



LACYQS

Laboratorio Nacional de Sistemas
de Concentración Solar y Química Solar

Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar. Segunda Etapa.

Informe campaña experimental pruebas gasificación de PET

Responsable técnico: Dr. Claudio A. Estrada Gasca

Período reportado: campaña experimental regular 17 al 27 de marzo de 2015

Extensión del 6 al 8 de abril de 2015

Elaborado por:

UNAM: Carlos A. Pérez Rábago, Irving Cruz Robles, Javier Licurgo Pedraza.

Extracto:

En este trabajo se presentan los resultados de la campaña experimental del prototipo de gasificador del CIATEQ A.C., el cual se estudio con dos tipos de experimentos acoplados. La primera parte experimental consistió en la producción del gas de síntesis a condiciones de operación de 800 °C con suministro de energía de resistencias eléctricas y el análisis cuantitativo de los principales compuestos producidos en la gasificación, por un lado se midió en línea la producción de CO, CO₂ y CH₄ y por otra parte se tomaron muestras para realizar cromatografía de gases y ver la producción de H₂ principalmente. La segunda parte de la experimentación consistió en el montaje del receptor del gasificador para recibir la radiación concentrada del HoSIER. Con está experimentación se busco conseguir las mismas curvas de temperaturas que se obtuvieron con los experimentos con resistencias eléctricas.



Tabla de contenido

1	Introducción.....	3
2	Diseño experimental	4
2.1	Desarrollo de dispositivos de filtrado de gases	4
2.2	Pruebas de gasificación con resistencias eléctricas	6
2.3	Pruebas del reactor con el receptor de cavidad en el HoSIER	7
2.4	Sistema de adquisición de datos.....	9
2.4.1	DAQ para experimentos de gasificación con resistencias eléctricas.....	9
2.4.2	DAQ para experimentos de caracterización del receptor del prototipo	10
3	Resultados experimentales y su análisis	11
3.1	Medición de temperatura.....	13
3.1.1	Pruebas con resistencia eléctrica	13
3.1.2	Pruebas en el HoSIER	16
3.2	Medición de analizadores en línea de gases.....	19
3.3	Cromatografía de gases de la muestra	20
4	Conclusiones	25
5	Referencias	26

1 Introducción

El CIATEQ, A. C., desarrolló un prototipo de gasificación aplicado a los residuos plásticos, tales como tereftalato de polietileno (PET), de los cuales se obtiene gas de síntesis (CO , H_2 y CH_4) a través de un proceso pirólitico a $800\text{ }^\circ\text{C}$ en el interior de un reactor. El prototipo desarrollado por el CIATEQ inicialmente fue probado con gas LP y resistencia eléctrica hasta alcanzar en la superficie interna del reactor una temperatura de 800° . La tercer fuente térmica que se propuso para el proceso de gasificación con este mismo reactor fue la energía solar concentrada a una temperatura de operación de entre 650°C y 800°C . Para ello se diseño un receptor de cavidad cuadrada, diseñado y fabricado por el mismo CIATEQ y probado el HoSIER (concentrationsolar.org.mx). Por cuestiones de operación del mismo HoSIER se fracciono las pruebas del gasificador en dos partes, la primera en la caracterización de los gases obtenidos con resistencias, así como su comportamiento térmico. En una segunda etapa solo se caracterizó la parte térmica con el receptor del CIATEQ en el HoSIER consiguiendo las mismas rampas de calentamiento que se obtuvieron con las resistencias eléctricas.

Objetivo

Gasificar PET en el prototipo de gasificación del CIATEQ a una temperatura de entre 650°C y 800°C con resistencia eléctrica, así como su acoplamiento a energía solar concentrada con el receptor diseñado por el CIATEQ. Para ello, se desacoplo el problema de la producción del gas de síntesis del suministro de potencia térmica con concentración solar, esto debido a que la generación de gas de síntesis en el interior del HoSIER generaba problemas en el mantenimiento de la óptica del concentrador. Por ello se definieron los siguientes objetivos específicos.

Objetivos específicos

- Analizar los productos de gas de síntesis obtenidos por el reactor con resistencias eléctricas en el prototipo del CIATEQ.

- Analizar el rendimiento térmico del receptor del gasificador del CIATEQ en condiciones de concentración solar en el HoSIER, reproduciendo las curvas de calentamiento obtenidas con resistencias eléctricas..

2 Diseño experimental

El diseño experimental consistió en dos pruebas, la primera realizar la gasificación del PET a una temperatura de 800 °C fuera del HoSIER, con análisis en línea de los gases producción en el reactor (CO, CO₂, CH₄ y O₂), así como toma de muestras de los gases de salida para su análisis con cromatografía de gases identificando (H₂, CO y CH₄). La segunda serie de experimentos consistió en la caracterización térmica del receptor de cavidad del gasificador, reproduciendo las mismas curvas de calentamiento que se obtuvieron con las resistencias eléctricas, pero ahora con la radiación concentrada en el HoSIER.

2.1 Desarrollo de dispositivos de filtrado de gases

En general en un proceso termoquímico de gasificación, la composición de los gases de salida del reactor es muy dependiente de las condiciones en las que se realiza la gasificación pero suelen ser ricos en monóxido de carbono y/o hidrógeno, con contenidos menores de dióxido de carbono, metano y otros hidrocarburos.

La salida de gases del reactor es nuestro punto de interés, sin embargo los gases de salida arrastran partículas carbonosas, las cuales son indeseables tanto para la toma de muestras para su análisis por cromatografía como para la entrada al equipo analizador de gases ®Ultramat 23 el cual mide los porcentajes de CO, CO₂, CH₄ y O₂ de los gases de salida

Para eliminar los residuos sólidos de los gases de salida, se construyeron dispositivos de filtrado, el primero de ellos una trampa de agua la cual se muestra en la figura 1. La trampa de agua es un frasco que tiene una cantidad determinada de agua, tiene dos conexiones de gases a una de ellas llegan los gases de salida del reactor y esta lleva los gases al fondo del agua, de esta manera los residuos carbonosos quedan atrapados por

el agua, los gases suben a la parte superior del frasco sin agua y ahí hay otra conexión para la salida de los gases ya limpios.



Fig 1. Trampa de agua para los gases de salida

Después de la trampa de agua, los gases pasan por un filtro de papel, esto es para retener las partículas que no alcanzaron a quedar atrapadas en el agua. De esta manera después de esta etapa de filtrado, los gases del reactor quedan listos para hacerlos pasar por el analizador de gases y para tomar las muestras para su posterior análisis. En la figura 2 se muestra los elementos de filtrado.



Fig 2. Sistema de filtrado de gases de salida del reactor

2.2 Pruebas de gasificación con resistencias eléctricas

Se repitieron las pruebas experimentales que había realizado el CIATEQ con el gasificador, pero en esta ocasión se hizo un acondicionamiento de los gases de salida, a través de una trampa de agua y un sistema de filtrado de gases de papel como se describieron en la sección 2.1. Esto para tener muestras de gases, las cuales se pudieron almacenar en tubo de ensayos con una solución de ácido sulfúrico al 2% y cloruro de sodio al 10%, como se muestra en la figura 3. Por otra parte se hizo una derivación de los gases acondicionados para que fueran analizados por el ULTRAMAT 6 como se describirá más adelante.

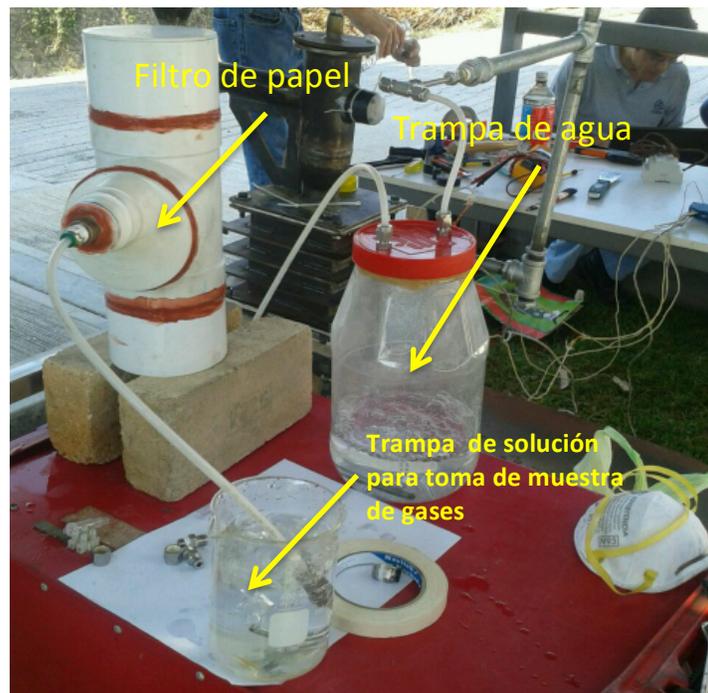


Fig 3. Acondicionamiento de gases y sistema de toma de muestra de gases

Por otra parte, se hicieron mediciones de temperatura tanto en el interior del reactor, así como a la salida de los gases. Por último se hizo un monitoreo de la potencia eléctrica suministrada a las resistencias, para hacer una caracterización del rendimiento térmico del reactor.

2.3 Pruebas del reactor con el receptor de cavidad en el HoSIER

Las instalaciones del Horno Solar del Instituto de Energías Renovables, denominado HoSIER, es un laboratorio nacional que forma parte de las instalaciones de Laboratorio Nacional de Sistemas de concentración solar y química solar LACyQS. En las instalaciones del HoSIER se llevaron a cabo campañas experimentales para la caracterización térmica del receptor solar diseñado por CIATEQ, dicho receptor tiene la función de captar la radiación solar concentrada para aprovecharla como fuente de energía en el reactor de gasificación de PET.

Uno de los objetivos de la campaña experimental fue verificar que el diseño del receptor solar diseñado por CIATEQ era capaz de alcanzar las temperaturas de aproximadamente 800 °C que es la temperatura que alcanza el reactor con resistencias eléctricas y es la temperatura a la cual se da el proceso de gasificación de PET. Otro punto a considerar en los objetivos, es comparar el comportamiento térmico del reactor cuando se utiliza una fuente de calor por resistencias eléctricas y cuando se utiliza como fuente de calor la radiación solar concentrada.

Los principales elementos del HoSIER son tres, el primero de ellos, es un elemento óptico denominado heliostato, este elemento es un conjunto de espejos planos, hace un seguimiento del sol y su función es re direccionar la radiación directa del sol a un segundo elemento óptico que es el concentrador. El elemento concentrador tiene una curvatura vuelve a re direccionar la radiación solar pero a un solo punto denominado punto focal del concentrador. El tercer elemento del HoSIER es el atenuador, el cual es una persiana que se interpone entre el heliostato y el concentrador y este nos permite controlar el paso de la radiación solar y con ello controlar la potencia del HoSIER.

En la figura 4 se muestra un esquema general de los principales elementos del HoSIER. También se cuenta con una mesa de trabajo con movimiento en tres ejes (X,Y,Z), el cual nos permite soportar los dispositivos experimentales y controlar la posición de los mismos,

en este caso en la mesa de trabajo se colocó el reactor de gasificación de PET.

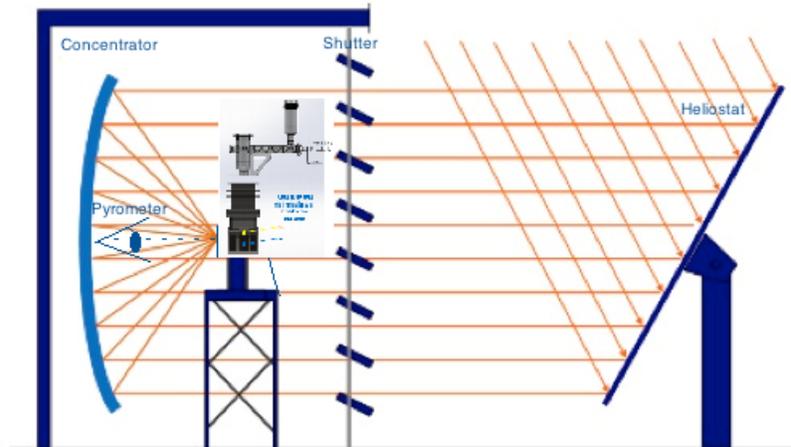


Fig 4. Esquemas del montaje experimental del gasificador del CIATEQ en el HoSIER

Antes de colocar el reactor en la mesa de trabajo del HoSIER, se colocaron termopares de tipo K en diferentes puntos del receptor, estas mediciones de temperatura nos ayudaran para monitorear el comportamiento térmico del receptor a lo largo de la campaña experimental. En la figura 5 se muestra una secuencia de la colocación de termopares. En el receptor se colocaron seis termopares. En la figura se muestra un esquema en el que se ilustra los lugares donde fueron colocados dichos termopares. En el resto del reactor también se colocaron termopares para monitorear el comportamiento térmico en puntos de interés, principalmente la cámara de reacción.

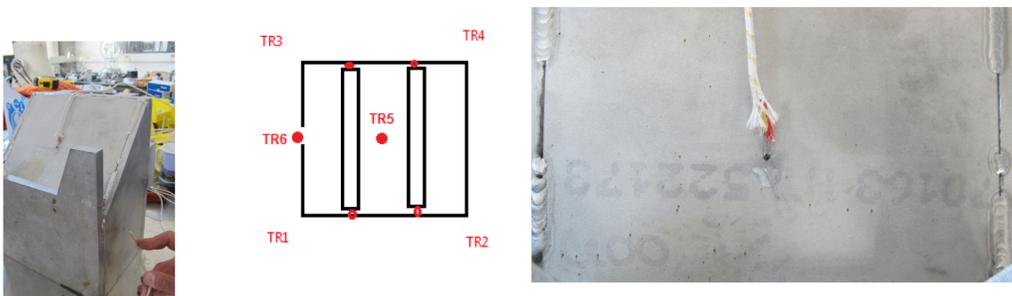


Fig 5. Instrumentación del receptor del gasificador del CIATEQ

Como se mencionó anteriormente el HoSIER concentra la radiación solar en una zona denominada punto focal, la cual está localizada a una distancia de 3.68 m, en la figura 6 se muestra el reactor colocado en la mesa de trabajo a la distancia focal del sistema de concentración.

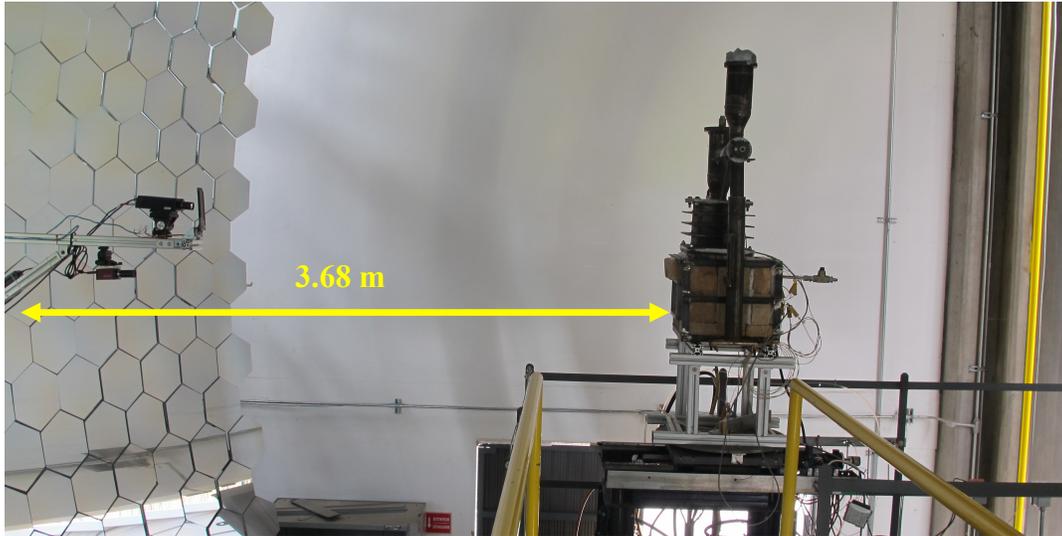


Fig 6. Colocación del gasificador del CIATEQ en la zona focal del HoSIER

2.4 Sistema de adquisición de datos

Para la adquisición de los datos experimentales en las dos pruebas, se desarrollaron dos programas de adquisición de datos en LabView® en los cuales cada uno de estos programas se personalizaron dependiendo de las mediciones que se realizaron en cada uno de los experimentos.

2.4.1 DAQ para experimentos de gasificación con resistencias eléctricas

En el caso de la experimentación de gasificación con resistencias eléctricas se desarrollo un sistema de adquisición de tres grupos de variables principales. El primer grupo las temperaturas: en el interior del reactor (T_1 , T_2 y T_3), alimentación de PET, salida de los gases T_5 y la temperatura ambiente T_6 , como se muestra en la figura 7. El segundo grupo de variables las lecturas del ULTRAMAT 6 (CO , CO_2 , CH_4 y O_2) el cual se capturan en porcentaje de concentración. El tercer grupo consintió con las lecturas de voltaje y corriente suministradas a las resistencias eléctricas.

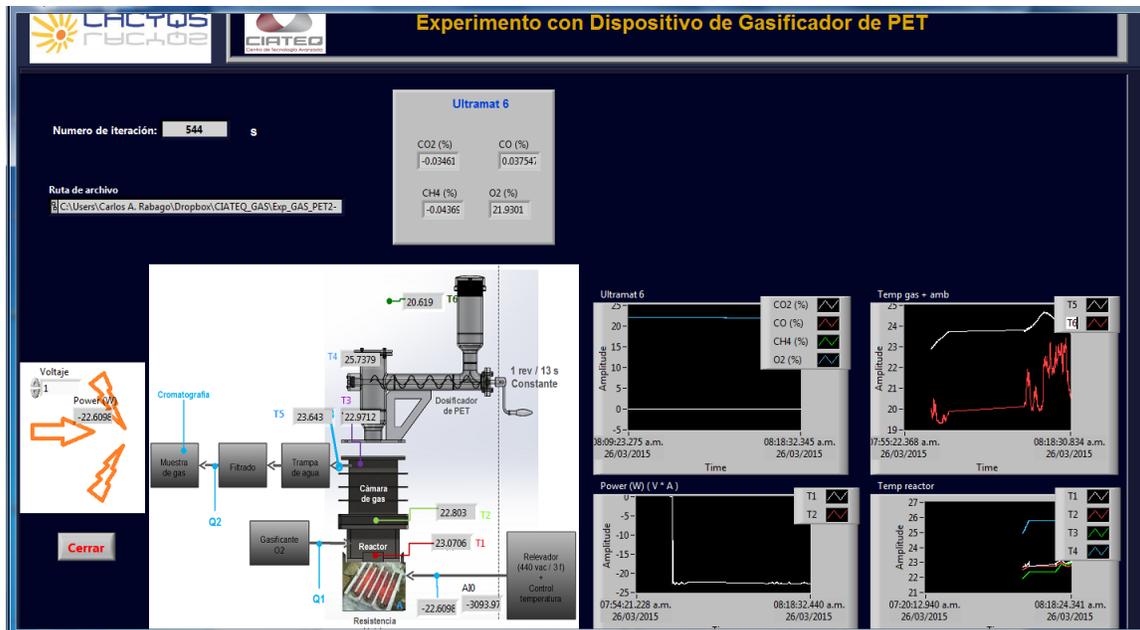


Fig 7. Panel frontal del sistema de adquisición para los exp. con resistencias

2.4.2 DAQ para experimentos de caracterización del receptor del prototipo

En el caso de la experimentación del calentamiento del gasificación con radiación concentrada en el HoSIER se desarrollo un sistema de adquisición de dos grupos de variables principales. El primer grupo las temperaturas: en el interior del reactor (T_1 , T_2 y T_3), temperaturas en la parte superior del receptor (TR_1 , TR_2 , TR_3 y TR_4), la temperatura en la cara lateral del receptor TR_6 y la temperatura en el fondo del receptor TR_5 , como se muestra en la figura 8. El segundo grupo de variables la lectura de la potencia concentrada por el HoSIER (Power), la cual esta en función de la radiación directa (DNI), la apertura del shutter (%) y el factor del horno, el cual fue evaluado previamente para las condiciones de operación del HoSIER en ese momento.

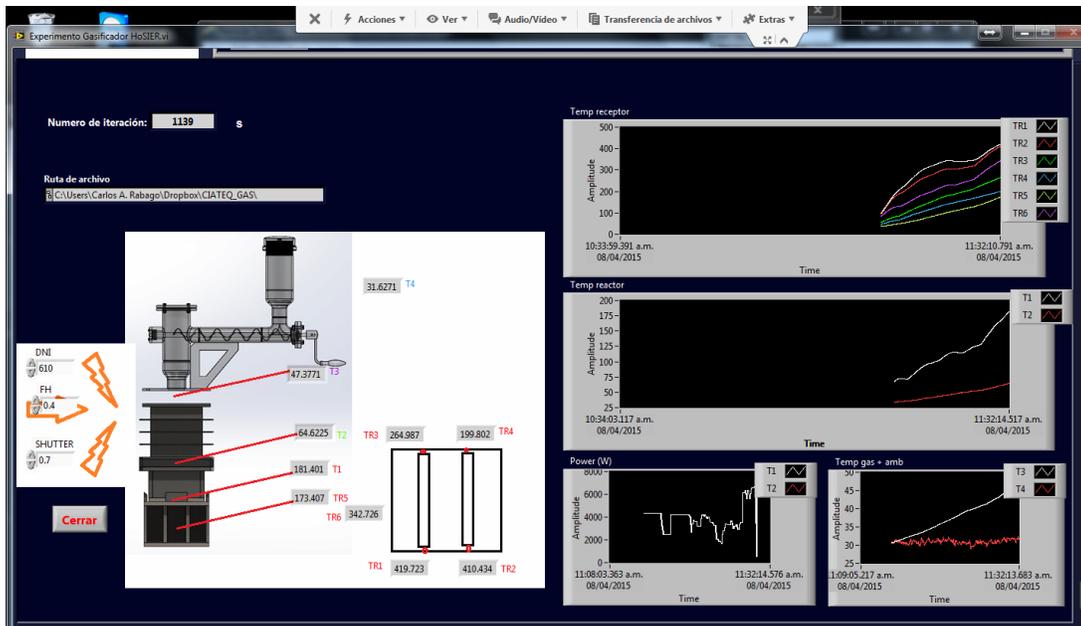


Fig 8. Panel frontal del sistema de adquisición para los exp. en el HoSIER

3 Resultados experimentales y su análisis

Como ya se comentó en puntos anteriores, la experimentación se dividió en dos partes:

1-. Gasificación con resistencias eléctricas

En este experimento se gasificó PET empleando como suministro energético resistencias eléctricas, en esta prueba, se tomaron medidas de temperaturas en el interior del reactor: temperatura en la base del reactor (T_1), temperatura en la cámara de enfriamiento del reactor (T_2), temperatura en la boca de alimentación del reactor (T_3), temperatura en el tornillo de alimentación de PET (T_4), temperatura a la salida de los gases (T_5), así como la temperatura ambiente (T_6). como se muestra en la figura siguiente. Al finalizar la gasificación se tomó una muestra de los gases de salida y se analizaron en el ULTRAMAT

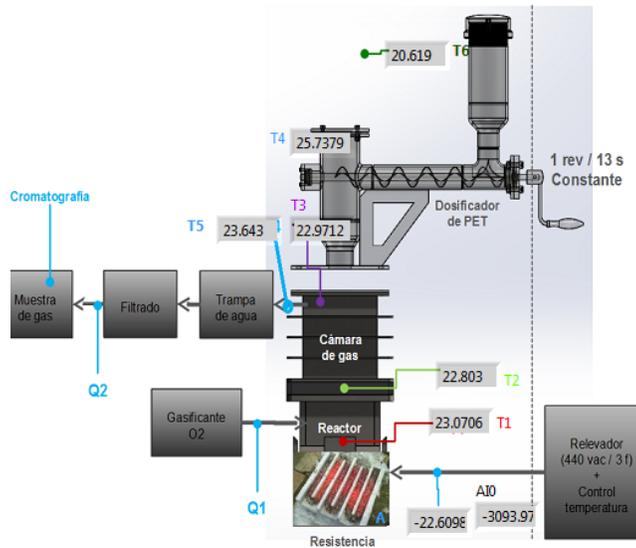


Fig 9. Esquema del gasificador del CIATEQ

Por otra parte, se instrumentó la salida de los gases para analizar en línea el porcentaje de monóxido de carbono, metano y dióxido de carbono (CO , CH_4 y CO_2 respectivamente) que se obtiene del reactor a los 800°C , por otra parte, cuando se alcanzó este estado, se tomaron muestras de gas de síntesis para hacer cromatografía de gases y cuantificar el porcentaje de hidrógeno (H_2) obtenido en las muestras.

Por último, se monitorió el suministro de potencia eléctrica suministrada al gasificador del CIATEQ, midiendo la corriente y el voltaje suministrado a las resistencias eléctricas, para evaluar su rendimiento térmico.

2-. Evaluación del receptor de concentración solar para el gasificador del CIATEQ en el HoSIER

Para la caracterización del receptor de cavidad del gasificador en el HoSIER, se colocó la apertura del receptor en la zona focal, como se muestra en la figura 6. Se buscó que la máxima concentración no se diera en las paredes laterales del receptor, para no dañarlos. Lo que se buscó con esta prueba, fue conseguir que el interior del reactor se mantuviera a una temperatura de 800°C durante un periodo de una hora. A través de la apertura del shutter se incrementa la potencia radiativa concentrada que incide en el interior de la

logro hacer monitoreo en línea de la producción de los gases de síntesis, la potencia eléctrica suministrada y la lectura de todas las temperaturas.

1° Prueba con el reactor a 800 °C

En esta prueba se consiguió alcanzar la temperatura de 800°C del gasificador en 2000 segundos (aprox. 33 minutos) y se mantuvo en esta temperatura por otro lapso de tiempo de otros 3000 segundos, en los cuales se inyectó PET en dos ocasiones, a los 2800 segundos y a los 4000, en los cuales se observa incrementos de temperatura en la parte superior de la cámara de gasificación (T_2), así como en la salida de gases (T_5). Ver la figura 11.

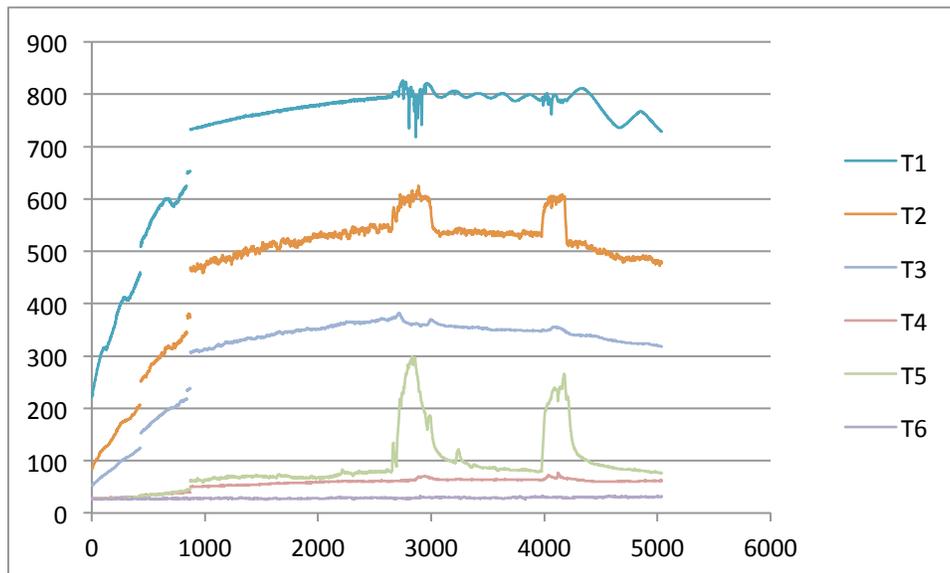


Fig 11. Grafica de temperaturas en el gasificar en la 1ª prueba

2° Prueba con el reactor a 800 °C

En esta prueba se consiguió alcanzar la temperatura de 800°C del gasificador en 8000 segundos (más de 2 horas), y se mantuvo en esta temperatura por un lapso de tiempo de otros 1000 segundos, en los cuales se inyectó PET solo en una ocasión, a los 7350 segundos, en los cuales se observa incrementos de temperatura en la parte superior de la cámara de gasificación (T_2), así como en la salida de gases (T_5). Ver la figura 12. Al

finalizar el calentamiento del reactor, se perdió comunicación con el DAQ y no se hicieron mediciones en el enfriamiento del gasificador.

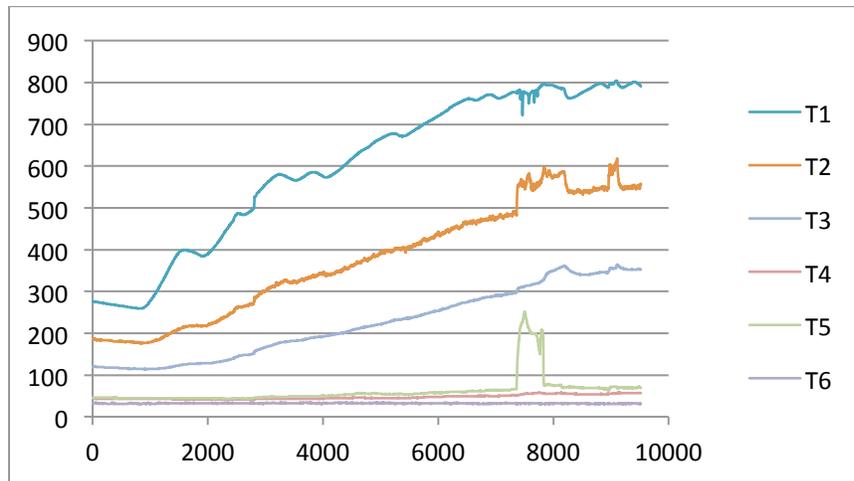


Fig 12. Grafica de temperaturas del gasificador en la 2ª prueba

3º Prueba con el reactor a 800 °C

En esta prueba se consiguió alcanzar la temperatura de 800°C del gasificador en 8000 segundos (más de 2 horas), y se mantuvo en esta temperatura por un lapso de tan solo por 500 segundos, en los cuales se inyectó PET en dos ocasiones, a los 4000 y 8000 segundos, donde se tomaron muestras a los 600 y 800 °C, respectivamente, en los cuales se observa ligeros incrementos de temperatura en la parte superior de la cámara de gasificación (T_2), así como en la salida de gases (T_5). Ver la figura 13.

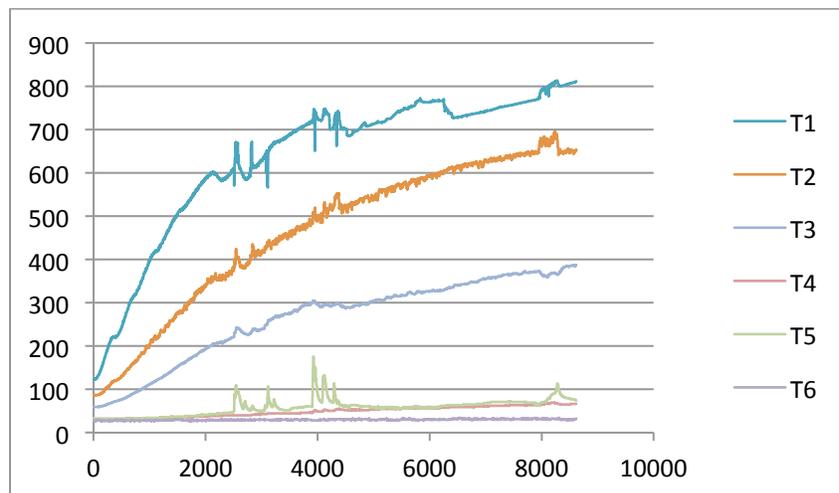


Fig 13. Grafica de temperaturas del gasificador en la 3ª prueba

4° Prueba con el reactor a 800 °C

En la última prueba se consiguió alcanzar la temperatura de 800°C del gasificador en 6000 segundos (1 hora y 40 minutos), en esta prueba se midió la potencia eléctrica suministrada la cual fue de 1850 W, en el momento que la temperatura del reactor alcanzó los 800°C la corriente suministrada por el control fue cambiando para mantener la temperatura en torno a este valor. En este momento se suministró el PET en el interior del gasificador y se tomaron las muestras del gas de síntesis, así como las mediciones de las concentraciones de los gases de salida. Ver la figura 14.

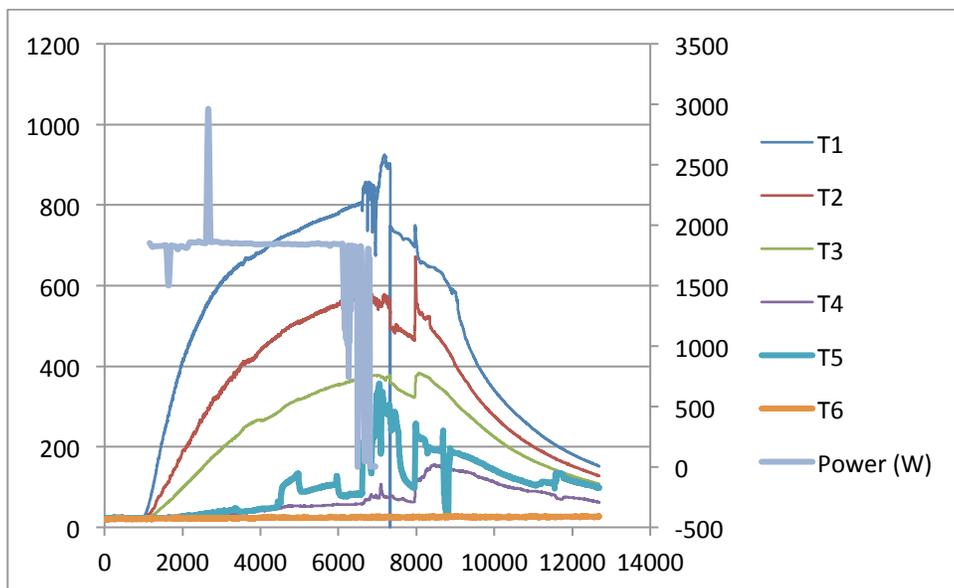


Fig 14. Gráfica de temperaturas de la 4ª prueba de gasificación

3.1.2 Pruebas en el HoSIER

En la figura 15 se presentan las temperaturas del interior del reactor, así como la radiación directa (I_{dir}) de la primera prueba del receptor de cavidad del gasificador del CIATEQ, en este caso, como se puede observar en la gráfica, las condiciones de nubosidad no permitieron tener radiación directa por arriba de 750 W/m², lo que obligó a detener la experimentación, ya que la máxima temperatura alcanzada en el interior del reactor, no superó los 280 °C.

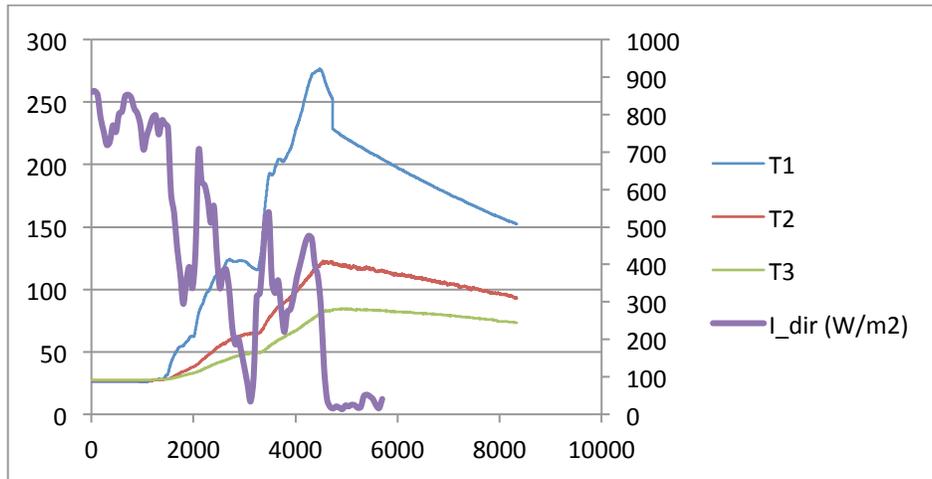


Fig 15. Grafica de temperaturas del gasificador en la 1ª prueba en el HoSIER

En la figura 16, se presentan las temperaturas del receptor, las cuales no alcanzaron los 500°C, lo que obligo a detener la prueba.

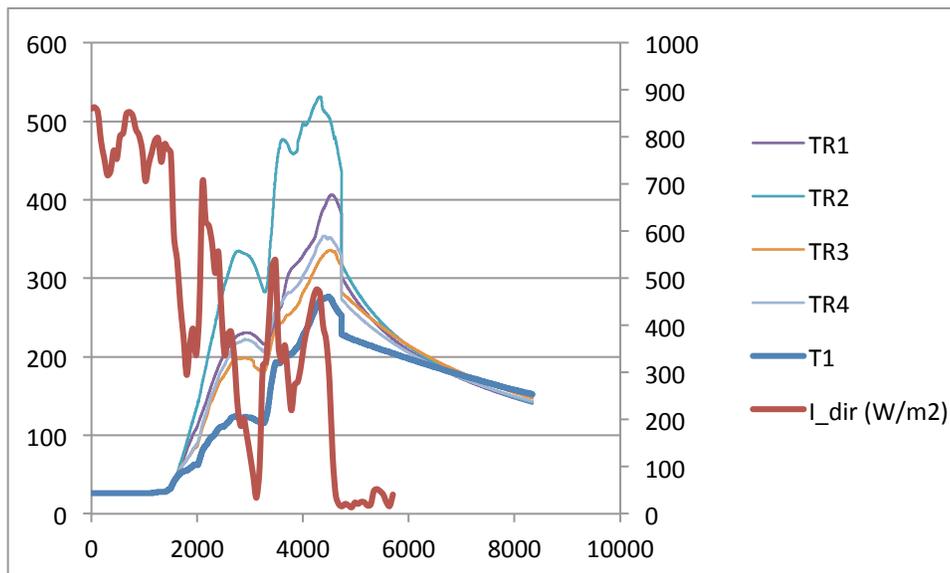


Fig 16. Grafica de temperaturas del receptor de cavidad en la 1ª prueba en el HoSIER

La figura 17 muestra el comportamiento de las temperaturas del interior del gasificador para la segunda prueba del receptor en el HoSIER. En esta ocasión en un periodo de 4000 segundos (poco más de 1 hora) se llego a 800 °C en la base y se mantuvo así por 1000 segundos.

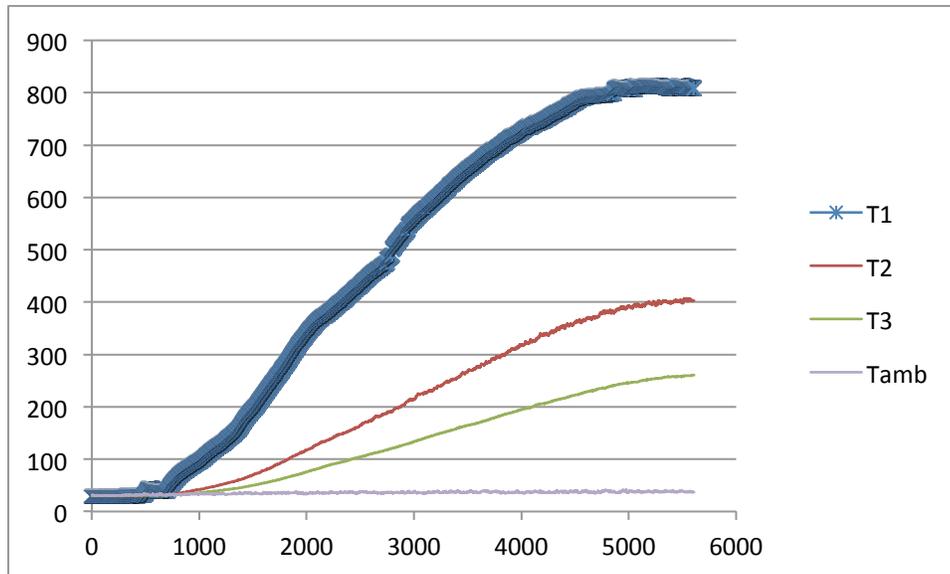


Fig 17. Grafica de temperaturas del gasificador en la 2ª prueba en el HoSIER

En la figura 18 se muestra el comparativo de las temperaturas en el receptor y la base del gasificador. Donde se observa que el tiempo característico de receptor es menor a 2000 minutos, mientras que los tiempos de respuesta del gasificador (T1) es de 4000 segundos, donde se observa la inercia térmica del gasificador es mucho mayor al receptor.

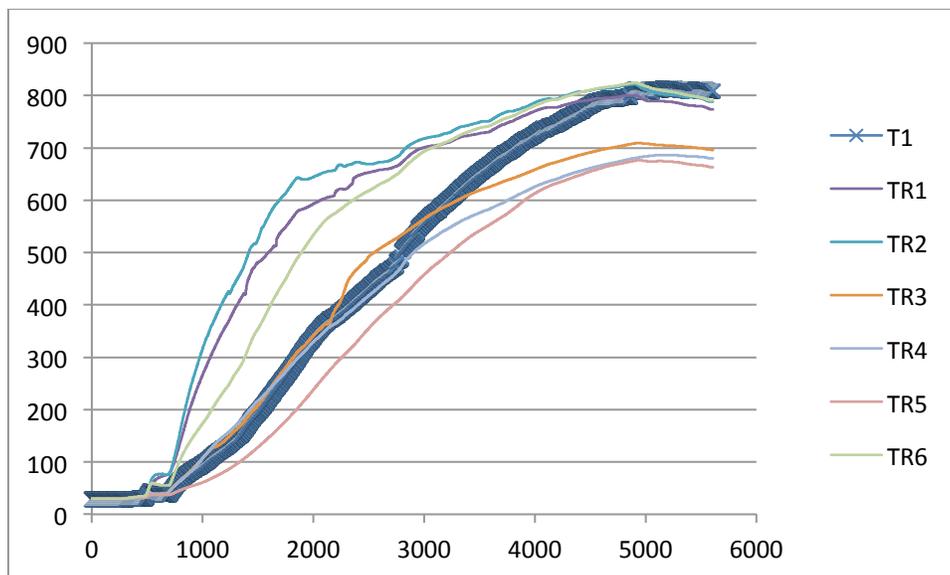


Fig 18. Grafica de temperaturas del receptor de cavidad en la 2ª prueba en el HoSIER

La figura 19 muestra las temperaturas en el interior del gasificador para la tercera prueba, así como la potencia concentrada incidente en el interior del receptor de cavidad. En este gráfico se observa que se requieren 4000 segundos para llegar a la temperatura de 800

°C y se requiere de 9500 W para llegar a esta potencia. Se mantuvo esta temperatura por 2000 segundos, incrementando y disminuyendo la apertura del atenuador para mantener esta condición.

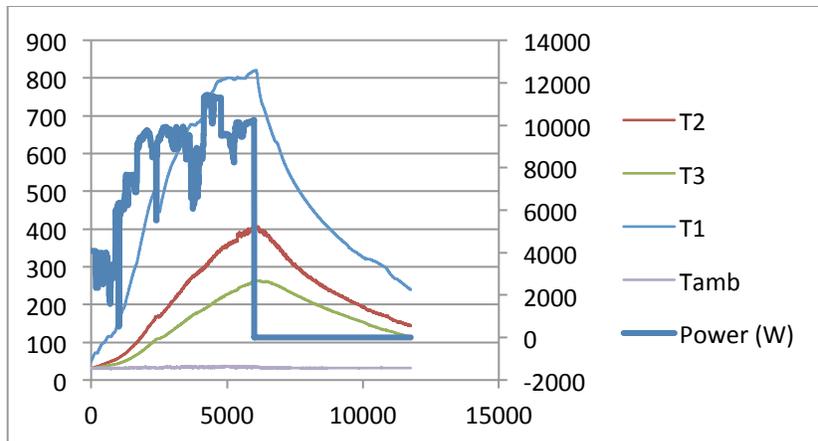


Fig 19. Grafica de temperaturas del gasificador en la 3ª prueba en el HoSIER

La figura 20 muestra el comparativo de las temperaturas del receptor (TR_1 , TR_2 , TR_3 , TR_4 , TR_5 y TR_6) y la base del reactor (T_1), donde se observa que los tiempos característicos de ambos sistemas se encuentran desfasados por cerca de 2000 segundos, esto debido al mal acoplamiento térmico del receptor con la cámara del reactor.

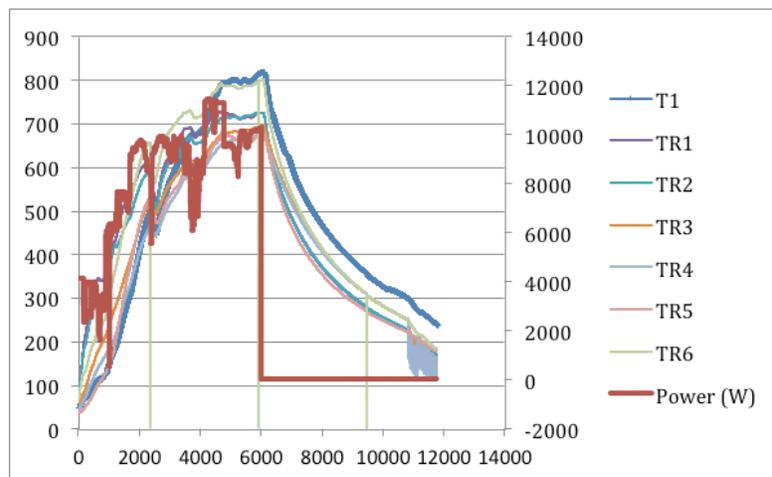


Fig 20. Grafica de temperaturas del receptor de cavidad en la 3ª prueba en el HoSIER

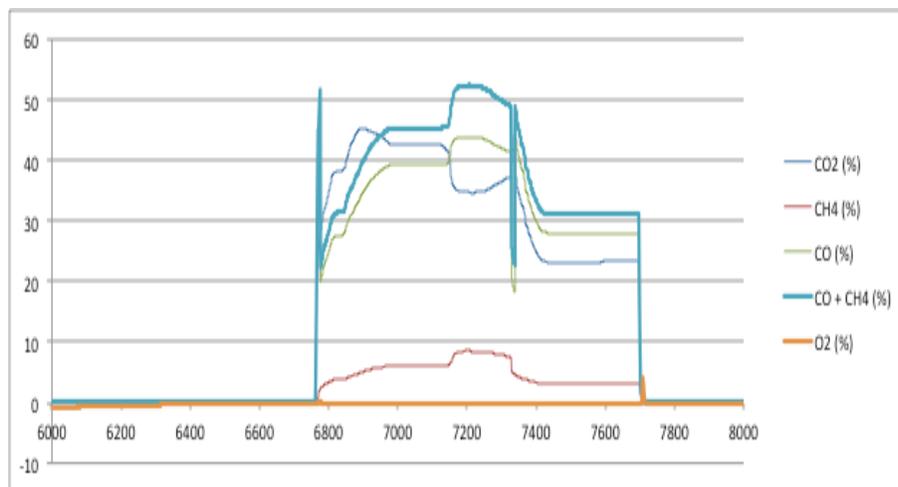
3.2 Medición de analizadores en línea de gases

De los cuatro ensayos de gasificación, el primer ensayo no se tomaron mediciones en línea de la salida de gases. Sin embargo, para el segundo y tercer ensayo se miraron en

la pantalla de los analizadores los valores de producción de gases, donde en el segundo ensayo se obtuvo un 5.3% de CO + CH₄, mientras que en el tercer ensayo se obtuvo un 30.9% . Para el caso del cuarto ensayo donde si se hicieron mediciones en línea, la concentración de estos gases supero 48.8% sin contar las concentraciones de H₂ las cuales se midieron a través de cromatografía.

		Analizador ULTRAMAT 23				Gas de Síntesis
	Fecha	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	O ₂ (%)	CO + CH ₄ (%)
EXP GAS_PET-1	19/03/15	-	-	-	-	
EXP GAS_PET-2	19/03/15	5.3	5	0	20.26	5.3
EXP GAS_PET-3	21/03/15	28.1	37.5	2.8	2.15	30.9
EXP GAS_PET-4	26/03/15	42.6	39.6	6.2	0.25	48.8

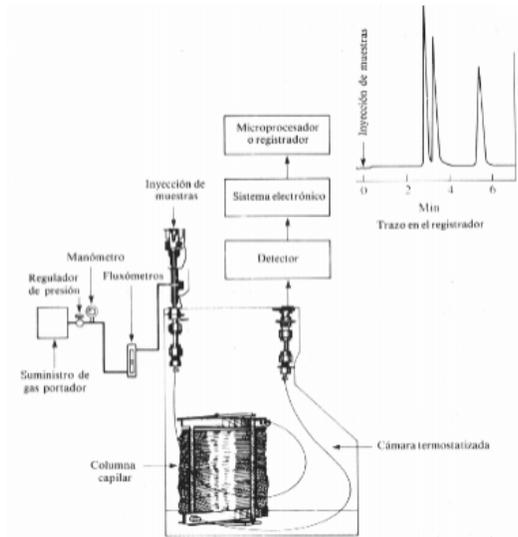
La figura 21 muestra el comportamiento de la producción de gases de síntesis del cuarto ensayo, en este se observa que se obtuvo un primer estado permanente con en 48.8% de gas de síntesis sin contar la producción de hidrogeno, sin embargo, debido a una fluctuación en el suministro de oxigeno, se observa que hay un incrementó en el CO y CH₄ y se disminuye la cantidad de CO₂.



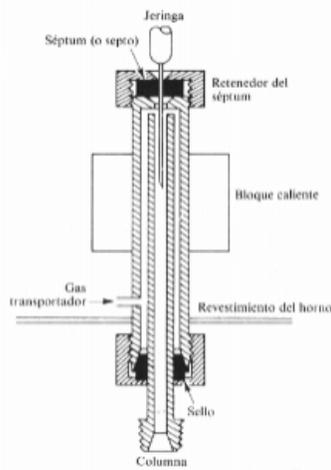
3.3 Cromatografía de gases de la muestra

La cromatografía de gases consiste es un método en el cual son separados molecularmente los componentes de una muestra, para este proceso son acoplados

varios módulos. Es necesario proporcionar un flujo constante de gas de arrastre, permitir la introducción de vapores de la muestra, contar con una longitud suficiente en la fase estacionaria, mantener la columna a temperaturas adecuadas, detectar los componentes que eluyen de la columna con un equipo adecuado, adquirir una señal legible y proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente.

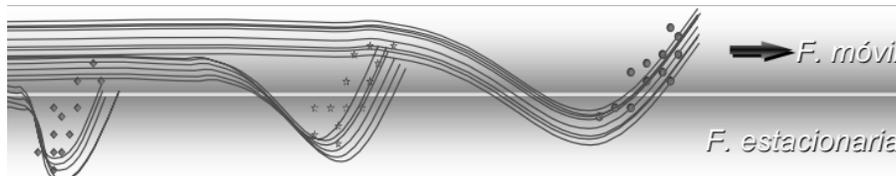


De manera estándar, se utiliza la inyección directa de la muestra a un alineador de vidrio contenido en un bloque metálico, esto se realiza con una jeringa hipodérmica a través de un septum de goma (silicona autosellante). El bloque se mantiene a temperaturas necesarias para vaporizar instantáneamente la muestra permitiendo que pueda ser barrida hacia la columna por el gas de arrastre.



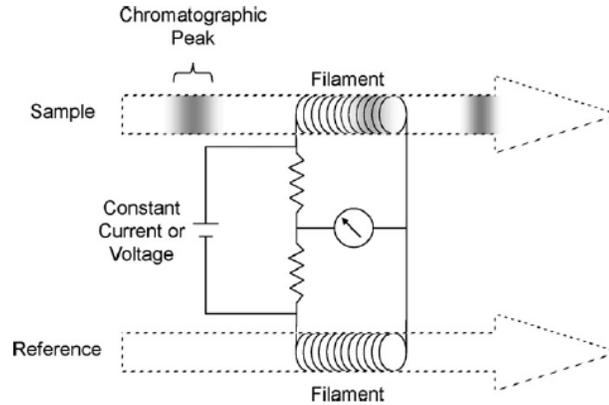
En la cromatografía se utilizan dos tipos de columnas, de relleno o capilares. Varían en longitud desde 2 hasta 50 metros y se construyen de vidrio, teflón, o acero inoxidable. Para el proceso de separación la temperatura de la columna es importante ya que tiene relación con el punto de ebullición de la muestra, por esta razón se hace necesario utilizar un sistema de calentamiento, es decir, un horno. Este horno debe tener la posibilidad de ser calentado y enfriado de manera rápida, por lo cual se requiere un sistema eficiente de flujo de aire.

El proceso de separación emplea dos fases, la móvil y la estacionaria. La primera de ellas puede ser un líquido, gas o un fluido súper crítico. En la segunda tiene que existir una relación de área/volumen elevada, para esta fase se utiliza un líquido o un sólido. Al ser arrastrada la muestra los componentes se reparten entre las dos fases, esto implica ciertas consideraciones de afinidad. Las moléculas de cada componente tienen diferentes constantes de reparto.



Después de ser separada la muestra, los compuestos fluyen hacia un detector, de los cuales existen diferentes tipos: detector de conductividad térmica, detector de ionización de llama, detector de captura de electrón, detector fotométrico de flama, detector de conductividad electrolítica, detector de fotoionización, entre otros.

En este caso se utiliza un detector de conductividad térmica. Este dispositivo trabaja con dos filamentos calentados con cierta carga eléctrica, por uno de ellos pasan los efluentes que salen de la columna y que contienen los componentes de la muestra por separado. Por el otro filamento se hace fluir un gas de referencia. La temperatura del filamento se encuentra en función de la conductividad del compuesto y la magnitud de este, al ser modificada variara su resistencia la cual es censada y comparada con el otro filamento.

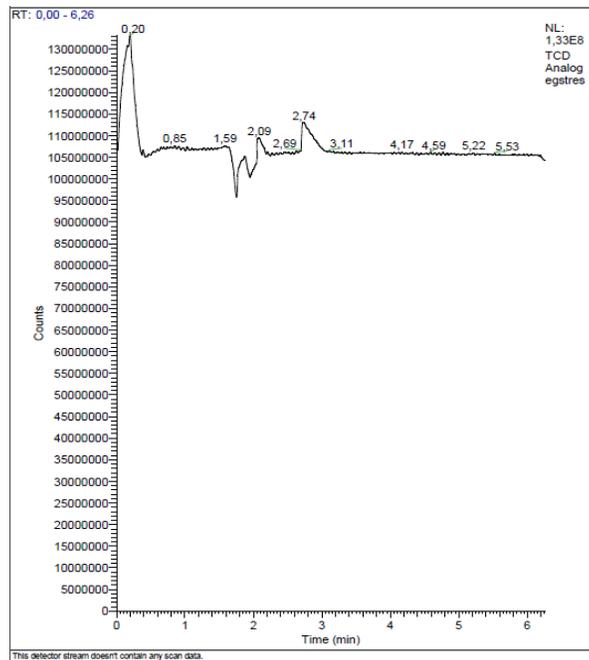


El cromatógrafo en el que se realizaron las muestras es de la marca GC THERMI FINNIGAN, el cual tiene un detector de conductividad térmica, la columna empleada se utiliza para gases no polares (TRACE PLOTTG-BOND MSIEVE 5^a GC). El gas de arrastre fue Argón, con temperaturas de 120°C en el inyector, 100°C en la columna y 180°C en el detector.

Resultados

Durante las pruebas de gasificación de PET se obtuvieron una serie de muestras de gas de síntesis cuando el proceso contaba con cierta estabilidad. El interés principal se encuentra en la existencia de hidrogeno, ya que este aporta de manera importante a la riqueza energética de los gases producidos.

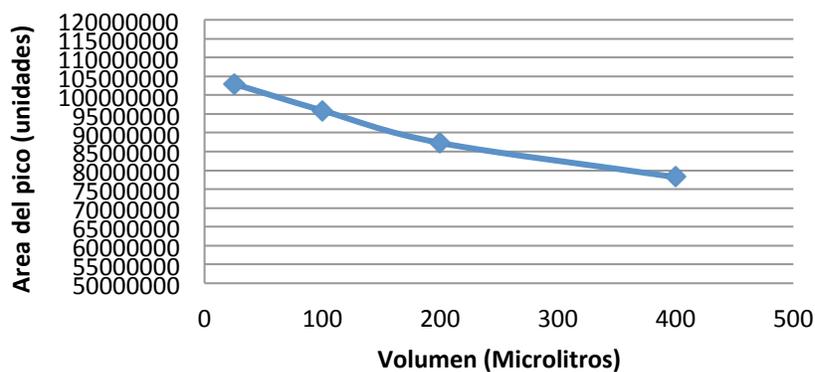
El siguiente cromatograma es el análisis de una muestra de gas de síntesis, en él se pueden distinguir cuatro picos que permiten conocer los componentes y sus cantidades, estos aparecen a diferentes tiempos de respuesta. El análisis de estequiometría resalta que la gasificación produce hidrogeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano. Así mismo, en el analizador de gases ULTRAMAT se comprobó la existencia de estos con sus datos en porcentajes sobre el flujo de gas. Por tal motivo se considera que esas señales detectadas por el cromatógrafo corresponden a esos elementos.



Atendiendo lo anterior, el análisis se centró en cuantificar la presencia de hidrogeno contenida en las muestras, para esto se obtuvieron targets de hidrogeno puro de un banco de gases. Se analizaron por el método de cromatografía con diferentes volúmenes de inyección, permitiendo ajustar los resultados del gas de síntesis con estas referencias y expresarlo en porcentaje de volumen.

Es importante mencionar que los cromatogramas de los targets muestran que el hidrogeno tiene un tiempo de respuesta de 1.7 minutos, lo que valida su existencia en los cromatogramas de las muestras ya que en todas se presentaron picos en ese instante.

Función hidrogeno



Los resultados de las cromatografías se resumen en la siguiente tabla:

			Tiempo de respuesta (minutos)				Cantidad de Hidrogeno en %
			1.7	1.9	2	2.7	
GAS DE SINTESIS			Valor de area				
19 de Marzo							
M1	05:20 p.m.	bgsuno	9.49x10 ⁷	1x10 ⁸	1.09x10 ⁸	1.12x10 ⁸	11.162
M2	05:20 p.m.	bgsdos	9.54x10 ⁷	1x10 ⁸	1.09x10 ⁸	1.13x10 ⁸	10.581
M3	05:20 p.m.	bgstres	9.68x10 ⁷	1x10 ⁸	1.09x10 ⁸	1.14x10 ⁸	9.049
GAS DE SINTESIS							
19 de marzo							
M1	12:00 p.m.	cgsuno	9.64x10 ⁷	1.01x10 ⁸	1.09x10 ⁸	1.14x10 ⁸	9.471
M2	12:00 p.m.	cgsdos	9.45x10 ⁷	9.97x10 ⁷	1.09x10 ⁸	1.13x10 ⁸	11.627
M3	12:00 p.m.	cgstres	9.59x10 ⁷	9.97x10 ⁷	1.09x10 ⁸	1.14x10 ⁸	10
GAS DE SINTESIS							
26 de marzo							
M1	10:00 a.m.	egsuno	9.35x10 ⁷	1x10 ⁸	1.9x10 ⁸	1.14x10 ⁸	12.79
M2	10:00 a.m.	egsdos	9.49x10 ⁷	1x10 ⁸	1.8x10 ⁸	1.14x10 ⁸	11.162
M3	10:00 a.m.	egstres	9.55x10 ⁷	1x10 ⁸	1.10x10 ⁸	1.13x10 ⁸	10.465
BLANCO HIDROGENO							
μl							
blhuno	100		9.59x10 ⁷				
blhdos	200		8.73x10 ⁷				
blhcuatro	400		7.82x10 ⁷				
blhcero	25		1.03x10 ⁸				

La producción de hidrogeno en la prueba de gasificación del día 19 de marzo las 12:00 p.m. oscilo con una desviación estándar de 0.89 sobre el 10.26% del gas de síntesis, en la realizada a las 5:20 p.m. el valor medio fue de 10.36% con una desviación de 0.91, para las pruebas realizadas el día 26 de marzo a las 10:00 a.m. se obtuvieron muestras que presentaron un promedio de 11.47% de hidrogeno en el gas producido con una desviación de 0.97.

4 Conclusiones

En la caracterización de la producción de gas de síntesis a partir de PET se evaluó que de 30 a 48.8% de CO + CH₄, más de un 10 a 11.5% de H₂, es decir que en buenas condiciones de 40 a 60% de gas de síntesis (CO, CH₄ y H₂).

La producción de gas de síntesis, esta fuertemente ligado a el suministro de O₂ que se suministra en el reactor.

Los tiempos de calentamiento del gasificador con resistencias eléctricas resulta ser de 4000 segundos, muy similar a lo que se consigue con el receptor de cavidad.

Los tiempos de respuesta del receptor y del gasificador son distintos debido a que no se tiene un buen acoplamiento térmico.

5 Referencias