

Gasificación catalítica de lodos de aguas residuales.

L. M. García Rojas*, L. Aguiar Trujillo*, J. Arauzo **, J. Luís Sánchez.**

*Facultad Geología Mecánica. Departamento mecánica, Universidad de Pinar del Río, calle Martí N° 270. Pinar del Río, CP 20100, Cuba.

** Universidad Politécnica de Zaragoza, España.

E-mail: Luism@meca.upr.edu.cu, Teléfono 776861

(Recibido 23 de Octubre de 2004, aceptado 22 de Febrero 2005).

Resumen.

A partir de la necesidad de encontrar nuevas alternativas energéticas, se estudia en este trabajo la posibilidad de reducir a gran escala la cantidad de alquitranes que acompaña al gas obtenido de la gasificación en lecho fluidizado de los lodos de las depuradoras de aguas residuales, este estudio conduce a una posible utilización de este gas en la generación de electricidad. Para propiciar tal reducción se han empleado catalizadores secundarios reemplazando, en parte o completamente, la arena utilizada como agente fluidizante. Además la presencia de vapor de agua, que puede actuar como reactante para el reformado de hidrocarburos, también puede ser beneficiosa a la hora de reducir la cantidad de alquitranes en el gas, por lo que, junto con la sustitución de la arena por un catalizador, se han realizado experimentos alimentando vapor de agua al reactor.

Palabras claves: Gasificación, lecho fluidizado y lodos.

1. Introducción.

La Gasificación es un término genérico bajo cuya denominación se recogen todos los procesos en los que se produce una combustión incompleta con defecto de oxígeno y en los que se producen los siguientes gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano e hidrocarburos de cadena pequeña), en proporciones diversas según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso.

Algunas de las biomásas, normalmente residuales, que pueden usarse en los procesos de gasificación, son:

- Residuos agrícolas: paja de cereal, poda de frutales, cáscara de frutos secos, etc. Residuos forestales: corta, entresaca, poda, otros tratamientos silvícolas, monte bajo, etc.
- Residuos ganaderos: purines, cama, estiércoles, gallinaza.
- Residuos industriales: orujos, ramas y hojas, aserrín, cortezas de aserraderos, rechazos orgánicos de proceso, harinas cárnicas, desperdicios de papel, algunos residuos plásticos, embalajes, etc.
- Residuos urbanos: fracción orgánica de los residuales sólidos urbanos, lodos de depuradoras de aguas residuales, neumáticos fuera de uso, residuo orgánico de las fragmentadoras.

- Mezclas de biomásas/ residuos, adecuadas.

Se parte de una biomasa en las condiciones en que se encuentre. Una vez en la planta se acondiciona la biomasa, limpieza, secado, homogeneizado. El reactor gasificador se alimenta de forma continua de biomasa y aire atmosférico en las proporciones requeridas. En el interior del reactor gasificador se producen las reacciones de la gasificación, alcanzándose altas temperatura en la zona de oxidación. Los productos de la gasificación son el gas de gasificación y los residuos (cenizas) que alcanzan valores entre el 4 % y el 12 % según la biomasa utilizada.

El gas de gasificación obtenido, es un gas relativamente limpio que requerirá tratamiento o no, según el uso que se le dé. Posibles usos del gas: reactivo en procesos químicos y combustible en procesos energéticos tales como caldera de gas, motor de gas, turbina de gas, generador de vapor. La exigencia de cada uno de los usos que se le pueden dar al gas, condiciona el tratamiento que este necesita. En este caso que se valora la posibilidad de emplearlo en un motor de combustión interna acoplado a un generador es vital eliminarle el contenido en alquitranes.

2. Experimentos realizados.

Todo los experimentos fueron realizados en la Universidad Politécnica de Zaragoza, España. Se se

realizaron experimentos utilizando arena, sepiolita, alumina, y sílice-alúmina, realizándose la gasificación de fangos con aire y con aire+vapor de agua.

Los experimentos se han llevado a cabo en un reactor de lecho fluidizado que cuenta con una alimentación lateral y un tubo central de descarga de sólidos con el fin de mantener constante durante los experimentos la altura del lecho.

En los distintos experimentos realizados se han mantenido constantes las siguientes condiciones experimentales: T^a del lecho 850 °C, Q aire 3.75 lN/min, Relación sólido/fango alimentado 20/100 (en peso), Q fango alimentado: ~ 3.75 g/min (este parámetro ha mostrado algunas variaciones debido al tornillo alimentador) y D_p fango +250-500 μ m.

3. Resultados Obtenidos.

En las tablas 1 a la 8 se plantean los resultados obtenidos en igual número de experimentos.

Tabla I. Experimento realizado con arena y aire

Tabla 1. Experimento realizado con arena y aire		
Relación Estequimétrica (%)	30.2	
Relación agua/fango (%)	0.0	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	5.68	
O ₂	2.55	
N ₂	64.14	
CO	9.56	
CH ₄	2.47	
CO ₂	13.11	
C ₂ H ₄	2.00	
C ₂ H ₆	0.23	
C ₂ H ₂	0.25	
Y _{gas} (Nm ³ gas/kg fango)	1.23	
PCI del gas (kcal/Nm ³)	999	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno
Gas	53.41	41.08
Alquitrán	6.91	5.31
Agua	20.03	15.40
Ceniza y carbón	49.68	38.21
Total	130.02	100.02
Arrastre (%)	1.8	

* Se ha calculado el arrastre como la relación entre el peso de sólidos recogido en el ciclón y el peso de sólido (fango+catalizador o arena) alimentado tal y como sigue:

Ya que la planta de laboratorio empleada únicamente cuenta con un tornillo alimentador, previamente a la realización de cada experimento, se procede a mezclar el fango con el sólido a utilizar en la proporción de 20 gramos de catalizador por cada 100 gramos de fango y se llena la tolva del tornillo con dicha mezcla.

Para la determinación de los alquitranes se han utilizado dos sistemas: una serie de borboteadores con isopropanol enfriados a -20°C, con una distribución similar a la utilizada en el método propuesto por el "Tar Guideline" y el de dos borboteadores más un filtro de algodón. Se ha comprobado que los resultados son similares mediante ambos sistemas.

$$\text{Arrastre} = \frac{\text{peso de sólido recogido en el ciclón}}{\text{peso de sólido alimentado}} * 100$$

Tabla II. Experimento realizado con arena, aire y agua

Relación Estequimétrica (%)	30.8	
Relación agua/fango (%)	16.8	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	5.22	
O ₂	1.51	
N ₂	65.90	
CO	8.68	
CH ₄	2.22	
CO ₂	14.51	
C ₂ H ₄	1.68	
C ₂ H ₆	0.07	
C ₂ H ₂	0.21	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)	1.23	
PCI (kcal/Nm ³)	863	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno + H ₂ O
Gas	62.58	42.45
Alquitrán	2.28	1.55
Agua	40.52	27.48
Ceniza y carbón	41.47	28.13
Total	146.85	99.61
Arrastre (%)	2.5	

Tabla III. Experimento realizado con sepiolita y aire.

Relac. Estequimétrica (%)	30.2	
Relación agua/fango (%)	0.0	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	4.91	
O ₂	0.00	
N ₂	68.41	
CO	8.79	
CH ₄	2.17	
CO ₂	13.68	
C ₂ H ₄	1.64	
C ₂ H ₆	0.10	
C ₂ H ₂	0.31	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)	1.16	
PCI (kcal/Nm ³)	865	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno
Gas	52.67	40.52
Tar	1.40	1.08
Agua	24.04	18.49
Char	28.61	22.01
Total	106.72	82.09
Arrastre (%)	2.2	

Tabla IV. Experimento realizado con sepiolita, aire y agua.

Relac. Estequimétrica(%)	33.4	
Relación agua/fango (%)	27.9	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	3.49	
O ₂	0.00	
N ₂	69.37	
CO	8.48	
CH ₄	2.02	
CO ₂	14.54	
C ₂ H ₄	0.07	
C ₂ H ₆	1.73	
C ₂ H ₂	0.30	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)	1.37	
PCI (kcal/Nm ³)	832	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno + H ₂ O
Gas	54.24	33.68
Alquitrán	3.02	1.88
Agua	43.67	27.11
Ceniza y Carbón	32.43	20.14
Total	133.37	82.80
Arrastre (%)	5.5	

Tabla V. Experimento realizado con alumina y aire.

Relac. Estequiométrica (%)		32.5
Relación agua/fango (%)		0.0
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂		9.82
O ₂		0.00
N ₂		61.41
CO		11.15
CH ₄		2.39
CO ₂		13.46
C ₂ H ₄		1.57
C ₂ H ₆		0.07
C ₂ H ₂		0.13
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)		1.39
PCI (kcal/Nm ³)		1044
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno
Gas	59.48	44.93
Tar	1.60	1.21
Agua	24.84	18.77
Char	47.15	35.62
Total	133.07	100.53
Arrastre (%)	4.0	

Tabla VI. Experimento realizado con alumina, aire y agua.

Relac. Estequimétrica (%)	30.2	
Relación agua/fango (%)	27.1	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	8.67	
O ₂	0.00	
N ₂	62.65	
CO	9.66	
CH ₄	2.41	
CO ₂	14.50	
C ₂ H ₄	1.74	
C ₂ H ₆	0.19	
C ₂ H ₂	0.17	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)		1.05
PCI (kcal/Nm ³)		1020
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno + H ₂ O
Gas	65.67	41.80
Alquitrán	2.27	1.44
Agua	46.24	29.43
Ceniza y Carbón	43.67	27.80
Total	157.85	100.48
Arrastre (%)	10.9	

Tabla VII. Experimento realizado con sílice-alúmina y aire.

Relac. Estequimétrica (%)	29.2	
Relación agua/fango (%)	0.0	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	6.18	
O ₂	0.00	
N ₂	66.06	
CO	9.56	
CH ₄	2.68	
CO ₂	13.05	
C ₂ H ₄	2.07	
C ₂ H ₆	0.05	
C ₂ H ₂	0.36	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)	1.16	
PCI (kcal/Nm ³)	1025	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno
Gas	59.18	45.87
Alquitrán	1.92	1.49
Agua	23.78	18.43
Ceniza y Carbón	43.43	33.66
Total	128.31	99.44
Arrastre (%)	0.9	

Tabla VIII. Experimento realizado con sílice-alúmina, aire y agua.

Relac. Estequiométrica (%)	28.9	
Relación agua/fango (%)	25.3	
Composición media del gas (% volumen)		
H ₂	6.58	
O ₂	0.00	
N ₂	64.05	
CO	10.53	
CH ₄	2.75	
CO ₂	13.72	
C ₂ H ₄	2.01	
C ₂ H ₆	0.09	
C ₂ H ₂	0.27	
Y _{gas} (Nm ³ /kg fango)	1.18	
PCI (kcal/Nm ³)	1057	
Distribución de productos (% en peso)	Sobre fango	Sobre fango + oxígeno
Gas	63.05	40.93
Alquitrán	2.80	1.82
Agua	45.54	29.56
Ceniza y Carbón	43.37	28.16
Total	154.75	100.46
Arrastre (%)	1.83	

4. Análisis de los resultados.

Producción de Alquitrán,

En la figura 1 se muestra la cantidad de alquitrán producido en cada uno de los experimentos.

Se puede observar como la mayor cantidad de alquitrán se produce en la gasificación con aire y lecho de arena (7% en peso del fango alimentado), mientras que en los demás experimentos la cantidad de fango es sensiblemente menor, entre el 1 y el 3% en peso del fango alimentado.

Usando sepiolita, alúmina y sílice-alúmina se observa que la cantidad de alquitrán producida en los experimentos realizados con agua es algo superior a los experimentos en que se usó aire únicamente como agente gasificante. En principio tendría que observarse lo contrario, ya que el vapor de agua debería reducir la cantidad de alquitranes por reformado en fase gas, por lo que el efecto observado puede deberse a que, por un lado se alimenta agua líquida al reactor, lo que causa una ligera disminución de la temperatura del lecho, y por otro, la presencia de vapor de agua aumenta las reacciones endotérmicas, lo que también tiende a disminuir la temperatura del lecho. Esta disminución de temperatura puede ser la causa de una mayor producción de alquitranes. En los experimentos realizados con arena, la presencia de vapor de agua sí que supone una menor producción de alquitranes. Ello puede deberse que a que la proporción de agua alimentada es menor que en los otros experimentos y a que, al no tener la arena un efecto catalítico importante sobre el craqueo de alquitranes, el efecto del vapor de agua se hace mucho más patente.

Producción de gas.

En la figura 2 se muestra la producción de gas, relativa la cantidad de fango alimentado.

La producción de gas, como % en peso de gas producido frente al fango alimentado, se sitúa entre el 50 y el 65% en los experimentos realizados.

Se observa como la presencia de vapor de agua en el agente gasificante aumenta la producción de gas, siendo el efecto más acusado cuando se usa arena y alúmina que usando sepiolita en el lecho.

Poder calorífico del gas y rendimiento energético a gas.

En la figura 3 se muestra el PCI y rendimiento energético a gas medios obtenidos en los distintos experimentos.

Se observa como el PCI del gas producido disminuye en presencia de vapor de agua, siendo el PCI mayor para el experimento en el que se usó alúmina.

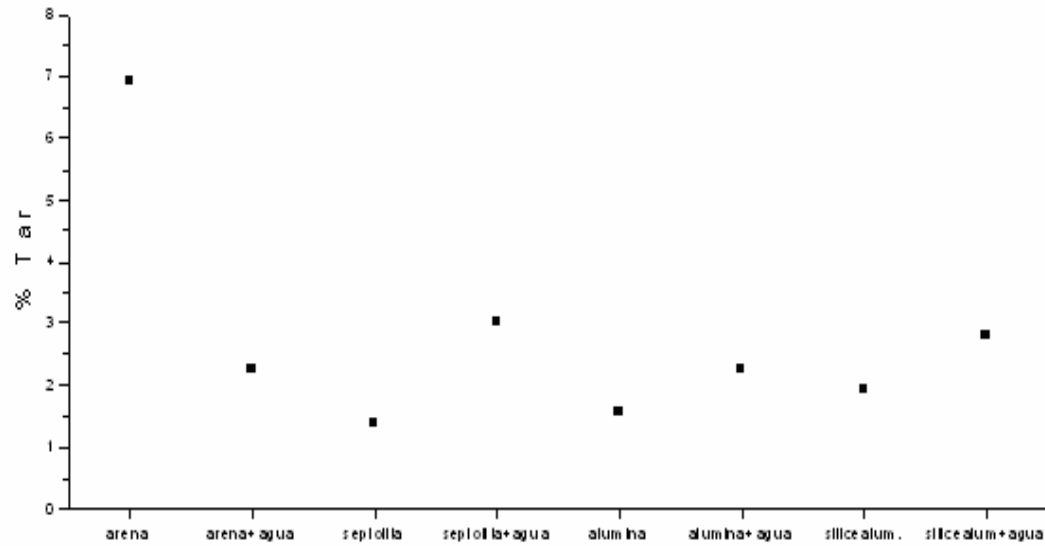


Figura 1. Producción de alquitrán en los distintos experimentos realizados.

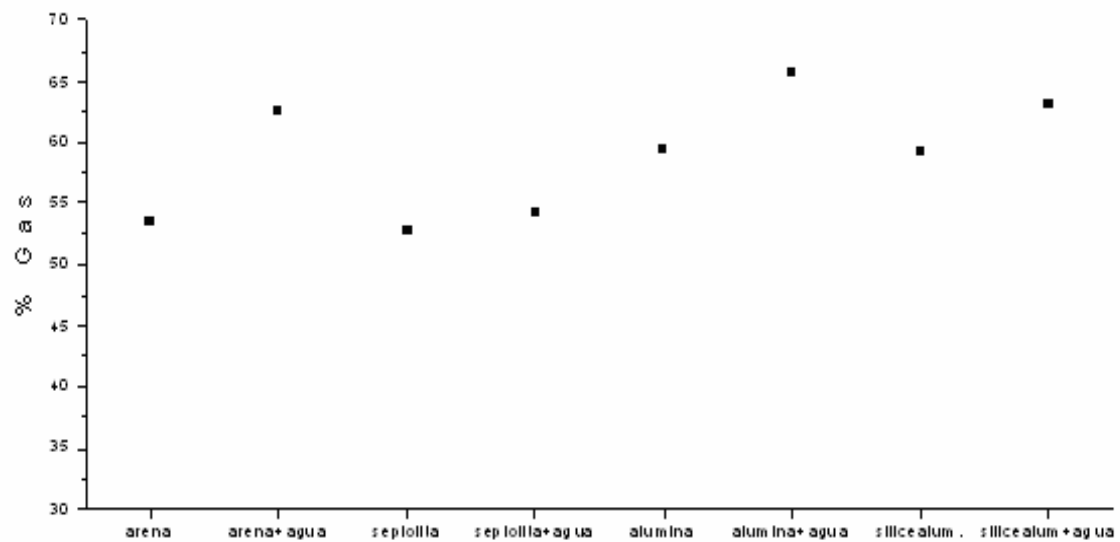


Figura 2. Producción de gas en los distintos experimentos realizados.

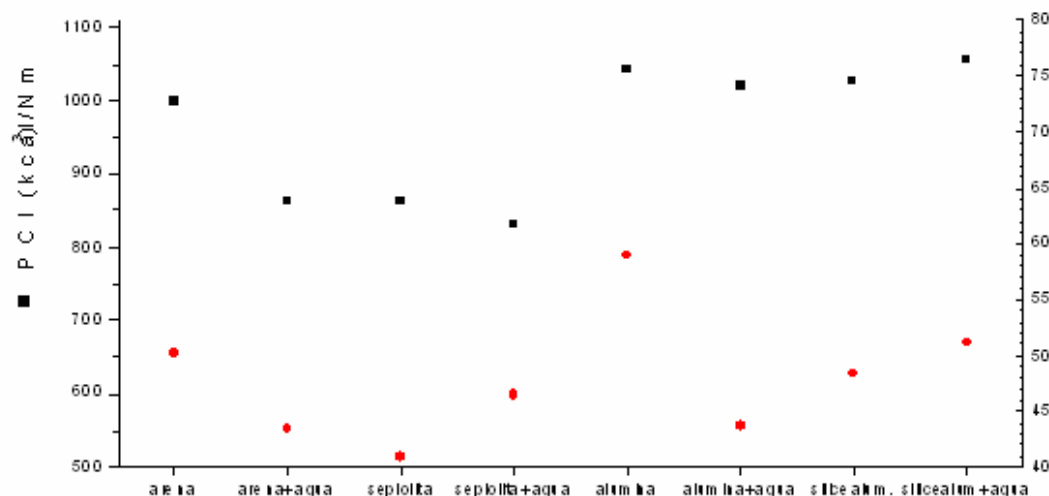


Figura X. PCI y rendimiento energético.

En cuanto al rendimiento energético, salvo para el caso de la sepiolita, también disminuye cuando se usa vapor de agua como agente gasificante.

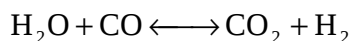
Composición del gas producido.

En la figura X1 se muestra, en % en volumen la composición media del gas producido, excluyendo los % de nitrógeno y oxígeno.

Se observa como los porcentajes de hidrocarburos (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 y C_2H_6) no varían significativamente en los distintos experimentos realizados. Únicamente el experimento realizado con sepiolita y vapor de agua muestra un % menor de etileno.

Comparando los experimentos realizados sin agua y con agua, se puede observar como el % de CO_2 aumenta, mientras que los porcentajes de H_2 y CO disminuyen.

La presencia de vapor de agua tiende a desplazar “hacia la derecha” la reacción de intercambio:



Por tanto, tanto el aumento de CO_2 como la disminución de CO pueden deberse a esta reacción. Sin embargo por el mismo motivo, la cantidad de H_2 debería aumentar, ya que es un producto de la reacción de intercambio, sin embargo se observa como disminuye en los experimentos realizados con agua respecto a los realizados sin agua con el mismo sólido (arena o catalizador), salvo para el caso de la sílice-alúmina. Esto puede deberse a que, en algunos experimentos se produce preferentemente la combustión en fase homogénea del hidrógeno con el oxígeno del aire introducido para llevar a cabo la gasificación.

En cuanto al efecto de los distintos sólidos utilizados, se puede observar como alúmina y sílice alúmina son

los catalizadores que producen una mayor variación en la composición, principalmente la alúmina, sobre todo en lo que respecta al % de H_2 y CO , que muestran un aumento, mientras que la variación de CO_2 e hidrocarburos no muestra una tendencia clara al cambiar el tipo de sólido utilizado.

Arrastre.

En la figura X2 se muestra el arrastre producido en cada uno de los experimentos realizados.

Se puede observar como el arrastre aumenta al introducir agua. Esto puede deberse a que, al mantener constante el caudal de aire introducido y añadir agua, aumenta la velocidad del gas en el interior de reactor.

El mayor arrastre, tanto en los experimentos realizados sin usar agua como en los realizados alimentando agua, se observa usando alúmina.

5. Conclusiones.

- Con el empleo de los catalizadores se logra una disminución en el porcentaje de alquitranes en comparación con el empleo de arena y los menores valores se logran con la sepiolita.
- El empleo del vapor de agua solo logra disminuciones de los porcentajes de alquitranes cuando se emplea arena no así con los catalizadores.
- El empleo del vapor de agua aumenta la producción de gas y disminuye el valor calórico.
- La alúmina y sílice alúmina son los catalizadores que producen una mayor variación en la composición del gas.
- Utilizando la alúmina es mayor la cantidad de ceniza y residuos de carbón.

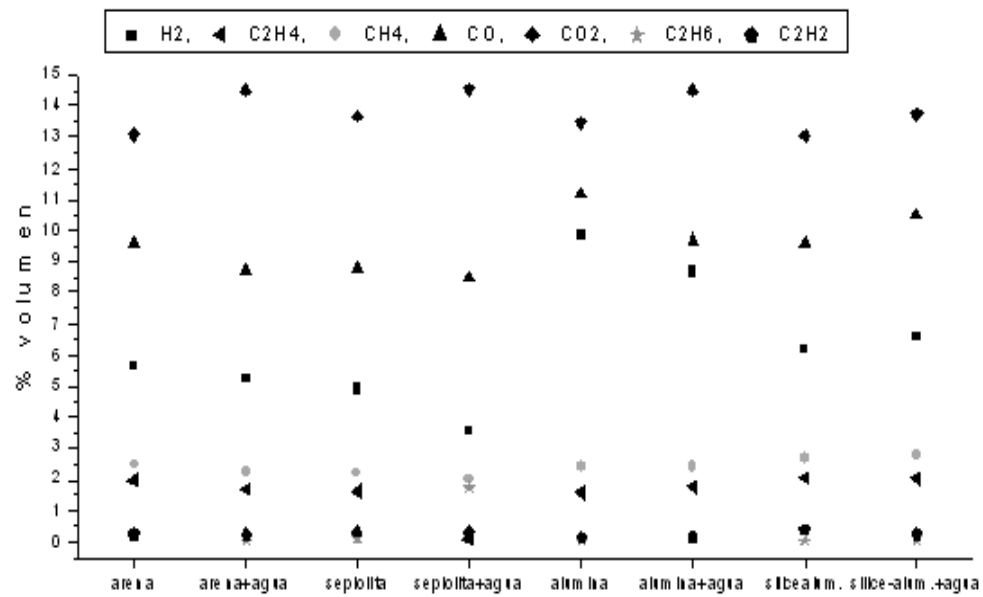


Figura X1.Composición media del gas producido.

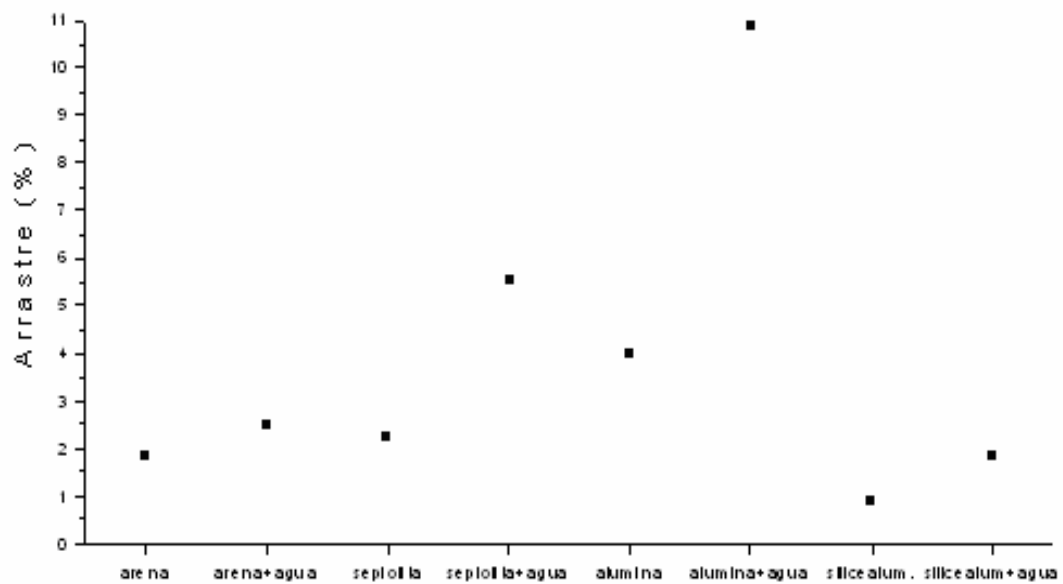


Figura X2. Arrastre observado en los experimentos realizados.

6. Bibliografía.

- 1 Dasappa, S.; Sridhar, H.V.; Sridhar, G.; Paul, P.J.; Mukunda, H.S. (2003); Biomass gasification – a substitute to fossil fuel for heat application. *Biomass & Bioenergy* 25, pp. 637-649.
 - 2 Hofbauer, H.; Rauch, R.; Bosch, K.; Koch, R.; Aicherning, C.; Biomass CHP Plant Güssing – A Success Story. In: *Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste* (Ed. By A.V. Bridgwater), pp. 527-536. CPL Press, Newbury, UK.
 - 3 Asadullah, M.; Miyazawa, T.; Ito, S.; Kunimori, K.; Yamada, M.; Tomishige, K. (2003); Catalyst development for the gasification of biomass in the dual-bed gasifier. *Applied Catalysis A: General* 255 (2), pp. 169-180.
 - 4 Rensfelt, E. (1997); Atmospheric CFB gasification – the Greve-in-Chianti plant and beyond. In: *Proceedings of the Conference on Biomass Gasification & Pyrolysis. State of the Art and Future Prospects*. CPL Press, Newbury, UK.
 - 5 Pinto, F.; Franco, C.; André, R.N.; Tavares, C.; Dias, M.; Gulyurtlu, I.; Cabrita, I. (2003); Effect of experimental condition on co-gasification of coal, biomass and plastic wastes with air/steam mixtures in a fluidized bed system. *Fuel* 82, pp. 1967-1976.
 - 6 Lv, P.M.; Xiong, Z.H.; Chang, J.; Wu, C.Z.; Chen, Y.; Zhu, J.X. (2004); An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed. *Bioresource Technology*, in press.
 - 7 Gil, J.; Corella, J.; Aznar, M.P.; Caballero, M.A. (1999); Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution. *Biomass and Bioenergy* 17, pp. 389-403.
-

Catalytic gasification of residual waters muds.

Abstract.

Starting from the necessity of finding new energy alternatives, it is presented in this paper the possibility to reduce in great scale the quantity of tars that accompanies the gas obtained of the gasification in fluidized bed of muds in residual waters, this study leads to a possible use of this gas in the electricity generation, For propitiate such reduction a secondary catalysts has been used replacing, partly or completely, the sand used as fluidity agent. Also the presence of water steam that can act as reactant for the hydrocarbons reformed, it can also be beneficial when reducing the quantity of tars in the gas, for that, together with the substitution of sand for a catalyst, it have been carried out experiments feeding water steam to the reactor.

Key words: Catalytic gasification, fluidity channel, muds.