,5				10,1	25,3	111,1	30,1	61,5	51,4
A. Sup. (m ² /g)	4,73	2,93	0,25				1,35	3,77	2,32	4,79	3,73	4,62
Dis. Vol. Poros (%)												
<i>Microporos</i>							82,4		8,1	20,7	11,3	
<i>Mesoporos</i>	100	100	100				0,0	100	7,9	68,6	22,7	100
<i>Macroporos</i>							17,6		84,0	10,7	65,9	

(*) Método BJH (adsorción de N₂ a 296 K) / (**) El residual B no se procesó en la planta piloto.

comercial de coquización retardada radica en las serias limitaciones para lograr el mismo sistema de alimentación que se tiene a nivel comercial, el cual resulta de un complejo sistema de fraccionamiento a partir del cual se genera la corriente de recicló. Esta corriente introduce variaciones en la composición química de la alimentación (proporciones relativas de especies presentes), las cuales resultan muy difíciles de reproducir al procesar pequeños volúmenes. Por otra parte, los grandes volúmenes manejados a nivel comercial generan régimen turbulento imposible de reproducir a escala piloto (Rodríguez-Reinoso *et al.* 1998). Téngase en cuenta que las plantas piloto para simular el proceso de coquización retardada normalmente se diseñan para reproducir el rendimiento en productos livianos, descuidando el efecto de las variables del proceso sobre las propiedades del coque (Pérez, 2004).

Las diferencias observadas en el análisis inmediato de los coques procesados a nivel comercial, y sus equivalentes obtenidos en planta piloto, se corresponden con las esperadas por el cambio de escala y diferencias en las condiciones de operación de los respectivos sistemas. Aun cuando estas diferencias no resultan muy significativas, en términos generales, el contenido de humedad es levemente

superior en las muestras comerciales, lo que puede ser explicado por la descarga con agua a presión empleada en el proceso comercial (Elliot, 2001); también resulta lógica la mayor variación en el contenido de cenizas de coquizadores comerciales, que puede atribuirse a mayores fluctuaciones en la alimentación y relación de reflujo, así como a la adición de agente antiespumante que suele tener lugar en los coquizadores comerciales. Finalmente, los mayores valores de materias volátiles registrados para los coques comerciales corroboran el proceso de cocción del coque que tiene lugar en la planta piloto, para hacer equiparables los rendimientos en productos livianos de ambos sistemas.

El análisis elemental muestra valores similares para el contenido de azufre de los coques obtenidos a partir de una misma carga procesada a escala comercial y piloto, lo que puede considerarse indicativo de equivalencia entre las condiciones de temperatura de procesamiento de ambos sistemas (Oi *et al.* 1978; Romero, 1990). Para el contenido de carbono e hidrógeno se registran diferencias que se corresponden con las observadas en el contenido de materias volátiles, registrándose los mayores valores de la relación C/H para los coques obtenidos en planta piloto; esto parece confirmar la hipótesis de cocción del coque que

tiene lugar en la planta piloto para equiparar su rendimiento en livianos con el obtenido a nivel industrial.

Los valores reportados de densidad real y propiedades de superficie no muestran una tendencia claramente definida, sin embargo la distribución del volumen de poros y el diámetro promedio de poros parecen estar relacionados con la velocidad de formación y salida de gases durante la carbonización (Romero, 1990). Tanto para los coques obtenidos en plantas pilotos como comerciales, se observa una tendencia a incrementar el área superficial al aumentar la proporción de la fracción SAT en la carga al coquizador, sin embargo, la falta de proporcionalidad en esta tendencia sugiere que factores como la viscosidad del medio y velocidad de salida de los gases deben tener un efecto

importante en el desarrollo de la porosidad del sistema. Al respecto, pequeños valores del diámetro promedio de los poros podrían estar asociados a medios altamente viscosos o con baja velocidad de desprendimiento de los gases durante la coquización. La conjunción de ambos efectos (viscosidad y velocidad de desprendimiento de los gases), podría explicar que para las muestras procesadas en planta piloto, el diámetro promedio tienda a incrementarse desde la parte superior a inferior del tambor de coquización, registrándose una tendencia contraria para los sistemas comerciales.

Muestras de las microtexturas de los coques desarrollados al procesar los residuales en plantas comerciales y a nivel piloto se presentan en las figuras 1 y 2, respectivamente, y

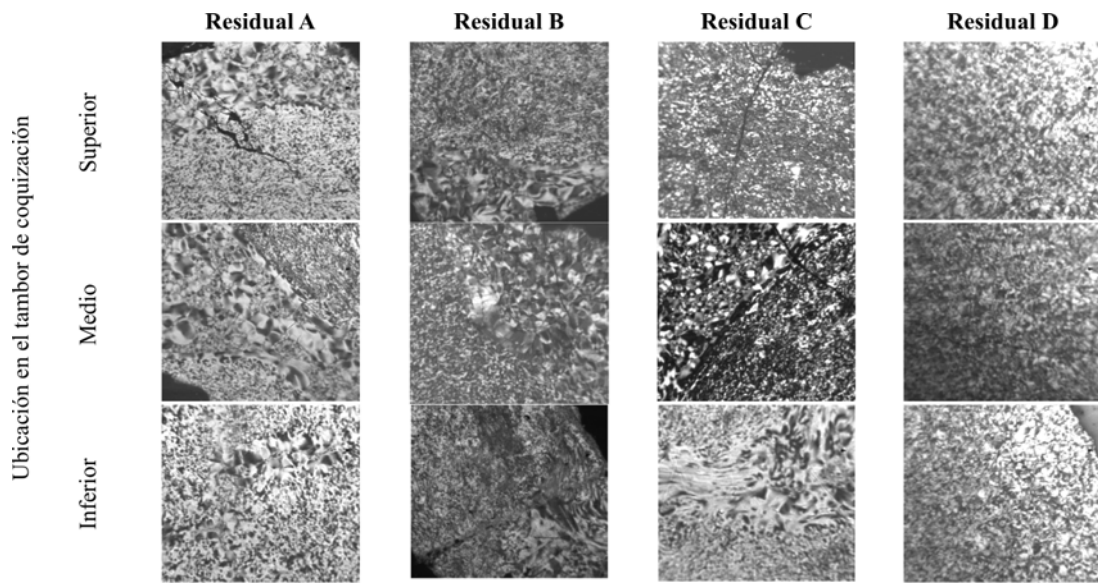


Figura 1. Microtextura de los coques obtenidos a partir de los residuales en coquizadores industriales.

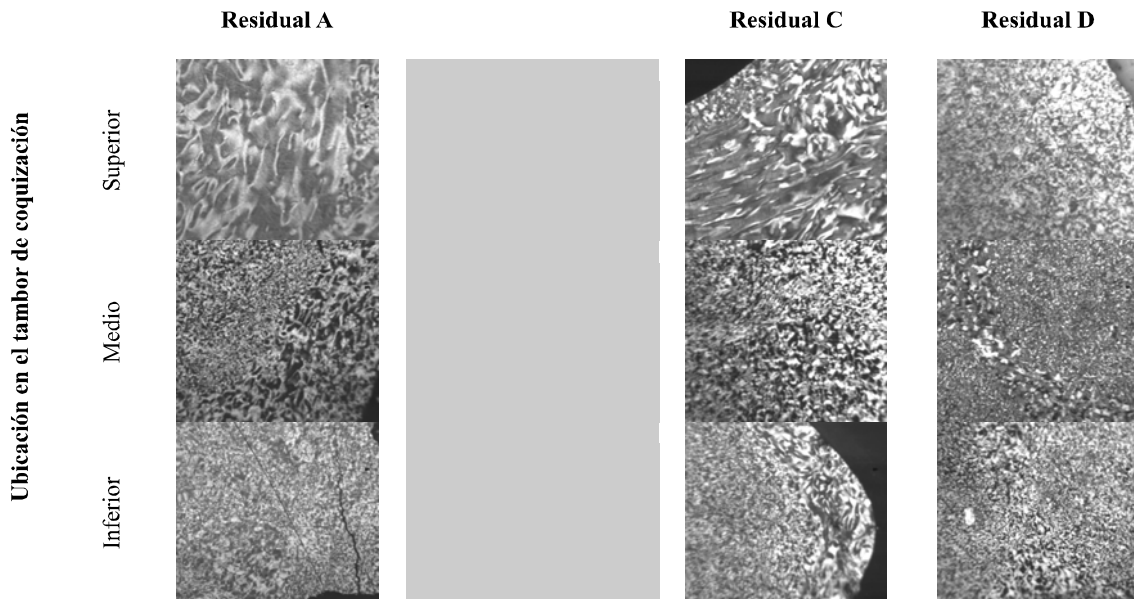


Figura 2. Microtextura de los coques obtenidos a partir de los residuales procesados en planta piloto.

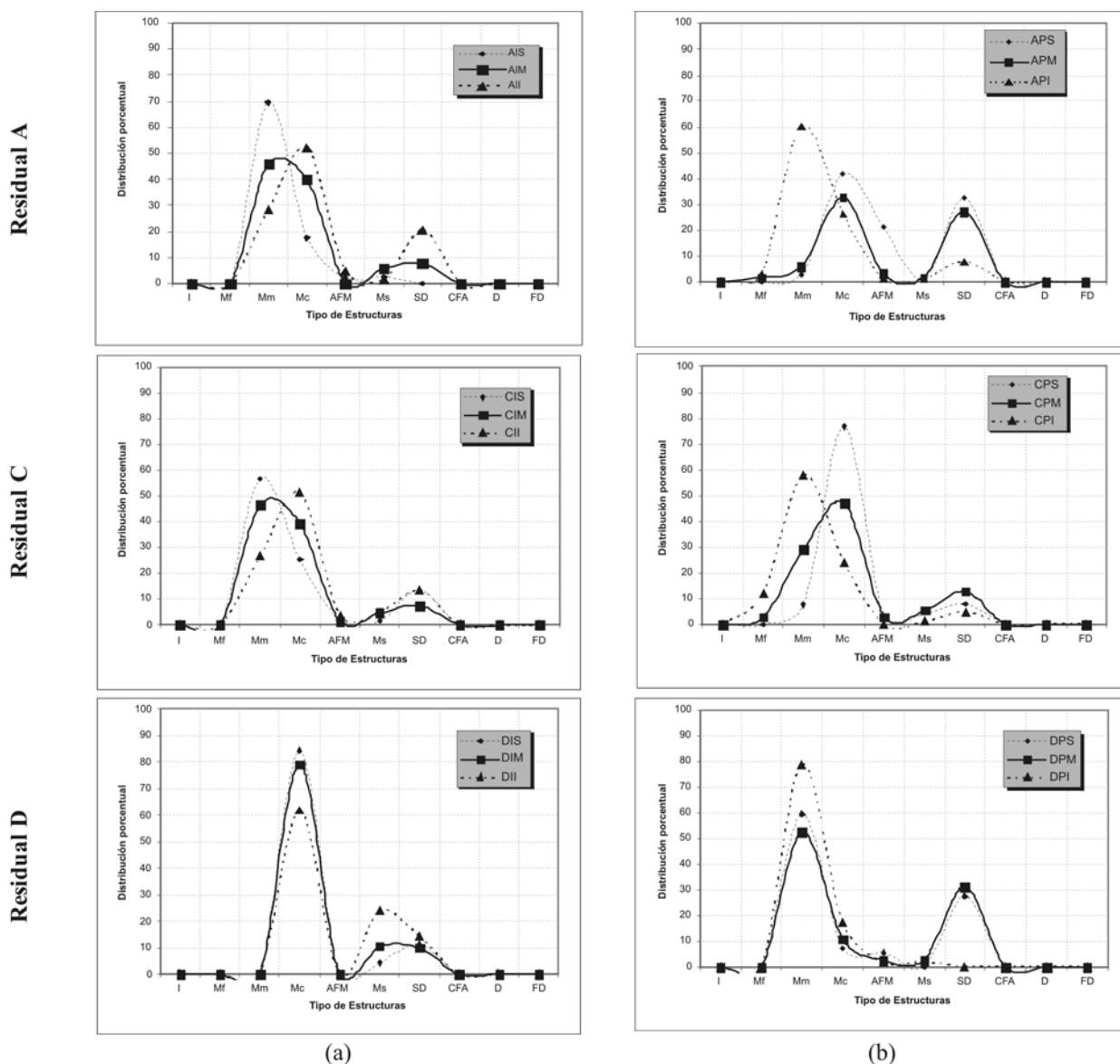


Figura 3. Variación de las proporciones relativas de texturas ópticas en los coques de las diferentes cargas obtenidos en refinерías comerciales (a) y en planta piloto (b).

en la figura 3 se presenta la contribución relativa de cada tipo de microtextura al valor del índice de textura óptica (OTI), reportado para cada una de estas muestras en las tablas 3 y 4.

Como aspecto más relevante destacan las diferencias en el valor del OTI, para los coques obtenidos a partir de una misma carga al ser procesados en el sistema comercial y piloto. Por otra parte, para una misma carga, la variación del OTI en los tambores de coquización muestra tendencias distintas para los obtenidos a escala comercial y en planta piloto, pues en muestras provenientes de coquizadores comerciales, el máximo valor de OTI suele ocurrir en el coque de su parte inferior (muestras con código de forma general *II), pero para los provenientes de la planta piloto el máximo se ubica en su parte superior (muestras con códigos *PS).

Esta inversión en tendencia sólo puede ser explicada considerando mecanismos distintos de reacción en cada sistema, en cuyo caso las diferencias entre los coques de una misma carga no es sólo el resultado de diferencias en condiciones operacionales, y se debe considerar un posible efecto del perfil térmico e hidrodinámico en el establecimiento del mecanismo de reacción asociado a cada sistema.

Las variaciones del tipo de microtextura predominante y sus proporciones relativas en los tambores de coquización, mostradas en la figura 3 para los residuales A, C y D procesados en plantas comerciales y a nivel piloto, confirman que la microtextura no es sólo resultado de la naturaleza química de la carga, sino que está fuertemente afectada por las condiciones físicas del medio de reacción como el régimen de turbulencia, perfil térmico y viscosidad; cambios

en estas condiciones pueden modificar el tipo de microtextura predominante aún cuando se mantenga constante la composición química de la carga. Por otra parte, algunas especies químicas pueden tener un factor determinante en el establecimiento de la microtextura predominante, tal como se evidencia con el aumento de la proporción de aromáticos en los residuales A, C y D para los cuales se tiene una relación ARO:SAT de 1:1, 2:1 y 3:1, respectivamente; este aumento de la proporción de ARO puede ser responsable del mantenimiento de la microtextura predominante en los distintos niveles del tambor de coquización.

Un estudio detallado para aislar el efecto de parámetros operacionales del efecto de las características de la carga sobre la textura del coque, sólo sería posible en una planta piloto que reproduzca la calidad del coque, sin embargo, la data disponible para este estudio no permite discriminar entre ambos efectos por lo que seguidamente se tratará de explicar los resultados obtenidos en cada caso a la luz del conocimiento disponible de los procesos de coquización de residuales de petróleo, con miras a validar los modelos propuestos en la literatura para la coquización de dichos residuales (Romero, 1990; Vieman, 2002).

Coquización y textura del coque

El modelo teórico para la carbonización de compuestos aromáticos ha sido ampliamente estudiado y descrito en cuatro etapas que comprenden la formación de las esferas de mesofase, crecimiento, coalescencia y la etapa final de formación y desarrollo de la masa mesofásica (Mochida *et al.* 1988). Las velocidades relativas de cada una de estas etapas dan lugar a los distintos mecanismos propuestos por Marsh para explicar la formación de la textura del coque (Marsh, 1973), pero estos mecanismos no toman en consideración los efectos hidrodinámicos asociados al flujo de gases ni al perfil térmico desarrollado en los tambores de coquización, los cuales parecen tener una marcada influencia en el desarrollo de la textura final del coque.

Según los modelos propuestos en la literatura para el proceso de coquización de residuales de petróleo, (Romero, 1990; Vieman, 2002) la formación y precipitación de las primeras esferas de mesofase da lugar a la formación de dos fases en el tambor de coquización: una anisótropa de mayor densidad y formada por una mesofase temprana no coalescida y otra isotrópica menos densa en la que las fracciones más pesadas pierden sus cadenas alquílicas y disminuyen su solubilidad progresivamente para contribuir a la formación de nuevas esferas de mesofase. La dispersión de las esferas de mesofase en la masa de reacción y la relativamente alta viscosidad del medio, no favorecen la coalescencia y la mesofase va precipitando al fondo del tambor para formar una banda de una fase anisótropa con textura de mosaico. Este modelo resulta útil para explicar algunos de los

resultados obtenidos, pudiendo relacionar el espesor de la capa y tamaño promedio de los mosaicos con la naturaleza química y proporción de las especies presentes así como con la temperatura del medio de carbonización. Sin embargo, debe tenerse en consideración que el crecimiento, coalescencia y desarrollo de la mesofase másica, y en consecuencia la textura del coque, están controlados por la viscosidad del medio, la cual puede verse fuertemente afectada no sólo por la composición química de la carga, sino también por aspectos como la evolución de gases en la masa de reacción, relación y condiciones del reflujo, perfil térmico e hidrodinámico desarrollado en el tambor de coquización.

El desprendimiento de gases durante el proceso de formación, crecimiento y coalescencia de la mesofase en el seno del tambor de coquización depende fundamentalmente de la composición de la carga; altas proporciones de saturados y fracciones de relativamente bajo peso molecular contribuyen a incrementar la generación de gases durante la carbonización. La salida de estos gases en forma de pequeñas burbujas contribuye a ordenar y alinear los dominios fluidos a lo largo del eje del tambor, incrementando de esta manera el OTI del coque resultante; este factor pudo haber contribuido a los relativamente altos valores de OTI registrados para el residual A procesado en planta piloto, el cual muestra su máximo valor en la parte superior del tambor (tablas 3 y 4).

Es importante tomar en cuenta que la salida de gases a través de la masa de reacción debe ocurrir justo antes de la solidificación de la mesofase para que resulte efectiva. De producirse con anterioridad al desarrollo de la fase anisótropa, sólo se reordenaría parte del material y el posterior crecimiento de mesofase daría lugar a texturas desordenadas. Si por el contrario esta emisión de gases se produce muy al final de la coquización, la viscosidad del medio y el inicio del proceso de solidificación causaría que las burbujas de gas quedasen atrapadas en el sistema dando lugar a coques muy porosos y en algunos casos frágiles; la elevada proporción de macroporos asociada a bajos valores de OTI reportada para algunas de las muestras (CIS, CPI, DPI) permiten corroborar esta hipótesis.

El efecto de la salida de gases sobre la alineación de las texturas del coque permite explicar los mayores valores del OTI reportados en la parte superior del tambor de coquización en la planta piloto (tablas 3 y 4). Esta tendencia resulta independiente de la composición de la carga, lo que permite afirmar que este factor puede tener un papel determinante en las propiedades texturales del coque, pero sólo debe ser considerado como un factor modificador, y una etapa de gran importancia en el mecanismo de

carbonización, y no constituye una condición indispensable ni suficiente para garantizar coques con elevado valor de OTI.

Por otra parte, las diferencias en tendencia de las propiedades texturales del coque obtenidas a partir de una misma carga en planta piloto y comercial, parecen confirmar la existencia de mecanismos distintos de formación de coque en cada caso. Estas diferencias en el mecanismo de coquización puede ser el resultado de los distintos perfiles térmicos e hidrodinámicos que se establecen en cada sistema, y que no pueden ser reproducidos simultáneamente debido al cambio de escala (Rodríguez-Reinoso *et al.* 1998). Por tal motivo el estudio de mecanismos a escala piloto puede resultar poco fructífero si los mecanismos propuestos no permiten identificar los requerimientos mínimos que, aplicados a escala industrial, permitan actuar sobre la calidad del coque.

Los resultados obtenidos parecen confirmar el modelo propuesto por Romero (1990) y ratificado por Vieman (2002) según el cual la textura del coque de petróleo en el tambor de coquización está determinada por la forma y tiempo en que transcurren tres etapas básicas e independientes que tienen lugar durante la coquización de residuales de petróleo. Estas etapas comprenden: a) el crecimiento de las áreas anisotrópicas como consecuencia de la formación, crecimiento y coalescencia de la mesofase; b) el movimiento del sistema multifase coque-masa de mesofase y c) la generación de gases con evolución de burbujas de gas a través de la masa formada por la mezcla de coque y fase fluida que precede a la formación del coque. De estas tres etapas las dos primeras resultan indispensables para la obtención de coques con altos valores de OTI, mientras que la tercera no resulta indispensable pero favorece el ordenamiento de las texturas fluidas; en todas ellas la viscosidad del medio, debido a sus efectos sobre el proceso de coalescencia y ordenamiento de la mesofase, parece ser el factor de mayor influencia para establecer la textura del coque.

De lo anterior se desprende que la obtención de coques con adecuadas propiedades texturales puede conseguirse no sólo por una adecuada selección de las propiedades de la carga, sino que también puede lograrse mejoras considerables actuando sobre las variables de carbonización, y que la adecuada combinación de ambos factores puede permitir la obtención de coques de mejor calidad sin comprometer el rendimiento en livianos perseguidos con la coquización retardada.

Finalmente cabe señalar que a pesar de las limitaciones de estas teorías, para predecir el comportamiento de un residual en el tambor de coquización industrial, constituyen una

herramienta de gran utilidad para la implementación de posibles mejoras en la obtención de coques de calidad a partir de residuos de petróleo con características químicas dadas.

CONCLUSIONES

- Las diferencias en las propiedades texturales de los coques obtenidos, a partir de una misma carga coquizada a nivel piloto y comercial, evidencian la influencia del perfil térmico y la hidrodinámica del tambor de coquización sobre la textura del coque.
- Variaciones en las proporciones relativas de especies presentes a consecuencia de la relación de reciclaje del coquizador, la incidencia del perfil térmico en las reacciones de coquización y la evolución de gases a través de la masa de reacción, permiten explicar las diferencias observadas en la textura óptica de los coques formados.
- Las variaciones en la viscosidad del medio de reacción durante la carbonización parecen ser el factor de mayor peso para establecer las propiedades texturales del coque.
- Las variaciones en la distribución del volumen de poros a través del tambor de coquización son el resultado del patrón de evolución de gases, el cual está relacionado con la proporción de fracciones livianas en la carga al coquizador.
- El desprendimiento de gases constituye una importante etapa del proceso de coquización, pero debe ocurrir antes de la solidificación de la mesofase para contribuir efectivamente a mejorar la textura del coque. Su ocurrencia no es indispensable ni suficiente para la obtención de coques con texturas alineadas, pero constituye un importante factor para la formación y consolidación de las propiedades texturales del coque.
- Debido al cambio de escala, los modelos desarrollados a nivel piloto, para describir el mecanismo de carbonización de residuales de petróleo, no permiten predecir simultáneamente el comportamiento de un residual y las propiedades del coque obtenido en coquizadores comerciales, sin embargo, constituyen una herramienta de gran utilidad para la planificación de mejoras en la calidad del coque.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a INTEVEP la captación y el suministro de las muestras de residuales y coques empleadas para este estudio, así como la realización de los ensayos de caracterización por RMN.

REFERENCIAS

- ADAMS, H. (1997). *Delayed coking: Practice and theory*. En *Introductions to carbon technologies*, H. Marsh, E. Heintz & F. Rodriguez-Reinoso (Ed.). Universidad de Alicante. pp. 491-517. 1997.
- CARBOGNANI, L., MENDEZ, A., V. SANCHEZ. (1999). *Caracterización de crudos venezolanos. Orígenes, razones y necesidades*. Acta Científica Venezolana 50 (1), pp. 11-17.
- ELLIOT, J. (Oct. 2007). *Shot coke: design and operation*. http://www.fwc.com/publications/tech_papers/index.cfm
- ELLIS, P. & BACHA, J. (1996). *Shot coke Light Metal*. *The Minerals, Metals & Materials Society*, pp. 477-484.
- GRAY, M. (2003). *Consistency of asphaltene chemical structures with pyrolysis and coking behavior*. *Energy & Fuels*. 17, pp. 1566-1569.
- JAKOB, R. (1971). *Coke quality and how to make it*. *Hydrocarbon Processing*. Sep 1971 pp. 132-136.
- KELEMAN, S., SISKIN, M., GORBATY, L., FERRUGHELLI, D., KWIATEK, P., BROWN, L., EPPIG, C., KENNEDY, R. (2007). *Delayed coker coke morphology fundamentals: Mechanistic implications based on XPS analysis of the composition of Vanadium- and Nickel-containing additives during coke formation*. *Energy & Fuels*. 21, pp. 927-940.
- LEÓN, V. (1998). *Nuevos enfoques sobre la visión molecular de un crudo pesado*. *Visión Tecnológica*. 5 (2), pp. 131-138.
- LEÓN, V. (2001). *Parámetros moleculares promedio en fracciones de petróleo basados en resonancia magnética nuclear de H-1*. Reporte técnico INTEVEP INT-E-0015.
- MALIK, T. (2000). *Containment system for coke drums*. U.S.A. patent 6.039.844. 03-21-2000.
- MARSH, H. (1973). *Carbonization and liquid-crystal (mesophase) development: The significance of the mesophase during carbonization of coking coals*. *Fuel*, 52 (7). pp. 205-212.
- MARSH, H., CALVERT, C., BACHADA, J. (1985). *Structure and formation of shot coke –a microscopy study*. *Journal of Materials and Science* 20, pp. 289-302.
- MOCHIDA, I. & KORAI, Y. (1986). *Chemical characterization and preparation of the carbonaceous mesophase*. En *Petroleum-Derived Carbons*. J. D. Bacha; J. W. Newman & J. White (Ed.) Washington D.C., American Chemical Society Symposium Series 303. pp.29-44.
- MOCHIDA, I., T. OYAMA., Y. KORAI. (1988). *Improvements to needle-coke quality by pressure reductions from a tube reactor*. *Carbon* 26 (1), p. 57-60
- OI, S., ONISHI, N., YAMADA, Y., HONDA, H. (1978). *Influence of organic sulfur compounds and metals on mesophase formation*. *Carbon* 16 (6), p. 445-452.
- OZGEN, C., & BADGER., M. (2003). *Effect of steam injection on pore structure and distribution in coke samples produced by delayed coking*. *Fuel* 82, pp. 909-917.
- PÉREZ, N. (2004). *Ingeniería básica de una planta de coquización retardada a escala piloto*. Proyecto de Grado. Universidad Simón Bolívar. MSc. Ing. Química.
- REQUENA, A., PEREZ, M., DELGADO, A., ABREU, E. (1998). *Breas mesofásicas a partir de corrientes residuales de refinación y petroquímica*. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Porto Alegre - Brazil, 14 a 17 Sep. 1998.
- REQUENA, A, DELGADO, L., GUERRERO, C., NUÑEZ, M. (2004). *Breas promotoras de fibras de carbono a partir de aceite pesado de olefinas*. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV*. Vol. 19, N° 2, pp. 97-103.
- RODRIGUEZ-REINOSO, F., SANTANA, P., ROMERO, E., DIEZ, M.A., MARSH, H. (1998). *Delayed coking: industrial and laboratory aspects*. *Carbon* 36 (1), pp. 105-116.
- ROMERO, E. (1990). *Carbonización de residuos de petróleo: mecanismo y control*. Tesis Doctoral, presentada a la Universidad de Alicante, Alicante.
- SISKIN, M., KELEMAN, S., EPPIG, C., BROWN, L., AFEWORKI, M. (2006). *Asphaltene molecular structure and chemical influences on the morphology of coke produced un delayed coking*. *Energy & Fuels*. 20, pp. 1227-1234.
- SISKIN, M., KELEMAN, S., GORBATY, M., FERRUGHELLI, D., BROWN, L., EPPIG, C., KENNEDY, R. (2006). *Chemical approach to control morphology of coke produced in delayed coking*. *Energy & Fuels*. 20, pp. 2117- 2124.
- VIEMAN, A. (2002). *The impact of phase behaviour on coke formation in delayed cokers*. Thesis for Master of Applied Science, University of Toronto, Canada.

**TITULO DEL TRABAJO EN LETRA FUENTE TIMES NEW ROMAN , TAMAÑO 12,
ALINEADO AL CENTRO. MAYÚSCULA, NEGRITA**

Una línea en blanco (todas las líneas en blanco en Times New Roman, Tamaño 10)

Nombre y Apellido de los autores completos (en todos los casos, omitir títulos profesionales o académicos) centrados y escritos en letra fuente Times New Roman, Tamaño 10, efecto Versales. Ej.

LUIS FERNANDEZ¹ Y DANIEL HERNÁNDEZ²

¹ Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniería Eléctrica . e-mail :xxxx

²Universidad Monteávila . e-mail:yyyy

1 línea en blanco

RESUMEN

1 línea en blanco

El resumen en Español del artículo es obligatorio y será precedido por el subtítulo **RESUMEN**, centrado, escrito en fuente Times New Roman, tamaño 10, Mayúsculas, Negrita. El texto del resumen utilizará la fuente Times New Roman, tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o izquierda y espacio (entre líneas) sencillo. **El resumen no excederá de 16 (dieciséis) líneas.** Deberá estar escrito en un solo párrafo de tipo informativo. Debe ser adecuado para su reproducción (sin necesidad de una nueva redacción) por revistas especializadas (Chemical Abstracts, Engineering Abstracts, etc.) y deberá especificar brevemente el proceso experimental y las conclusiones.

1 línea en blanco

Palabras Clave: deben incluirse al menos 5 (cinco) Palabras Claves, separadas por comas. Utilice estilo Normal, fuente Times New Roman, tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o a la izquierda y con espacio entre líneas sencillo.

2 líneas en blanco

**TÍTULO TRADUCIDO AL INGLES EN LETRA FUENTE TIMES NEW ROMAN ,
TAMAÑO 12, ALINEADO AL CENTRO. MAYÚSCULA, NEGRITA**

1 línea en blanco

ABSTRACT

El «Abstract» en inglés, al igual que el resumen en español, es obligatorio Será precedido por el subtítulo **ABSTRACT**, centrado, escrito en fuente Times New Roman, tamaño 10, Mayúsculas, Negrita. El texto del resumen utilizará la Fuente Times New Roman, Tamaño 10, alineación de párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o izquierda y espacio (entre líneas) sencillo. El «abstract» no excederá de 25 (veinticinco) líneas. Deberá estar escrito en un solo párrafo de tipo informativo. Debe ser adecuado para su reproducción (sin necesidad de una nueva redacción) por revistas especializadas (Chemical Abstracts, Engineering Abstracts, etc.), y deberá especificar brevemente el proceso, los resultados y las conclusiones principales.

1 línea en blanco.

Keywords: Deben incluirse las Palabras Claves traducidas al inglés, separadas por comas. Utilice estilo Normal, fuente Times New Roman, tamaño 10, alineamiento con párrafo justificado, sin sangrías a la derecha o a la izquierda y con espacio entre líneas sencillo.

2 líneas en blanco

INTRODUCCIÓN

1 línea en blanco

La introducción y el resto del texto del trabajo deben escribirse a espacio sencillo, a dos columnas, en un solo lado del papel y en hojas tamaño carta (21,5 x 28 cm), con márgenes de 2,5 cm por lado y espaciado entre columnas de 0,5 cm, utilizando estilo Normal, fuente Times New Roman, tamaño 10, alineamiento con párrafo justificado, sin sangría, sólo en caso de que el trabajo sea aceptado para su publicación.

Se aconseja a los autores utilizar subtítulos descriptivos de la forma siguiente: Introducción, Técnicas Experimentales, Resultados, Discusión, Conclusiones, Agradecimientos y Referencias. Los **SUBTÍTULOS** de cada sección en estilo Título 2, fuente Times New Roman, tamaño 10, mayúsculas, negrita, sin numeración, separados del párrafo anterior con una líneas en blanco, y del párrafo siguiente con una línea en blanco.

El manuscrito debe ser claro y conciso y preferiblemente con una extensión total no mayor de 15 páginas incluyendo figuras y tablas. Se preparará en formato **.doc** en procesador de textos **MS Word versión 6.0 en adelante.** Se enviarán al Comité Editor de la Revista 1 CD y 3 copias con las siguientes características: texto escrito en hojas tamaño carta, a doble espacio, en Times New Roman 12. Cada Figura y Tabla se anexarán al final del manuscrito en hojas separadas. La Versión Final del artículo para su publicación también será preparada en formato MS Word. Para el contenido del trabajo serán utilizados los siguientes formatos y alineaciones:

Abreviaturas, símbolos y terminología. En caso de incluir en el texto abreviaturas nuevas o especiales, debe incluirse en el manuscrito un listado de las mismas con su significado. La terminología química debe incluirse de acuerdo con las normas del Comité de Nomenclatura de la IUPAC (Internacional Unión of Pure and Applied Chemistry). Las

unidades deben seguir las Normas del Sistema Internacional de Unidades.

Leyendas, Gráficos y Tablas: Deben ser incluidas en el texto final conservando tamaño y tipo de letra (Times New Roman 10), en colores blanco y negro. Cada figura, gráfico y tabla se anexarán al final del manuscrito en hojas separadas, sólo en el caso de arbitraje.

Tablas – Construidas con la herramienta Tabla del procesador MS Word, deberán ser numeradas consecutivamente, referidas en el texto e insertadas en el lugar correspondiente. Para su incorporación en el texto, dejar una línea en blanco antes de la tabla y dos líneas en blanco después de ella. Cada tabla debe tener un título breve. Las aclaratorias deben estar al pié, no en el título. Los encabezamientos de las columnas serán cortos, abreviados y cuando sea necesario, serán explicadas en notas al pié.

Títulos de tablas – Deberán ser incluidos en una línea inmediata superior de la Tabla y alinearlos a la izquierda, coincidiendo con el margen izquierdo de la tabla. Utilice fuente Times New Roman, tamaño 10. Ejemplo:

Tabla 1. Parámetros técnicas analíticas utilizadas.

Parámetro	Técnica Analítica	Unidad
pH	Directo, Potenciométrico	-----
SST	SM, Gravimétrico	mg/L
SSV	SM, Gravimétrico	mg/L
DQO	SM, Reflujo Abierto	mg/L

SM: Standard Methods

Figuras / Fotografías – Todas las figuras, gráficos, ilustraciones y fotografías serán consideradas como figuras y deberán ser numeradas consecutivamente con números arábigos, referidas en el texto e insertadas en el lugar correspondiente. Su presentación se hará en blanco y negro. Las foto micrografías deben incluir una escala gráfica. En caso de requerir leyendas, éstas deberán escribirse utilizando fuente Times New Roman, tamaño 10. Para su incorporación en el texto, dejar una línea en blanco antes de la figura y dos líneas en blanco después de ella.

Título de Figura / Fotografía – Deberá ser incluido en la línea inmediatamente inferior de la Figura, alineado a la izquierda, coincidiendo con el margen izquierdo de la Figura y utilizando fuente Times New Roman, Tamaño 10. Ejemplo:

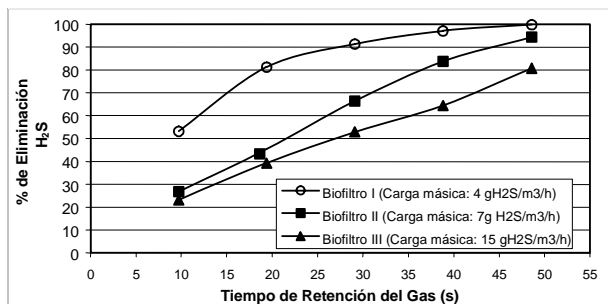


Figura 1. Eliminación de H₂S en función del tiempo de retención para diferentes cargas máscas en los biofiltros.

Fórmulas o Ecuaciones – Deberán ser generadas por editores de ecuaciones actualizados, utilizando fuente Times New Roman, tamaño 10, negritas y centradas. También deberán ser numeradas en secuencia y referidas en el texto. Para su incorporación dejar una línea en blanco, antes y después de la ecuación. Ejemplo:

$$\frac{\partial(\varepsilon v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

Referencias: Las referencias deben limitarse a trabajos publicados pertinentes al artículo y citadas en el texto. Un «Abstract» identificado adecuadamente /Abs..) puede ser citado sólo cuando sea la única fuente bibliográfica disponible. Los autores son responsables de la exactitud de las referencias. Las referencias deben ser ordenadas alfabéticamente. La cita de cada referencia debe ser incluida en el texto por el apellido del autor y año de publicación. Cuando la cita de cada referencia tenga más de un autor se colocará según el ejemplo: (Acosta et al. 2004). El estilo de citación debe ser el siguiente:

Artículos: Apellido del primer autor, seguido por las iniciales de su nombre, iniciales del nombre y apellido de cada coautor, año, título del trabajo (solamente con la primera letra en mayúscula), nombre de la revista (abreviado como en Word List of Scientific Periodicals y en letras cursivas o subrayado, volumen: página inicial – página final. Se debe utilizar fuente Times New Roman 10, efecto versales para el nombre del o los autores. Alineación de párrafo justificado y sangría de 0,7 cm a la izquierda a partir de la segunda línea del párrafo. Ejemplos:

PELLICCIONI, O., CERROLAZA, M., HERRERA, M. (2006). *Análisis bidimensional de la interacción fluido-estructura en válvulas mecánicas de corazón utilizando técnicas de células automáticas*. Revista de la Facultad de Ingeniería (UCV, Caracas) 21(1); pp. 111-123.

BRINDLEY, G.W. & BROWN, J. (1980). *Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification*. Mineral Society Monograph. Nº 5, p. 169.

PI-HURGELL, J. (1998). *Implantes en la región pterigomaxilar: estudio retrospectivo con seguimiento de 1 a 10 años*. Proceedings of II. Cons. Gen. de Col. de Od. y Est. of Spain. 3-4:339-48. Downloaded 9 March 2000 from <http://www.fodontol.unr.edu.ar/aartcient%EDficos.htm#RESOLUCIÓN%20PROTÉTICA%20EN%20UNA%20HEMIMANDIBULECTOMIA%20TOTAL>

TITLE IN TIMES NEW ROMAN 12, CENTERED, CAPITALS, BOLD

Blank line (all blank lines in Times New Roman, 10)

Authors' names (omitting professional or academic titles) centered and written in Times New Roman, 10, Versailles effect, e.g.

LUIS FERNANDEZ¹ Y DANIEL HERNÁNDEZ²

¹ Universidad Central de Venezuela. Escuela de Ingeniería Eléctrica. e-mail :xxxx

²Universidad Monteávila e-mail:yyyy

1 blank line

RESUMEN

1 blank line

The Abstract in Spanish is mandatory and will be entitled **RESUMEN**, centered, written in Times New Roman, 10, Capitals, Bold. The text of the Abstract will be in Times New Roman, 10, justified without indents left or right and single spaced. **The «Resumen» should be no longer than 16 lines.** It should be written in a single paragraph and be of the informative type. It should be suitable to be reproduced (without re-writing) by specialized Journals (Chemical Abstracts, Engineering Abstracts, etc.) and should briefly specify both the experimental procedure followed and the conclusions.

1 blank line

Keywords: at least five Keywords should be included, separated by commas. Use Normal, Times New Roman 10, justified without indents left or right and with a space between single lines.

2 blank lines

TITLE IN ENGLISH IN TIMES NEW ROMAN 12, CENTERED, CAPITALS, BOLD

1 blank line

ABSTRACT

The Abstract in English is also mandatory and will be preceded by the heading **ABSTRACT**, centered, written in Times New Roman, 10, Capitals, Bold. The text of the Abstract will be in Times New Roman, 10, justified without indents left or right and single spaced. **The Abstract should be no longer than 15 lines.** It should be written in a single paragraph and be of the informative type. It should be suitable for reproduction (without re-writing) by specialized Journals (Chemical Abstracts, Engineering Abstracts, etc.) and should briefly specify both the experimental procedure followed and the conclusions.

1 blank line

Keywords: at least five Keywords should be included, separated by commas. Use Normal, Times New Roman 10, justified without indents left or right and with a space between single lines.

2 blank lines

INTRODUCTION

1 blank line

The introduction and the rest of the text must be written single spaced, in two columns, on one side of A4 size paper (21.5 x 28 cm), with left and right margins of 2.5cm, leaving a space of 0.5 cm between columns, in Normal, Times New Roman 10, paragraphs justified without indentation, should the work be accepted for publication.

Authors are recommended to use the following descriptive sub-headings: Introduction, Methodology,

Results, Discussion, Conclusions, Acknowledgements and References. **SUBHEADINGS** in each section in Title 2 style, Times New Roman 10, capitalized, bold, not numerated, and separated from the previous and following paragraph by a blank line.

The manuscript must be clear and concise, preferably no more than 15 pages in length including figures and tables. It should be submitted in the .doc format using **MS Word version 6.0 or later.** One copy on CD plus three paper copies should be sent to the Editorial Board of the Journal with the following characteristics: text written on A4, double spaced in Times New Roman 12. All Figures and Tables are to be added at the end of the manuscript on

separate sheets. The final version of the article shall also be written using MS Word.

The following guidelines should be observed concerning the body of the text:

Abbreviations, symbols and terminology. In the case of including new or special abbreviations, a list of the same with their meanings must be included in the manuscript. Chemical terms must be used in accordance with the standards set by the Nomenclature Committee of the IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Units must be according to International System of Units Standards.

Legends, Graphs and Tables: Should be included in the final text maintaining size and font (Times New Roman 10), in black and white. Each figure, graph and table will be attached at the end of the manuscript on separate sheets, only in the case of peer review.

Tables – Created with the MS Word Table tool, all Tables must be numbered consecutively, referred to in the text and inserted in the appropriate places. Leave one blank line before and two blank lines after each one. Each Table must have a short title. Comments must be placed at the foot of the Table, not with the title itself. Column headings must be

short, abbreviated and, where necessary, explained in footnotes.

Titles of Tables – Must be included in a line immediately above the Table and justified to the left, coinciding with the left margin of the Table. Use Times New Roman 10. Example:

Table 1. Analytical technical parameters used.

Parameter	Analytical Technical	Unit
pH	Direct, Potenciométrico	-----
SST	SM, Gravimetric	mg/L
SSV	SM, Gravimetric	mg/L
DQO	SM, Open Reflux	mg/L

SM: Standard Methods

Figures / Photographs – All figures, graphs, illustrations and photographs will be considered as figures and must be numbered consecutively using Arabic numerals, referred to in the text and inserted in the appropriate places in black and white. Micrographic photos must include a graphic scale. In the case of requiring legends, these must be written using Times New Roman 10. Leave one blank line before and two after each Figure.

Title of Figure / Photograph – Must be included in a line immediately below the Table and justified to the left, coinciding with the left margin of the Figure. Use Times New Roman 10. Example:

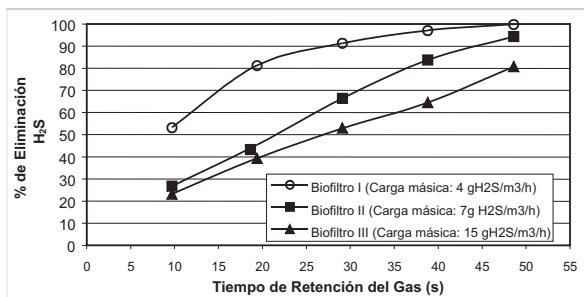


Figure 1. Elimination of H₂S in function of retention time for different loads in the biofilters.

Formulas or Equations – Must be created by editors of updated equations using Times New Roman 10, bold and centered. They should also be numbered in sequence and referred to in the text. Leave one blank line before and after each one. Example:

$$\frac{\partial(\epsilon v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

References: References should be limited to published work pertinent to the article and cited in the text. An Abstract, suitable identified (Abs.) may be used on condition it is the sole bibliographical source available. Authors are

responsible for the preciseness of their references. References must be alphabetically ordered. Each reference should be included in the text by author's name and year of publication. When there is more than one author, the following example should be followed: (Acosta et al. 2004). Citations should follow these guidelines:

Articles: Surname of first author, followed by initials, initials of the name and the surname of co-author, year, title of the work (only the first letter capitalized), name of the journal (abbreviated as in Word List of Scientific Periodicals and in italics or underlined, volume: first page – last page. Written in Times New Roman 10, Versailles effect for the name(s) of the author or authors. Paragraph justified with a left indent of 0.7cm alter the second line. Examples:

PELLICIONI, O., CERROLAZA, M., HERRERA, M. (2006). *Análisis bidimensional de la interacción fluido-estructura en válvulas mecánicas de corazón utilizando técnicas de células automátatas*. Revista de la Facultad de Ingeniería (UCV, Caracas) 21(1); pp. 111-123.

BRINDLEY, G.W. & BROWN, J. (1980). *Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification*. Mineral Society Monograph. N° 5, p. 169.

PI-HURGELL, J. (1998). *Implants in the pterigomaxilar region: retrospective study with 1 to 10 years follow-up*. Journal of II General. Cons. Gen. de Col. de Od. y Est. de España. 3-4:339-48. Downloaded 9 March from <http://www.fodonto.unr.edu.ar/aartcient%EDficos.htm#RESOLUCIÓN%20PROTÉTICA%20EN%20UNA%20HEMIMANDIBULECTOMIA%20TOTAL>