



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO.**



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**“ESTUDIO CALORIMÉTRICO Y
DEL CROMATOGRAMA BASE DE
LA MEZCLA PATRÓN DEL GAS
DE SÍNTESIS GENERADA EN UN
GASIFICADOR QUE OPERA CON
BIOMASA.”**

T é s i s.

Que para obtener el título de

I n g e n i e r o Q u í m i c o

Presenta.

Dulce María López Guadarrama

Director: Dr. Javier E. Aguillón Martínez

México D.F., SEPTIEMBRE 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

CONTENIDO	Página
INTRODUCCION.....	1
PROLOGO	3
RESUMEN.....	4
CAPITULO I ANTECEDENTES.....	5
1.1 Biomasa	6
1.2 Formación de la Biomasa	7
1.3 Tipos de Biomasa	7
1.3.1 Biomasa Natural	7
1.3.2 Biomasa Residual	8
1.3.2.1 Biomasa Residual Seca.....	8
1.3.2.2 Biomasa Residual Húmeda.....	8
1.3.3 Cultivos Energéticos.....	8
1.4 Características de la Biomasa	8
1.4.1 Composición química y física	8
1.4.2 Humedad Relativa (HR)	9
1.4.3 Porcentaje de ceniza	9
1.4.4 Poder calórico.....	9
1.4.5 Recolección, transporte y manejo.....	9
1.5 Procesos de conversión de la biomasa en energía	9
1.5.1 Procesos Termoquímicos.....	9
1.5.1.1 Combustión.....	9
1.5.1.2 Gasificación	9
1.5.1.3 Pirólisis	9
1.5.2 Procesos bioquímicos	10
1.5.2.1 Digestión anaeróbica	10
1.5.3 Volumen y tipo de biomasa.....	10
1.5.4 Procesos de conversión.....	10
1.5.5 Aplicación de la energía	10
1.5.5.1 Generación de energía térmica	11
1.5.5.2 Generación de energía eléctrica.....	11
1.5.5.2.1 Ciclo de vapor.....	11
1.5.5.2.2 Turbina de gas	11
1.5.5.2.3 Motor alternativo	11
1.5.5.2.4 Cogeneración.....	11
1.5.5.3 Generación de energía mecánica	11
1.6 Ventajas y desventajas del empleo de la biomasa	11
1.6.1 Ventajas	12
1.6.2 Desventajas.....	12

CAPITULO II GASIFICADOR DE BIOMASA	14
2.1 Tipos de gasificadores	14
2.2.1 Gasificador de corriente ascendente o tiro directo	14
2.1.2 Gasificador de flujo descendente o tiro invertido.....	14
2.1.3 Gasificador de lecho fluidizado	15
2.1.4 Gasificador de tiro transversal.....	16
2.2 Descripción de la planta piloto de gasificación de biomasa del Instituto de Ingeniería de la UNAM	16
CAPITULO III MEDICIÓN DE PODERES CALORIMÉTRICOS EN UNA BOMBA DE COMBUSTIÓN DE OXIGENO	19
3.1 Calorimetría.....	19
3.2 Calorímetro.....	19
3.2.1 Calorímetro Adiabático	19
3.2.2 Calorímetro Isoperibólico.....	19
3.2.3 Calorímetro Isotérmico.....	19
3.3 Bomba calorimétrica de combustión de oxígeno Parr 1108.....	19
3.4 Procedimiento de operación de la bomba calorimétrica Parr 1108	21
3.5 Algoritmo de cálculos.....	22
3.6 Análisis de resultados	23
CAPITULO IV OBTENCIÓN DEL CROMATOGRAMA BASE DE UNA MEZCLA PATRÓN DE GAS DE SINTESIS	25
4.1 Cromatografía.....	25
4.2 Tipos de cromatografía.....	25
4.1.1 Cromatografía plana	25
4.2.2 Cromatografía en Columna	25
4.2.3 Cromatografía de gases	25
4.4 Cromatógrafo de gases	26
4.3.1 Gas portador	26
4.3.2 Sistema de inyección de muestra.....	26
4.3.3 Loops	26
4.3.4 Columnas cromatográficas	26
4.3.5 Detector de Conductividad Térmica (DCT)	26
4.3.6 Panel de control	27
4.4 Cromatógrama	28
4.4.1 Tiempo de retención t_r	28
4.4.2 Tiempo de retención ajustado t'_r	28
4.4.3 Tiempo muerto t_0	28
4.4.4 Ancho de la base W_b	28
4.4.5 Ancho de la mitad de la base $W_{1/2}$	28
4.4.6 Número de platos teóricos (N).....	28
4.5 Programación del cromatógrafo de gases Back 910.....	29
4.6 Procedimiento general de operación del cromatógrafo buck 910	30

4.7 Funcionamiento previsto	33
4.8 Programa PeakSimple	34
4.9 Análisis de resultados	36
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES	54
ANEXO1	55
ANEXO2	75
BIBLIOGRAFÍAS.....	93

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS	PÁGINA
Fig. 1.1 Ciclo de la Biomasa	7
Fig. 2.1 Gasificador de corriente ascendente o tiro directo	14
Fig. 2.2 Gasificador de flujo descendente o tiro invertido	15
Fig. 2.3 Gasificador de flujo descendente instalado en Planta Piloto.....	15
Fig. 2.4 Gasificador de lecho fluidizado	15
Fig. 2.5 Gasificador de tiro transversal	16
Fig. 2.6 Planta piloto de gasificación de Biomasa del Instituto de Ingeniería de la UNAM	17
Fig. 3.1 Bomba Calorimétrica PARR 1108.....	20
Fig. 3.2 Acercamiento de la gráfica temperatura vs. Tiempo.....	20
Fig. 3.3 Partes internas de la Bomba de Combustión de Oxígeno	21
Fig. 4.1 Diagrama de un cromatógrafo de gases	27
Fig. 4.2 Cromatógrafo de gases BUCK 910 y sus partes	27
Fig. 4.3 Cromatógrama.....	28
Fig. 4.4 Pantalla del programa PeakSimple.....	35
Fig. 4.5 Edición de canales.....	35

TABLAS	PÁGINA
Tabla 1.1 Estados típicos de la biomasa.....	8
Tabla 1.2 Procesos de conversión de la biomasa en energía.....	10
Tabla 3.1 Especies analizadas para la obtención de poderes caloríficos.....	23
Tabla 4.1 Datos registrados en los cromatógramas de mezclas puras.....	37
Tabla 4.2 Por cientos de área registrados por el cromatógrafo de gases BUCK910 En comparación con los por cientos de área de la mezcla patrón	49

INTRODUCCIÓN

Durante años recientes, el interés en la utilización de la biomasa para la generación de energía ha aumentado, puesto que tiene beneficios ambientales significativos.

El 11% del consumo de energía total del mundo es cubierto actualmente por la biomasa. Ya que es uno de los recursos energéticos renovables que proporcionan emisiones bajas de Dióxido de azufre (SO_2), Dióxido de carbono (CO_2) y la contaminación atmosférica de Óxido de Nitrógeno (NO_x), porque tiene menos contenido de sulfuro y de nitrógeno que los combustibles fósiles, siendo una contribución positiva para limitar el efecto de invernadero.

Las tecnologías para la conversión térmica primaria de la biomasa para la producción de la electricidad son combustión, gasificación, y pirolisis.

La gasificación de biomasa es un proceso termoquímico complejo que convierte los materiales ligno celulósicos en gas rico en hidrógeno por medio de un proceso parcial de la oxidación a temperatura alta y presenta las posibilidades altamente interesantes para que la biomasa sea utilizada como energía sustentable.

Bajo condiciones típicas de la gasificación, la composición del gas consiste principalmente en: Monóxido de Carbono (CO) (18-21%), Hidrógeno (H_2) (10-16%), Oxígeno (O_2) (1.5-2.5%), Metano (CH_4) (1-3%), y Nitrógeno (N_2) (40-54%) junto con rastros de los hidrocarburos (etano, etc.), de la ceniza volátil, de los compuestos condensables orgánicos (alquitrán), y de los componentes inorgánicos tales como el Cianuro Hidrogenado ó Ácido Cianhídrico (HCN) y el Amoníaco (NH_3), que al quemarse causa altas emisiones de Óxido de Nitrógeno(NO_x).

A pesar del conocimiento científico y técnico sobre los contaminantes emitidos, hasta la fecha, muy poca atención ha sido dedicada a la relación inicial alimentada de biomasa (ambas en sus componentes orgánicos e inorgánicos) y los menores productos al final del gasificador o entre los productos del mismo proceso.

Uno de los métodos más utilizados para la determinación de los componentes del gas de síntesis es la Cromatografía de Gases, la cual es una técnica de separación en el que los componentes a desglosar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye un lecho estacionario de gran desarrollo superficial y la otra es un fluido que pasa a través o a lo largo de un lecho estacionario.

El proceso de separación de los componentes de la mezcla a analizar se realiza por medio de la cromatografía de gases que emergen de la columna de separación. A la salida de la columna cromatográfica se encuentra un dispositivo de análisis o uno de recolección.

La cromatografía de gases se ha impuesto actualmente como método de separación en los campos analítico y preparativo, por ser simple en su fundamento y desarrollo, por la sencillez de su manejo, por la rapidez con que se efectúan las separaciones, por su bajo

costo y porque, en la mayor parte de los casos, la separación y la precisión son altamente satisfactorias.

Planteamiento del Problema:

Debido a los escasos registros de poderes caloríficos de residuos biomásicos y sus mezclas, uno de los objetivos de esta tesis, es obtener mediciones experimentales que nos ayuden a conocer el rango de valores para algunas especies, además de realizar la comparación de la composición del gas de síntesis obtenido por el gasificador, por lo que se requiere la realización del cromatograma base a partir de una mezcla conocida. El estudio se llevará a cabo mediante la utilización de un cromatógrafo de gases BUCK 910 con detector TCD.

Hipótesis:

- A partir de desechos maderables se obtendrá el rango de poderes caloríficos que caracterizaran cada una de las especies lo que proporcionará la obtención de datos que ayudarán a establecer la mejor opción para la producción del gas combustible (gas de síntesis).

- Por medio de la cromatografía de gases se puede establecer una metodología que sirva para la medición de las diferentes composiciones del gas de síntesis producido en un gasificador que opera con residuos sólidos biomásicos.

EQUIPO:

- Bomba calorimétrica de combustión de oxígeno PARR 1108, para la obtención de los poderes caloríficos de diferentes especies como son:
 - Pasto.
 - Tehuiztle rojo y blanco.
 - Eucalipto.
 - Grevillea Robusta.
 - Cedro.
 - Hule.
 - Jacaranda.
 - Acacia Cochliacantha.

- Cromatógrafo de gases BUCK 910 con inyección manual de 1mL de mezcla patrón a diferentes temperaturas y con flujo de gas de arrastre constante para la obtención del cromatograma base por medio de un detector TCD.

PROLOGO

El presente trabajo esta conformado de la siguiente manera, en el primer capítulo se presentan aspectos generales de la utilización de de la Biomasa como fuente de combustibles que pueden ser aprovechados para la generación de energía térmica, mecánica y eléctrica, se aborda con principal interés al proceso de gasificación desde sus orígenes hasta los actuales desarrollos de tecnologías para la producción de gas de síntesis y su utilización en motores de combustión interna. Se describen brevemente las etapas de la gasificación y los diferentes arreglos con los que son diseñados los gasificadores dependiendo de las necesidades y características del proceso. Dentro de este mismo apartado se habla de los principios fundamentales de la cromatografía y los tipos en los que es dividida dependiendo de las fases presentes.

En el segundo capítulo se lleva a cabo la descripción de la planta piloto de gasificación de biomasa que está siendo construída por el Instituto de Ingeniería UNAM y en el que se pretende producir 250 kWe para el alumbrado de unas calles de Ciudad Universitaria, así como también, se lleva a cabo la especificación de diseño y construcción de los equipos que conforman todo el proceso.

En el capítulo tercero se mencionan los conceptos básicos dentro de la calorimetría, se realiza la explicación de funcionamiento de la Bomba de Oxígeno Parr 1108 y sus principales componentes, además, se desarrolla la metodología experimental para la determinación y cálculo de los poderes caloríficos de algunas especies de madera, mediante la utilización de un calorímetro de alta precisión.

En nuestro cuarto capítulo describimos la utilización, funcionamiento y programación del cromatógrafo BUCK 910 así como sus partes principales, se da la metodología para el desarrollo de los cromatogramas teniendo en cuenta los parámetros teóricos que afectan la separación cromatográfica y finalmente se da una breve explicación del uso del programa PEAKSIMPLE.

RESUMEN

En el desarrollo de este trabajo tratamos de profundizar en el uso de energías alternativas como son la Biomasa. Basándonos en su obtención para posteriormente su utilización en la gasificación.

En el proyecto de gasificación desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se trata de producir energía eléctrica a través de un gasificador de flujo descendente que opera con residuos sólidos biomásicos, para esto se obtuvo una serie de datos calorimétricos de las diferentes especies maderables recolectadas en las podas de los alrededores de Ciudad Universitaria.

El gas de síntesis es un combustible de gran importancia por su contenido de Metano, Hidrógeno y Monóxido de Carbono, por lo que mediante el uso de la Cromatografía de Gases se llevo a cabo el análisis de una mezcla patrón que cumple con las características idóneas para su combustión en los motores, mediante la variaciones principalmente de la temperatura hasta lograr la separación de los componentes y su correcta detección sirviendo esto como calibración.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

Desde tiempos remotos, la biomasa ha proporcionado a la humanidad no solamente comida, sino también combustibles, alimento para el ganado, materia prima, fibras y abonos también conocidos como las “6Fs” por sus nombres en inglés, “food, fuel, feed, feedstock, fibre and fertilizer”, respectivamente.

Los combustibles fueron constituidos como la principal fuente de energía hasta principios del siglo XX cuando, en gran medida, fueron reemplazados por los combustibles fósiles.

Hoy en día, la biomasa es la cuarta fuente de energía más importante del mundo, que proporciona alrededor del 11% del consumo mundial de energía. No obstante, es la principal fuente de energía en los países subdesarrollados, donde alcanza el 33% del total de la energía usada. Su contribución en los países industrializados es en promedio del 3% de la energía total consumida. (1)

En México el uso principal de los combustibles es leña y carbón, principalmente como combustible doméstico en hogares rurales y para un número importante de pequeñas industrias ladrilleras, mezcaleras, hornos de alfarería y muchas más.

En nuestro país la bioenergía representa el 8% del consumo final de energía la cual es una fuente importante de energía renovable que puede generar múltiples beneficios en los Estados y Municipios de nuestro país. Las estimaciones realizadas en informes anteriores indican que se pueden tener potenciales aprovechables de 1,519-3,034 PJ/año en combustibles leñosos, 168 PJ/año para la obtención de etanol y biodiesel mediante desechos de azúcar/almidón y oleaginosas; y 886 PJ/año por los subproductos agrícolas y agroindustriales. Estas estimaciones muestran el gran potencial biomásico de México el cual abre un enorme campo de oportunidades tecnológicas, económicas y políticas para el mejor aprovechamiento de dichos recursos.

Los países desarrollados están incrementando el uso de la biomasa con el fin de reducir sus emisiones de CO₂ y respetar así los convenios adquiridos en el marco del protocolo de Kyoto recién firmado. Se estima que la participación en cuanto a producción de energía por biomasa, vaya en aumento en los próximos años hasta conformar en el próximo siglo el 25% del total mundial.

Casi 2,000 millones de personas en los países subdesarrollados dependen de los combustibles tradicionales (madera, estiércol y residuos agrícolas) que son recolectados por lo general en sitios lejanos y, a menudo, utilizan tecnologías ineficaces que apenas les permiten satisfacer sus necesidades básicas de nutrición, calefacción ambiental e iluminación. Sin embargo, ya se están empezando a usar sistemas modernos de energía de biomasa, en especial en los países desarrollados donde suministran electricidad, combustibles líquidos y gaseosos.

El interés por las fuentes de energía renovables ha aumentado en las últimas décadas, esto es debido al impacto negativo que el consumo de los combustibles fósiles causa al medio ambiente, el aumento en los precios de los combustibles convencionales, la dependencia de petróleo extranjero y la disminución en los recursos de combustibles fósiles.

El problema que se tiene al quemar combustibles fósiles es que el carbono absorbido por la biomasa “antigua” es liberado después de millones de años como un bióxido de carbono “nuevo”, desequilibrando al ciclo del carbono. Así, pues, el uso de los combustibles fósiles no sólo disminuye los recursos no-renovables, sino que también contribuye con el efecto de invernadero.

A pesar de algunas percepciones públicas negativas basadas en concepciones erróneas, la energía de la biomasa representa una de las opciones más prometedoras pues es una fuente renovable que puede ser producida y usada de manera limpia y sostenible. Es más, proporciona beneficios significativos al medio ambiente, al desarrollo socioeconómico local y a la seguridad energética nacional.

Mientras que las preocupaciones ambientales, como las emisiones de bióxido de carbono y el calentamiento global, han motivado a los países industrializados a usar sistemas modernos de energía de biomasa; las consideraciones socioeconómicas, tales como la equidad para las comunidades de bajos ingresos y sus necesidades de combustible, han sido las que han propiciado que los países subdesarrollados mejoren el uso tradicional de la energía de biomasa.

Los pronósticos realizados por el PIESCC¹, el PANU², la AIE³ y la CNUSMAD⁴ indican que la biomasa y otras fuentes de energía renovables, después del año 2020, jugarán un papel importante y creciente en la contribución futura de la energía mundial (Hall, 1998).

Sin embargo, la biomasa todavía se enfrenta actualmente con muchos problemas económicos, sociales, técnicos e institucionales. Así, pues, es importante que haya una mayor colaboración y esfuerzo entre las instituciones para producir y usar la energía de la biomasa de manera más eficiente y sostenible.⁽²⁾

(1) Panel Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático.

(2) Programa del Ambiente de Naciones Unidas.

(3) Agencia Internacional de Energía.

(4) Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

1.1 BIOMASA

Es un tipo de energía renovable que puede reemplazar el uso de algunos combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural, siendo este un componente muy importante de la energía, actualmente se consume en el mundo, llegando a cerca del 11% del consumo total mundial (AIE, 1998). ⁽³⁾

La Biomasa esta principalmente compuesta de carbón, oxígeno, hidrógeno y pequeñas fracciones de elementos minerales como potasio, fósforo, sulfuro y otras. Cuando la biomasa es quemada, el carbón reacciona con el oxígeno produciendo bióxido de carbono,

agua y calor. Agua y bióxido de carbono en la atmósfera mas energía solar y algunos compuestos inorgánicos, son absorbidos por las plantas verdes procesándolos, y así produciendo carbohidratos que posteriormente son convertidos en madera y tejido vegetal; en otras palabras creando nueva biomasa. Esto implica que la combustión de biomasa posee una producción de CO₂ neutro.(4)

1.2 FORMACIÓN DE LA BIOMASA

El modelo básico de captación y acumulación de la energía solar es el que llevan a cabo las especies vegetales verdes, única fuente energética renovable que conlleva asimismo un almacenamiento en forma de energía de alta calidad: la energía química. Este proceso ha mantenido la vida en la Tierra hasta nuestros días en forma de materia orgánica, que resulta ser energía solar almacenada y se denomina "**energía de la biomasa**".

La **energía de la biomasa** proviene en última instancia del sol. Mediante la fotosíntesis el reino vegetal absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra; las células vegetales utilizan la radiación solar para formar sustancias orgánicas a partir de sustancias simples y del CO₂ presente en el aire. En este proceso de transformación de la materia orgánica se generan subproductos que no tienen valor para la cadena nutritiva o no sirven para la fabricación de productos de mercado, pero que pueden utilizarse como combustible en diferentes aprovechamientos energéticos.

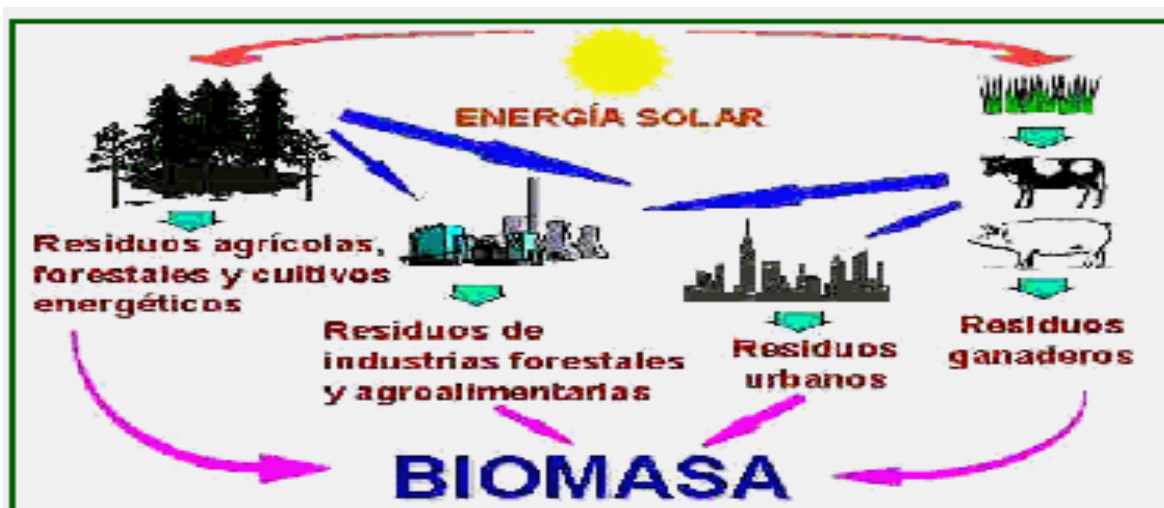


Fig. 1.1 Ciclo de la Biomasa

1.3 TIPOS DE BIOMASA

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación, una de las clasificaciones más generalmente aceptada es la siguiente:

1.3.1 Biomasa natural: Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana como los recursos generados en las podas naturales de un bosque que constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa.

1.3.2 Biomasa Residual: Este tipo de biomasa se divide a su vez en *seca* y *húmeda*.

1.3.2.1 Biomasa residual seca incluye los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, las podas de frutales, el aserrín, etc.

1.3.2.2 Biomasa residual húmeda son los vertidos denominados biodegradables como son las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos.

1.3.3 Cultivos energéticos: Cultivados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo, el girasol, el miscanto, etc. En esta definición quedan excluidos del término biomasa todos los productos agrícolas que sirven de alimentación al hombre y a los animales domésticos, así como los combustibles fósiles.⁽⁵⁾

1.4 Características de la Biomasa.

1.4.1 Composición química y física: Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

El estado físico de la biomasa puede clasificarse según el tipo de recurso, como se indica en la tabla siguiente:

Recursos de Biomasa	Tipo de Residuo
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.
Residuos Agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café), estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.
Residuos Industriales.	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuo de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.
Residuos Urbanos.	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscaras de vegetales). Basura orgánica (madera).

Tabla 1.1 Estados típicos de la biomasa

1.4.2 Humedad relativa (HR): El contenido de humedad relativa en la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%.

1.4.3 Porcentaje de cenizas: El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

1.4.4 Poder calórico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad relativa.

Un elevado porcentaje de humedad relativa reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

1.4.5 Recolección, transporte y manejo: Son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema.⁽⁶⁾

1.5 Procesos de conversión de la biomasa en energía.

Los dos grandes grupos de conversión de la biomasa en energía son los "procesos termoquímicos" y los "procesos bioquímicos".

1.5.1 Procesos termoquímicos son aquéllos en que se encuentran implicadas reacciones químicas irreversibles, a altas temperaturas y en condiciones variables de oxidación. Los métodos disponibles en la actualidad no generan un producto único, sino que dan mezclas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, que también poseen un elevado valor energético. Están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y en particular, a los de la paja y de la madera. Se pueden clasificar en combustión, gasificación y pirólisis.

1.5.1.1 Combustión: Consiste en la oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico y puede servir para la calefacción doméstica, para la producción de calor industrial y para la producción de vapor que mueva una turbina (generación de electricidad) o bien directamente en otros procesos.

1.5.1.2 Gasificación: Si la combustión de la biomasa no es completa, el proceso se denomina **gasificación**. Este proceso se puede llevar a cabo con oxígeno, lo que permite obtener gas de síntesis, combustible de gran interés actual, por la posibilidad de su transformación en metanol, o bien con aire, produciendo el denominado gas pobre, que puede aprovecharse para producir vapor o electricidad.

1.5.1.3 Pirólisis: También conocido como calentamiento de la biomasa en ausencia total de aire. Por esta vía se obtienen combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, en función de la composición de la biomasa y de las condiciones de operación. Los procesos de pirólisis

actualmente son más apreciados, porque permiten la producción de combustibles líquidos, con variantes del proceso general que operan con la adición de otros reactivos químicos.

1.5.2 Procesos bioquímicos: Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. Los más importantes son:

1.5.2.1 Digestión anaeróbica: La digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás.

En la Tabla 1.2 se muestra una distribución de los procesos de conversión aplicables, de acuerdo con las características y el tipo de biomasa, así como los posibles usos finales de la energía convertida.

Biomasa	Procesos de Conversión Aplicables	Producto Obtenido	Principales Usos
Materiales Orgánicos de alto contenido de humedad (Estiércoles, residuos de alimentos, efluentes industriales, residuos urbanos)	Digestión anaerobia y fermentación alcohólica.	Biogás. Metanol. Etanol. Biodiesel.	Motores de combustión. Turbinas de gas. Hornos y calderas. Estufas domesticas.
Materiales Ligno celulósicos (cultivos energéticos, residuos forestales de cosechas y urbanos, leños, carbón vegetal, astillas)	Densificación. Combustión directa. Pirólisis. Gasificación.	Calor. Gas pobre. Hidrógeno. Biodiesel.	Estufas domesticas. Hornos y calderas. Motores de combustión. Turbinas de gas.

Tabla 1.2 Procesos de conversión de biomasa en energía.

Actualmente, la combustión directa es el proceso más aplicado para usos energéticos de la biomasa.

Procesos más avanzados como la gasificación y la digestión anaeróbica han sido desarrollados como alternativas más eficientes y convenientes, y para facilitar el uso de la biomasa con equipos modernos. Sin embargo, hasta la fecha, la aplicación de estos últimos no es tan común por tener un costo más alto y la complejidad de su aplicación.

La estimación de los costos de inversión en cualquier sistema de conversión de biomasa depende de tres factores fundamentales:

1.5.3 Volumen y tipo de biomasa: el volumen determina el factor de escala del sistema y los procesos auxiliares; mientras que el tipo y las características de la biomasa determinan los tratamientos previo y posterior requeridos.

1.5.4 Proceso de conversión: éstos se establecen con base en el volumen y las características de la biomasa y la tecnología seleccionada depende del grado de complejidad del sistema.

1.5.5 Aplicación de la energía: el uso final de la energía obtenida influye fuertemente en el costo total de la instalación. En los casos en que el objetivo es la generación de calor, el equipo auxiliar requerido se limita a los quemadores adecuados. Cuando el uso final es la

generación de electricidad, la complejidad y el número de equipos incrementan el costo de inversión. La aplicación energética de la biomasa se divide en:

1.5.5.1 Generación de energía térmica: Es el sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento, está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido.

1.5.5.2 Generación de energía eléctrica: Esta en función del tipo y cantidad de biomasa disponible, varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin como:

1.5.5.2.1 Ciclo de vapor: Está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.

1.5.5.2.2 Turbina de gas: Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.

1.5.5.2.3 Motor alternativo: Utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.

1.5.5.2.4 Cogeneración: El principio de funcionamiento de la cogeneración se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura, tanto la eléctrica como la de combustibles fósiles.

1.5.5.3 Generación de energía mecánica: Los biocarburantes pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, etc.) y que puedan auto consumirlos (por ejemplo en tractores), llegando a suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles.⁽⁷⁾

1.6 Ventajas y desventajas del empleo de la biomasa

Al utilizar la biomasa como recurso energético se presentan una serie de ventajas importantes, pero a su vez también ciertas desventajas.

1.6.1 Ventajas

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no sólo para el propietario de la instalación de aprovechamiento, sino también para el conjunto de la sociedad. Las principales ventajas ambientales del uso energético de la biomasa son:

- Es la única fuente de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, de manera que la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que se libera en su combustión.
- Se considera que todo el CO₂ emitido en la utilización energética de la biomasa no contribuye al incremento de su proporción en la atmósfera y, por tanto, no es responsable del aumento del efecto invernadero.
- La biomasa tiene contenidos en azufres prácticamente nulos, generalmente inferiores al 0.1%. Por este motivo, las emisiones de dióxido de azufre, que junto con las de óxidos de nitrógeno que son las causantes de la lluvia ácida, son mínimas.
- Por otra parte, el uso de biocarburantes en motores de combustión interna supone una reducción de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas, SO₂ y CO).

1.6.2 Desventajas

La utilización energética de la biomasa presenta, debido a sus características, pequeñas desventajas con relación a los combustibles fósiles:

- Solo es capaz de aprovechar residuos orgánicos.
- Para conseguir un buen aporte energético se necesita gran cantidad de biomasa y por lo tanto ocupar grandes extensiones de tierra en el caso del cultivo energético.
- Menos costo de producción de la energía proveniente de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento de los combustibles derivados de la biomasa respecto de los combustibles fósiles.
- El potencial energético de la biomasa existente en el planeta podría bastar para cubrir la totalidad de las necesidades energéticas mundiales. No obstante, una serie de circunstancias limitan notablemente su aprovechamiento:
- El aprovechamiento directo y a gran escala de los recursos forestales para fines energéticos podría conducir a un agotamiento de dichos recursos y dar lugar a efectos medioambientales negativos.
- Aprovechar la parte utilizable de la biomasa existente exige aportar una notable cantidad de energía para su recolección, transporte y transformación en combustibles útiles, lo cual reduce considerablemente la energía neta resultante.⁽⁸⁾

Dentro de los macroproyectos desarrollados en la Universidad Nacional Autónoma de México con el propósito de la utilización de energías alternativas se encuentra el proyecto de “Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de Ciudad Universitaria por medio de la gasificación de residuos biomásicos orgánicos” por lo que habiendo descrito las principales fuentes de obtención de la biomasa, sus características y los procesos de conversión, pasaremos ahora en el siguiente capítulo a la descripción de las principales tecnologías de aprovechamiento de la biomasa, enfocándonos únicamente al proceso de gasificación.

Para dicho proyecto se está llevando a cabo la construcción del laboratorio de gasificación cuya materia prima a utilizar son residuos sólidos maderables obtenidos de las podas de jardinería de Ciudad Universitaria, así como de plantaciones energéticas ubicadas en Cuernavaca, Morelos.

CAPÍTULO II GASIFICADOR DE BIOMASA

Aunque el proceso de gasificación es una tecnología de más de cien años de antigüedad hoy es vista como una alternativa a los combustibles convencionales, este proceso térmico es en el cual los combustibles sólidos tales como madera, residuos agrícolas y otros tipos de biomasa seca, son convertidos en un gas combustible con el objeto de producir el llamado “Gas de Síntesis”, que puede ser quemado en motores de combustión interna, turbinas o en equipos de producción de calor y potencia.

Los principios básicos de la gasificación de la biomasa han sido conocidos desde finales del siglo XVIII, pero las primeras aplicaciones comerciales datan de 1830.

Hacia comienzos de 1850 un gran número de lámparas de alumbrado público en Londres ya funcionaban con gas producido de la gasificación de biomasa, este experimento constituyó en el comienzo definitivo de las investigaciones en esta área.

Cuando la producción de petróleo comenzó a estar disponible, el gas combustible producto de la gasificación de biomasa cayó, pero después, la crisis energética de los años 70 disparó el interés en este tipo de alternativa energética. Últimamente existe una creciente preocupación en el medio ambiente, que ha hecho generar una serie de cuestionamientos sobre continuar usando combustibles fósiles y por ello la necesidad de producir energía sostenible que ha incrementado la investigación en este campo y especialmente en el campo de la gasificación.

2.1 Tipos de gasificadores

2.1.1 Gasificador de corriente ascendente ó tiro directo: Este tipo de gasificador es el más antiguo, la toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba.

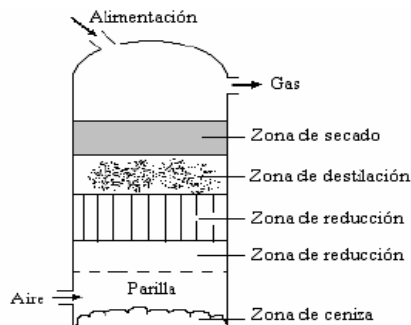


Figura 2.1 Gasificador de corriente ascendente ó tiro directo.

2.1.2 Gasificador de flujo descendente o tiro invertido: Se ha encontrado una solución al problema del arrastre de alquitrán con la corriente de gas, diseñando gasificadores de tiro invertido o corriente descendente, en los cuales el aire de la gasificación se introduce en la zona de oxidación del gasificador o por encima de ésta. El gas pobre sale por el fondo del aparato de modo que el combustible y el gas se mueven en la misma dirección, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.3.

En su camino hacia abajo, los productos ácidos y alquitranes de la destilación procedentes del combustible deben pasar a través de un lecho incandescente de carbón vegetal y se transforman por ello en gases permanentes de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano.

La principal ventaja de los gasificadores de tipo invertido radica en la posibilidad de producir un gas sin alquitrán apropiado para aplicarlo a motores. Debido al menor contenido de componentes orgánicos en el líquido condensado, los gasificadores de tiro invertido sufren menos objeciones ambientales que los gasificadores de tiro directo.

Un inconveniente importante de los equipos de tiro invertido es la imposibilidad de funcionar con una serie de combustibles no elaborados.

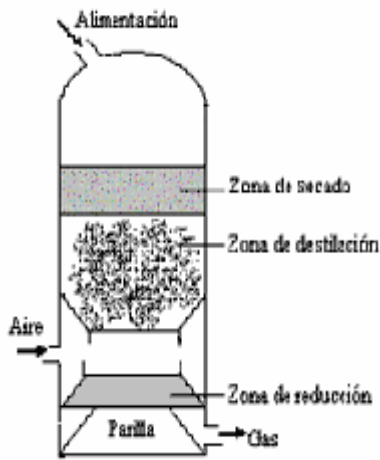


Figura 2.2 Gasificador de flujo descendente ó tiro invertido

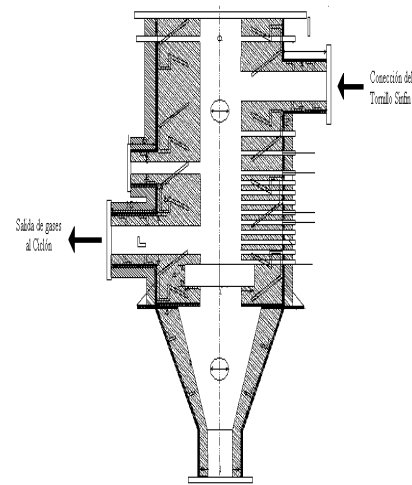


Figura 2.3 Gasificador de flujo descendente instalado en Planta Piloto

2.1.3 Gasificador de lecho fluidizado: En este tipo de gasificador se alimenta aire a través de un lecho de partículas sólidas a velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión.



Figura 2.4 Gasificador de lecho fluidizado

2.1.4 Gasificador de tiro transversal: Son una adaptación para el empleo de carbón vegetal. En los gasificadores de tiro transversal, el propio combustible (carbón vegetal) sirve de aislamiento contra estas altas temperaturas. (9)

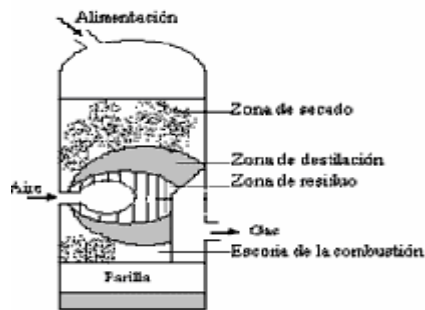


Figura 2.5 Gasificador de tiro transversal

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE GASIFICACION DE BIOMASA DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

La planta de gasificación de biomasa ubicada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, esta basada en el diseño establecido de la tesis doctoral del Dr. Alejandro Rogel Ramírez, la cual cuenta con la siguiente estructura y donde se lleva a cabo el siguiente proceso en general:

Los residuos sólidos biomásicos maderables (residuos de podas recolectadas de los alrededores de CU) son triturados con la ayuda de un molino de cuchillas, esto para obtener virutas de un tamaño aproximado a 5 cm., estas virutas se transportan a la tolva de alimentación en donde se procede a alimentar de 10-40 kg/hr, teniendo en consideración que estas virutas requerirán de un rango de humedad relativa (HR) del 12-15%, para esto se procederá a la deshumidificación de la madera a través de la introducción de aire frío y caliente proveniente del intercambiador de calor. Esta humedad será monitoreada por medio de un sensor de humedad el cual estará conectado al registrador de datos.

La tolva introduce la carga de alimentación a control de flujo y por gravedad a un anillo sinfín el cual es de acero inoxidable y cuenta con la ayuda de un motor los cuales transportan la biomasa triturada a la boquilla de alimentación del gasificador, una vez introducida la carga comienzan a llevarse a cabo las reacciones de reducción, combustión y volatilización, utilizando gas LP como agente gasificante y alimentando aire proveniente del compresor a 3 kPA.

El gasificador de tipo “flujo descendente” cuenta con un monitoreo de temperatura por medio de termopares instalados a lo largo del gasificador, estos termopares a su vez están conectados a un registrador para censar las temperaturas obtenidas durante la gasificación. En este gasificador constantemente se estarán retirando las cenizas acumuladas en la parte inferior, estas obtenidas como subproducto de la combustión de los residuos biomásicos.

Los gases efluentes producto de la gasificación están conformados principalmente de CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂, cenizas y alquitranes y estos abandonan el gasificador a una temperatura

de 500 a 600 °C para pasar a la limpieza del gas la cual se lleva a cabo inicialmente en un colector de polvos en donde se eliminan las partículas de cenizas arrastradas en la mezcla gaseosa, para posteriormente retirar las partículas mas pequeñas con la ayuda del filtro.

Los gases libres de partículas son enfriados al pasar por el intercambiador de calor el cual cuenta con un ventilador que le alimenta aire a contracorriente, obteniendo un gas a la salida del equipo con temperaturas menores a los 200 °C, el cual es analizado en su composición con un cromatógrafo de gases BUCK 910 con detector TCD. La composición del gas obtenido es comparada con una mezcla estándar cuya composición es la ideal para el funcionamiento de los motores de combustión interna, estos motores están conectados al generador de electricidad en donde se producen de 200-300kW.

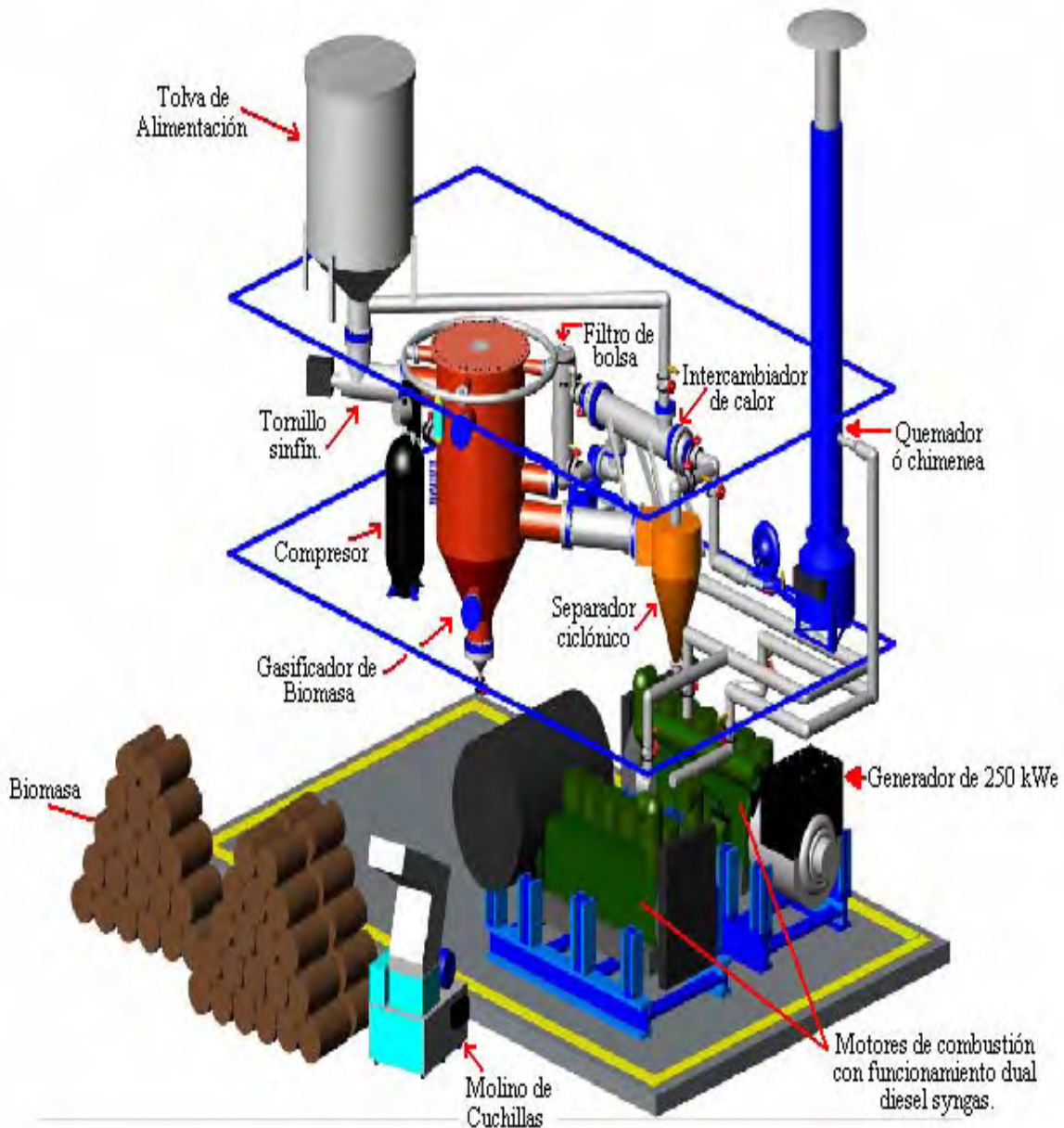


Fig. 2.6 Planta Piloto de gasificación de Biomasa del Instituto de Ingeniería de la UNAM

Para la realización de este proyecto de investigación se ocuparon residuos sólidos biomásicos (Pasto, Eucalipto, Cedro Blanco, Acacia Cochliacantha, Grevillea Robusta, Tehuiztle Rojo y Blanco, Hule y Jacaranda) recolectados de las podas de los alrededores de Ciudad Universitaria así como de podas de plantaciones ubicadas en Cuernavaca, Morelos.

Estos residuos sólidos biomásicos provenientes de un estudio realizado en el Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la UNAM, fueron estudiados con el fin de obtener un rango de poderes calorimétricos que nos ayudaran a establecer los parámetros para un mejor desempeño del gasificador que permita la obtención de la mezcla de gas de síntesis esperada (H_2 12%, N_2 52%, CH_4 5%, CO 20%, CO_2 11% y trazas de agua), la cual se podrá comparar con el cromatógrama base obtenido de una mezcla patrón de gas de síntesis.

En los siguientes capítulos se hablará del estudio calorimétrico realizado a dichas especies por medio de una bomba calorimétrica PARR 1108 y de la obtención del cromatógrama base de una mezcla patrón de gas de síntesis obtenido con la ayuda de un cromatógrafo BUCK 910.

CAPÍTULO III MEDICIÓN DE PODERES CALORIMÉTRICOS EN UNA BOMBA DE COMBUSTIÓN DE OXIGENO.

3.1 CALORIMETRIA

Es la ciencia que mide la cantidad de energía generada en procesos de intercambio de calor. Se sabe que la **calorimetría** se encarga de medir el calor en una reacción química o un cambio físico usando un calorímetro. La calorimetría indirecta calcula el calor que los organismos vivos producen a partir de la producción de dióxido de carbono, de nitrógeno y del consumo de oxígeno.^{(10),(11)}

3.2 CALORIMETRO

El **calorímetro** es el instrumento que mide el calor generado por la combustión del combustible.

El tipo de calorímetro de uso más extendido consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro, la cantidad de energía liberada puede calcularse fácilmente. Cuando la fuente de calor es un objeto caliente de temperatura conocida, el calor específico y el calor latente pueden ir midiéndose según se va enfriando el objeto.

En la práctica, la mayor parte de los calorímetros son diseñados de forma que se minimice la transferencia de calor entre el sistema y los alrededores.

Existen tres tipos básicos de calorímetros:

3.2.1 Calorímetro Adiabático: en los cuales se evita la transferencia de calor entre el sistema y los alrededores.

3.2.2 Calorímetro Isoperibólico: en estos se permite la transferencia de una cantidad controlada de calor.

3.2.3 Calorímetro Isotérmico: en los que la temperatura se mantiene constante utilizando tanto trabajo como calor.

Básicamente, estos dispositivos miden el calor liberado durante un cambio de fase del sistema.

3.3 Bomba calorimétrica de combustión de oxígeno Parr 1108

En esta bomba se coloca una muestra de la sustancia a estudiar (1 - 2 gramos) es introducida junto con oxígeno a una presión de aproximadamente 40 atm(590 psig) en una bomba de acero inoxidable (A) la bomba a su vez es sumergida en 2 litros de agua (B) contenidos en una vasija metálica (C). El montaje del calorímetro se completa con un

termómetro (**D**) que mide la temperatura del baño de agua (con una escala de décimas de grado), este termómetro cuenta con una lupa que permite la lectura del incremento de temperatura más precisa (**E**), un agitador (**F**) que asegura la uniformidad de la temperatura en el sistema, un sistema que lo aísla de los alrededores y que está constituido por dos espacios llenos de aire (**G**) y una camisa externa no conductora (**H**).

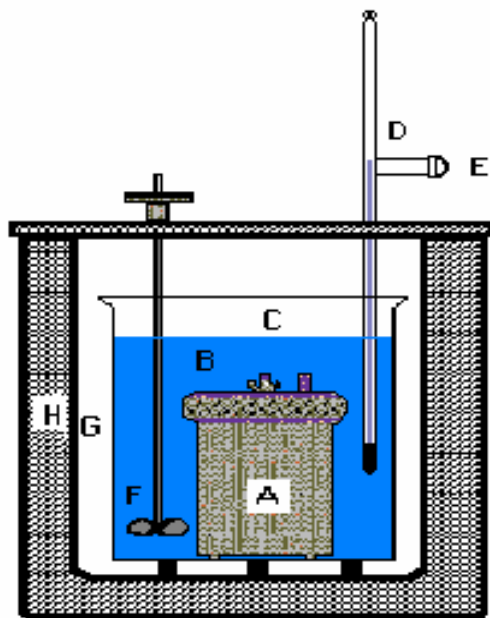


Fig. 3.1 Bomba Calorimétrica Parr 1108

La temperatura del baño de agua se ajusta ligeramente por debajo de la temperatura ambiente, y así se observa una pendiente ligeramente positiva en el gráfico de la temperatura en función del tiempo. Cuando se produce la combustión de la muestra, la temperatura dentro de la bomba aumenta, entonces la temperatura del agua y de la vasija aumenta también hasta que se igualan las temperaturas. La temperatura normalmente alcanza un máximo y después se observa una ligera disminución con el tiempo.

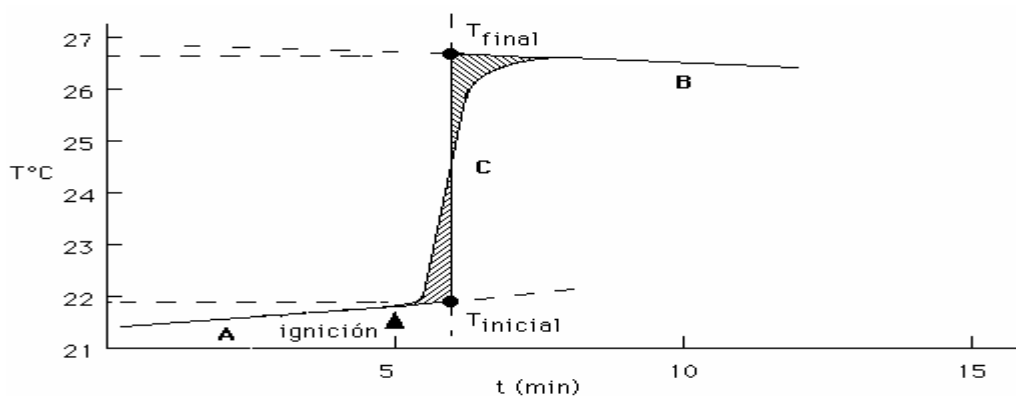


Fig. 3.2 Acercamiento de la gráfica Temperatura vs tiempo.

Las líneas Temperatura-tiempo antes y después de la combustión (**A B**) son extrapoladas para un valor común del tiempo. Se selecciona un valor del tiempo, línea vertical, de tal forma que las áreas sombreadas en la figura 3.2 sean aproximadamente iguales. La

variación de temperatura durante el experimento (ΔT) se calcula a partir de las temperaturas inicial y final así obtenidas.

Se considera que el proceso de combustión ocurre de forma instantánea a lo largo de la línea vertical, igualando las áreas sombreadas asumimos que la pérdida de calor del calorímetro es nula, y por lo tanto la variación de la temperatura sería la misma que la observada en un calorímetro adiabático. Se toma como temperatura media la correspondiente al punto de cruce entre las dos áreas (C).(12)

3.4 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA PARR 1108

Se desarrollo una metodología de operación de la bomba calorimétrica PARR 1108 para determinar los poderes caloríficos superiores de diferentes muestras de biomasa procedente de Ciudad Universitaria.

1. Se corta un trozo de 10 cm. de alambre de ignición y se pesa la muestra a analizar de aproximadamente 1.0 gr. con una precisión de ± 0.1 mgr con la cual se procede a formar una pastilla.
2. Se coloca la pastilla en una cápsula de combustión de acero la cual se coloca con cuidado en el anillo del electrodo al final de la cabeza de la bomba.
3. El trozo de alambre de ignición se enhebra en los orificios de los electrodos haciendo que este toque ligeramente la pastilla de la muestra, pero cuidando que toque las paredes de la capsula.
4. La cabeza de la bomba se coloca con cuidado en la bomba, teniendo en cuenta que la válvula de purga de la misma, debe de estar abierta para que permita el cierre.
5. Posteriormente la tapa de seguridad se enrosca sobre el cuerpo de la bomba.
6. Se conecta la válvula del tanque de oxígeno a la válvula de llenado de la bomba y se cierra la válvula de purga de la bomba para proceder con el llenado de la bomba.
7. Poco a poco se abre la válvula del tanque hasta ajustar a una presión de 40 atm (590 psig), que es la capacidad que soporta la bomba.
8. Para poder retirar la válvula de llenado del tanque, primero se debe de abrir la válvula de seguridad ubicada junto al manómetro para que libere la presión y permita desconectarla de la válvula de llenado de la bomba.

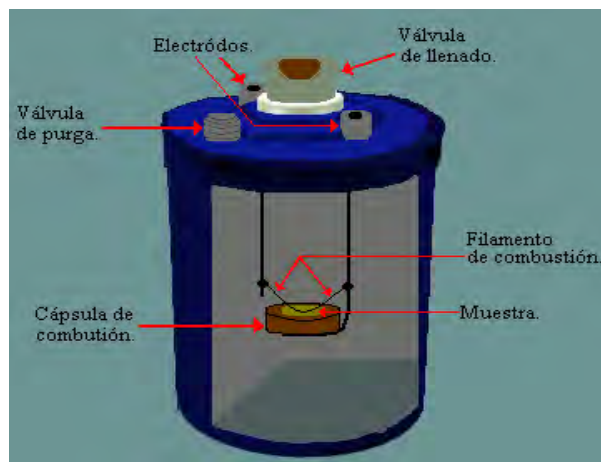


Fig. 3.3 Partes internas de la Bomba de Combustión de Oxígeno.

9. Una vez llena la bomba se procede a transportarla con la ayuda de las pinzas, al interior de la vasija metálica la cual previamente se lleno con 2000 gr de agua destilada y la cual ya se encuentra dentro de la camisa externa no conductora.
10. Se procede a conectar los electrodos en las entradas correspondientes de la bomba.
11. Se pone la tapa de la camisa aislante, la correa de transmisión se coloca en el agitador y de igual forma se introduce el termómetro con su lupa para comenzar con la corrida calorimétrica.
12. Se enciende el agitador para que la temperatura del sistema se homogenice.
13. Por medio de la lupa del termómetro se observa la estabilización de la temperatura y una vez que la temperatura sea constante durante 5 minutos, se realiza la ignición presionando el botón que se encuentra en el modulo de ignición, enseguida se oirá una pequeña explosión lo cual indicara que la ignición se esta llevando a cabo.
14. Enseguida se debe de estar atento en el incremento de temperatura ya que esta se llevará a cabo de manera rápida, este incremento se registrará a los 45 segundos después de la ignición donde se tomará el primer registro, y después con periodos de 15 segundos hasta completar el minuto, esto para obtener un mejor registro del incremento de temperatura, ya que en este periodo de tiempo es cuando se realiza el mayor incremento, una vez pasado el minuto se seguirá registrando a cada minuto.
15. Con el registro anterior se podrá obtener el 60% de incremento, como se observa en la gráfica, el incremento de temperatura irá disminuyendo lo que mostrara que la ignición esta terminando.
16. Una vez que se observa que el incremento a finalizado y talvez se note un decremento, se procede a apagar el motor del agitador y a desmontar todo el equipo para realizar los cálculos necesarios.

3.5 ALGORITMO DE CÁLCULOS

Los siguientes datos son los que deben de registrarse e identificarse al realizar una prueba de calorimetría.

t_a = tiempo en el que se realizó la Ignición [=] min.

t_b = tiempo cuando la temperatura alcanza el 60% de incremento (se obtiene al graficar tiempo vs. temperatura).

t_c = tiempo en el que la temperatura se mantiene constante después del incremento registrado de la ignición. [=] min.

t_d = tiempo del ultimo registro [=] min.

T_a = Temperatura al momento de la ignición [=] °C

T_b = Temperatura del 60% del aumento total de temperatura [=] °C.

T_c = Temperatura al tiempo c (temperatura constante) [=] °C

T_d = Temperatura del ultimo registro [=] °C.

T_i = Temperatura inicial [=] °C.

r_1 = Proporción a la que va aumentando la temperatura antes de llevarse a cabo la ignición.

$$r_1 = (T_a - T_i) / (t_d - t_c) \text{ [=] } ^\circ\text{C/min}$$

r_2 = Proporción a la que va aumentando la temperatura después del punto “c”. Si en vez de ir aumentando disminuye, r_2 , será negativo.

$$r_2 = ((T_c - T_a) \cdot 0.6) + T_a \text{ [=] } ^\circ\text{C/min}$$

W = Energía equivalente de el calorímetro, determinada a partir de la estandarización de la bomba.

m = Masa de la muestra [=] gr.

T = Corrección del aumento de temperatura, este se determina por la siguiente fórmula:

$$T = T_c - T_a - r_1 (t_b - t_a) - r_2 (t_c - t_b) \quad [=] \text{ } ^\circ\text{C}$$

e = Corrección en calorías para el calor de combustión del fusible, obtenido de la comparación del resto del fusible contra la escala encontrada debajo del rollo de fusible

H = Calor de combustión de la estandarización de la bomba con ácido benzoico en calorías por gramo.

W = Energía equivalente del calorímetro, obtenido de la siguiente fórmula:

$$W = ((T \cdot H) - e) / m \quad [=] \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Nombre Común	Nombre Científico	% HR	Poder Calorífico (MJ/kg)				PROMEDIO	Desviación estándar promedio
Pasto kikuyo	Pennisetum Clandestinum	1-5	20,959	18,833	17,955	20,842	19,64725	1,25325
Eucalipto 2	Eucalyptus Globulus	1-5	18,059	14,613	16,488	19,699	17,21475	1,66425
Eucalipto 3	Eucalyptus Cinerea	1-5	16,809	17,722	16,454	16,794	16,94475	0,388625
Cedro Blanco	Cupressus Lusitanica	1-5	21,079	20,976	19,051	23,313	21,10475	1,104125
Acacia Cochliacantha	Cubata Prieta	1-5	20,976	17,786	18,081	19,365	19,052	1,1185
Grevillea Robusta	Roble australiano, pino de oro.	1-5	20,514	21,302	18,73	19,658	20,051	0,857
Pasto	Pennisetum clandestinum	1-5	22,562	16,695	17,951	17,117	18,58125	1,990375
Tehuiztle Rojo	Acacia bilimekii	1-5	17,329	14,632	17,283		16,41466667	1,188444444
Tehuiztle Blanco	Acacia bilimekii	1-5	16,163	13,885	15,419		15,15566667	0,847111111
Hule	Picus Elastica	1-5	20,088	18,66	16,654		18,46733333	1,208888889
Jacaranda	Jacarandea Mimosifolia	1-5	17,568	20,315	19,773		19,21866667	1,100444444

HR= Humedad Relativa

Tabla 3.1 Especies analizadas para la obtención de poderes caloríficos.

Los datos registrados en la tabla 3.1 describen los poderes caloríficos obtenidos durante nuestro estudio calorimétrico que se aplicó a diferentes especies de biomasa. Se observa una variación estándar limitada en el rango de los mismos, lo que indica una buena correlación entre los valores experimentales obtenidos. Se observa también muy poca variación en los poderes caloríficos obtenidos de las muestras de Eucalipto 3.

Un resultado importante es el obtenido en especie de pasto kikuyo el cual presenta un poder calorífico promedio de 19.64 MJ/kg el cual es muy similar a las especies de árboles o arbustos.

Al realizar dicho estudio calorimétrico se debe de tener muy en cuenta que el %HR de la especie es uno de los factores más importantes que se debe considerar, ya que, al saber que toda especie maderable contiene humedad llegando en ocasiones a ser un alto porcentaje, esta debe de ser retirada previamente antes del análisis, esto para eliminar perdidas de calor, ya que al llevarse a cabo la combustión, el calor producido se ocuparía para el secado de la misma, arrojando un resultado nada favorable ya que el poder calorimétrico registrado sería muy pequeño.

Finalmente se puede decir que el proyecto de gasificación desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM tiene como principal objetivo producir energía eléctrica proveniente de los desechos biomásicos de la Ciudad Universitaria y estos resultados son de gran interés debido a que hay una extensa zona de áreas verdes en las cuales crecen las especies de biomasa estudiadas.

CAPÍTULO IV OBTENCIÓN DEL CROMATOGRAMA BASE DE UNA MEZCLA PATRÓN DE GAS DE SÍNTESIS.

4.1 CROMATOGRAFIA

La **Cromatografía** es un método físico de separación de una mezcla en el que los componentes a desglosar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye un lecho estacionario de gran desarrollo superficial y la otra es un fluido que pasa a través o a lo largo del lecho estacionario.

La separación se basa en el reparto de los componentes entre dos fases:

La **fase móvil**: generalmente es un fluido, se usa como portador de la mezcla, y posteriormente a la separación puede o no realizar la misma función con los componentes separados.

La **fase estacionaria**: puede ser un sólido, o un líquido dispuesto sobre un sólido que actúe como soporte, de gran desarrollo superficial, que ejerza sollicitaciones diferentes sobre los distintos componentes de la mezcla a resolver ó separar.

Esto puede tener su origen en dos fenómenos de interacción que se dan entre las dos fases, que pueden ser:

Adsorción: es la retención de una especie química por parte de los puntos activos de la superficie de un sólido, quedando delimitado el fenómeno a la superficie que separa las fases o superficie interfacial.

Absorción: es la retención de una especie química por parte de una masa, y debido a la tendencia que tiene ésta a formar mezcla con la primera, absorción pura, o reaccionar químicamente con la misma, absorción con reacción química, suponiendo ambas posibilidades la realización de un fenómeno másico y no superficial.

Por lo tanto la diferencia que existe entre estas dos formas de retención es que: en el primer fenómeno el componente retenido queda en la superficie interfacial mientras que en el segundo atraviesa la interfase para pasar a la masa de la sustancia que lo retiene.⁽¹³⁾

4.2 Tipos de Cromatografía

4.2.1 Cromatografía plana. En este tipo de cromatografía la fase estacionaria se sitúa sobre una placa plana o sobre un papel. Las principales técnicas son:

Cromatografía en papel

Cromatografía en capa fina

4.2.2 Cromatografía en columna. En este tipo de cromatografía la fase estacionaria se sitúa dentro de una columna. Según el fluido empleado como fase móvil se distinguen las siguientes:

Cromatografía de líquidos

Cromatografía de gases

Cromatografía de fluidos supercríticos

4.2.3 Cromatografía de gases: Existen dos tipos de cromatografía de gases (GC): la cromatografía gas-sólido (GSC) y la cromatografía gas-líquido (GLC), siendo esta última la que se utiliza más ampliamente, y que se puede llamar simplemente cromatografía de gases

(GC). En la GSC la fase estacionaria es sólida y la retención de los analitos en ella se produce mediante el proceso de adsorción. Precisamente este proceso de adsorción, que no es lineal, es el que ha provocado que este tipo de cromatografía tenga aplicación limitada, ya que la retención del analito sobre la superficie es semipermanente y se obtienen picos en el cromatograma de elusión con colas. Su única aplicación es la separación de especies gaseosas de bajo peso molecular. La GLC utiliza como fase estacionaria moléculas de líquido inmovilizadas sobre la superficie de un sólido inerte.

4.3 Cromatógrafo de gases

La GC se lleva a cabo en un cromatógrafo de gases. Éste consta de diversos componentes como:

4.3.1 Gas portador: El gas suele venir determinado por el tipo de detector. En este caso se maneja un Detector de Conductividad Térmica (DCT), por lo tanto el gas a emplear no debe de ser conductor sólo transportar la mezcla, en nuestro caso se empleó el uso de gas Helio como gas inerte.

4.3.2 Sistema de inyección de muestra: Para que la separación sea eficaz es necesario un sistema que permita la introducción de una muestra de tamaño adecuado de forma rápida. La introducción de muestras grandes o demasiado lentas provoca la aparición de bandas anchas lo que se traduce en una resolución pobre. El método más sencillo de introducción de la muestra es el empleo de una micro jeringa, en nuestro caso se empleó una jeringa para gases ON/OFF. Esta tiene junto al embolo dos botones uno de color rojo y otro verde que permiten abrir y cerrar el paso de flujo al tomar la muestra.

4.3.3 Loops: Las columnas denominadas capilares necesitan mucha menor cantidad de muestra, por ello suele usarse un divisor de muestra (**loops**) los cuales como se menciona dividen la muestra la cual se transporta junto con el gas acarreador hacia las columnas y así mismo al detector, esto permite pasar a la columna sólo una pequeña fracción de volumen inyectado desechando el resto.

4.3.4 Columnas cromatográficas. Se cuenta con dos columnas cromatográficas (HaySep D y Molecular Sieve 13X) de 0.53 mm de diámetro interior. En ellas se va a producir la separación de los componentes de la mezcla, estas se encuentran en el interior de un **horno termostaticado**, ya que la temperatura es una variable crucial en las separaciones por cromatografía de gases. Cuando se aumenta la temperatura de las columnas se acelera la elusión pero también puede trabajarse a temperatura constante (isotérmicamente) o con programación de temperaturas (en gradiente o rampa de temperatura). Esta última modalidad permite separar grupos de compuestos con volatilidad muy variada en periodos de tiempo más breves.

4.3.5 Detector de conductividad térmica (DCT). Este detector responde a cualquier soluto cuya conductividad térmica sea diferente de la del gas portador. Este término se refiere a la capacidad de una sustancia de transportar calor de una región caliente a una fría. El funcionamiento se basa en la disminución de la conductividad del gas portador cuando un soluto sale de la columna. Se suele usar generalmente por su elevada conductividad térmica.

4.3.6 Panel de Control: En este se encuentran todas las variables a controlar como son: Control Electrónico de Presión de Gas, Parámetros del Detector y la sección de Temperaturas (del Puerto de Inyección, Detector y Horno de la Columna), todos estos parámetros se programan en el software PeakSimple, que es el programa donde se podrán observar los cromatogramas obtenidos de cada corrida realizada.

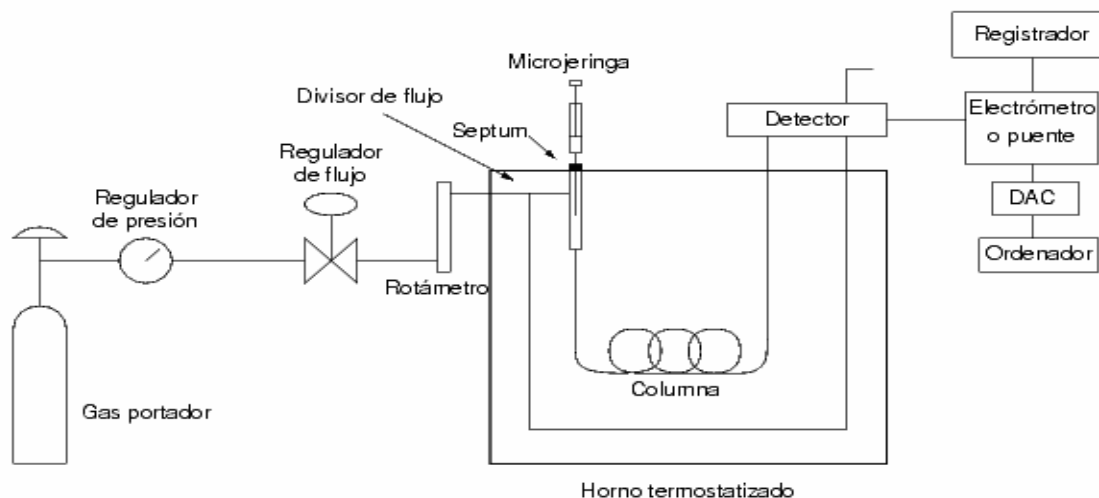


Figura 4.1 Diagrama de un cromatógrafo de gases

Para realizar el análisis de la mezcla patrón de gas de síntesis se empleará el uso del cromatógrafo BUCK 910.

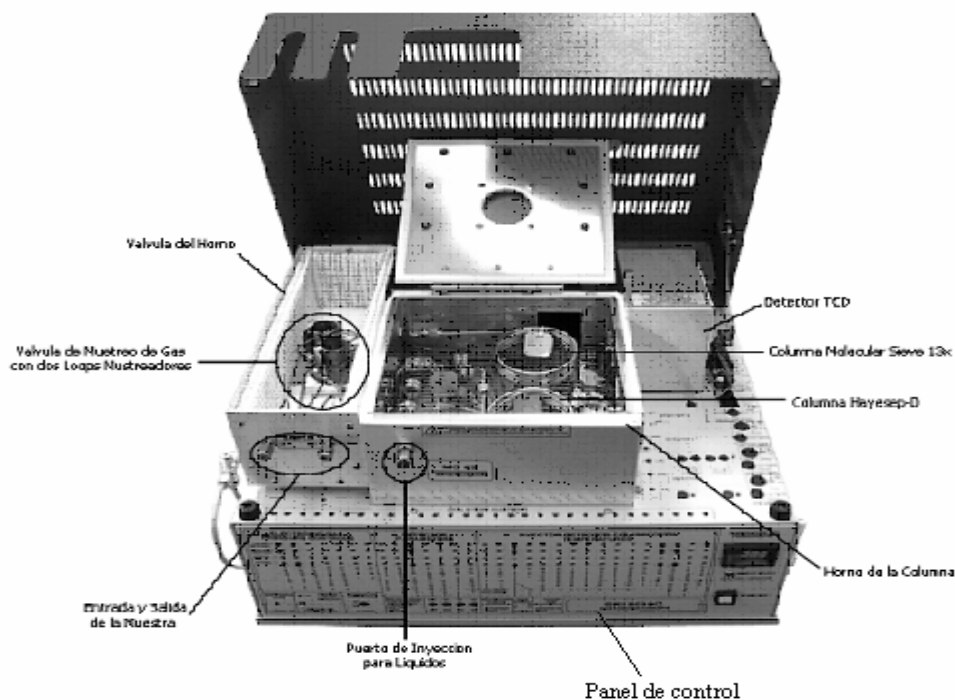


Figura 4.2 Cromatógrafo BUCK 910 y sus partes.

4.4 Cromatograma. Este representa la respuesta del detector en función del tiempo de elusión, la línea base del cromatograma corresponde a la señal del detector en ausencia de compuestos eluidos, la aparición de un pico representa la elusión de un componente de la muestra. La separación se completa cuando el cromatograma presenta tantos picos como compuestos formaban parte de la mezcla objeto del análisis.

Un cromatograma se caracteriza por su:

4.4.1 Tiempo de Retención t_r : Representa el tiempo transcurrido entre el instante de la introducción de la muestra en la columna y el momento en que dicho constituyente alcanza el máximo de señal en el detector.

4.4.2 Tiempo de retención ajustado t'_r : Es la diferencia entre el tiempo de retención de un constituyente y el tiempo muerto. Mide el tiempo que el componente permanece en fase estacionaria.

4.4.3 Tiempo muerto t_0 : Se define como el tiempo necesario para que un componente no retenido (o la fase móvil) llegue al detector. Representa el espacio vacío de la columna.

$$t'_r = t_r - t_0$$

4.4.4 Ancho a la base, W_b : Es la porción de la línea base intersectada por las tangentes al pico. Tradicionalmente usado en el cálculo de la eficiencia del sistema.

4.4.5 Ancho a la mitad de la base, $W_{1/2}$: Una medida mas reproducible, adecuada para evaluar manualmente la eficiencia del sistema (platos teóricos).

4.4.6 Número de platos teóricos (N): El número total de platos teóricos de una columna representa el poder de separación de la columna. Una buena columna tiene un número alto de platos teóricos.

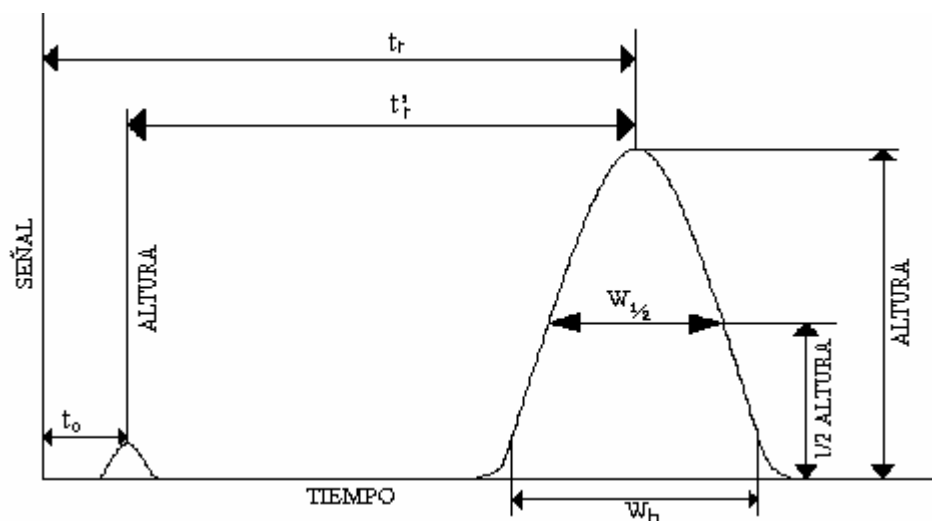
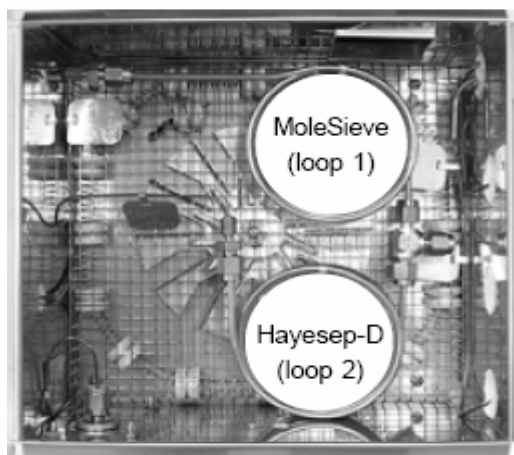


Fig. 4.3 Cromatograma.

4.5 PROGRAMACIÓN DEL CROMATOGRAFO DE GASES BUCK 910

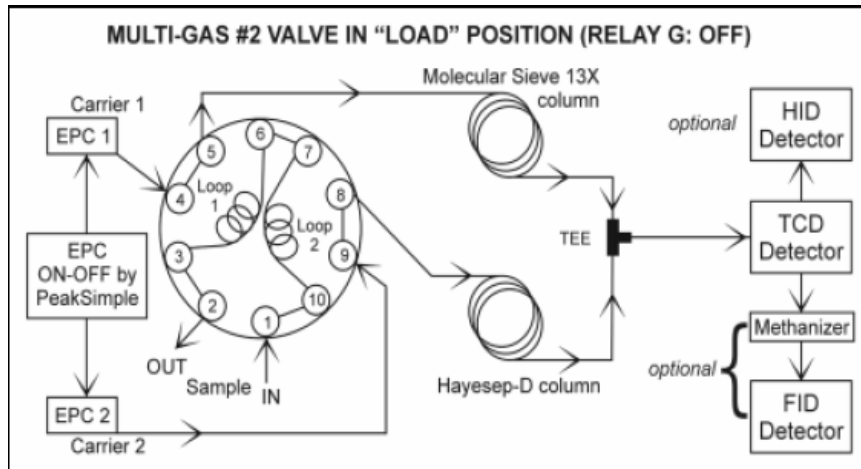
El cromatógrafo de gases, mostrado en la figura esta equipado con una válvula de muestreo de gas sondeada con lazos duales de la muestra a un horno calentador de la válvula, y dos columnas empacadas (Columna Molecular Sieve 13x y Columna Hayesep-D) en el horno de las columnas, también viene con un detector TCD. El GC puede estar equipado opcionalmente de un FID o un detector HID en adición con el TCD.

El GC separa una variedad amplia de picos sin la coelusión dando vuelta al flujo del gas portador por intervalos a las dos columnas empacadas individualmente en diversas horas durante el funcionamiento. Primero se pone en ON la válvula del gas portador #1 y este pasa por la columna Molecular Sieve 13x, para poder separar los compuestos como son: H₂, O₂, N₂, CH₄ y CO. En este punto, el flujo del gas acarreador #1 en la columna Molecular Sieve es cambiado a OFF y el gas acarreador #2 en la columna HayaSep-D se gira a ON y todos los componentes del rango C₁-C₆ son separados por la columna HayaSep-D.

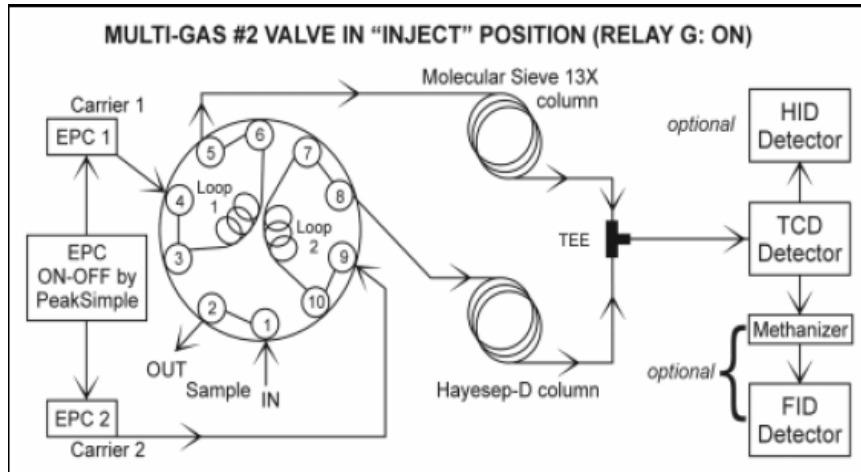


El Cromatógrafo de gases utiliza una sola válvula de muestreo de gases automática de 10 puertos y columnas múltiples para separar una variedad amplia de compuestos. Alcanza esto girando el flujo del gas portador a cada columna en diversas horas durante el funcionamiento. Este procedimiento permite que la columna Molecular Sieve 13x separe totalmente H₂, O₂, N₂, CH₄ y CO antes de que el flujo del gas portador entre a la columna de HayeSep-D. La columna de HayeSep-D entonces separa todos los compuestos en la gama C₁-C₆. Una columna capilar opcional de 30 metros MXT-1 separa los hidrocarburos restantes con C₂₀, usando el mismo flujo del gas portador que la columna de HayeSep-D y un detector FID. El GC sondea con dos flujos separados del gas portador, cada uno regulado por el Control Electrónico de Presión (EPC) a través del sistema de datos de PeakSimple. El gas portador #1 atraviesa el loop #1 de la muestra a la columna de Molecular Sieve, entonces a través de la "te" pasa al detector de TCD. El portador #2 atraviesa el loop #2 de la muestra a la columna de HayeSep-D, entonces a través de la "te" pasa al detector de TCD. Los flujos #1 y #2 del gas portador son programados por intervalos dados en el PeakSimple, controlado por el usuario con una tabla de evento.

Cuando la válvula del GC está en la posición de LOAD, los loops #1 y #2 se cargan con la corriente del gas de la muestra mientras que los flujos #1 y #2 del gas portador puentean los lazos y viajan hacia las columnas.



Cuando la válvula del GC está en la posición del INYECTOR, los gases acarreadores #1 y #2 atraviesan los lazos de la muestra, llevando su contenido a las columnas.

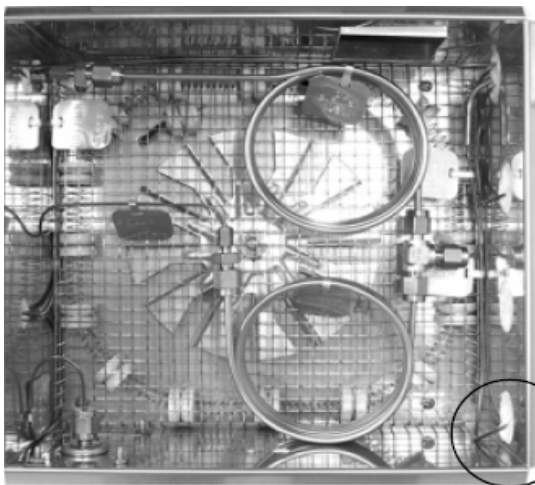


4.6 PROCEDIMIENTO GENERAL DE OPERACIÓN DEL CROMATÓGRAFO BUCK 910

1. Coloque la presión del cilindro de gas 15-20 psi mayor que la presión de la cabeza (acarreador helio). La presión del gas portador de fabrica para generar los cromatogramas de la prueba esta ilustrado a lado derecho del GC. Verifique que al tornar en OFF el cilindro del gas acarreador se lea una presión actual de CERO en el GC.

GAS FLOW RATES					
CARRIER 1:	MOL. SIEVE :	10	PSI =	10	ml/min
CARRIER 2:	HAYESEP-D :	7	PSI =	10	ml/min
P&T PURGE:	:		PSI =		ml/min
HYDROGEN 1:	:		PSI =		ml/min
HYDROGEN 2:	:		PSI =		ml/min

- El daño o la destrucción de los filamentos del TCD ocurrirán si la corriente es aplicada en ausencia de flujo de gas acarreador. Verifique SIEMPRE antes de poder en ON que el gas acarreador este en contacto con el TCD antes de encender la corriente del TCD. La tubería de la toma de corriente del gas acarreado de TCD que está situada dentro del horno de la columna esta etiquetada para la identificación. Ponga al final de la tubería un líquido jabonoso y obsérvelo. Si hay burbujas que salen del tubo, hay un problema en el flujo. No encienda la corriente del TCD si el flujo de gas acarreador no es detectado. Un circuito de protección del filamento previene daño o destrucción del filamento apagando la corriente de TCD cuando la presión de la columna está por debajo de 3 psi. Porque este circuito de protección no puede prevenir daño del filamento bajo todas las circunstancias, cualquier ausencia de flujo de gas acarreador debe ser corregido antes de proceder. NUNCA gire al portador #1 y al portador #2 OFF al mismo tiempo. Vea la sección del manual de TCD para más información sobre el detector.



El tubo que lleva la corriente del gas acarreador hacia el TCD está localizado dentro del horno de las columnas. Si también hay un detector FID en su GC, el tubo que lleva la corriente del gas acarreador hacia el TCD esta conectada al FID dentro de la pared del horno de las columnas. Si su GC tiene sólo un TCD, el final del tubo estará afuera del horno de las columnas, a un costado del detector.

- Fije la temperatura de la válvula del horno a 90°C usando el trimpot ubicado en el borde superior al frente del panel de control del GC.

Use directamente el trimpot sobre la zona de la válvula y ponga o ajuste la temperatura de la válvula del horno.



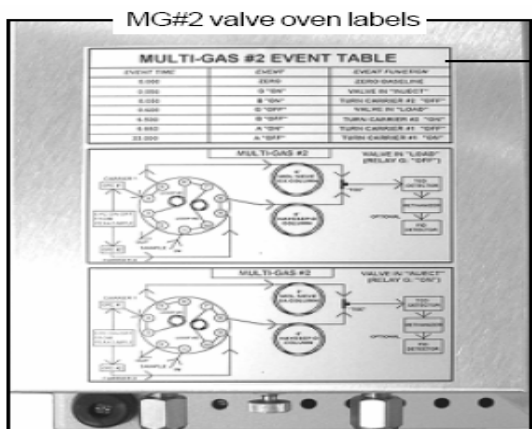
- Encienda la corriente del TCD en BAJA.

5. Fije la temperatura del horno de las columnas en el programa PeakSimple como sigue: (Esto es un ejemplo; su análisis puede requerir otro programa de temperatura.)

INICIAL	HOLD	RAMPA	FINAL
50.00	3.00	20.00	220.00
220.00	25.00	0.00	220.00

6. Tabla de Evento. El ejemplo mostrado esta etiquetado sobre la válvula del horno del GC. La tabla de evento debe permitir la elusión del CO por la columna Molecular Sieve antes de que el gas acarreador #2 se ponga en ON. La temperatura del horno de las columnas puede ser incrementada para apresurar la elusión del H₂, O₂, N₂, CH₄, y CO. Los hidrocarburos como etano y propano salen de la columna Molecular Sieve 13x después de que su gas acarreador se dé vuelta a OFF y el gas acarreador de Hayesep-D se gira a ON. El ejemplo de la tabla de evento también gira el gas acarreador #1 a ON al final de la corrida, mientras que la columna esta todavía bastante caliente para calentar los hidrocarburos fuera de la columna Molecular Sieve. Esta fase de calentamiento fuera es requerida para conseguir picos libres de residuos, y así no comprometer análisis siguientes. Mantenga el gas acarreador #1 en ON y el horno de las columnas bastante caliente por largo tiempo para enjuagar cualquier pico de la contaminación. De clic en el menú Drop Down abajo en la ventana principal del PeakSimple para corregir, entonces elija el OVERALL, después cerciórese de que la caja de selección "RESET RELAYS AT END OFF RUN" este seleccionado. Si no, usted tendrá que incluir G OFF al final de la tabla de EVENTO.

MG#2 valve oven labels



MULTI-GAS #2 EVENT TABLE

EVENT TIME	EVENT	EVENT FUNCTION
0.000	ZERO	ZERO SIGNAL
0.050	B ON	VALVE B "ON"
0.500	G ON	VALVE G "ON"
3.500	B OFF	VALVE B "OFF"
3.600	A ON	VALVE A "ON"
18.000	A OFF	VALVE A "OFF"

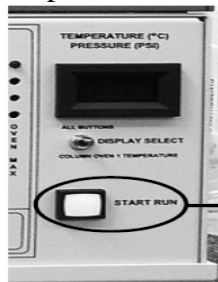
Example event table:

Time	Event
0.000	ZERO (zero data system signal)
0.050	B ON (carrier #2 OFF)
0.500	G ON (valve INJECT)
3.500	B OFF (carrier #2 ON)
3.600	A ON (carrier #1 OFF)
18.000	A OFF (carrier #1 ON- MoleSieve Bake Out phase)

7. Cargue su muestra a la corriente de gas conectando el flujo de la muestra a la entrada del puerto ("SAMPLE IN") en el frente del horno de la válvula con la tuerca provista con una tuerca de 1/8" de latón.



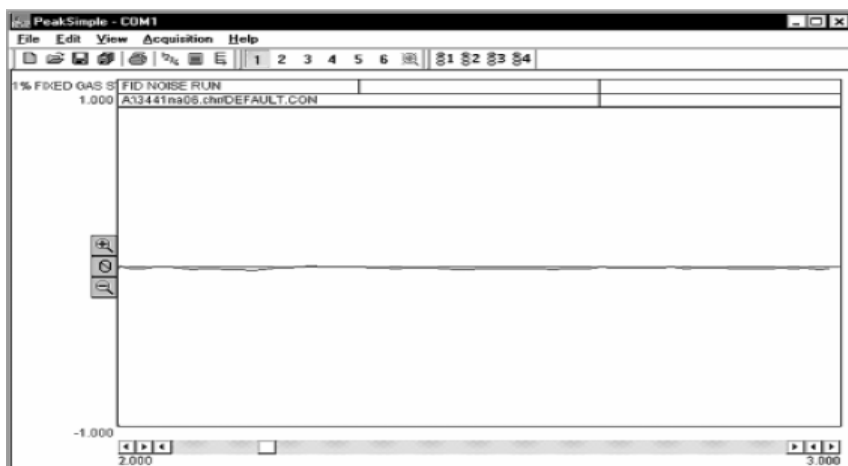
- Comience el análisis presionando el botón STAR RUN al frente de su GC, o al presionar la barra espaciadora del teclado de la computadora.



El botón STAR RUN esta en la parte inferior derecha del panel de control del GC.

4.7 FUNCIONAMIENTO PREVISTO

Estas dos corridas fueron realizadas con parámetros idénticos (flujo de gas acarreador, columnas, programa de temperatura) en un Analizador de Gases Múltiple equipado con detectores TCD y FID. Las únicas diferencias particulares del detector, están a un lado de su respectivo cromatograma.



FID noise run

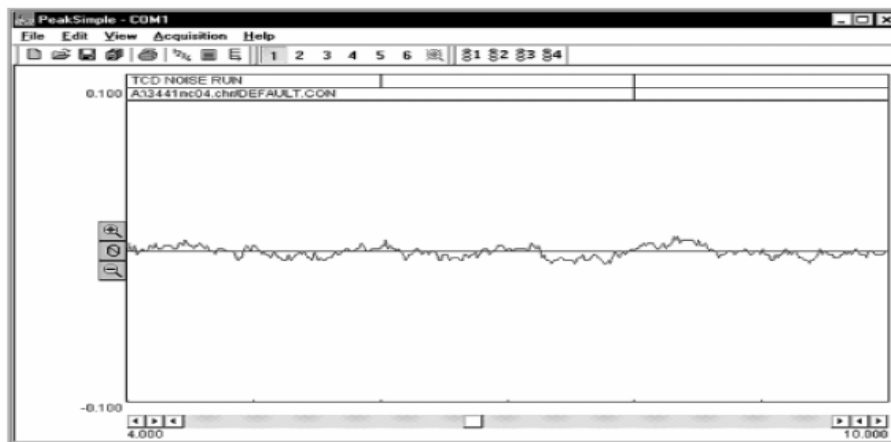
FID gain = HIGH
 FID temp = 380°C
 FID ignitor = -400
 Methanizer in FID
 detector body

Valve temp = 90°C
 Carrier #1 Mol. Sieve 13x = 20mL/min
 Carrier #2 Hayesep-D = 20ml/min
 Total carrier flow = 40mL/min

Temperature program:
 Initial Hold Ramp Final
 80°C 20.00 0.00 80°C

TCD noise run

TCD current = LOW
 TCD temp = 150°C



Columns: 2-meter Hayesep-D, 2-meter
Molecular Sieve 13x
TCD current = LOW; TCD temp = 150°C

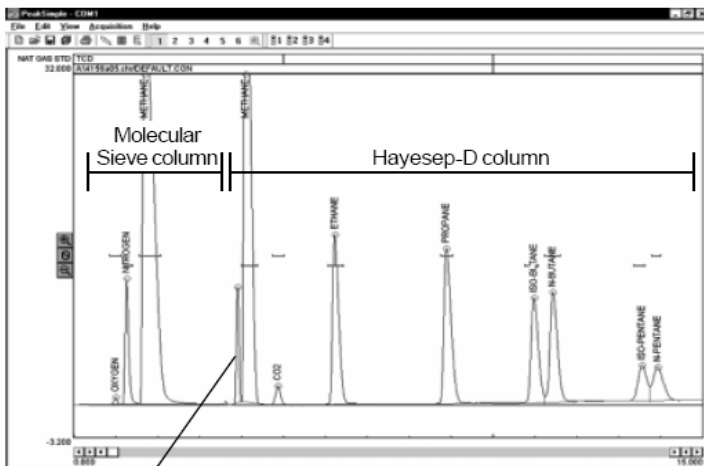
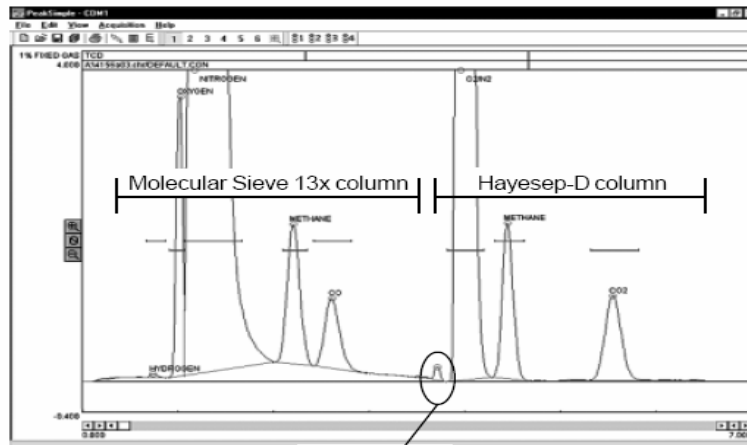
Carrier: Helium at 40mL/minute combined
(20mL/minute through each column)
Valve temp = 90°C

Column Oven
Temperature program:
Initial Hold Ramp Final
50°C 3.00 20.00 220°C
220°C 25.00 0.00 220°C

1% Fixed Gas Standard

RESULTS:

Component	Retention	Area
Hydrogen MS	0.733	00.2510
Oxygen MS	1.016	16.0495
Nitrogen MS	1.166	1108.7680
Methane MS	2.200	16.5050
CO MS	2.600	09.7370
O ₂ /N ₂ Hay-D	3.950	863.6340
Methane Hay-D	4.433	15.7300
CO ₂ Hay-D	5.533	12.9205
TOTAL		2043.5950



Natural Gas Standard

RESULTS:

Component	Retention	Area
Oxygen MS	0.983	3.4190
Nitrogen MS	1.250	72.5450
Methane MS	1.683	706.7920
Methane Hay-D	4.083	587.7140
CO ₂ Hay-D	4.850	14.7710
Ethane Hay-D	6.216	169.1275
Propane Hay-D	8.866	180.2660
Iso-Butane Hay-D	10.966	126.6950
N-Butane Hay-D	11.400	134.1470
Iso-Pentane Hay-D	13.533	50.1540
N-Pentane Hay-D	13.916	54.4740
TOTAL		2099.1045

El primer cromatógrama muestra la respuesta del TCD a una muestra de mezcla estándar 1% Fixed Gas. Usando la misma temperatura de válvula, programa de temperatura de horno de columnas, flujo de gas acarreador y tabla de evento, el segundo cromatógrama muestra la respuesta de una muestra de Gas Natural estándar. La tabla de evento usada es mostrada en la página del Proceso General de Operación.

4.8 Programa PEAK SIMPLE

El cromatógrafo BUCK 910 cuenta con un software (PEAK SIMPLE) que es un integrador. Este programa permite ver los cromatógramas de las corridas realizadas, pero para poder realizar las corridas cromatográficas se debe de programar el cromatógrafo siguiendo ciertos pasos para poder obtener todos los resultados necesarios.

Los pasos a seguir son:

1. Conectar el cromatógrafo al cable R232 que va conectado a la computadora, esto para tener señal al momento de realizar corridas entre ambos equipos.
2. Antes de realizar la corrida experimental y una vez ya conectados el cable con los equipos, abra el programa PeakSimple, este recibirá la señal del cromatógrafo y aparecerá una ventana que indica que el programa esta listo para que se le den indicaciones de programación para poder realizar la corrida experimental.

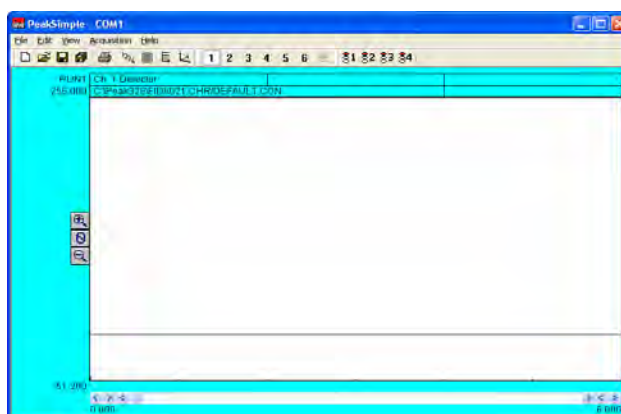


Figura 4.4 Pantalla del programa PeakSimple

3. En el menú Edit en el icono Channels, los canales se refieren a los detectores que se tienen en el cromatógrafo y como en nuestro caso solo tenemos un detector que es el TC al primer canal lo podemos identificar con ese nombre. En esta tabla claramente se pueden observar las condiciones que se deben tomar en cuenta para tener una buena corrida cromatográfica.



Figura 4.5 Edición de canales.

La programación de este debe de ser referente a las siguientes condiciones de operación como son: **temperatura** (esta se puede poner constante o en rampa, depende como va a ir aumentando o decreciendo la temperatura durante la corrida dependiendo de los componentes que contenga la muestra inyectada), **tabla de eventos** (esta tabla servirá para indicarle al cromatógrafo la apertura y cierre de válvulas, en que orden deben de actuar para inyectar la muestra a las columnas y a que tiempo deberán cerrarse completamente esto será al mismo tiempo que termine la corrida experimental), **componentes** (si es que ya se tienen

algunos calibrados, en este icono se pueden cargar los guardados previamente para tenerlos como base y sobre estos rangos identificar los de la mezcla a analizar), **rango de integración** (en este icono, como lo dice su nombre, se establece el rango de integración de los picos detectados, este es de gran ayuda ya que solo identifica los picos que cuentan con ese valor de integración).

4. Una vez ya establecido el programa con el cual va a operar el cromatógrafo se procede a esperar a que el programa se cargue y el cromatógrafo interaccione con el programa esto para poder empezar a correr la muestra. Una vez que todas las condiciones de operación son las adecuadas para poder realizar la corrida se toma la muestra, se inyecta al mismo tiempo se presiona la tecla espaciadora, esto le indicará al programa que comienza la corrida.
5. Comenzada la corrida y llevándose a cabo los eventos que se programaron con las condiciones de operación necesarias para la corrida comenzaran a dibujarse en la pantalla ciertos picos los cuales indican la detección de algún componente en la muestra problema.
6. Una vez terminada la corrida las válvulas harán un sonido especial el cual indicará que concluyó la corrida, así mismo en la pantalla de la computadora se observa como la corrida terminó al verse la línea base como se detiene, con esto ya se puede observar la tabla de resultados donde se obtienen las áreas de integración, la temperatura a la que se detectó el componente, el tiempo de retención exacto al que se detectó el componente, del pico se indican la altura así como la anchura del mismo entre otras cosas. Con esta tabla se pueden leer perfectamente los resultados de integración de cada pico los cuales ayudaran a comparar, analizar y discutir los resultados obtenidos.
7. Por último cada vez que se quiera hacer una corrida, si son a las mismas condiciones de operación a las que se corrió alguna anterior puede cargarse el programa de ésta, pero si no se guardó el programa se pueden volver a reescribir todas las condiciones necesarias a las que se requiere la corrida experimental.

4.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el fin de estudiar el comportamiento de la muestra patrón del gas de síntesis en el cromatógrafo de gases se solicito a una empresa especialista en gases realizar la composición de una mezcla de gases que representara a la composición del gas de síntesis obtenido en la simulación matemática cuando se diseño el gasificador.

Esta composición es la siguiente:

Componente	Composición
H ₂	12%
N ₂	52%
CH ₄	4.9%
CO	20%
CO ₂	11.1%

La metodología de estudio para obtener el cromatograma base de la mezcla patrón consiste en los siguientes análisis:

- 1) Estudio de mezclas puras con variación de temperatura para identificar el tiempo de retención en las diferentes columnas.

- 2) Estudio de la mezcla patrón a temperaturas constantes con el fin de identificar el tiempo de retención y el % de área.
- 3) Finalmente se estudio el comportamiento de la mezcla patrón con 5 diferentes rampas de temperaturas en las cuales se estudio el mejor tiempo de retención y el % de área que representara los por cientos de las especies que componen la mezcla patrón.

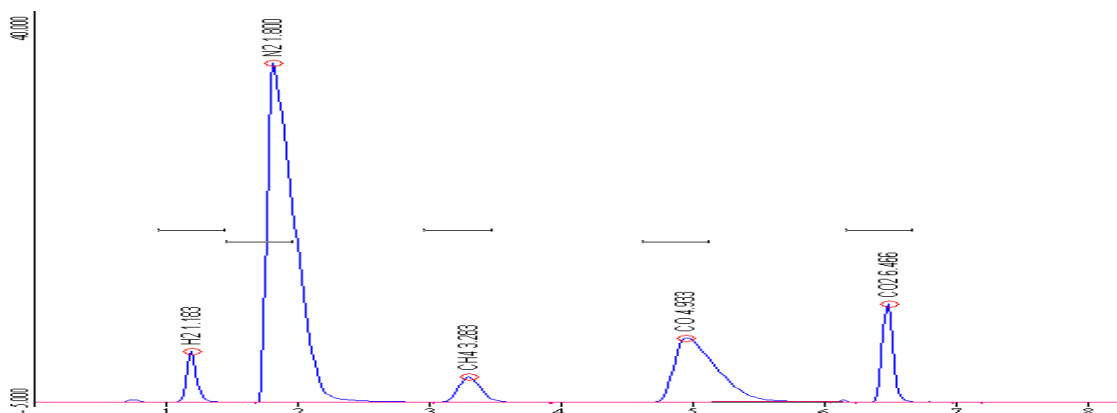
1) MEZCLAS PURAS

	N. de Repeticiones	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (seg)	% Área	% Pureza Muestra
CO2	1	90	6,416	8,5651	9
	2	90	6,416	6,0488	9
H2	1	28	1,183	21,0853	21
	2	28	1,183	20,6726	21
	3	28	1,183	20,7724	21
	4	28	1,183	20,6418	21
	5	28	1,183	20,7213	21
CH4	1	28	4,733	97,6373	98,9
	2	28	4,733	99,1053	98,9

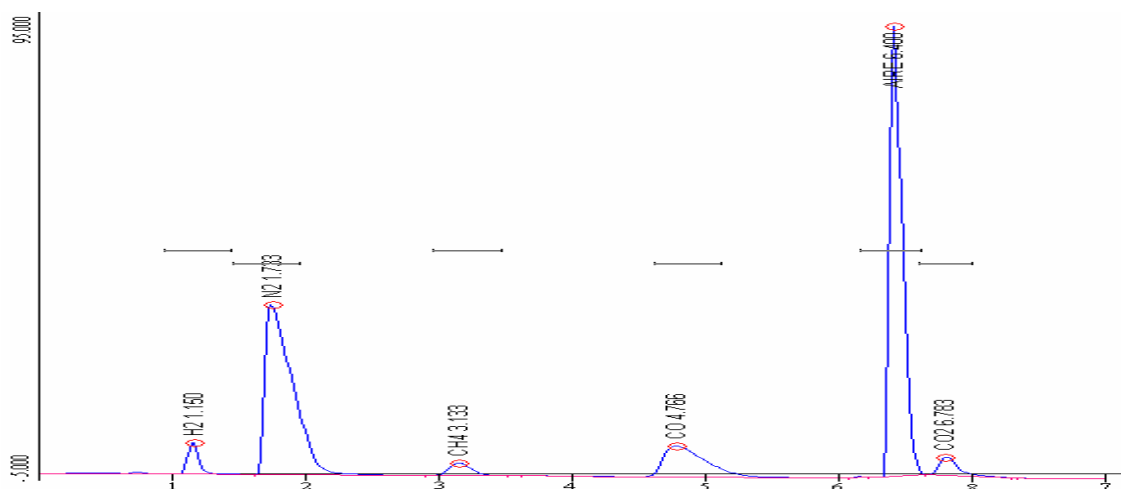
Tabla 4.1 Datos registrados en los cromatógramas de mezclas puras.

Se observa que las columnas del cromatógrafo identifican los componentes puros idóneamente, en función de las temperaturas referidas en el manual de operación. Los porcentajes de área son acordes a las concentraciones de la mezcla pura inyectada y los tiempos de retención también son acordes a los establecidos por el fabricante.

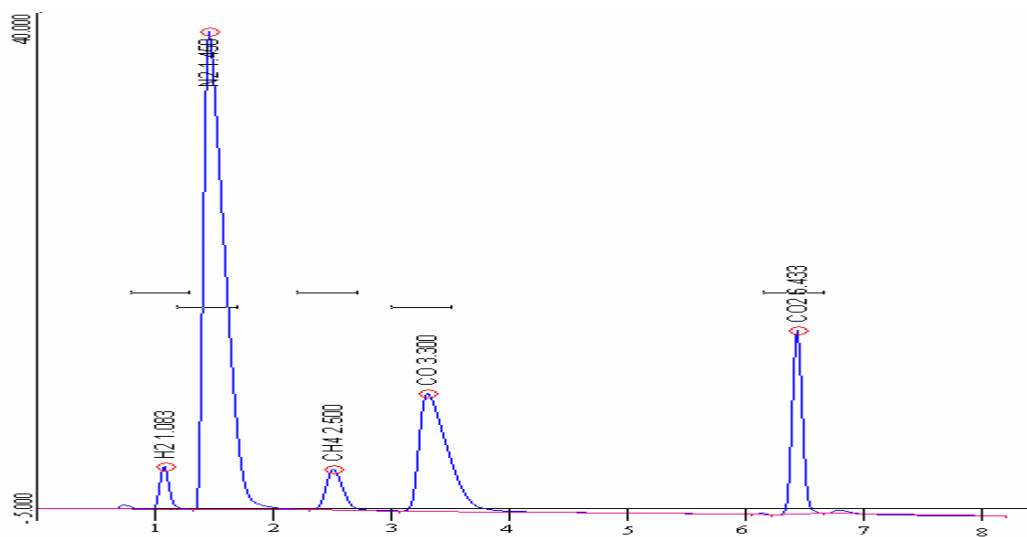
- 2) Cromatógramas obtenidos a temperatura constante con mezcla patrón de gas de síntesis.



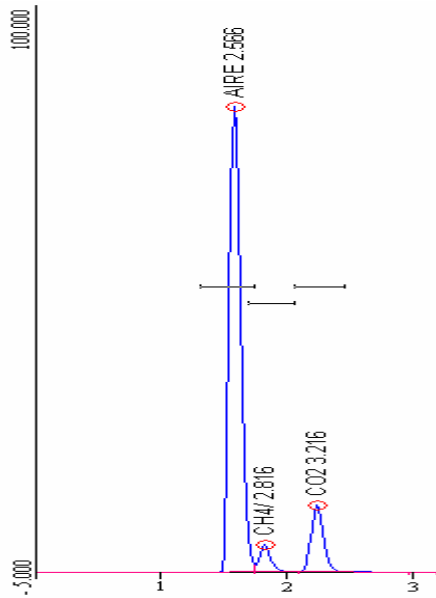
28°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	Área %
H2	1.183	28.7725	3.8213
N2	1.8	488.755	64.9114
CH4	3.283	30.045	3.9903
CO	4.933	147.485	19.5874
CO2	6.466	57.9	7.6897



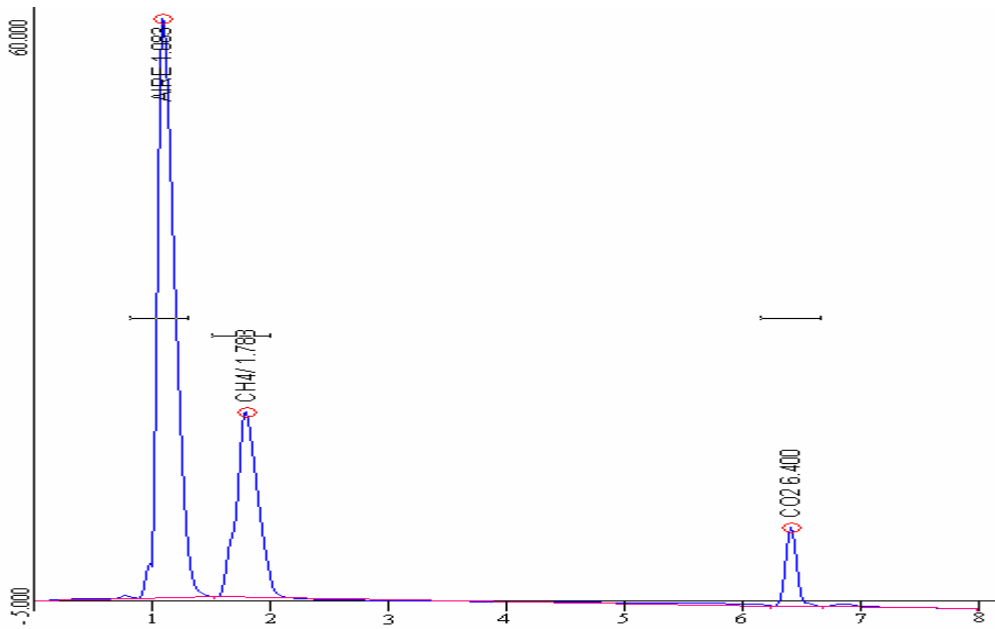
30°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	% Área
H2	1.15	36.5205	2.7
N2	1.733	488.0955	36.14
CH4	3.133	28.8635	2.14
CO	4.766	138.6505	10.27
AIRE-CH4-CO	6.4	621.354	46.01
CO2	6.783	37.057	2.74



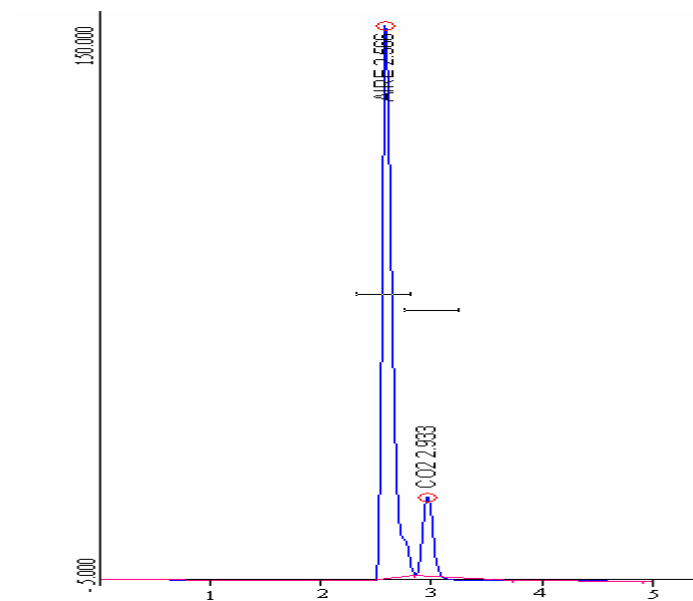
50°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	% Área
H2	1.083	18.899	2.47
N2	1.45	468.411	61.29
CH4	2.5	32.145	4.21
CO	3.3	156.9295	20.53
CO2	6.433	87.911	11.5



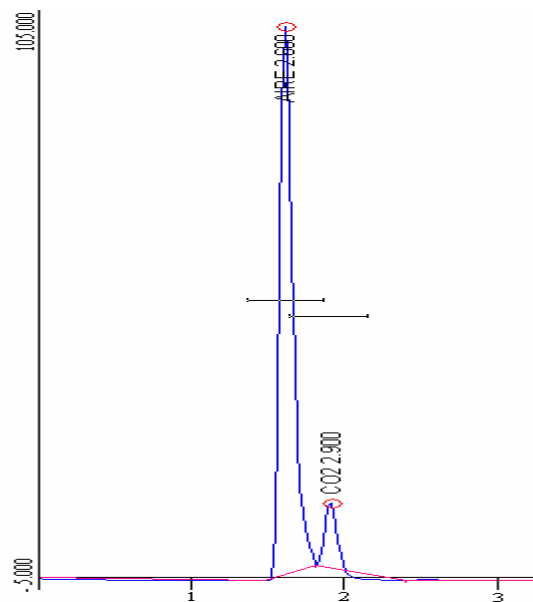
80°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	% Área
AIRE	2.566	462.1375	82.30
CH4/CO	2.816	26.7970	4.77
CO2	3.216	72.5830	12.93



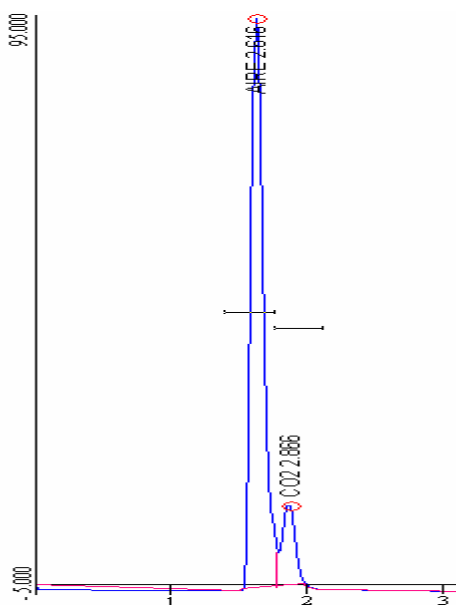
100°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	% Área
AIRE	1,083	578,129	67,3035
CH4/CO	1,783	231,6145	26,9636
CO2	6,4	49,245	5,7329



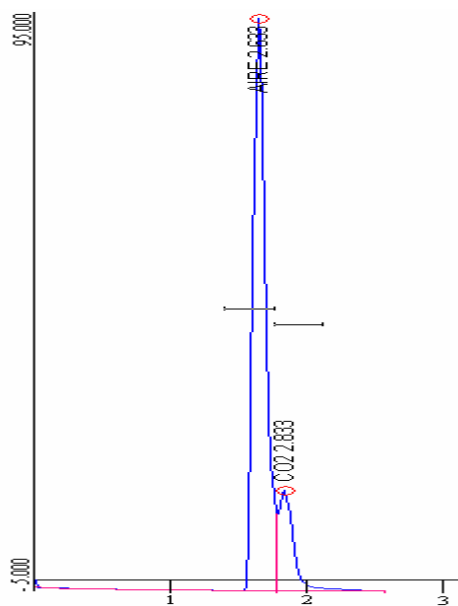
120°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área (mV)	% Área
AIRE-CH4-CO	2.566	930.506	89.28
CO2	2.933	111.756	10.72



140°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área (mV)	% Área
AIRE-CH4-CO	2.6	615.429	92.78
CO2	2.9	47.8575	7.22



160°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área
AIRE-CH4-CO	2.616	600.6875	87.28
CO2	2.866	87.571	12.72



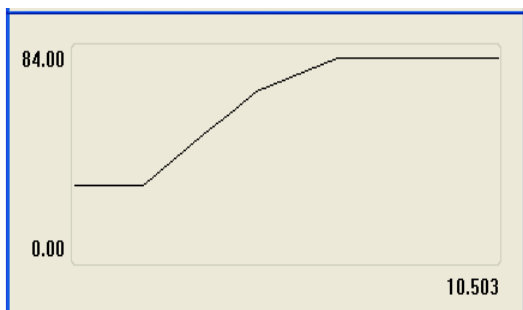
180°C cte.			
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área
AIRE-CH4-CO	2.633	659.176	83.55
CO2	2.833	129.825	16.45

Los cromatogramas del estudio realizado con diferentes temperatura las cuales permanecieron contantes durante el experimento, muestran un tiempo de retención idóneo para cada componente que se encuentra en la mezcla patrón de gas de síntesis (H_2 12%, N_2 52%, CH_4 5%, CO 20% y CO_2 11%).

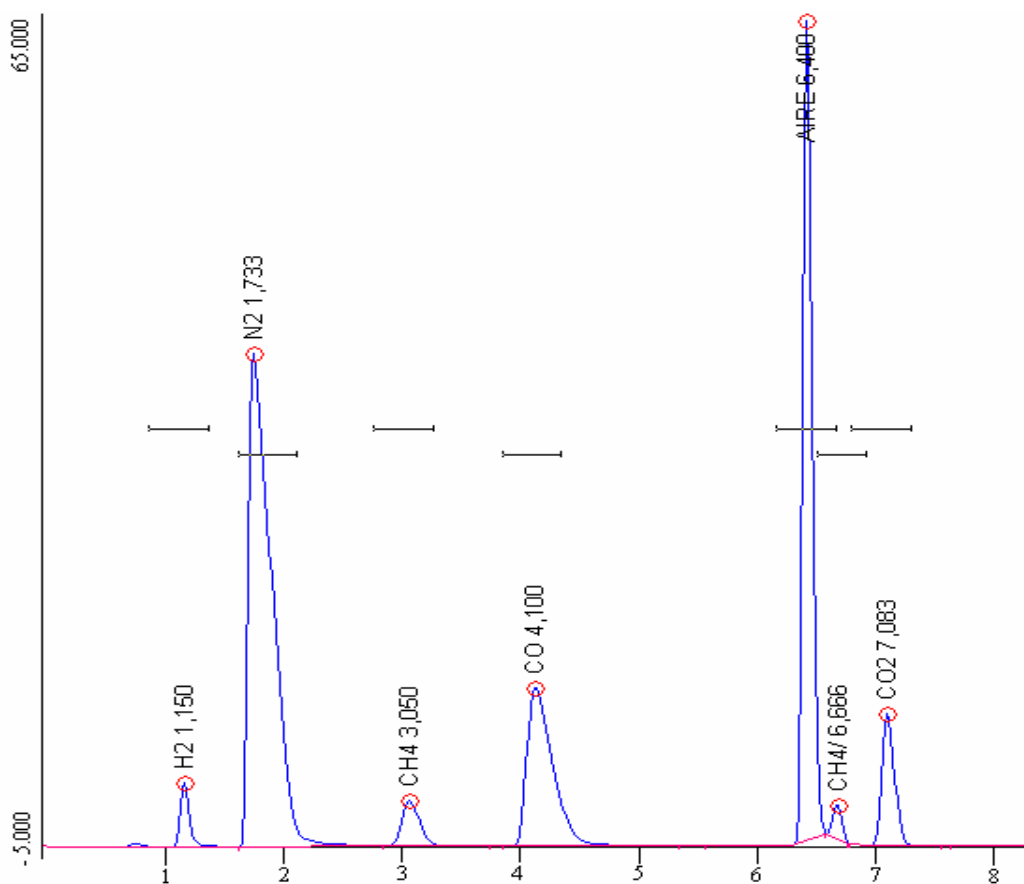
Se observo una variación significante en los picos de los componentes de la mezcla patrón al variar la temperatura, como por ejemplo; el tener bajas temperaturas era imposible detectar el Dióxido de Carbono, ya que este compuesto depende de que una de las columnas que lo identifica se encuentre a altas temperaturas con el fin de ser separado. Sin embargo, para la separación del Hidrógeno se necesito mantener una temperatura muy baja, debido a que este compuesto es muy volátil, las temperaturas altas lo afectan y pasa por desapercibido por el detector TCD.

Dado a que el procedimiento se realizo a temperaturas constantes ($28^\circ C$, $30^\circ C$, $50^\circ C$, $80^\circ C$, $100^\circ C$, $120^\circ C$, $140^\circ C$, $160^\circ C$ y $180^\circ C$), y después de varias corridas experimentales se obtuvo el tiempo de retención al que se registraba cada componente y su temperatura estimada, por lo tanto, se procedió a la realización de rampas de temperatura que a continuación se presentan

3) Estudio de la muestra patrón con cinco diferentes rampas de temperatura.
RAMPA 1

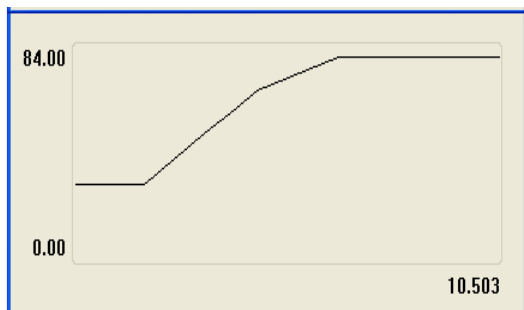


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

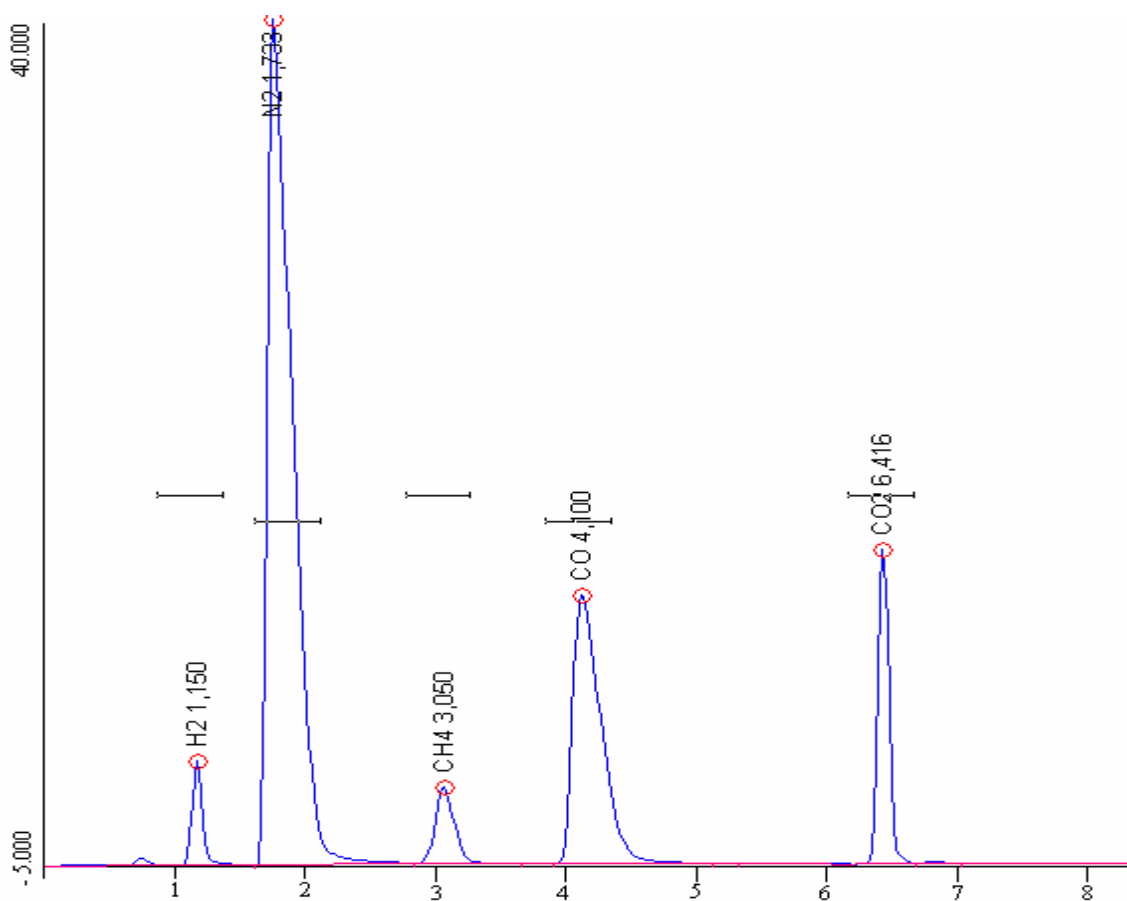


Rampa 1				
Componente	Tiempo de Retención(min)	Área(mV)	% Área	Temperatura(°C)
H2	1,15	24,968	2,1916	30
N2	1,733	487,5635	42,796	30
CH4	3,05	32,98	2,8948	48
CO	4,1	172,269	15,121	61
AIRE	6,4	338,329	29,6969	79
CH4/CO	6,666	13,673	1,2002	80
CO2	7,083	69,49	6,0995	80

RAMPA 2

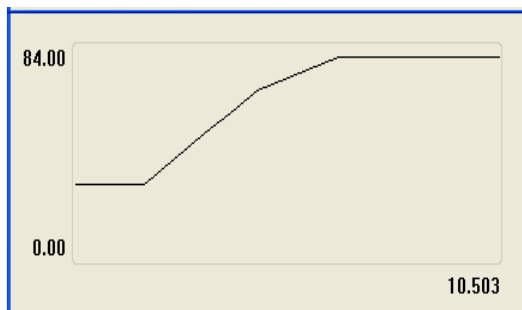


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

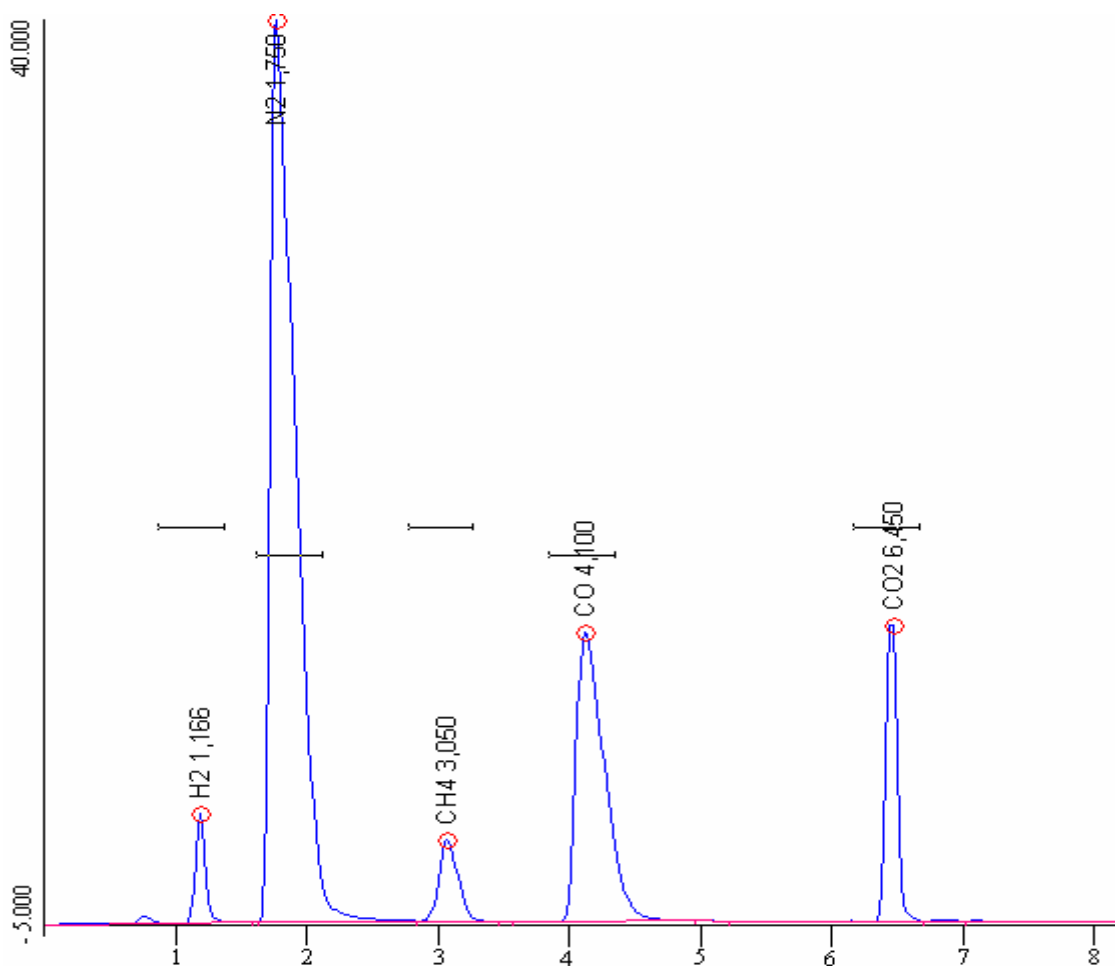


Rampa 2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,15	22,727	3,0227	30
N2	1,733	461,378	61,3638	30
CH4	3,05	31,204	4,1502	48
CO	4,1	162,946	21,672	61
CO2	6,416	73,6185	9,7913	79

RAMPA 3

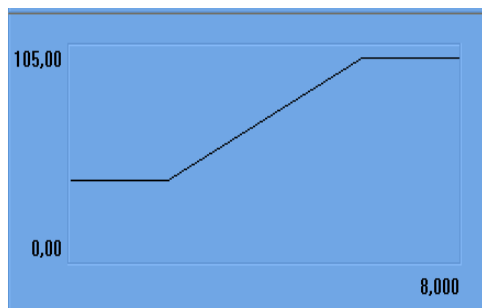


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

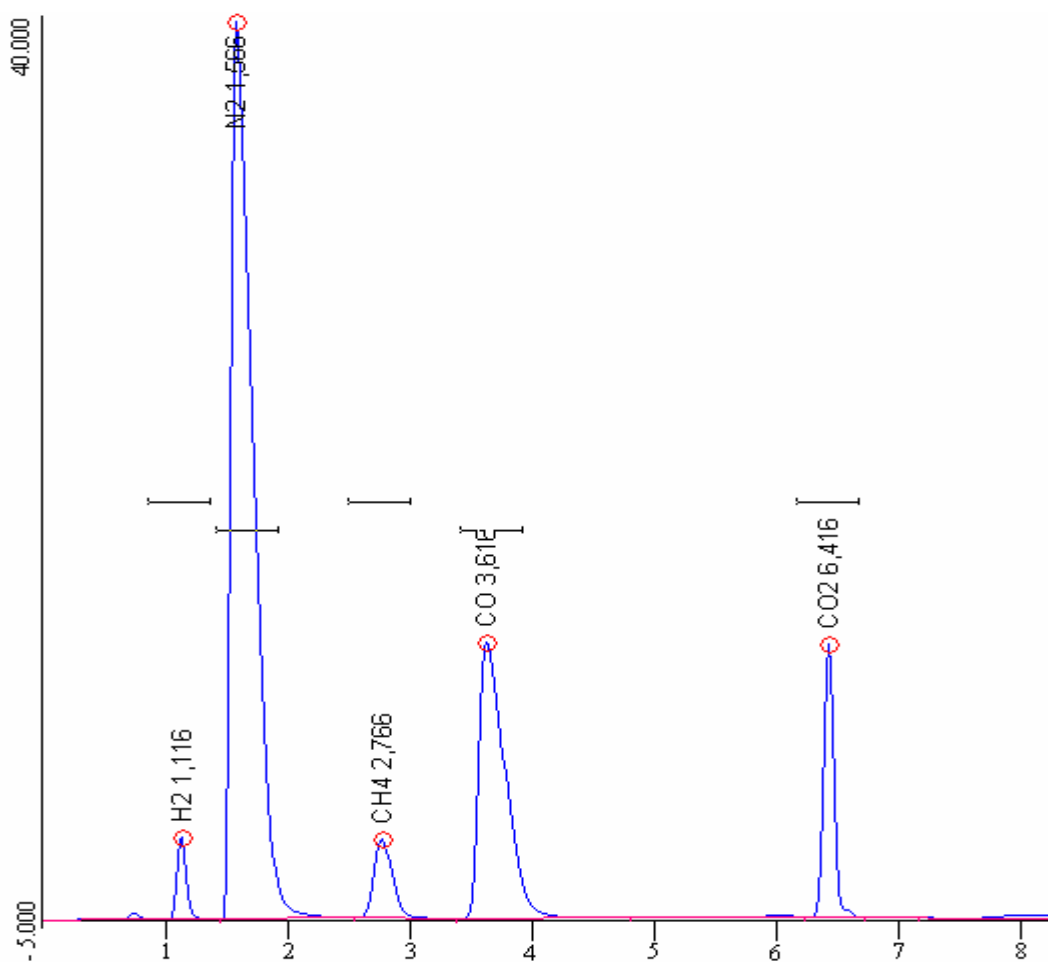


Rampa 3				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura(°C)
H2	1,166	22,189	2,9925	30
N2	1,75	460,564	62,1139	31
CH4	3,05	30,97	4,1768	48
CO	4,1	162,904	21,97	61
CO2	6,45	64,856	8,7468	80

RAMPA 4

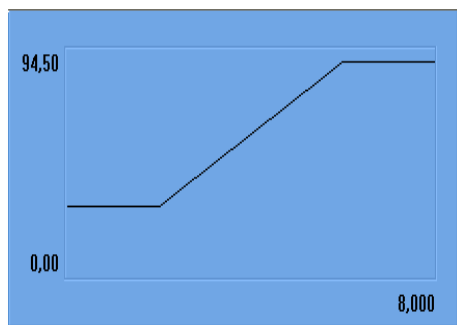


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
40.00	2.000	0.000	40.00
40.00	0.000	15.000	100.00
100.00	2.000	0.000	100.00

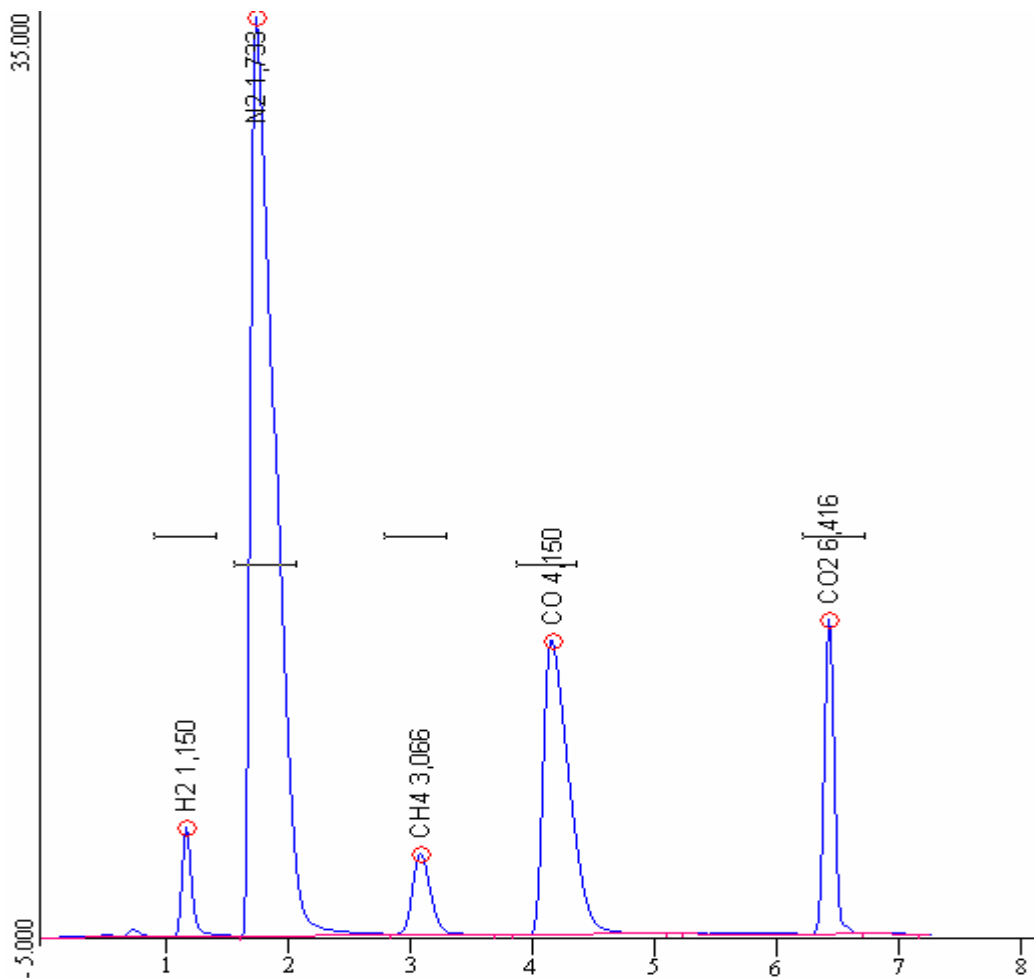


Rampa 4				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,116	18,3595	2,4095	40
N2	1,566	473,038	62,0818	40
CH4	2,766	32,795	4,304	51
CO	3,616	170,021	22,3137	64
CO2	6,416	67,746	8,891	100

RAMPA 5

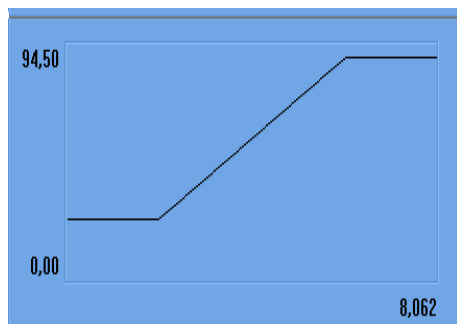


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	2.000	0.000	30.00
30.00	0.000	15.000	90.00
90.00	2.000	0.000	90.00

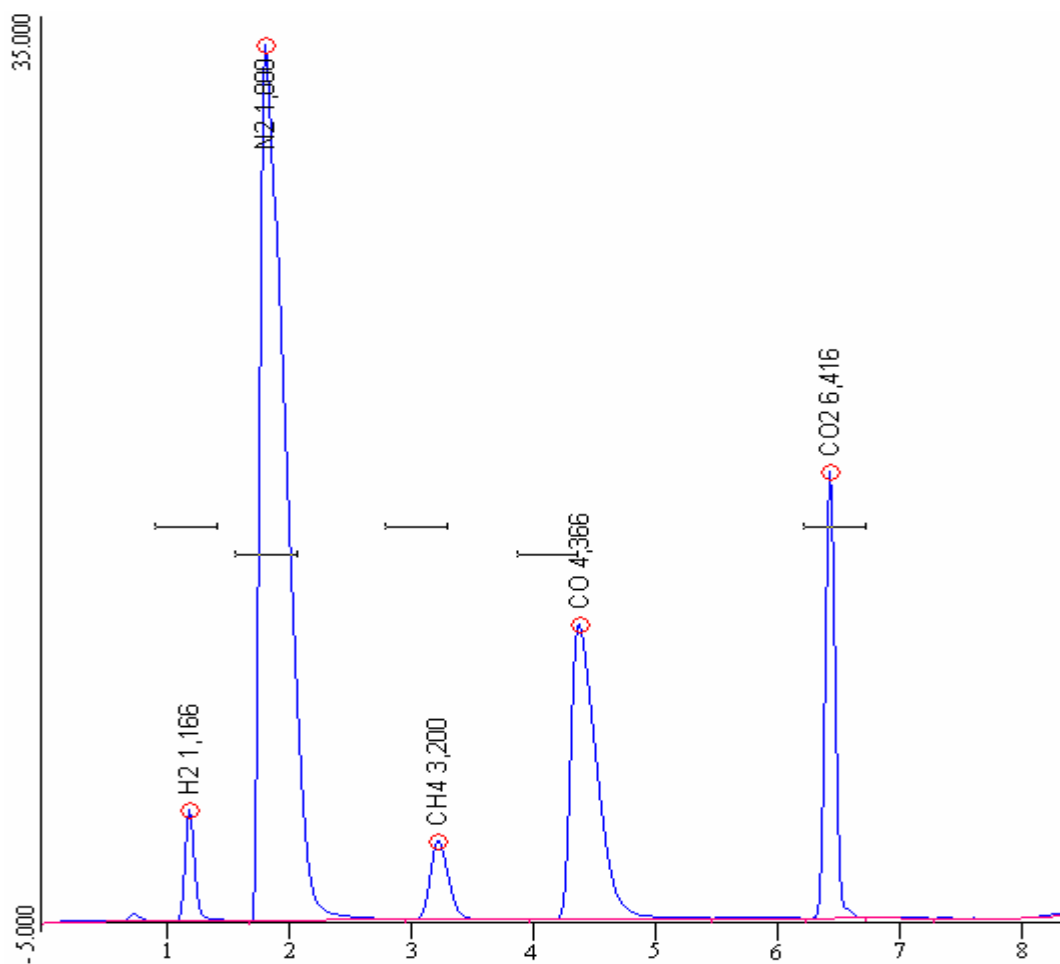


Rampa 5				
Componente	Tiempo de Retención (°C)	Área(mV)	% Área	Temperatura(°C)
H2	1,15	22,681	3,0393	30
N2	1,733	460,6495	61,7281	30
CH4	3,066	31,267	4,1899	46
CO	4,15	162,909	21,8302	62
CO2	6,416	68,749	9,2125	90

RAMPA 6



Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
25.00	2.000	0.000	25.00
25.00	0.000	16.000	90.00
90.00	2.000	0.000	90.00



Rampa 6				
Componente	Tiempo de Retención (°C)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,166	23,082	2,9632	25
N2	1,8	461,416	59,236	25
CH4	3,2	31,2935	4,0174	44
CO	4,366	165,866	21,2937	63
CO2	6,416	97,288	12,4897	90

Se puede observar que en el primer cromatograma, se obtuvo un pico de aire y otro con rastros de metano y monóxido de carbono, registrados en la segunda columna cromatográfica, esto se debe a que la columna HaySep-D tenía rastros de la misma muestra que no pudo ser separada durante el paso de la primer columna, sin embargo, en las siguientes corridas cromatográficas estos picos ya no aparecen, lo que indica que el cromatógrafo requiere un calentamiento previo del horno de las columnas para que estas se limpien.

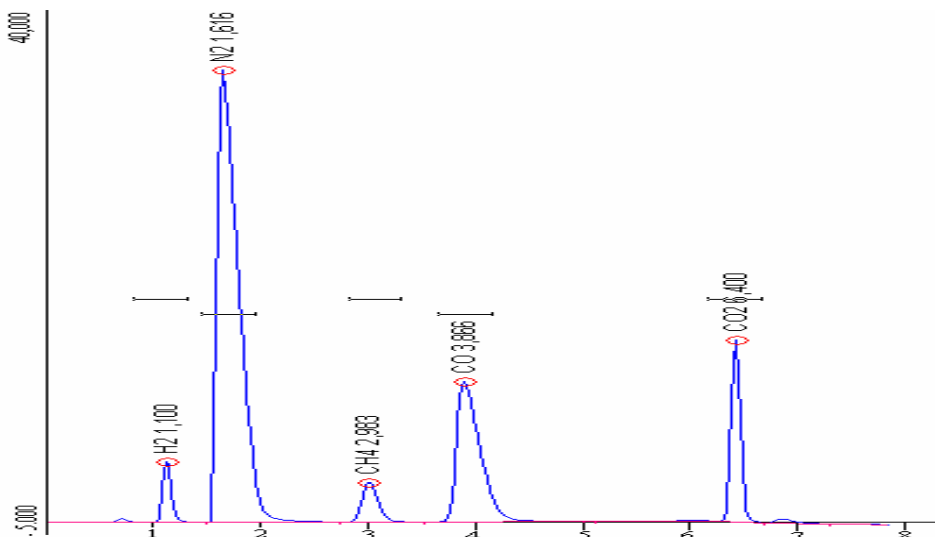
En estos cromatogramas se procedió a ir ajustando la rampa de temperaturas, esto con el fin de identificar mejor los picos de cada componente en el cromatograma, así como el porcentaje de área se aproximara a la composición de la mezcla.

Después de varias pruebas experimentales, finalmente se obtuvo la rampa 6, la cual representa el mejor resultado de todas. Estos resultados presentan una buena definición de picos de especies detectadas así como un porcentaje de área muy cercano a la composición de la muestra patrón. Cabe resaltar que con el fin de asegurar la reproducibilidad de los valores medidos por el cromatógrafo se realizaron 5 repeticiones, obteniéndose los mismos resultados. Por lo tanto se puede decir que este cromatograma representará la base con la cual se compararan todas las muestras de gas de síntesis que se obtengan del gasificador experimental.

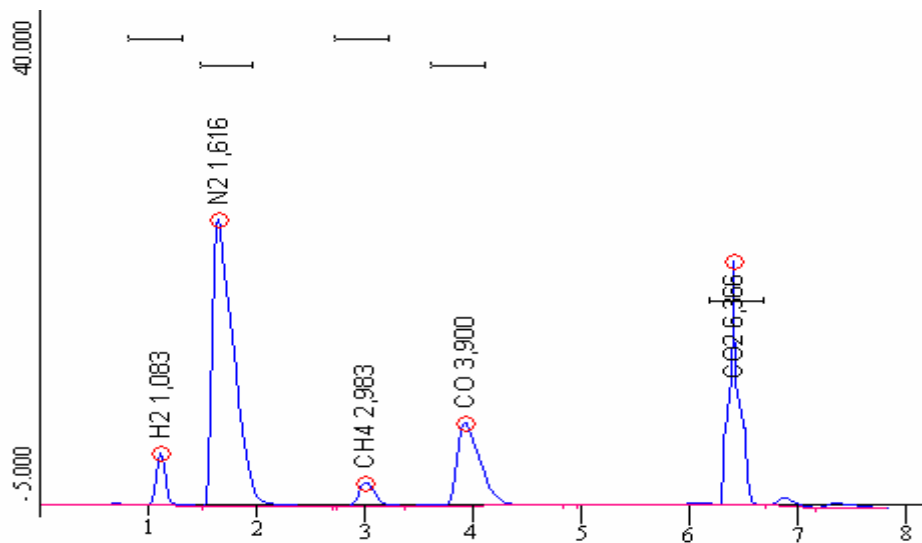
Componente	% Área en Mezcla Patrón	% Área en Cromatógrafo
H ₂	12	2.96
N ₂	52	59.23
CH ₄	4.9	4.01
CO	20	21.29
CO ₂	11.1	12.48

Tabla 4.2 Por cientos de área de la mezcla patrón en comparación con los por cientos de área registrados por el cromatógrafo de gases BUCK 910.

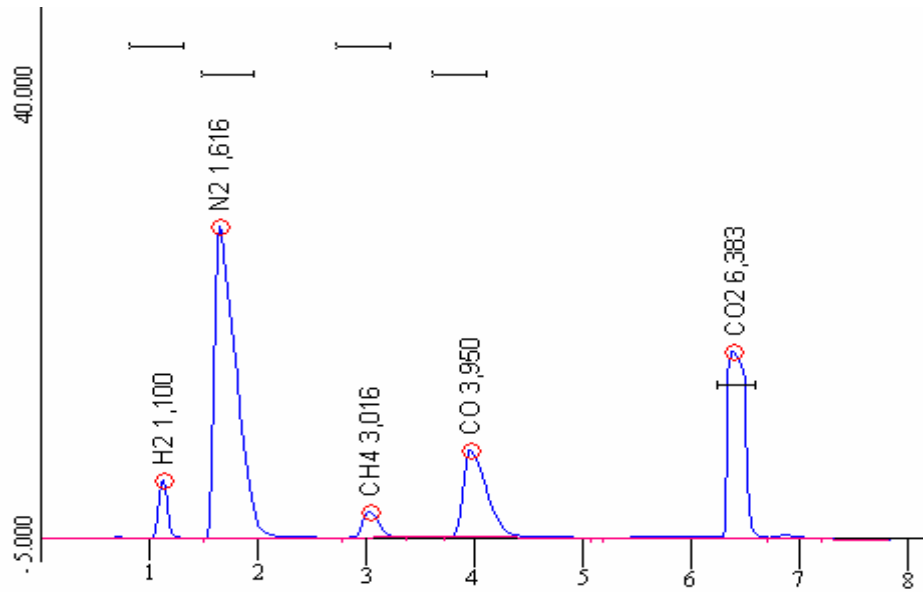
Repeticiones realizadas ocupando la rampa 6.



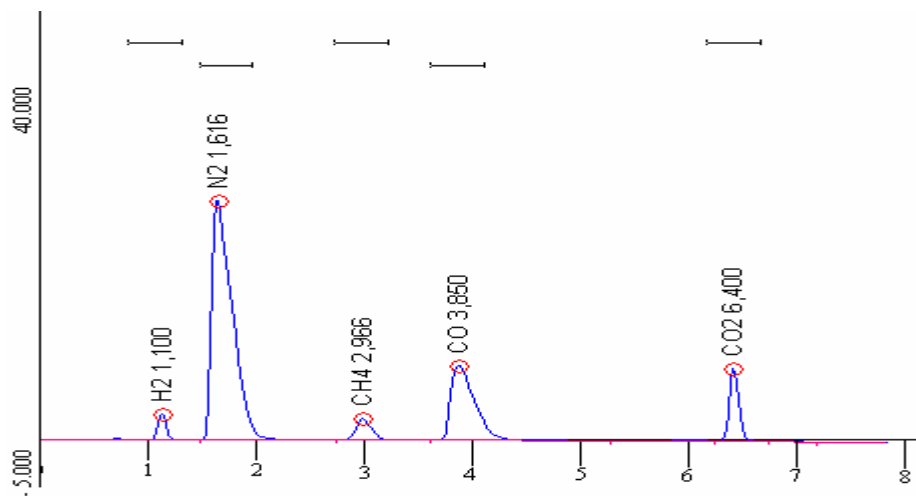
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,1	26,2645	3,3167	25
N2	1,616	480,248	60,6455	25
CH4	2,983	31,863	4,0236	41
CO	3,866	165,192	20,8604	55
CO2	6,4	88,326	11,1538	90



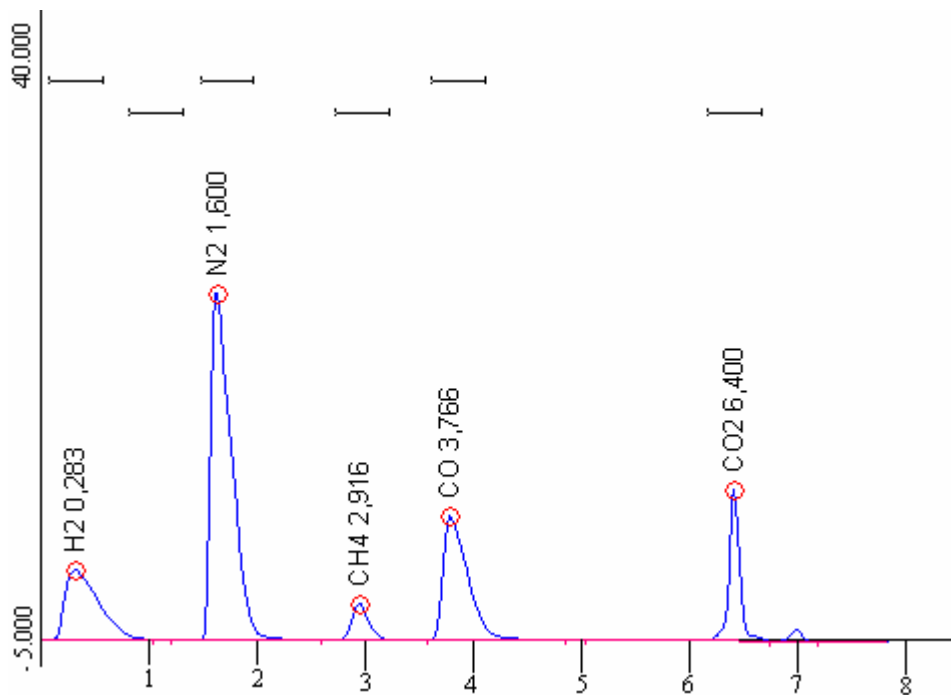
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,083	36,1485	2,5084	25
N2	1,616	480,248	59,2455	25
CH4	2,983	29,3205	4,0346	41
CO	3,9	150,064	22,4133	55
CO2	6,366	743,571	12,5983	90



Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,1	38,9355	2,9027	25
N2	1,616	480,248	59,2455	25
CH4	3,016	29,3205	4,0346	41
CO	3,95	150,064	21,4133	55
CO2	6,383	743,571	12,5983	90



Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,1	21,044	2,8096	25
N2	1,616	464,9925	62,0821	25
CH4	2,966	31,987	4,2706	40
CO	3,85	165,768	22,132	55
CO2	6,4	65,205	8,7056	90



Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,1	21,044	2,8096	25
N2	1,616	464,9925	62,0821	25
CH4	2,916	39,156	4,0287	40
CO	3,766	200,73	20,6529	53
CO2	6,4	104,2345	10,7246	90

CONCLUSIONES

Para el presente trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Se obtuvo una buena correlación entre los poderes caloríficos de las muestras experimentales realizadas a los tipos iguales de biomasa.

Se determinó que el poder calorífico del pasto kikuyo tiene un poder calorífico promedio de 19.64 MJ/kg lo cual lo hace comparable a las especies de árboles o arbustos, este dato es alentador dado que en Ciudad Universitaria se tienen alrededor de 88 hectáreas donde crece este pasto.

Se realizó un estudio y caracterización de cromatógrafo de gases BUCK 910 y se estableció una metodología para la operación de dicho cromatógrafo, incluyendo las medidas de seguridad que deben ser consideradas en el manejo de este instrumento de medición tan sofisticado.

Se obtuvo el cromatograma base de la mezcla patrón del gas de síntesis con el estudio de la variación de diferentes temperaturas y procedimientos.

El cromatograma base fue exitosamente obtenido pues con él se identifican los porcentajes de cada elemento que componen la mezcla patrón con las siguientes aproximaciones: el H₂ 2.95% de un total de 5%, el N₂ 58% de un 52% en la mezcla, el CH₄ 3.9% de un 4.9%, el CO 21.17% de un total de 20%, el CO₂ 12.42% de un 11.1 %. Finalmente se puede concluir que los objetivos de la tesis se cumplieron ampliamente, pues se obtuvieron resultados que impactaron a la continuación del proyecto del Laboratorio de Gasificación de biomasa.

Además cabe resaltar que se colaboró intensivamente en la caracterización de diversos instrumentos de medición que se instalaran en dicha planta experimental.

RECOMENDACIONES

Sabemos que el gas de síntesis obtenido de un gasificador de flujo descendente, estará a temperaturas elevadas, aproximadamente de 400°C.

Y también sabemos que el gas para ser analizado en el cromatógrafo de gases BUCK 910, debe de estar libre de partículas que dañen las columnas así como el detector, además que algunos componentes de la mezcla de gas de síntesis son poco identificados a altas temperaturas, por lo tanto se recomienda que se lleve a cabo un enfriamiento previo del gas, así como un breve filtrado antes de tomar la muestra, esta toma de muestra se recomienda se encuentre a la salida del intercambiador ya que a la salida de este, el gas se encontrará a una temperatura aproximada de 120 °C así como sin partículas de tamaño que puedan dañar al cromatógrafo ya que habrán pasado anteriormente por el ciclón.

El método temporal de enfriamiento como de sedimentación de posibles partículas del gas que se recomienda es el siguiente:

Con dos matraces kitazato y un matraz erlenmeyer formar un sistema en serie uniéndolos con manguera de látex de aproximadamente de 10 mm. de diámetro interno, cada matraz debe tener su tapón de hule y cada tapón sus orificios requeridos, estos orificios tendrán que ser para que se introduzca un termómetro el cual nos permita monitorear la temperatura del gas ya que este gas se requiere a una temperatura menor de 30 °C aprox., esto para la determinación del Hidrógeno, sin antes olvidar que el último tapón deberá tener un orificio más pequeño donde quepa una manguera pequeña para la toma de muestra.

Este sistema debe de estar en un baño de hielo para bajar la temperatura del gas.

Se espera que al ser recirculado el gas por los matraces se le retiren las partículas que podría llevar la muestra y con esto evitar el daño al cromatógrafo.

Este método como se menciona anteriormente, es de manera temporal, ya que posteriormente se piensa conectar el cromatógrafo en serie para que se tomen las muestras del gas de manera automática.

BIBLIOGRAFÍAS

1. Hall, D.O., J House and I. Sarase **Introducción in Industrial Uses of Biomass Energy**, The example of Brazil F. Rosillo-Calle, S. Bajay & H. Rothman (eds.), Taylor & Francis London, (1999)..
2. Robles-Gil, Sandra, **Información Climatologica para la aplicación de la energía de la biomasa**, , Comisión de Climatología Organización Meteorologica Mundial Agosto 2001, La Paz BCS, México.
3. Masera, Omar R., Aguillón Martínez, Javier, Gamino, Benjamín, **Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa como Energetico Renovable en México**, Agosto 2005.
4. Estrada Carlos Augusto, Zapata Meneses Alberto, **Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor**, Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto 2004, UTP.
5. <http://www.rosaldelafrontera.org/tecnonestor/portal>
6. **Manual sobre energía renovable: Biomasa/Biomass**, Users Network (BUN-CA)- 1 ed., San José, Costa Rica, Septiembre 2002.
7. <http://www.enersilva.org/biomasaenergetica.htm>
8. <http://www.rosaldelafrontera.org/tecnonestor/Biomasa.htm>
9. Estrada, Carlos Augusto, **Gasificación de Biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor**, Scientia et Technica Año X, No. 25, Agosto 2004. UTP.
10. <http://mx.encarta.msn.com/encyclopedia/calorimetría>
11. <http://es.wikipedia.org/wiks/calorimetría>
12. http://BombCalorimeterAnimationbyGaryL_Bertrand
13. <http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales/cromatografía/Gas.htm>

REFERENCIAS

Meizoso Maroño, Ana B., Efecto de Almacenamiento sobre los Valores de Poderes Caloríficos de R.S.U., Estudiado por Calorimetría, 1995 (U.S.C.).

Aguillón Javier, Viabilidad de Cogeneración con Biomasa en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. FOMECAR: Cogeneración y eficiencia energética, 18 de septiembre de 2007.

Berzunza Ramayo Asunción del Carmen, **Temas Selectos de Química I**, 2003.

Franjo Franjo Carlos, **Determinación del Poder Calorífico de Residuos Sólidos Urbanos para su Tratamiento por Incineración**, 1991 (U.S.C.).

CRIPPEN, Raymond C. **Identification of Organic Compounds with Aid of Gas Chromatography**. Mc Graw-Hill. USA. 1973

González Pablo Salvador. **Curso providencial de energías renovables, Laboratorio de Energías Renovables**, Departamento de Física Aplicada.

DABRIO, M. V. et. al. **Cromatografía de Gases**. Vol. I. Serie Química. Colección Exedra. Editorial Alhambra. España.1971.

De Bari , I.; Barisano, D; Air **Gasification of Biomass in a Downdraft Fixed Bed: A Comparative Study of the Inorganic and Organic Products Distribution**, Energy & Fuels 2000, Vol. 14, page. 10.

Oñate Arresti Diego, **Gasificación y biomasa. “Una simbiosis de futuro”**2006.

Franco J. Baquero y Moreno Sánchez J., **La Biomasa como Fuente de Energía Renovable**, marzo 2000.

G. Schursten G. Löffler, **Biomass steam gasification-an extensive parametric modeling study**, Institute of Chemical Engineering, 19 diciembre 1999.

Gasco, Luís. **Teoría y Práctica de la Cromatografía en Fase Gaseosa**. Ediciones J. E. N. España. 1969.

Guía de Cromatografía, Universidad Central de Venezuela, Caracas 2003.

Handley, Alan John; ed. **Elementary of Gas Chromatography**. Gow-Mac Instruments, 1978.

Posluszny José Antonio, **Energía de la Biomasa, Tecnologías para Emprendimientos de Mediana Escala, 1er Taller sobre Proyectos de Mitigación de Cambio Climático y Oportunidades en el Mercado de Carbono**. Ciclo: Alternativas Bioenergéticas Forestales, 23 de agosto de 2004.

Kirk Snavely and Bala Subramaniam, **On-Line Gas Chromatographic Analysis of Fischer-Tropsch Synthesis Products Formed in a Supercritical Reaction Medium**, Ind. Eng. Chem. Res., 1997.

Núñez-Regueira Lisardo *, Rodríguez-Añón J., Proupín-Castiñeiras J., and Romero-García A., **Energetic Evaluation of Biomass Originating from Forest Waste by Bomb Calorimetry**, J. Therm. Anal. Calorim., 66, 281-292 /2001

Lisardo Núñez-Regueira,J.A. Rodriguez-Añón, J. Proupín, A. Vilanova-Diz, and N. Montero-Santoveña, **Determination of Calorific Values of Forest Waste Biomass by Static Bomb Calorimetry**, Thermochim. Acta, 371, 23-31/2001

Manual de la Bomba Calorimétrica Parr 1108

Manual del Cromatógrafo BUCK 910

Mc Fair, Haroul Monroe, **Gas chromatographic techniques and applications**. 1933

Nussbaumer Thomas, **Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction**, Verenum Langmauerstrasse 109, Energy & Fuels 2003.

Romero García Aída Susana, **Cromatografía (Curso de Métodos)**, Instituto de Biotecnología, UNAM. semestre 2/2002.

STORCH DE GRACIA, J. M. **Fundamentos de la Cromatografía de Gases**. 2^a Edición. Serie Química. Colección Exedra. Editorial Alhambra. España. 1975.

T. Ganga Devi and M. P. Kannan, **Gasification of Biomass Chars in Air-Effect of Heat Treatment Temperature**, Energy & Fuels 2000.

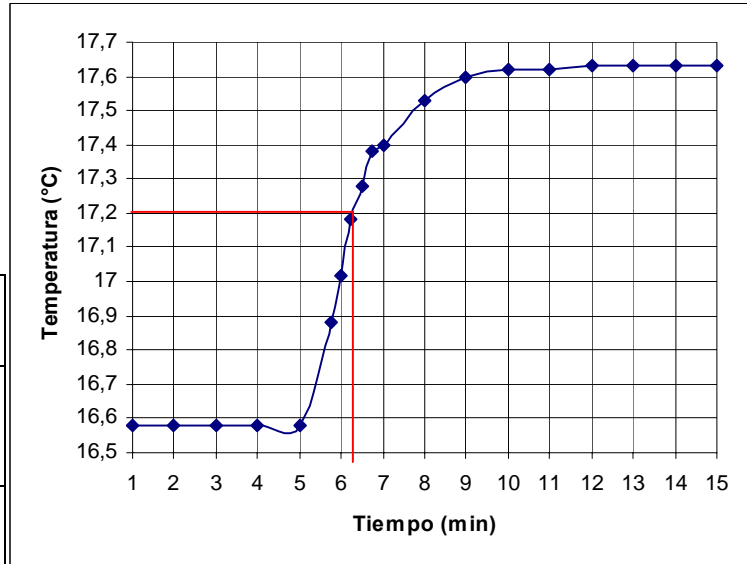
Zhong Chongli, **Thermodynamic modelling of biomass conversion processes**, Fluid Phase Equilibria, 7 march 2001

ANEXO 1 PRUEBAS CALORIMETRICAS

Especie: Pennisetum clandestinum
N. de corrida: 1/4

Fecha de análisis: Diciembre 2006

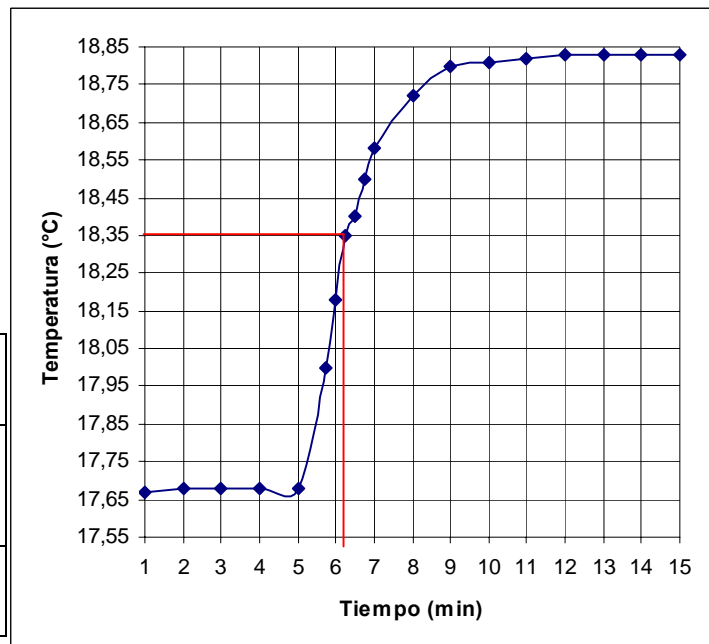
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	16.58	t_c	10
02:00	16.58	t_d	15
03:00	16.58	T_b	17.204
04:00	16.58	t_b	1.2
05:00	16.58	r_1	0
05:75	16.88	r_2	0.002
06:00	17.02	T	1.0224
06:25	17.18		
06:50	17.28		
06:75	17.38	Peso muestra (gr)	0.50
07:00	17.4	e (residuo fusible, cal):	6.00
08:00	17.53	Poder calorífico (MJ/Kg)	20.959
09:00	17.6		
10:00	17.62		
11:00	17.62		
12:00	17.63		
13:00	17.63		
14:00	17.63		
15:00	17.63		



Especie: Pennisetum clandestinum
N. de corrida: 2/4

Fecha de análisis: Diciembre 2006

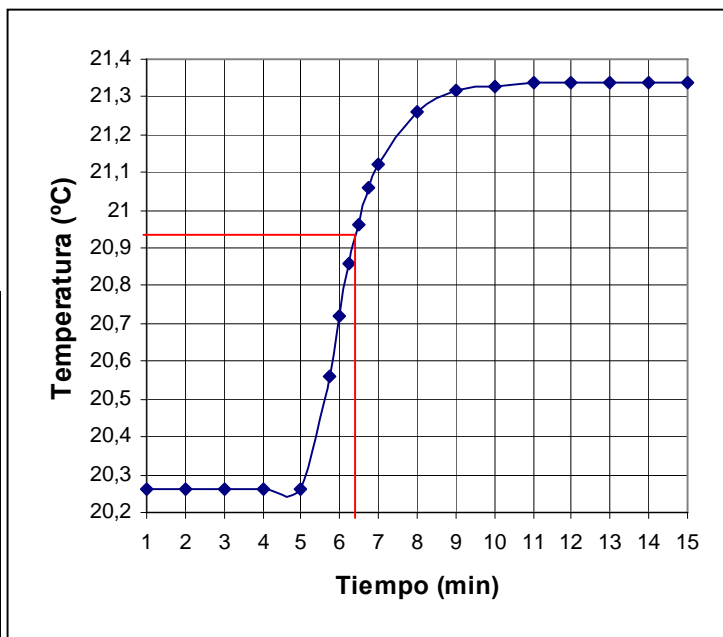
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	17.67	t_c	9
02:00	17.68	t_d	15
03:00	17.68	T_b	18.352
04:00	17.68	t_b	1.2
05:00	17.68	r_1	0.0025
05:75	18	r_2	0.005
06:00	18.18	T	1.0905
06:25	18.35		
06:50	18.4		
06:75	18.5	Peso muestra (gr)	0.60
07:00	18.58	e (residuo fusible, cal):	11.00
08:00	18.72	Poder calorífico (MJ/Kg)	18.597
09:00	18.8		
10:00	18.81		
11:00	18.82		
12:00	18.83		
13:00	18.83		
14:00	18.83		
15:00	18.83		



Especie: Pennisetum clandestinum
 N. de corrida: 3/4

Fecha de análisis: Diciembre 2006

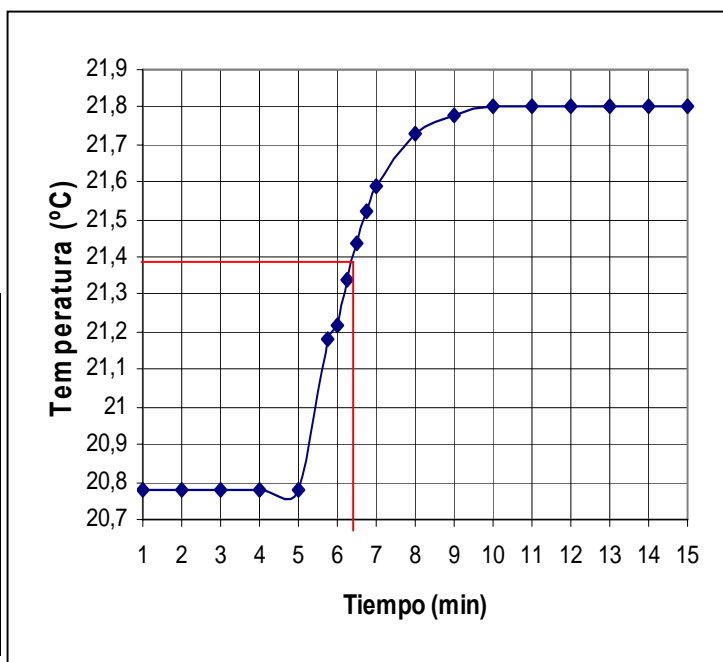
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	20.26	t_c	10
02:00	20.26	t_d	15
03:00	20.26	T_b	20.902
04:00	20.26	t_b	1.3
05:00	20.26	r_1	0
05:75	20.56	r_2	0.002
06:00	20.72	T	1.0526
06:25	20.86	Peso muestra (gr)	
06:50	20.96	0.60	
06:75	21.06	e (residuo fusible, cal):	
07:00	21.12	10.00	
08:00	21.26	Poder calorífico (MJ/Kg)	
09:00	21.32	17.95	
10:00	21.33	5	
11:00	21.34		
12:00	21.34		
13:00	21.34		
14:00	21.34		
15:00	21.34		



Especie: Pennisetum clandestinum
 N. de corrida: 4/4

Fecha de análisis: Diciembre 2006

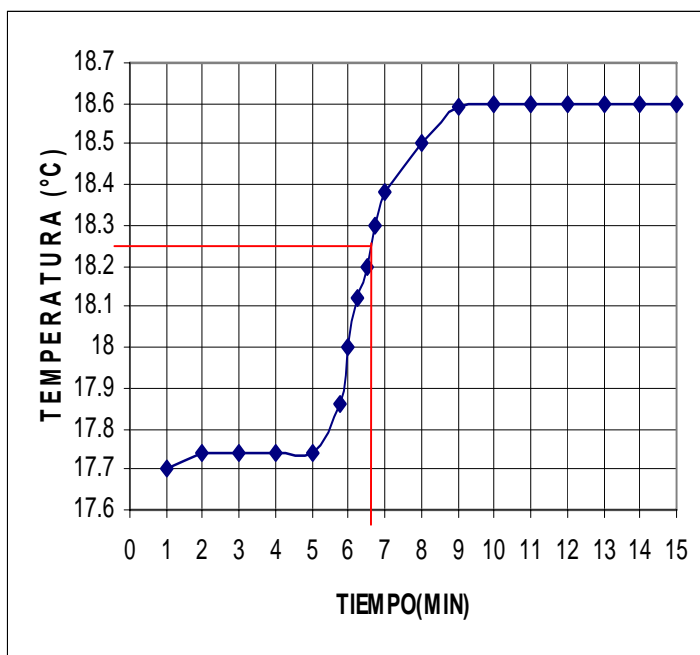
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	20.78	t_c	10
02:00	20.78	t_d	15
03:00	20.78	T_b	21.392
04:00	20.78	t_b	1.3
05:00	20.78	r_1	0
05:75	21.18	r_2	0
06:00	21.22	T	1.02
06:25	21.34	Peso muestra (gr)	
06:50	21.44	0.50	
06:75	21.52	e (residuo fusible, cal):	
07:00	21.59	14.00	
08:00	21.73	Poder calorífico (MJ/Kg)	
09:00	21.78	20.84	
10:00	21.8	2	
11:00	21.8		
12:00	21.8		
13:00	21.8		
14:00	21.8		
15:00	21.8		



Especie: Eucalipto 2
N. de corrida: 1/4

Fecha de análisis: Marzo 2006

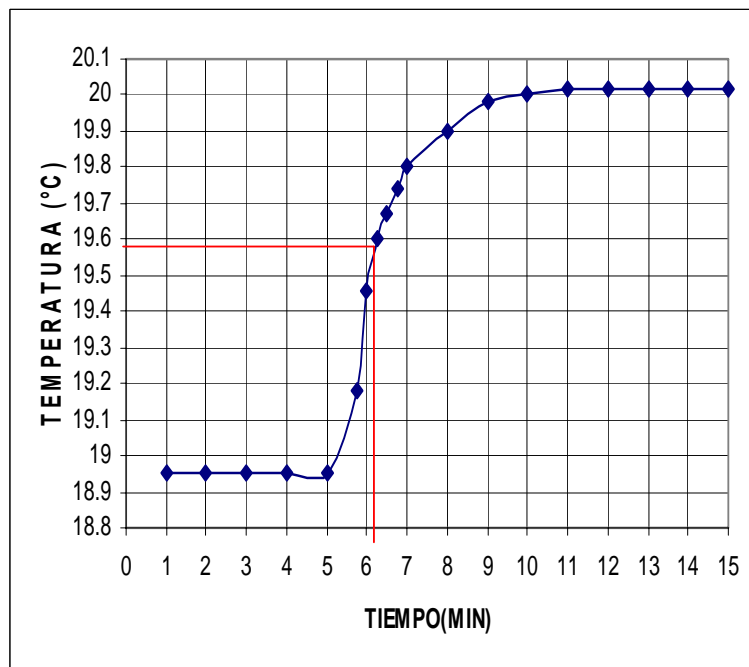
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	17.70	t_c	9
02:00	17.74	t_d	15
03:00	17.74	T_b	18.25
04:00	17.74	t_b	1.7
05:00	17.74	r_1	0.01
05:75	17.86	r_2	0.0016
06:00	18.00	T	0.8808
06:25	18.12	Peso muestra (gr)	
06:50	18.20	0.50	
06:75	18.30	e (residuo fusible, cal):	
07:00	18.38	5.00	
08:00	18.50	Poder calorífico (MJ/Kg)	
09:00	18.59	18.05	
10:00	18.60	9	
11:00	18.60		
12:00	18.60		
13:00	18.60		
14:00	18.60		
15:00	18.60		



Especie: Eucalipto 2
N. de corrida: 2/4

Fecha de análisis: Marzo 2006

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	18.95	t_c	9
02:00	18.95	t_d	15
03:00	18.95	T_b	19.58
04:00	18.95	t_b	1.2
05:00	18.95	r_1	0
05:75	19.18	r_2	0.0066
06:00	19.46	T	0.998
06:25	19.60	Peso muestra (gr)	
06:50	19.67	0.70	
06:75	19.74	e (residuo fusible, cal):	
07:00	19.80	6.00	
08:00	19.90	Poder calorífico (MJ/Kg)	
09:00	19.98	14.613	
10:00	20.00		
11:00	20.02		
12:00	20.02		
13:00	20.02		
14:00	20.02		
15:00	20.02		

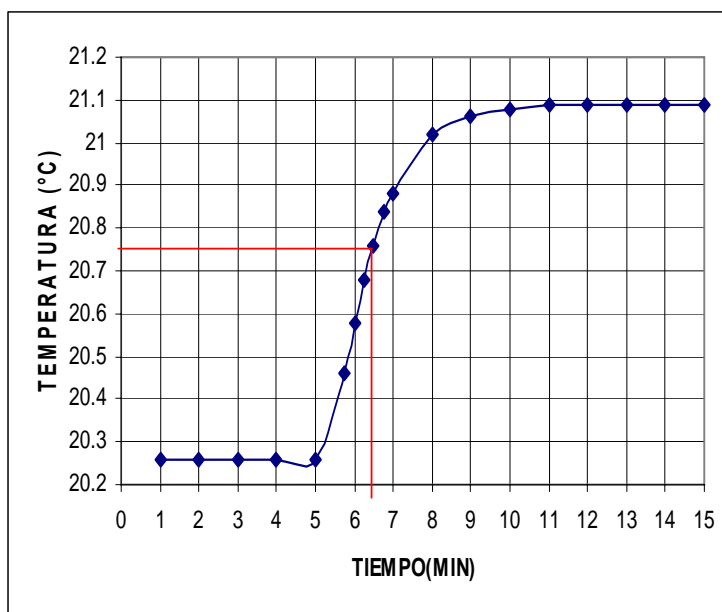


Especie: Eucalipto 2

N. de corrida: 3/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	20.26	t_c	10
2	20.26	t_d	15
3	20.26	T_b	20.75
4	20.26	t_b	1.5
5	20.26	r_1	0
6	20.46	r_2	0.002
7	20.58	T	0.803
8	20.68	Peso muestra (gr) 0.50	
9	20.76	e (residuo fusible, cal): 1.50	
10	20.84	Poder calorífico (MJ/kg) 16.48	
11	20.88	8	
12	21.02		
13	21.06		
14	21.08		
15	21.09		

Fecha de análisis: Marzo 2006

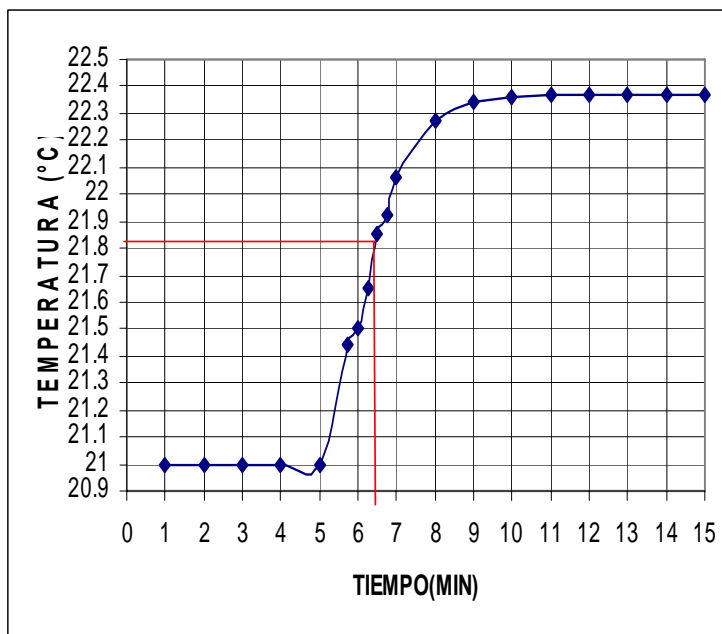


Especie: Eucalipto 2

N. de corrida: 4/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	21.00	t_c	10
2	21.00	t_d	15
3	21.00	T_b	21.81
4	21.00	t_b	1.5
5	21.00	r_1	0
6	21.44	r_2	0.002
7	21.50	T	1.343
8	21.65	Peso muestra (gr) 0.70	
9	21.85	e (residuo fusible, cal): 2.20	
10	21.92	Poder calorífico (MJ/kg) 19.69	
11	22.06	9	
12	22.27		
13	22.34		
14	22.36		
15	22.37		

Fecha de análisis: Marzo 2006

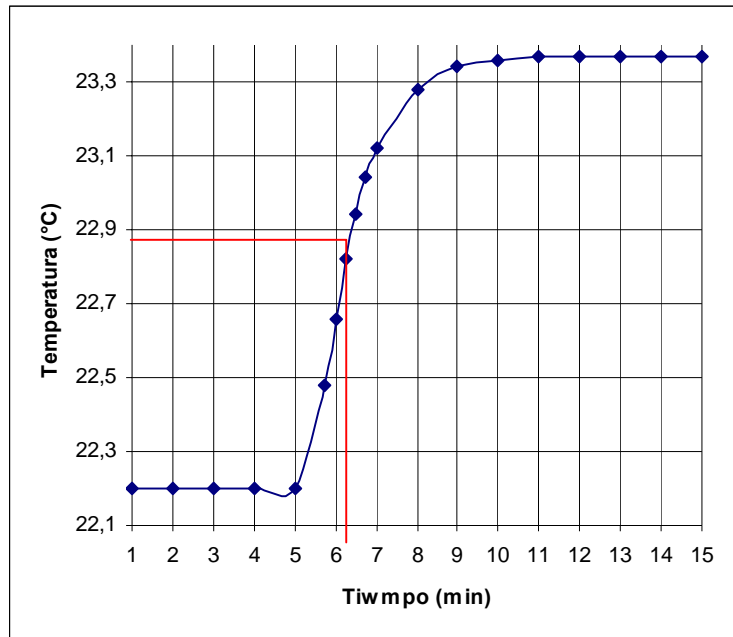


Especie: Eucalipto 3

N. de corrida: 1/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	22,2	t_c	9
02:00	22,2	t_d	15
03:00	22,2	T_b	22.884
04:00	22,2	t_b	1.1
05:00	22,2	r_1	0
05:75	22,48	r_2	0.00166
06:00	22,66	T	1.14683
06:25	22,82	Peso muestra (gr)	
06:50	22,94	0.70	
06:75	23,04	e (residuo fusible, cal):	
07:00	23,12	4.00	
08:00	23,28	Poder calorífico (MJ/kg)	
09:00	23,34	16.809	
10:00	23,36		
11:00	23,37		
12:00	23,37		
13:00	23,37		
14:00	23,37		
15:00	23,37		

Fecha de análisis: 20 Marzo 2006

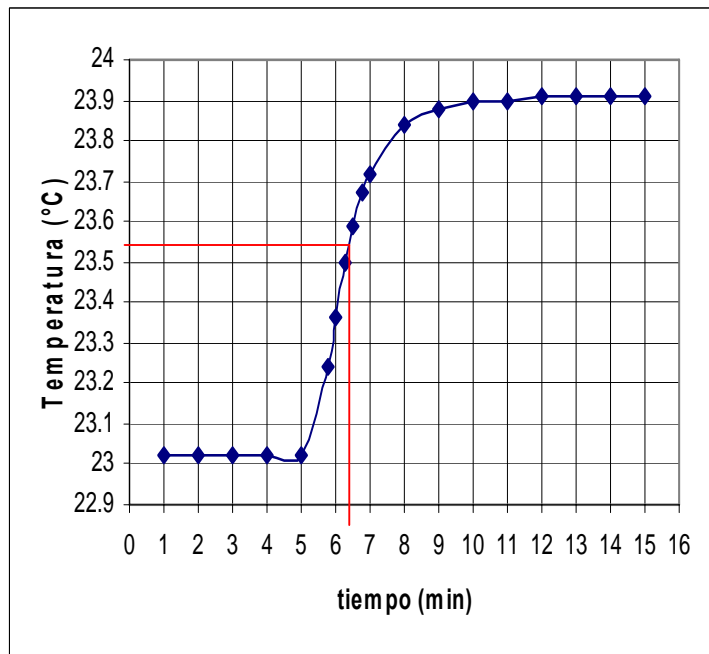


Especie: Eucalipto 3

N. de corrida: 2/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	23.02	t_c	9
2	23.02	t_d	15
3	23.02	T_b	23.54
4	23.02	t_b	1.4
5	23.02	r_1	0
6	23.24	r_2	0.00166
7	23.36	T	0.8673
8	23.50	Peso muestra (gr)	
9	23.59	0.50	
10	23.67	e (residuo fusible, cal):	
11	23.72	12.00	
12	23.84	Poder calorífico (MJ/kg)	
13	23.88	17.722	
14	23.90		
15	23.90		

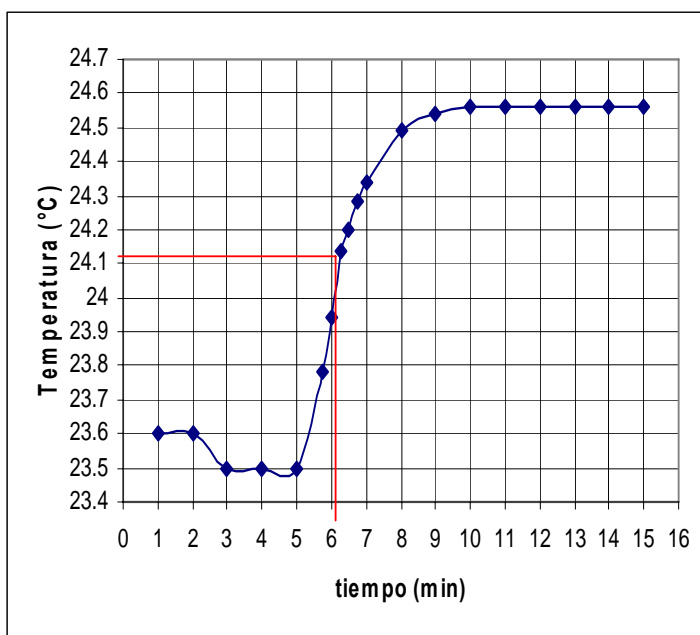
Fecha de análisis: 20 Marzo 2006



Especie: Eucalipto 3
 N. de corrida: 3/4

Fecha de análisis: 20 Marzo 2006

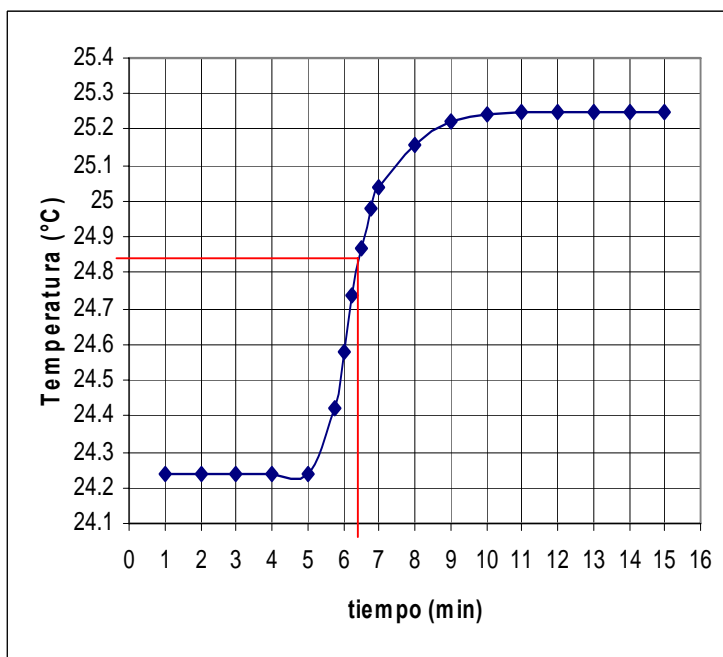
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	23.60	t_c	10
2	23.60	t_d	15
3	23.50	T_b	24.13
4	23.40	t_b	1.1
5	23.50	r_1	-0.025
6	23.78	r_2	0
7	23.94	T	0.9625
8	24.14	Peso muestra (gr) 0.60	
9	24.20	e (residuo fusible, cal): 4.00	
10	24.28	Poder calorífico (MJ/kg) 16.454	
11	24.34		
12	24.49		
13	24.54		
14	24.56		
15	24.56		



Especie: Eucalipto 3
 N. de corrida: 4/4

Fecha de análisis: 20 Marzo 2006

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	24.24	t_c	10
2	24.24	t_d	15
3	24.24	T_b	24.84
4	24.24	t_b	1.4
5	24.24	r_1	0
6	24.42	r_2	0.002
7	24.58	T	0.9828
8	24.74	Peso muestra (gr) 0.60	
9	24.87	e (residuo fusible, cal): 5.00	
10	24.98	Poder calorífico (MJ/kg) 16.794	
11	25.04		
12	25.16		
13	25.22		
14	25.24		
15	25.25		

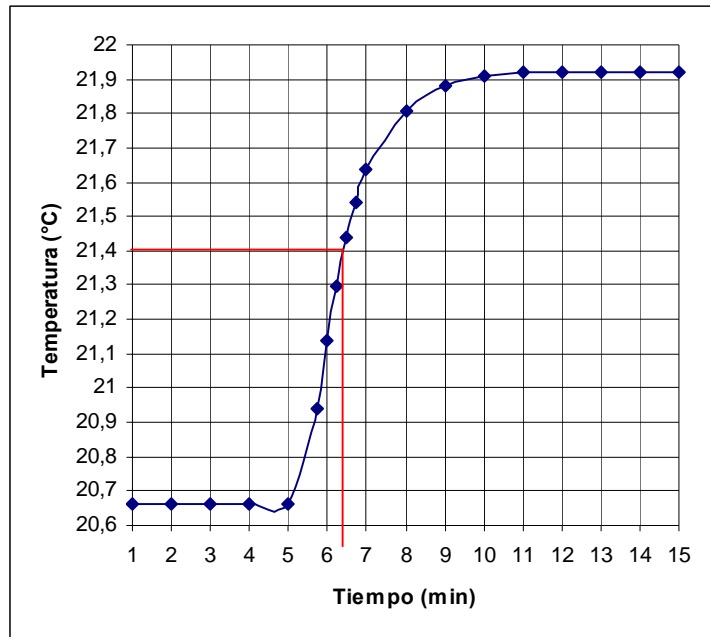


Especie: Cedro Blanco

Fecha de análisis: 08 Noviembre 2006

N. de corrida: 1/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	20.66	t_c	10
02:00	20.66	t_d	15
03:00	20.66	T_b	21.4
04:00	20.66	t_b	1.5
05:00	20.66	r_1	0
05:75	20.94	r_2	0
06:00	21.14	T	1.23
06:25	21.30	Peso muestra (gr) 0.60	
06:50	21.44	e (residuo fusible, cal): 5.00	
06:75	21.54	Poder calorífico (MJ/Kg) 21.079	
07:00	21.64		
08:00	21.81		
09:00	21.88		
10:00	21.91		
11:00	21.92		
12:00	21.92		
13:00	21.92		
14:00	21.92		
15:00	21.92		

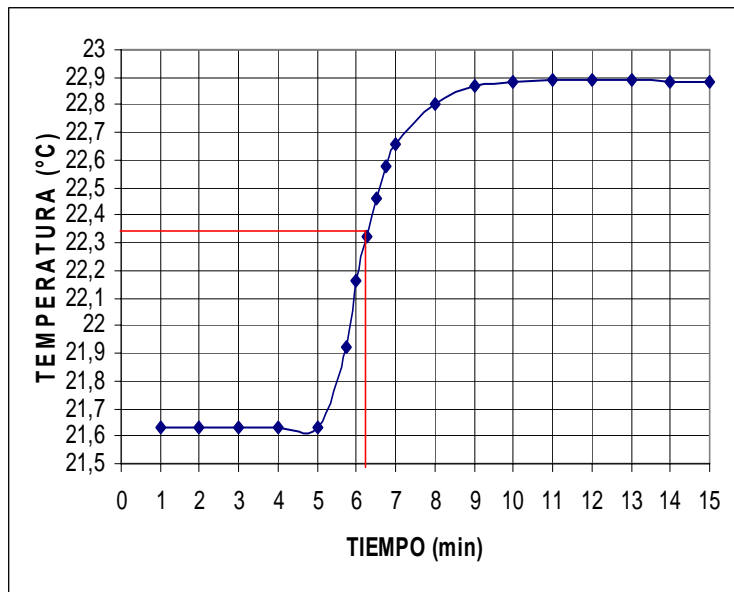


Especie: Cedro Blanco

Fecha de análisis: 08 Noviembre 2006

N. de corrida: 2/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	21.63	t_c <td>9</td>	9
02:00	21.63	t_d <td>15</td>	15
03:00	21.63	T_b <td>22.37</td>	22.37
04:00	21.63	t_b <td>1.2</td>	1.2
05:00	21.63	r_1 <td>0</td>	0
05:75	21.92	r_2 <td>0.002</td>	0.002
06:00	22.16	T <td>1.227</td>	1.227
06:25	22.32	Peso muestra (gr) 0.60	
06:50	22.46	e (residuo fusible, cal): 5.00	
06:75	22.58	Poder calorífico (MJ/Kg) 20.976	
07:00	22.66		
08:00	22.80		
09:00	22.87		
10:00	22.88		
11:00	22.89		
12:00	22.89		
13:00	22.89		
14:00	22.88		
15:00	22.88		

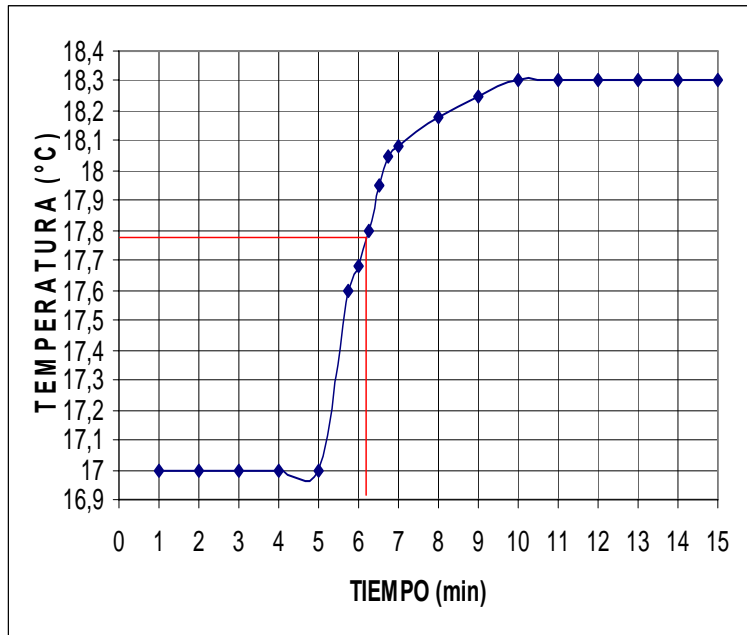


Especie: Cedro Blanco

N. de corrida: 3/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	17.00	t_c	10
02:00	17.00	t_d	15
03:00	17.00	T_b	17.78
04:00	17.00	t_b	1.1
05:00	17.00	r_1	0
05:75	17.60	r_2	0
06:00	17.68	T	1.3
06:25	17.80	Peso muestra (gr)	
06:50	17.95	0.70	
06:75	18.05	e (residuo fusible, cal):	
07:00	18.08	5.00	
08:00	18.18	Poder calorífico(MJ/Kg)	
09:00	18.25	19,0 514	
10:00	18.30		
11:00	18.30		
12:00	18.30		
13:00	18.30		
14:00	18.30		
15:00	18.30		

Fecha de análisis: 08 Noviembre 2006

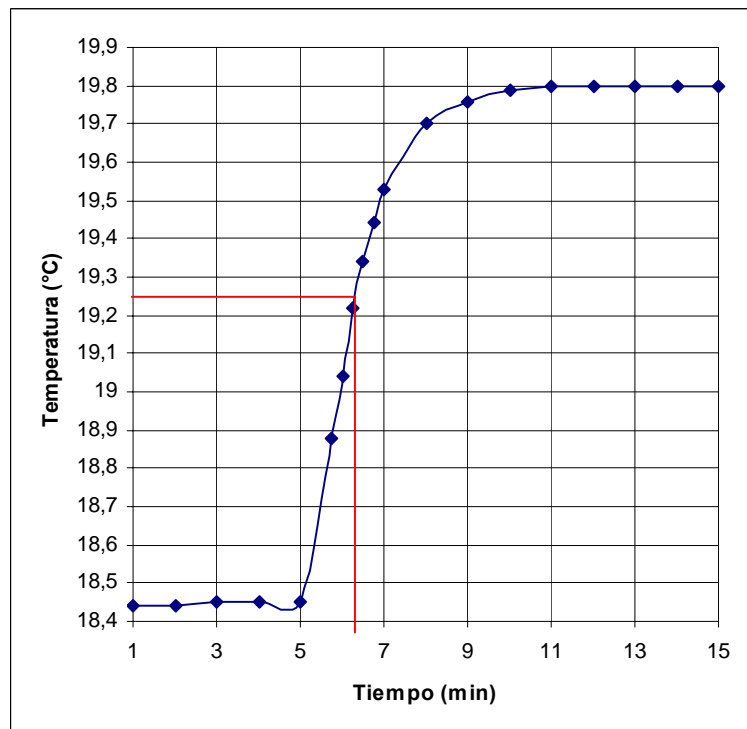


Especie: Cedro Blanco

N. de corrida: 4/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	18.44	t_c	10
02:00	18.44	t_d	15
03:00	18.45	T_b	19.25
04:00	18.45	t_b	1.3
05:00	18.45	r_1	0.0025
05:75	18.88	r_2	0.002
06:00	19.04	T	1.3655
06:25	19.22	Peso muestra (gr)	
06:50	19.34	0.70	
06:75	19.44	e (residuo fusible, cal):	
07:00	19.53	5.00	
08:00	19.70	Poder calorífico(MJ/Kg)	
09:00	19.76	23.3 13	
10:00	19.79		
11:00	19.80		
12:00	19.80		
13:00	19.80		
14:00	19.80		
15:00	19.80		

Fecha de análisis: 08 Noviembre 2006

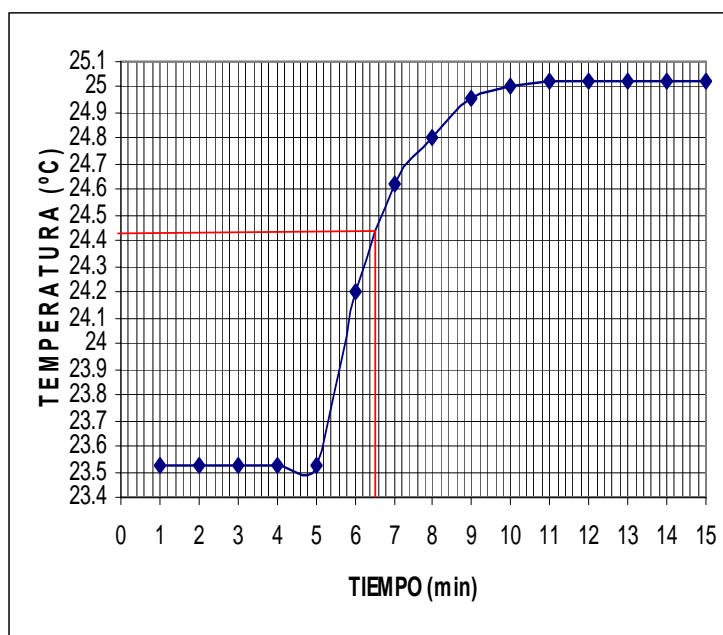


Especie: Acacia Cochliacantha

N. de corrida: 1/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5	
1	23.52	t_c	11	
2	23.52	t_d	15	
3	23.52	T_b	24.42	
4	23.52	t_b	1.6	
5	23.52	r_1	0	
6	24.20	r_2	0.005	
7	24.62	T	1.43	
8	24.80	Peso muestra (gr)		
9	24.96			0.70
10	25.00	e (residuo fusible, cal):		
11	25.02			9.60
12	25.02			
13	25.02			
14	25.02			
15	25.02			
		Poder calorífico (MJ/Kg)		
		20.976		

Fecha de análisis: 15 Noviembre 2006

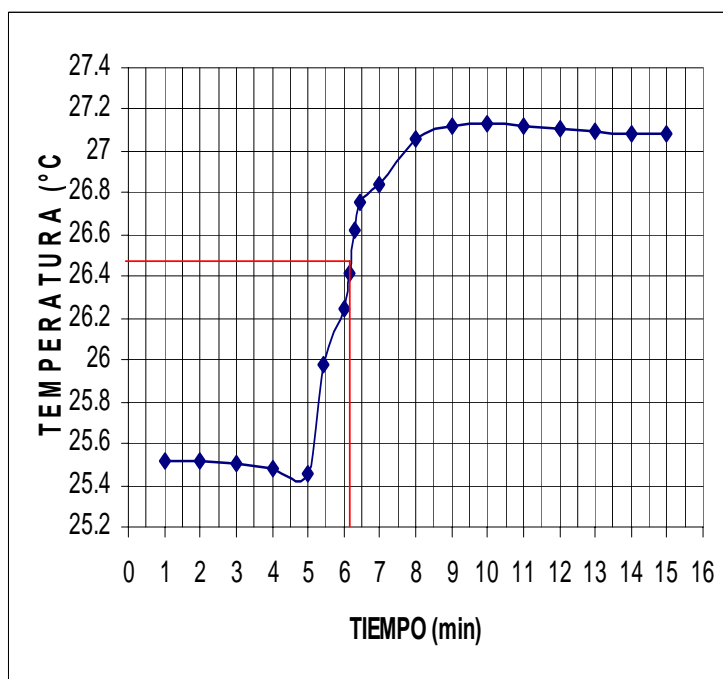


Especie: Acacia Cochliacantha

N. de corrida: 2/4

θ (min)	T (°C)	t_a	5	
01:00	25.52	t_c	9	
02:00	25.51	t_d	15	
03:00	25.50	T_b	26.43	
04:00	25.48	t_b	1.2	
05:00	25.46	r_1	-0.015	
05:75	25.98	r_2	-0.0083	
06:00	26.25	T	1.668	
06:25	26.42	Peso muestra (gr)		
06:50	26.62			1.00
06:75	26.75	e (residuo fusible, cal):		
07:00	26.84			4.00
08:00	27.06			
09:00	27.12			
10:00	27.13			
11:00	27.12			
12:00	27.11	Poder calorífico (MJ/Kg)		
13:00	27.11	17.121		
14:00	27.08			
15:00	27.08			

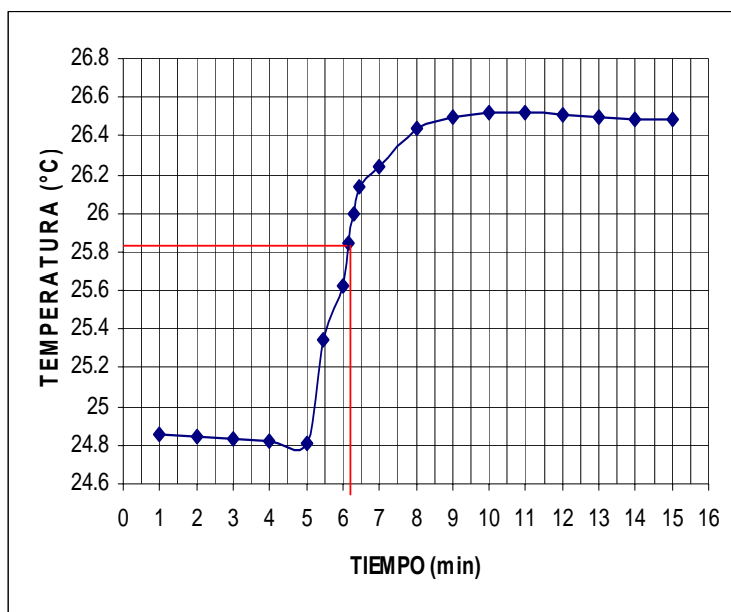
Fecha de análisis: 15 Noviembre 2006



Especie: Acacia Cochliacantha
N. de corrida: 3/4

Fecha de análisis: 15 Noviembre 2006

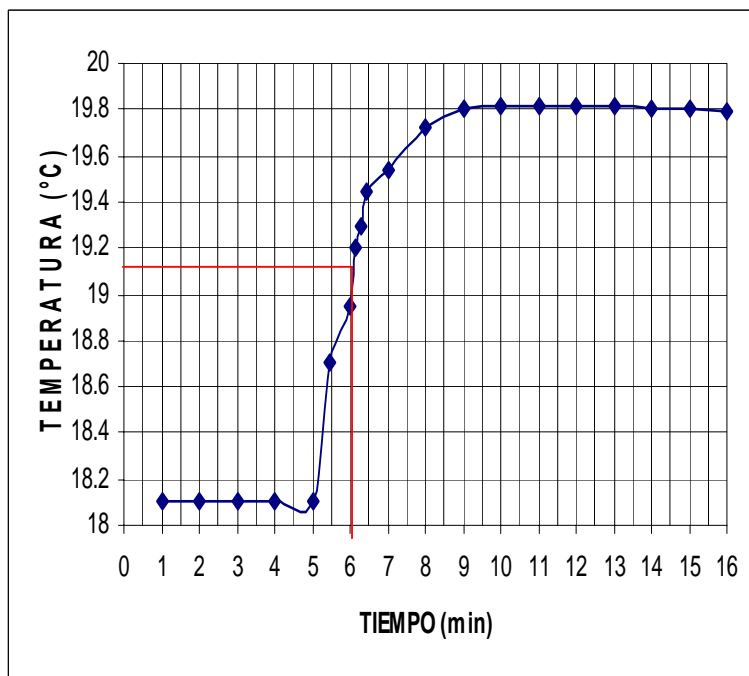
θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	24.86	t_c	10
02:00	24.84	t_d	15
03:00	24.83	T_b	25.81
04:00	24.82	t_b	1.25
05:00	24.81	r_1	-0.0125
05:75	25.34	r_2	-0.008
06:00	25.62	T	1.733125
06:25	25.84		
06:50	26.00		
06:75	26.14	Peso muestra (gr)	1.00
07:00	26.24		
08:00	26.44		
09:00	26.50	e (residuo fusible, cal):	5.00
10:00	26.52		
11:00	26.52		
12:00	26.51	Poder calorifico (MJ/Kg)	17.786
13:00	26.50		
14:00	26.48		
15:00	26.48		



Especie: Acacia Cochliacantha
N. de corrida: 4/4

Fecha de análisis: 15 Noviembre 2006

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	18.10	t_c	10
02:00	18.10	t_d	16
03:00	18.10	T_b	19.114
04:00	18.10	t_b	1.7
05:00	18.10	r_1	0
05:75	18.70	r_2	-0.005
06:00	18.95	T	1.7615
06:25	19.20		
06:50	19.30		
06:75	19.44	Peso muestra (gr)	1.00
07:00	19.54		
08:00	19.72		
09:00	19.80	e (residuo fusible, cal):	4.00
10:00	19.82		
11:00	19.82		
12:00	19.82		
13:00	19.81	Poder calorifico (MJ/Kg)	18.081
14:00	19.80		
15:00	19.80		



Especie: Grevillea Robusta

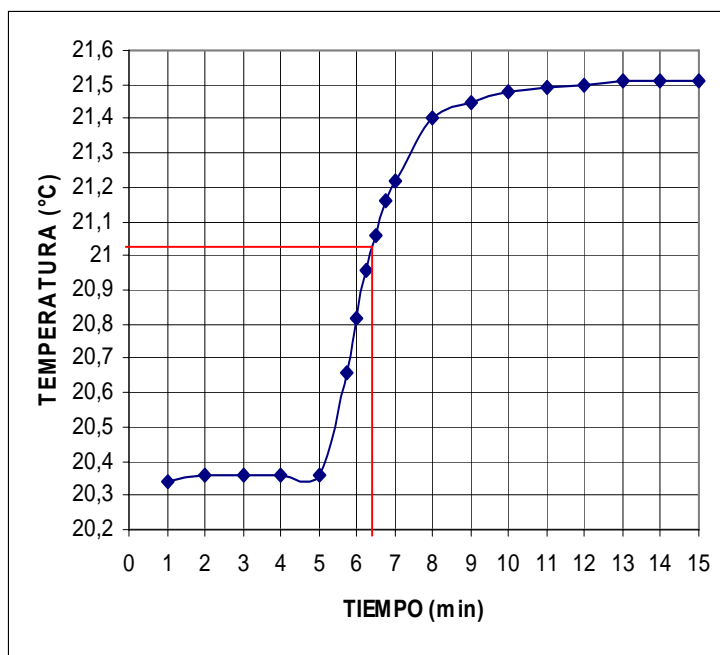
Fecha de análisis: 13 Julio 2006

N. de corrida: 1/4

θ (min)	T (°C)
01:00	20.34
02:00	20.36
03:00	20.36
04:00	20.36
05:00	20.36
05:75	20.66
06:00	20.82
06:25	20.96
06:50	21.06
06:75	21.16
07:00	21.22
08:00	21.40
09:00	21.45
10:00	21.48
11:00	21.49
12:00	21.50
13:00	21.51
14:00	21.51
15:00	21.51

t_a	5
t_c	12
t_d	15
T_b	21.04
t_b	1.3
r_1	0.005
r_2	0.00333
T	1.19963

Peso muestra (gr)	0.60
e (residuo fusible, cal):	4.00
Poder calorífico(MJ/Kg)	20.5 14



Especie: Grevillea Robusta

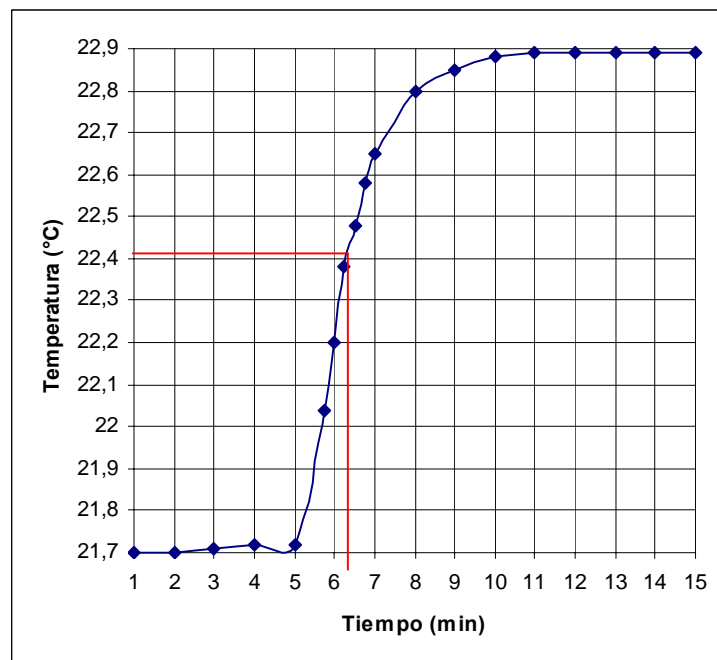
Fecha de análisis: 13 Julio 2006

N. de corrida: 2/4

θ (min)	T (°C)
01:00	21,7
02:00	21,7
03:00	21,71
04:00	21,72
05:00	21,72
05:75	22,04
06:00	22,2
06:25	22,38
06:50	22,48
06:75	22,58
07:00	22,65
08:00	22,8
09:00	22,85
10:00	22,88
11:00	22,89
12:00	22,89
13:00	22,89
14:00	22,89
15:00	22,89

t_a	5
t_c	10
t_d	15
T_b	22.416
t_b	1.2
r_1	0.005
r_2	0.002
T	1.245

Peso muestra (gr)	0.60
e (residuo fusible, cal):	2.50
Poder calorífico(MJ/Kg)	21.3 02



Especie: Grevillea Robusta

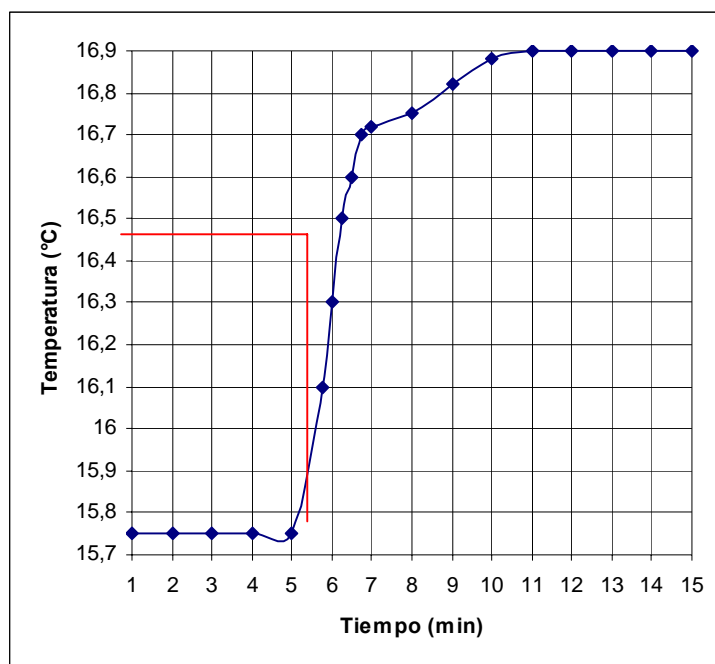
N. de corrida: 3/4

θ (min)	T (°C)
01:00	15.75
02:00	15.75
03:00	15.75
04:00	15.75
05:00	15.75
05:75	16.10
06:00	16.30
06:25	16.50
06:50	16.60
06:75	16.70
07:00	16.72
08:00	16.75
09:00	16.82
10:00	16.88
11:00	16.90
12:00	16.90
13:00	16.90
14:00	16.90
15:00	16.90

t_a	5
t_c	10
t_d	15
T_b	16.42
t_b	1.1
r_1	0
r_2	0.004
T	1.0944

Peso muestra (gr)	0.60
e (residuo fusible, cal):	1.50
Poder calorífico (MJ/Kg)	18.730

Fecha de análisis: 13 Julio 2006



Especie: Grevillea Robusta

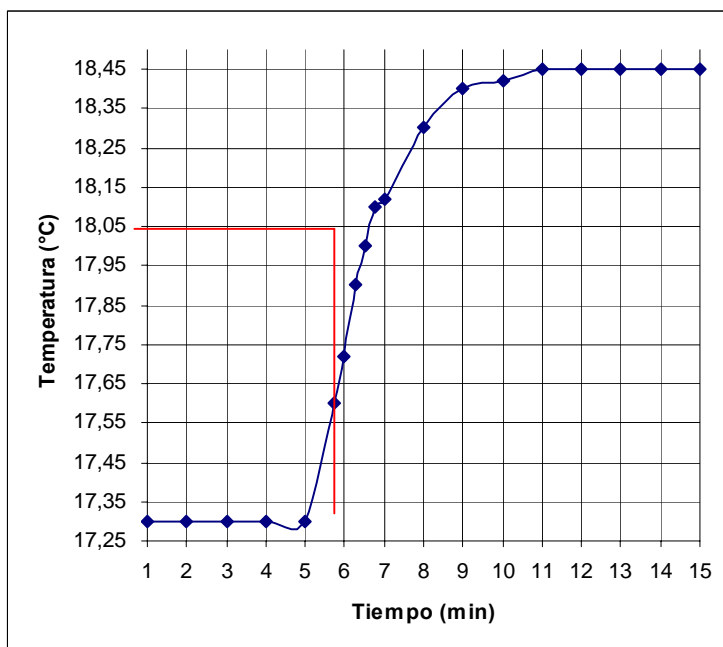
N. de corrida: 4/4

θ (min)	T (°C)
01:00	17.30
02:00	17.30
03:00	17.30
04:00	17.30
05:00	17.30
05:75	17.60
06:00	17.72
06:25	17.90
06:50	18.00
06:75	18.10
07:00	18.12
08:00	18.30
09:00	18.40
10:00	18.42
11:00	18.45
12:00	18.45
13:00	18.45
14:00	18.45
15:00	18.45

t_a	5
t_c	11
t_d	15
T_b	17.99
t_b	1.5
r_1	0
r_2	0
T	1.15

Peso muestra (gr)	0.60
e (residuo fusible, cal):	1.50
Poder calorífico (MJ/Kg)	19.658

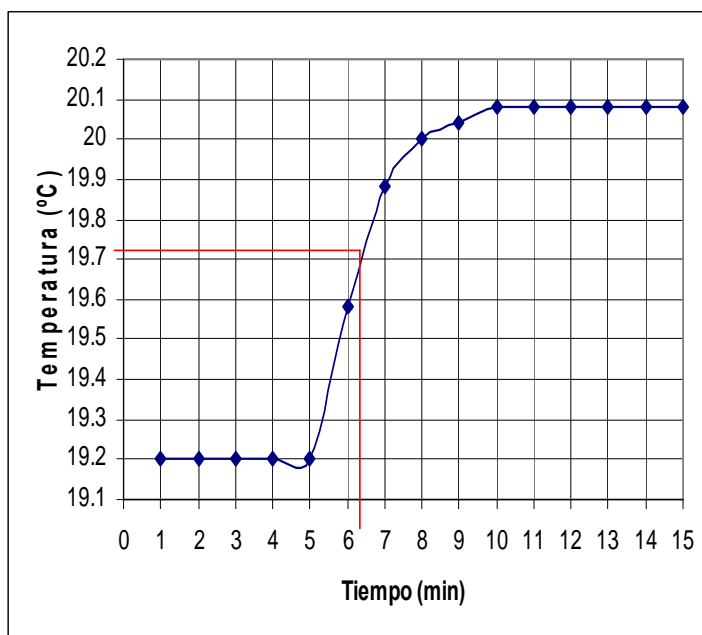
Fecha de análisis: 13 Julio 2006



Especie: Pasto
 N. de corrida: 1/4

Fecha de análisis: 26 junio 2006

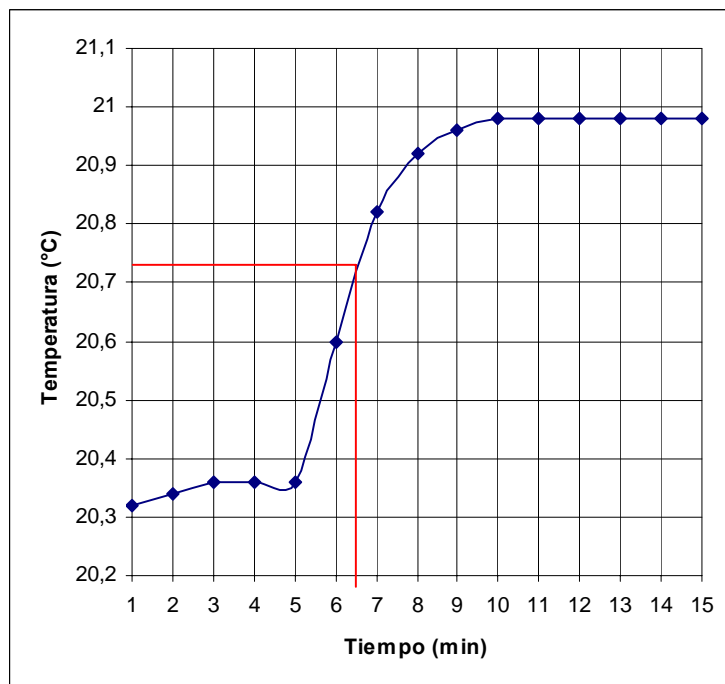
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	19.20	t_c	10
2	19.20	t_d	15
3	19.20	T_b	19.72
4	19.20	t_b	1.3
5	19.20	r_1	0
6	19.58	r_2	0
7	19.88	T	0.88
8	20.00		
9	20.04		
10	20.08	Peso muestra (gr)	0.40
11	20.08		
12	20.08		
13	20.08	e (residuo fusible, cal):	4.00
14	20.08		
15	20.08	Poder calorífico (MJ/kg)	22.562



Especie: Pasto
 N. de corrida: 2/4

Fecha de análisis: 26 junio 2006

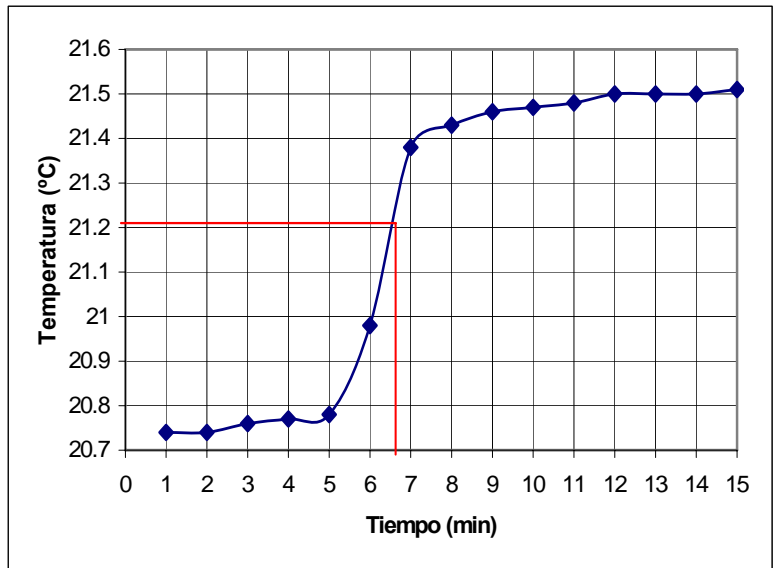
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	20.32	t_c	10
2	20.34	t_d	15
3	20.36	T_b	20.73
4	20.36	t_b	1.8
5	20.36	r_1	0.01
6	20.60	r_2	0
7	20.82	T	0.65
8	20.92		
9	20.96		
10	20.98	Peso muestra (gr)	0.40
11	20.98		
12	20.98		
13	20.98	e (residuo fusible, cal):	5.00
14	20.98		
15	20.98	Poder calorífico (MJ/kg)	16.695



Especie: Pasto
 N. de corrida: 3/4

Fecha de análisis: 26 junio 2006

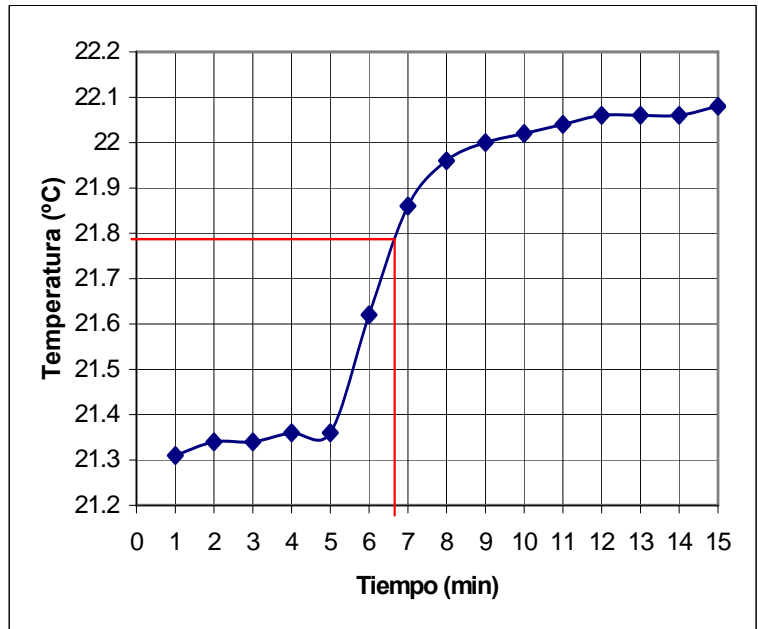
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	20.74	t_c	11
2	20.74	t_d	15
3	20.76	T_b	21.22
4	20.77	t_b	1.6
5	20.78	r_1	0.01
6	20.98	r_2	0.003
7	21.38	T	0.70
8	21.43	Peso muestra (gr) 0.40	
9	21.46	e (residuo fusible, cal): 4.00	
10	21.47	Poder calorífico (MJ/kg) 17.951	
11	21.48		
12	21.50		
13	21.50		
14	21.50		
15	21.51		



Especie: Pasto
 N. de corrida: 3/4

Fecha de análisis: 26 junio 2006

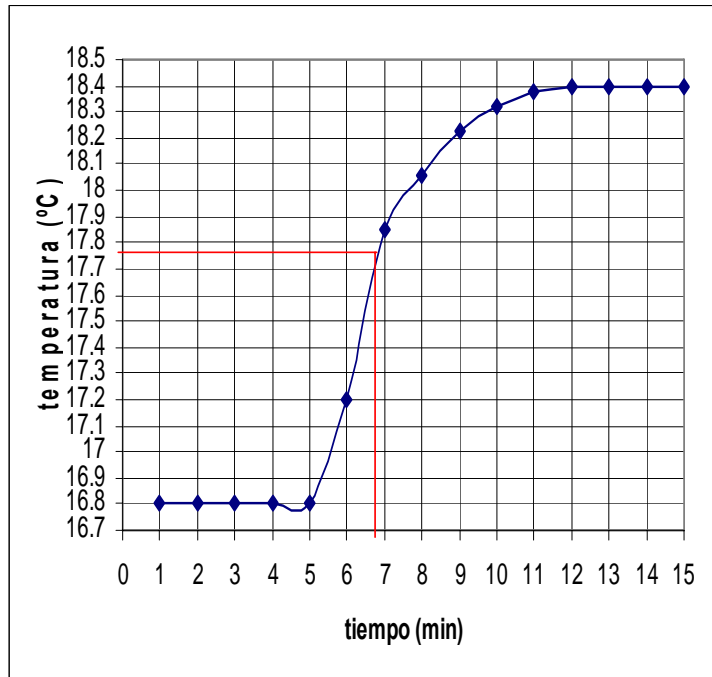
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	21.31	t_c	10
2	21.34	t_d	15
3	21.34	T_b	21.79
4	21.36	t_b	1.7
5	21.36	r_1	0.013
6	21.62	r_2	0.004
7	21.86	T	0.67
8	21.96	Peso muestra (gr) 0.40	
9	22.00	e (residuo fusible, cal): 4.00	
10	22.02	Poder calorífico (MJ/kg) 17.117	
11	22.04		
12	22.06		
13	22.06		
14	22.06		
15	22.08		



Especie: Tehuiztle Rojo
 N. de corrida: 1/3

Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006

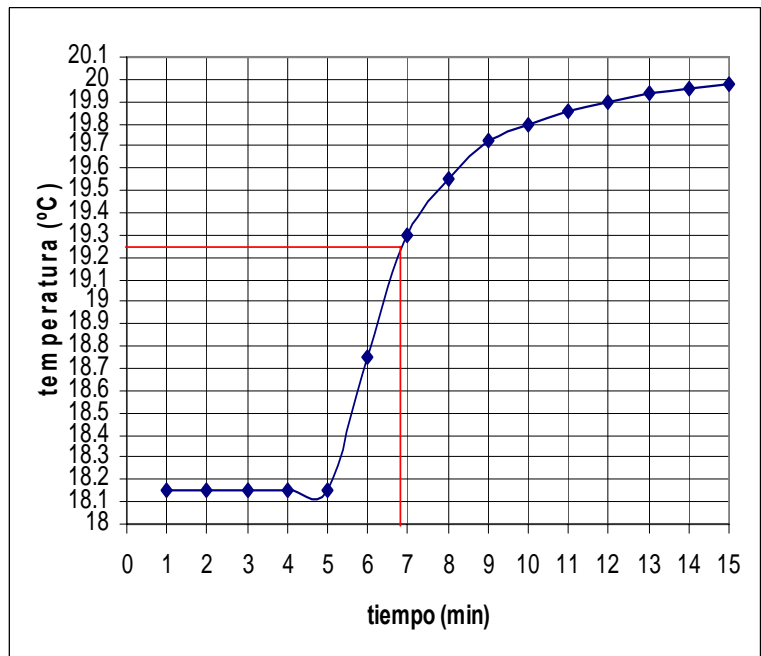
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	16.80	t_c	12
2	16.80	t_d	15
3	16.80	T_b	17.76
4	16.80	t_b	1.8
5	16.80	r_1	0
6	17.20	r_2	0
7	17.85	T	1.52
8	18.06		
9	18.23		
10	18.32	Peso muestra (gr)	0.90
11	18.38	e (residuo fusible, cal):	5.00
12	18.40	Poder calorífico (MJ/kg)	17.329
13	18.40		
14	18.40		
15	18.40		



Especie: Tehuiztle Rojo
 N. de corrida: 2/3

Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006

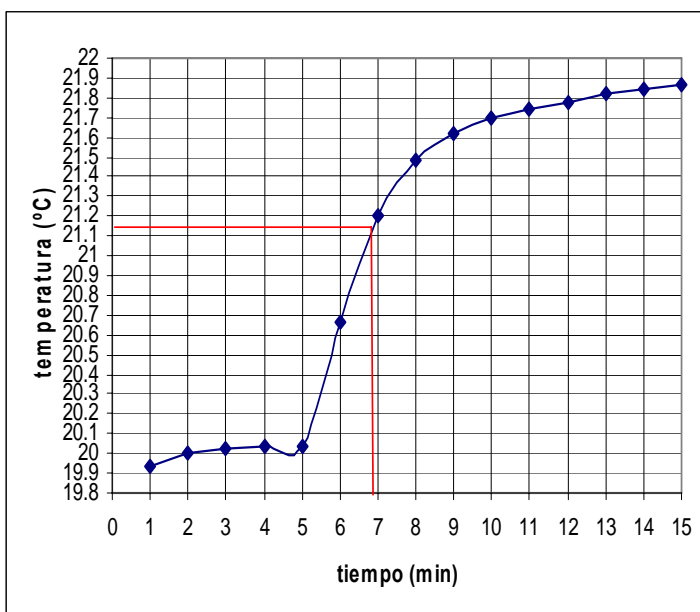
θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	18.15	t_c	13
2	18.15	t_d	15
3	18.15	T_b	19.25
4	18.15	t_b	1.8
5	18.15	r_1	0
6	18.75	r_2	0.02
7	19.30	T	1.43
8	19.55		
9	19.72		
10	19.80	Peso muestra (gr)	1.00
11	19.86	e (residuo fusible, cal):	4.50
12	19.90	Poder calorífico (MJ/kg)	14.632
13	19.94		
14	19.96		
15	19.98		



Especie: Tehuiztle Rojo
 N. de corrida: 3/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	19.94	t_c	13
2	20.00	t_d	15
3	20.02	T_b	21.13
4	20.04	t_b	1.8
5	20.04	r_1	0.025
6	20.66	r_2	0.02
7	21.20	T	1.52
8	21.48		
9	21.62		
10	21.70	Peso muestra (gr)	0.90
11	21.74		
12	21.78	e (residuo fusible, cal):	5.00
13	21.82		
14	21.84		
15	21.86	Poder calorífico (MJ/kg)	17.283

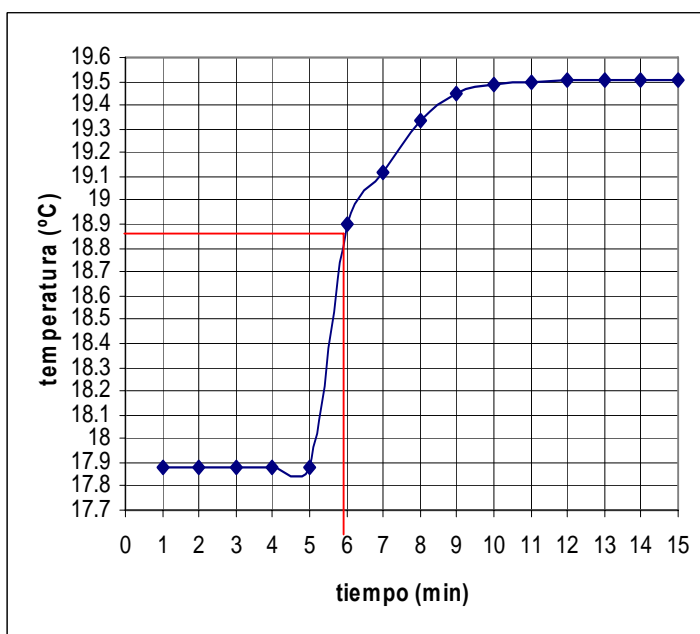
Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006



Especie: Tehuiztle Blanco
 N. de corrida: 1/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	17.88	t_c	10
2	17.88	t_d	15
3	17.88	T_b	18.86
4	17.88	t_b	1
5	17.88	r_1	0
6	18.90	r_2	0.004
7	19.12	T	1.57
8	19.34		
9	19.45		
10	19.49	Peso muestra (gr)	0.90
11	19.50		
12	19.51	e (residuo fusible, cal):	5.00
13	19.51		
14	19.51		
15	19.51	Poder calorífico (MJ/kg)	16.163

Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006

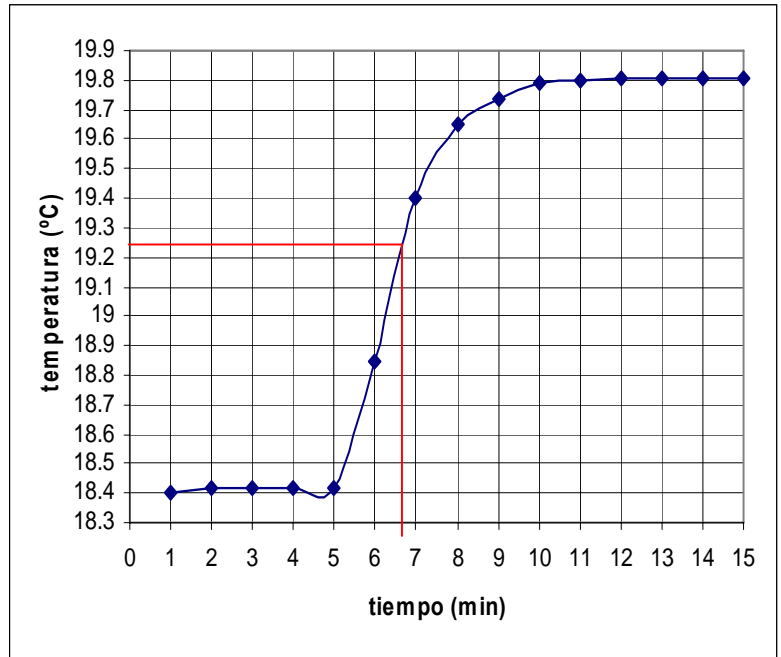


Especie: Tehuiztle Blanco

N. de corrida: 2/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	18.40	t_c	10
2	18.42	t_d	15
3	18.42	T_b	19.25
4	18.42	t_b	1.7
5	18.42	r_1	0.005
6	18.85	r_2	0.004
7	19.40	T	1.35
8	19.65	Peso muestra (gr) 1.00	
9	19.74	e (residuo fusible, cal): 4.50	
10	19.79	Poder calorífico (MJ/kg) 13.885	
11	19.80		
12	19.81		
13	19.81		
14	19.81		
15	19.81		

Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006

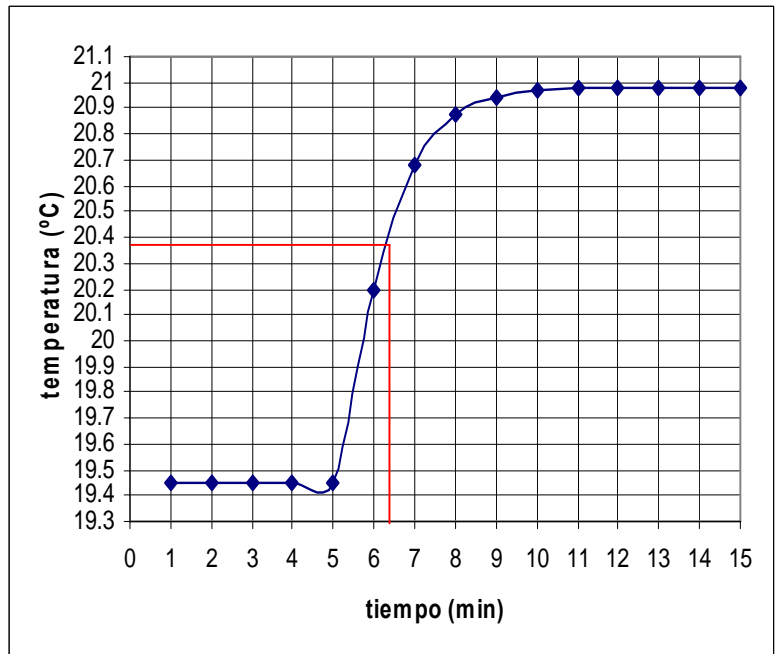


Especie: Tehuiztle Blanco

N. de corrida: 3/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5
1	19.45	t_c	10
2	19.45	t_d	15
3	19.45	T_b	20.37
4	19.45	t_b	1.2
5	19.45	r_1	0
6	20.20	r_2	0.002
7	20.68	T	1.50
8	20.88	Peso muestra (gr) 0.90	
9	20.94	e (residuo fusible, cal): 5.00	
10	20.97	Poder calorífico (MJ/kg) 15.419	
11	20.98		
12	20.98		
13	20.98		
14	20.98		
15	20.98		

Fecha de análisis: 05 Septiembre 2006

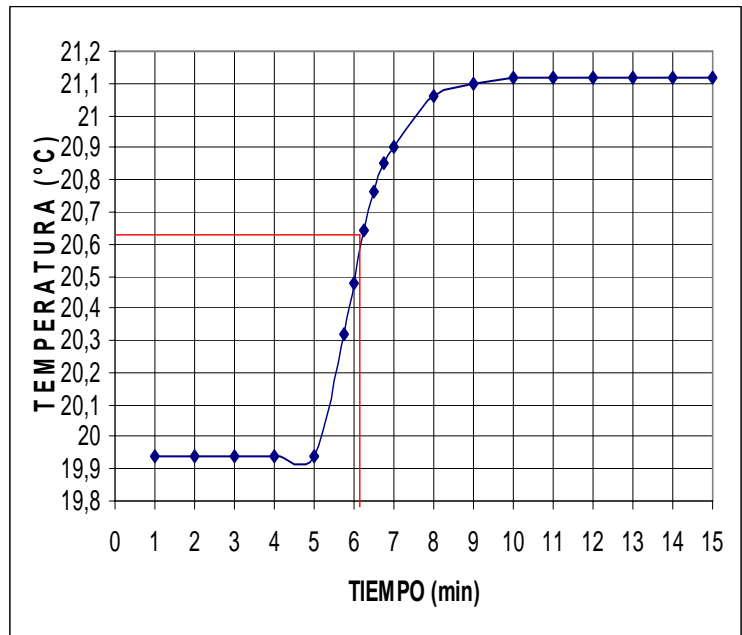


Especie: Hule

N. de corrida: 1/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5.00
01:00	19.94	t_c	10.00
02:00	19.94	t_d	15.00
03:00	19.94	T_b	20.65
04:00	19.94	t_b	1.10
05:00	19.94	r_1	0.00
05:75	20.32	r_2	0.00
06:00	20.48	T	1.18
06:25	20.64		
06:50	20.76	Peso muestra (gr)	0.6
06:75	20.85	e (residuo fusible, cal):	17
07:00	20.90	Poder calorífico(MJ/Kg)	20.088
08:00	21.06		
09:00	21.10		
10:00	21.12		
11:00	21.12		
12:00	21.12		
13:00	21.12		
14:00	21.12		
15:00	21.12		

Fecha de análisis: 10 Noviembre 2006

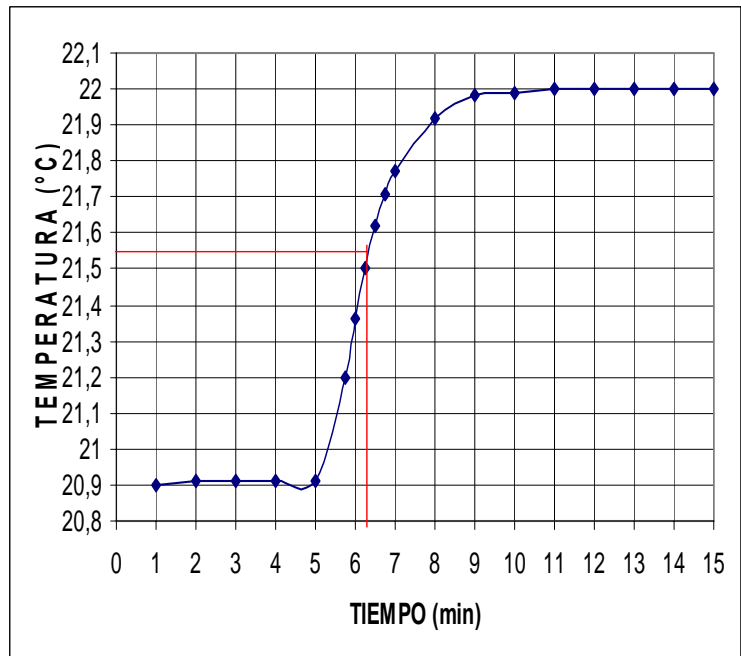


Especie: Hule

N. de corrida: 2/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5.00
01:00	20.90	t_c	9.00
02:00	20.91	t_d	15.00
03:00	20.91	T_b	21.55
04:00	20.91	t_b	1.30
05:00	20.91	r_1	0.00
05:75	21.20	r_2	0.00
06:00	21.36	T	1.09
06:25	21.50		
06:50	21.62	Peso muestra (gr)	0.6
06:75	21.71	e (residuo fusible, cal):	9
07:00	21.77	Poder calorífico(MJ/Kg)	18.660
08:00	21.92		
09:00	21.98		
10:00	21.99		
11:00	22.00		
12:00	22.00		
13:00	22.00		
14:00	22.00		
15:00	22.00		

Fecha de análisis: 10 Noviembre 2006

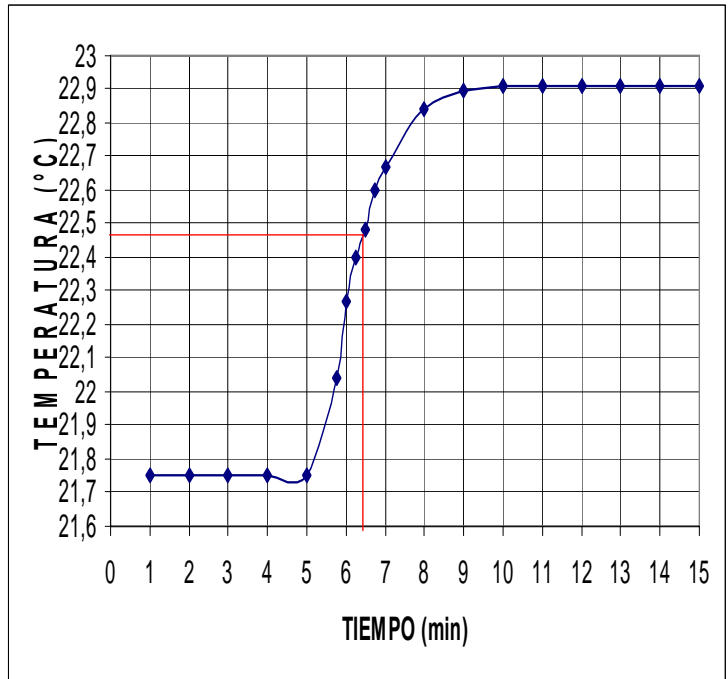


Especie: Jacaranda

N. de corrida: 1/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5.00
01:00	21.75	t_c	9.00
02:00	21.75	t_d	15.00
03:00	21.75	T_b	22.44
04:00	21.75	t_b	1.50
05:00	21.75	r_1	0.00
05:75	22.04	r_2	0.00
06:00	22.27	T	1.14
06:25	22.40		
06:50	22.48		
06:75	22.60		
07:00	22.67	Peso muestra (gr)	0.70
08:00	22.84		
09:00	22.90	e (residuo fusible, cal):	7.00
10:00	22.91		
11:00	22.91		
12:00	22.91		
13:00	22.91	Poder calorifico (MJ/Kg)	16.654
14:00	22.91		
15:00	22.91		

Fecha de análisis: 28 Noviembre 2006

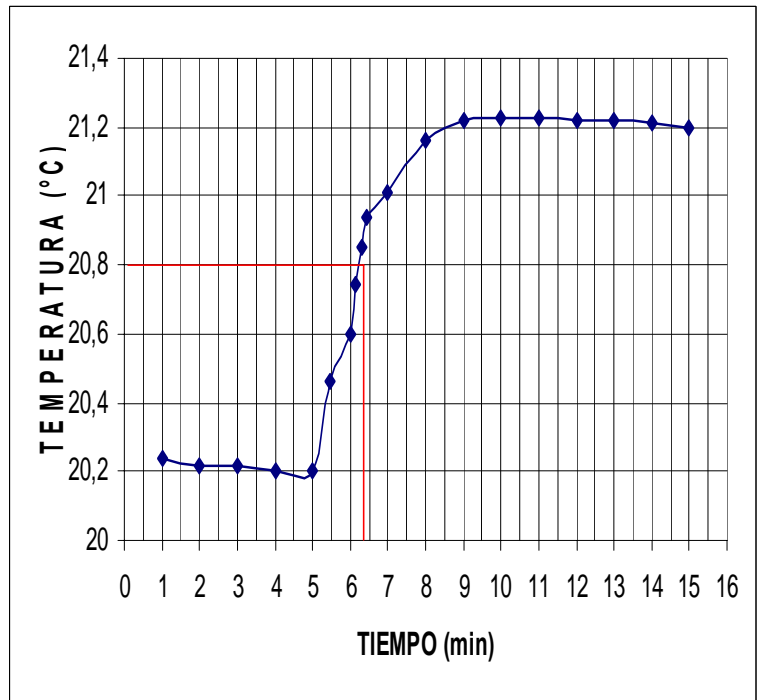


Especie: Jacaranda

N. de corrida: 2/3

θ (min)	T (°C)	t_a	5
01:00	20.24	t_c	10
02:00	20.22	t_d	15
03:00	20.22	T_b	20.8
04:00	20.20	t_b	1.4
05:00	20.20	r_1	-0.01
05:75	20.46	r_2	-0.004
06:00	20.60	T	1.0284
06:25	20.74		
06:50	20.85		
06:75	20.94	Peso muestra (gr)	0.60
07:00	21.01		
08:00	21.16	e (residuo fusible, cal):	6.00
09:00	21.22		
10:00	21.23		
11:00	21.23		
12:00	21.22	Poder calorifico (MJ/Kg)	17.568
13:00	21.22		
14:00	21.21		
15:00	21.20		

Fecha de análisis: 28 Noviembre 2006

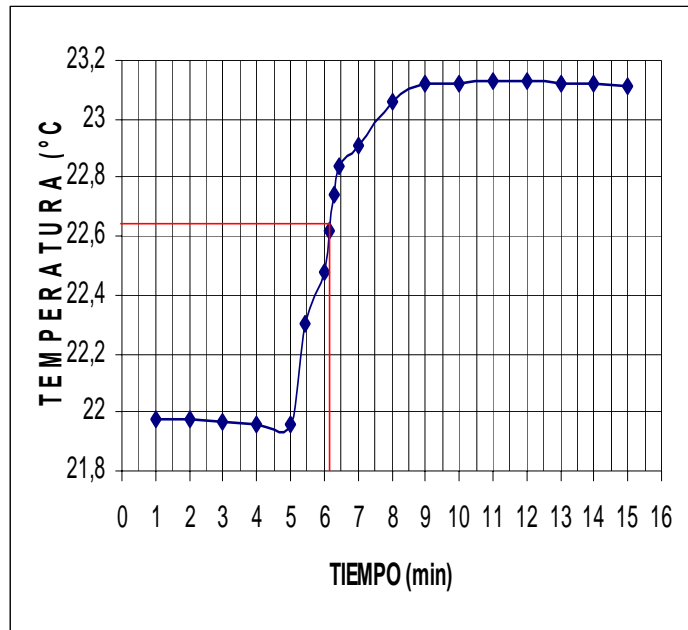


Especie: Jacaranda

Fecha de análisis: 28 Noviembre 2006

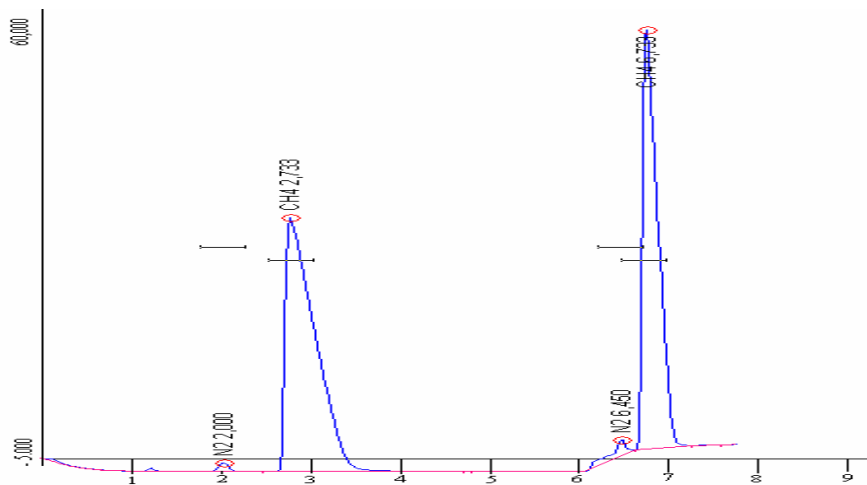
N. de corrida: 3/3

θ (min)	T (°C)	a	5
01:00	21.98	c	9
02:00	21.98	d	15
03:00	21.97	tb	22.65
04:00	21.96	b	1.2
05:00	21.96	r1	-0.005
05:75	22.30	2	-0.00166
06:00	22.48	t	1.154
06:25	22.62		
06:50	22.74		
06:75	22.84	Peso muestra (gr)	0.60
07:00	22.91	e (residuo fusible, cal):	4.00
08:00	23.06		
09:00	23.12	Poder calorifico(MJ/Kg)	19.773
10:00	23.12		
11:00	23.13		
12:00	23.13		
13:00	23.12		
14:00	23.12		
15:00	23.11		

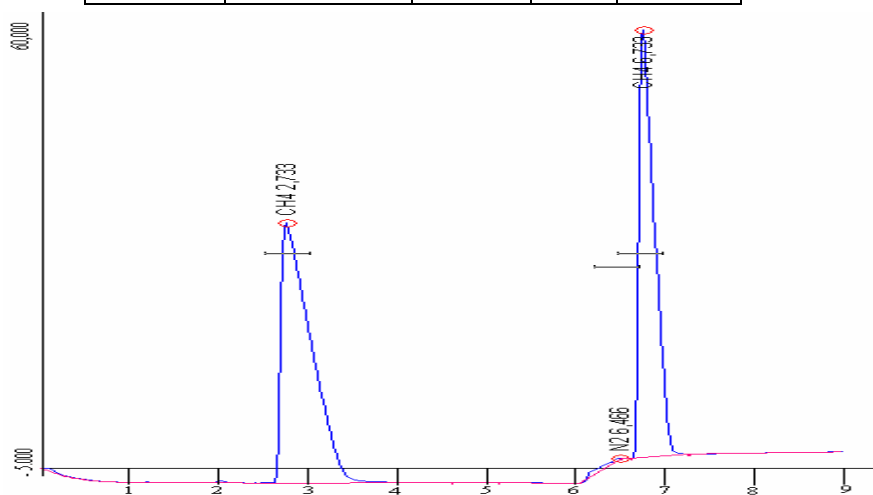


ANEXO 2 PRUEBAS CROMATOGRÁFICAS

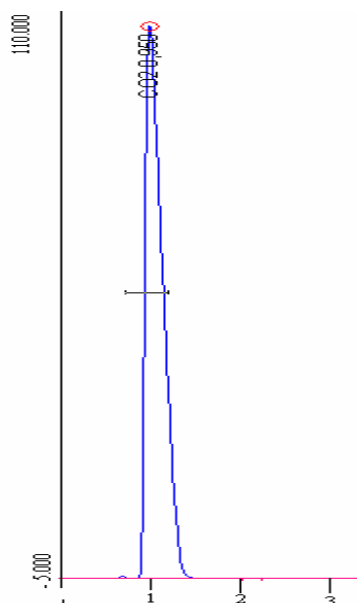
- Cromatogramas de mezclas puras.



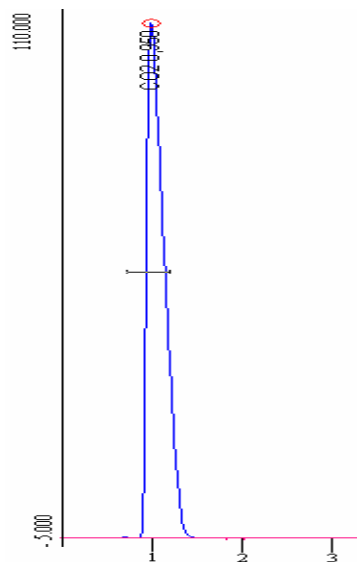
CH4 PATRON 1-2				
Componente	Tiempo de retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
N2	2	7.927	0.5585	28
CH4	2.733	753.216	53.0665	28
N2	6.45	25.6095	1.8043	28
CH4	6.733	632.63	44.5708	28



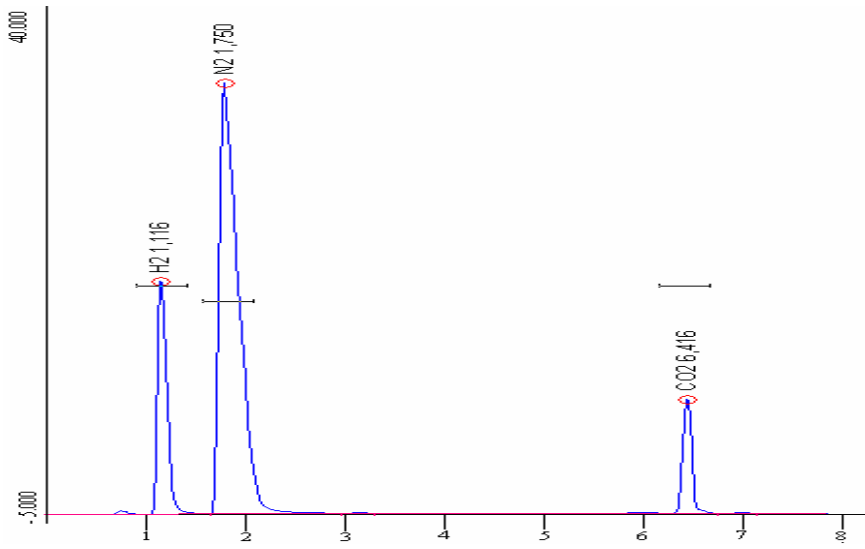
CH4 PATRON 2-2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
CH4	2.733	762.547	53.8224	28
N2	6.466	12.6765	0.8947	28
CH4	6.733	641.561	45.2829	28



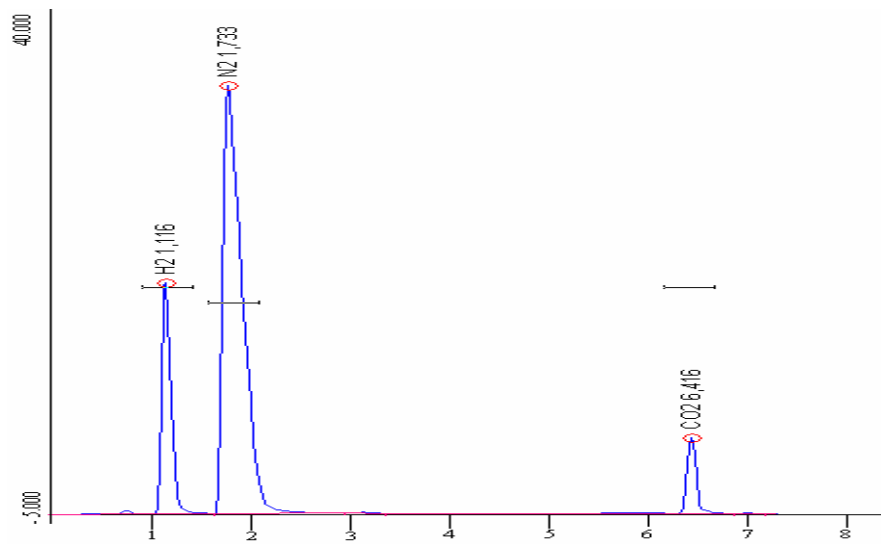
CO2 PATRON 1-2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
CO2	0.95	1332.76	100	90



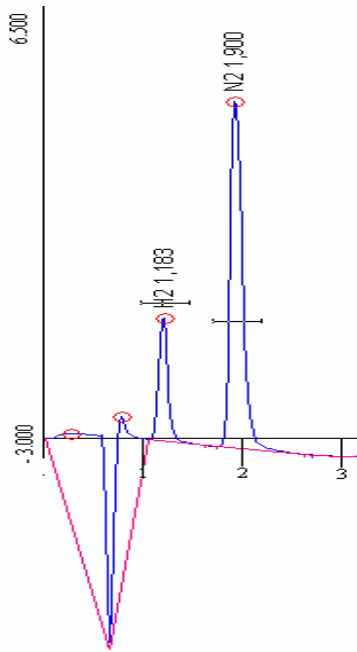
CO2 PATRON 2-2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
CO2	0.95	1332.775	100	90



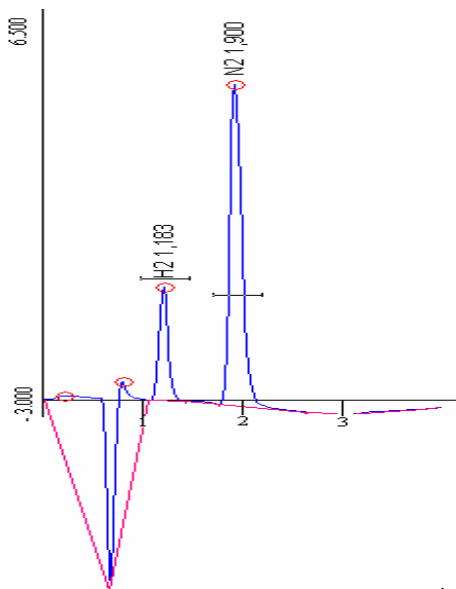
H2-CO2 PATRON 1-2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.116	114.92	18.9832	28
N2	1.75	438.606	72.4517	28
CO2	6.416	51.851	8.5651	90



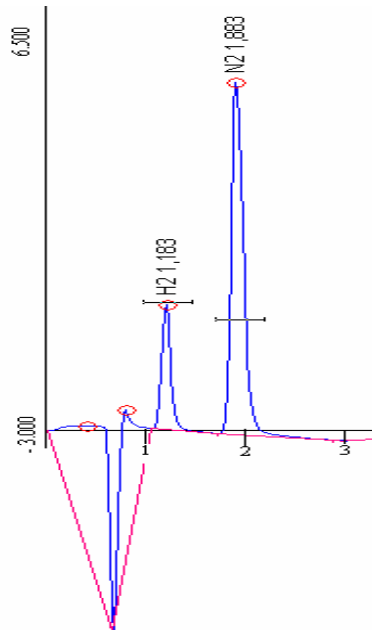
H2-CO2 PATRON 2-2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.116	114.522	19.4558	28
N2	1.733	438.5005	74.4954	28
CO2	6.416	35.605	6.0488	90



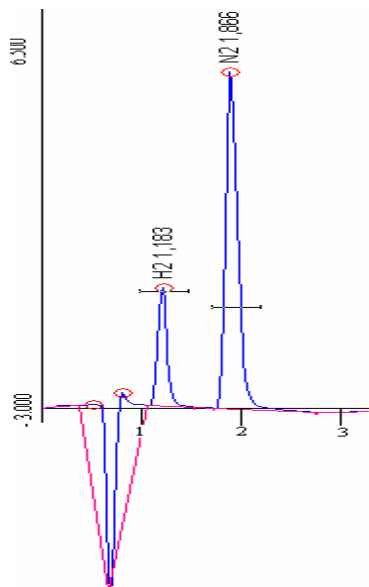
H2 PATRON 1/5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	11.093	21.0853	28
N2	1.9	41.517	78.9147	28



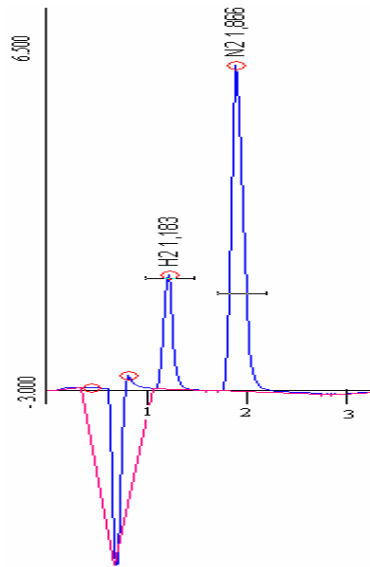
H2 PATRON 2/5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	11.064	20.6726	28
N2	1.9	42.456	79.3274	28



H2 PATRON 3/5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	11.854	20.7724	28
N2	1.883	45.212	79.2276	28

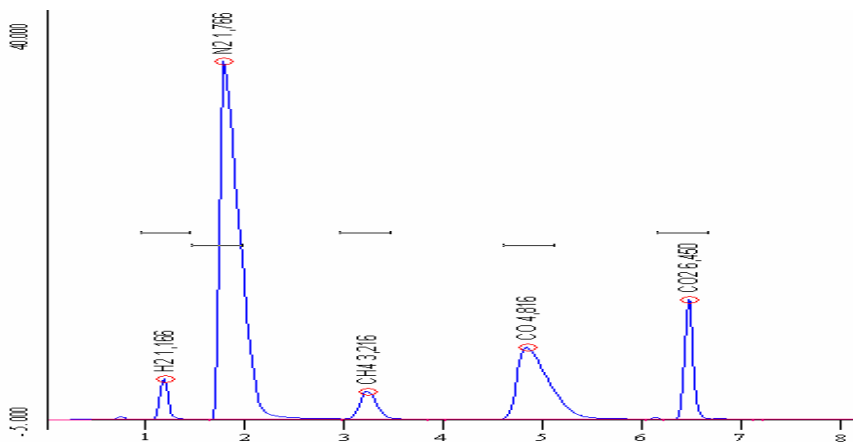


H2 PATRON 4/5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	12.247	20.6418	28
N2	1.866	47.084	79.3582	28

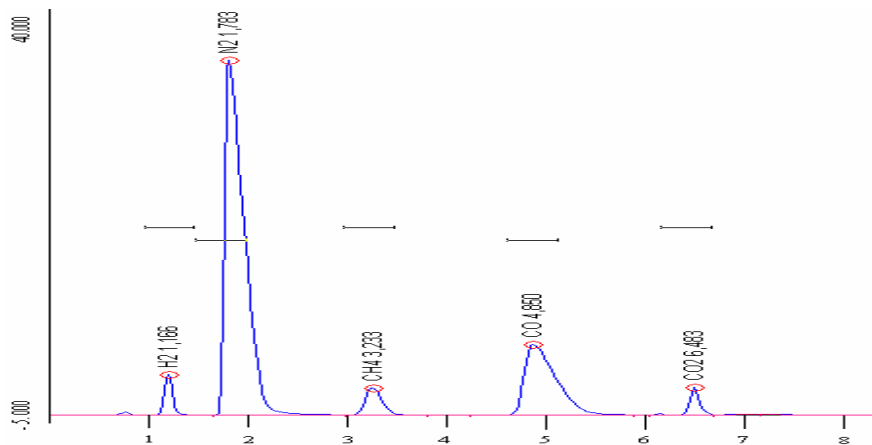


H2 PATRON 5/5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	12.336	20.7213	28
N2	1.866	47.197	79.2787	28

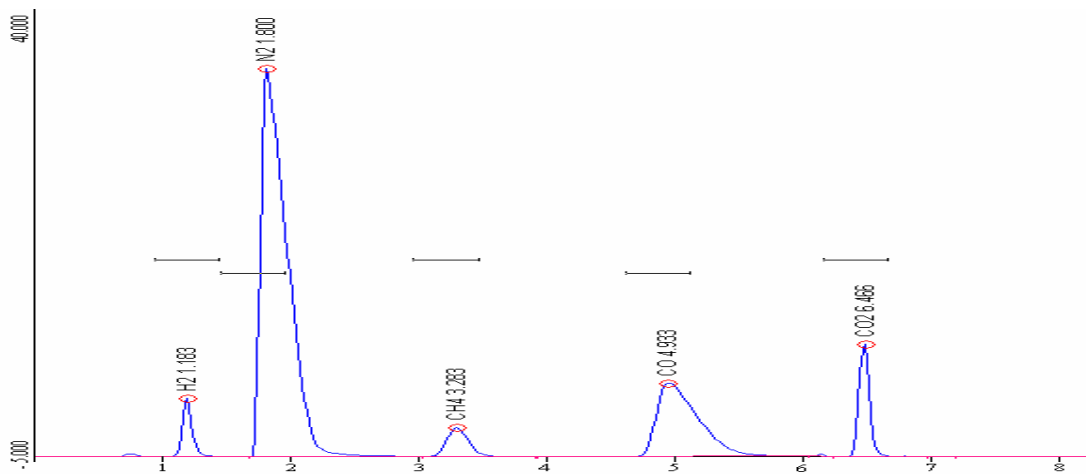
- Cromatogramas de mezcla de gas de síntesis estándar realizados a temperatura constante.



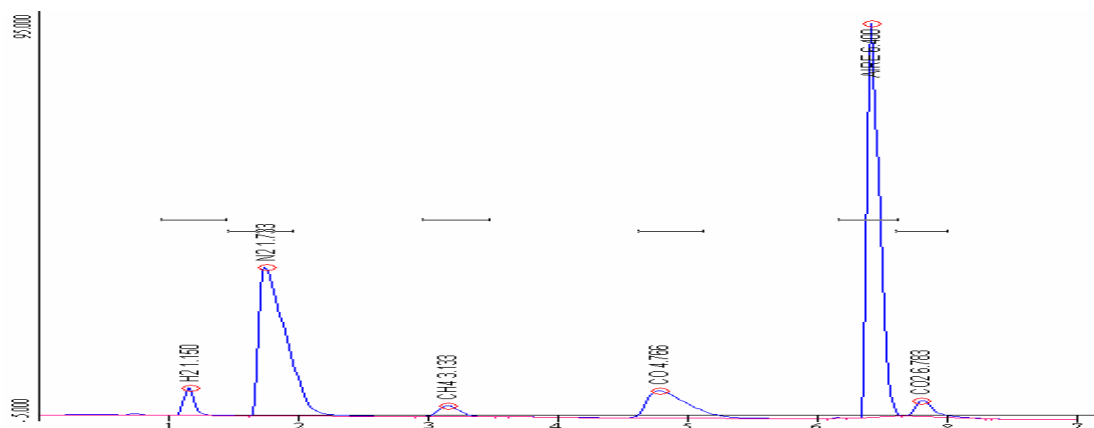
28 cte. 1-3				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1,166	209,015	28,766	28
N2	1,766	459,67	632,636	28
CH4	3,216	29,925	41,185	28
CO	4,816	148,979	205,037	28
CO2	6,45	67,119	92,375	28



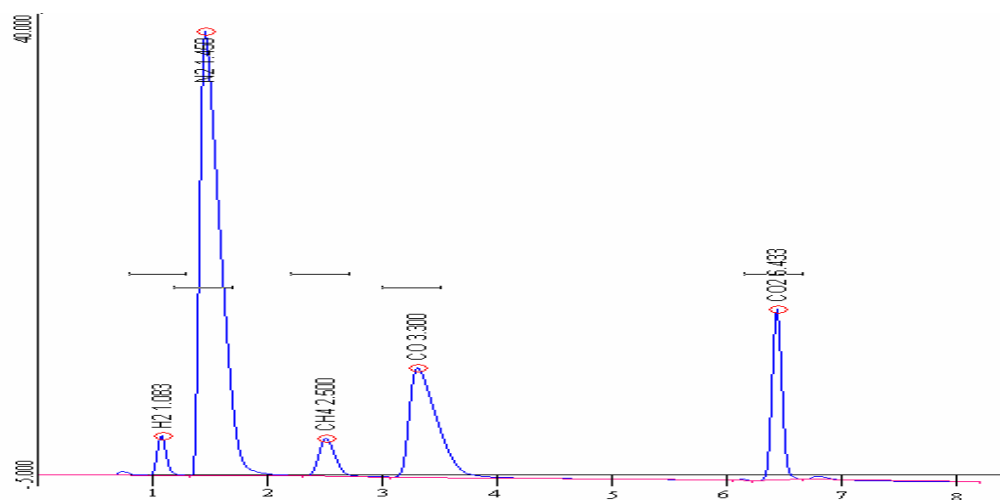
28 cte 2-3				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.166	20.758	3.1388	28
N2	1.783	450.051	68.0516	28
CH4	3.233	29.29	4.4289	28
CO	4.85	144.0955	21.7885	28
CO2	6.483	17.1435	2.5922	28



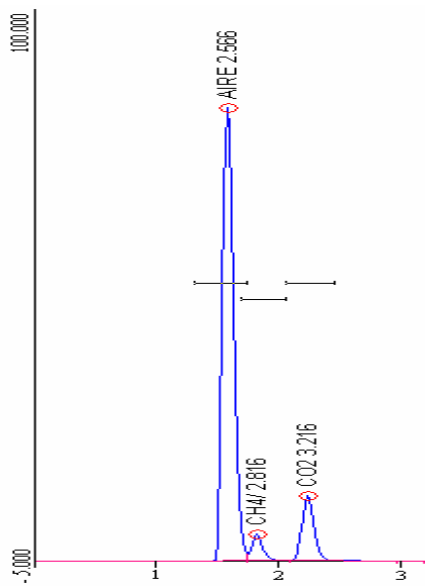
28 cte. 3-3				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.183	28.7725	3.8213	28
N2	1.8	488.755	64.9114	28
CH4	3.283	30.045	3.9903	28
CO	4.933	147.485	19.5874	28
CO2	6.466	57.9	7.6897	28



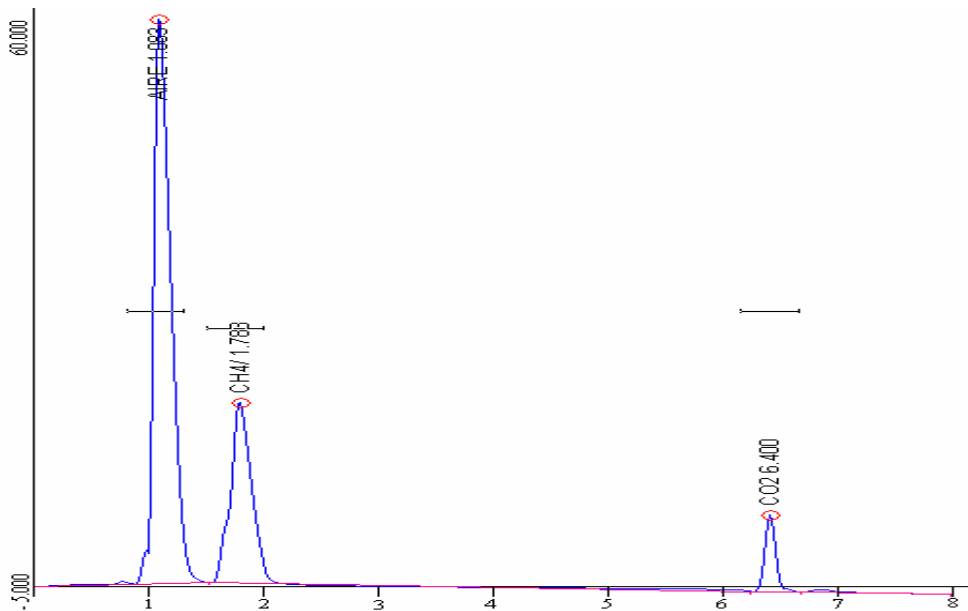
30 cte. 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura(°C)
H2	1.15	36.5205	2.7	30
N2	1.733	488.0955	36.14	30
CH4	3.133	28.8635	2.14	30
CO	4.766	138.6505	10.27	30
AIRE-CH4-CO	6.4	621.354	46.01	30
CO2	6.783	37.057	2.74	30



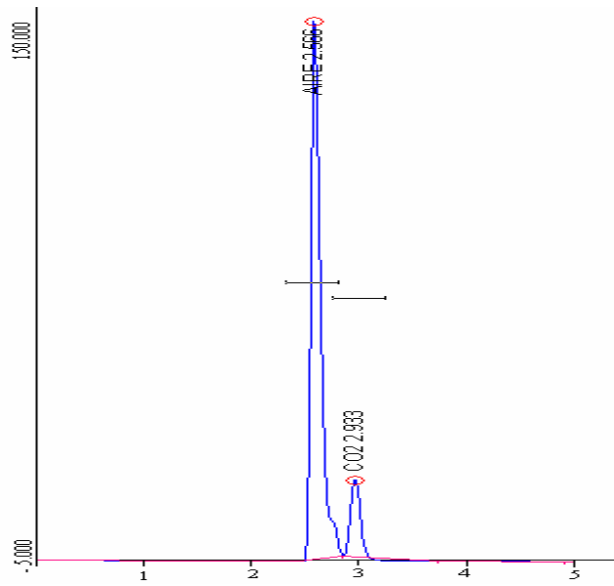
50 cte 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
H2	1.083	18.899	2.462	50
N2	1.45	468.411	61.0199	50
CH4	2.5	32.145	4.1875	50
CO	3.3	157.332	20.4956	50
AIRE-CH4-CO	6.433	87.9895	11.4624	50



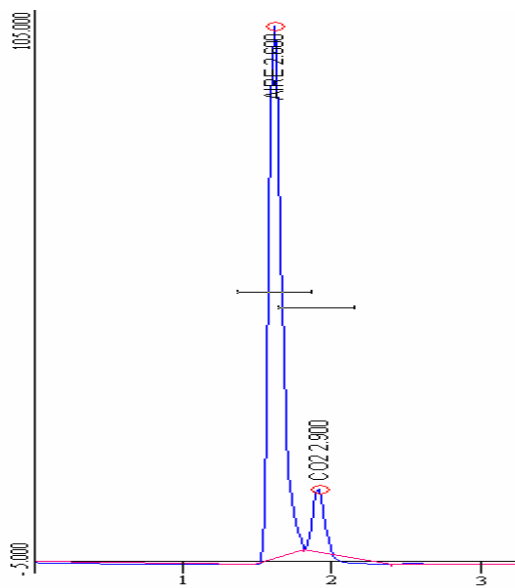
80 cte. 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.566	496.154	88.0422	80
CO2	3.216	67.387	11.9578	80



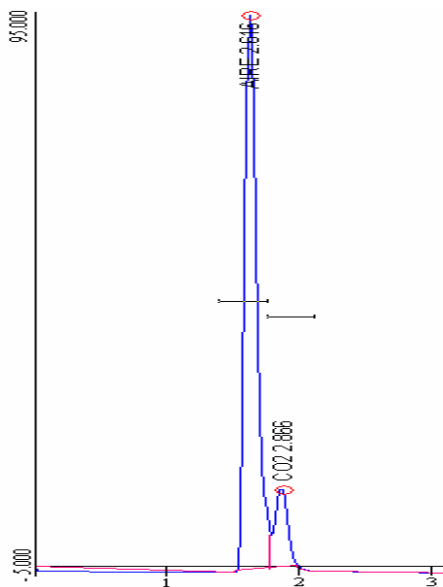
100c te 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.583	568.533	88.888	100
CO2	3.066	71.073	11.112	100



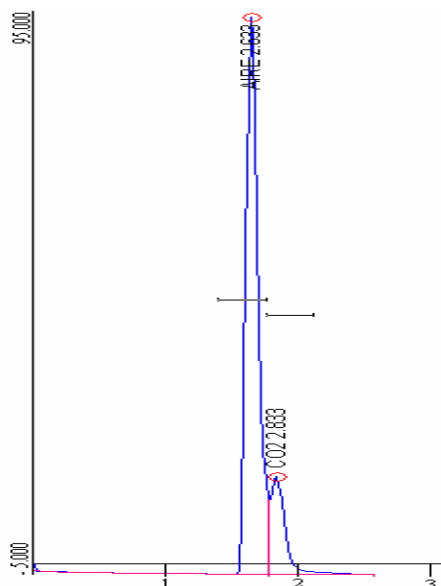
120 cte 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.566	931.174	87.6768	120
CO2	2.933	130.879	12.3232	120



140 cte 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.6	616.671	89.8771	140
CO2	2.9	69.456	10.1229	140

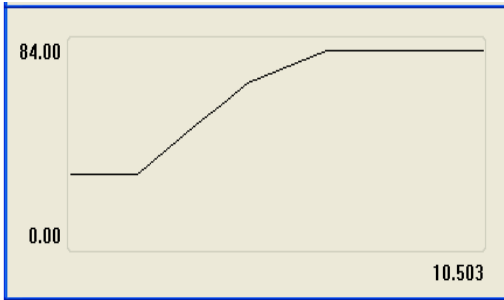


160 cte 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.616	608.764	85.5868	160
CO2	2.866	102.519	14.4132	160

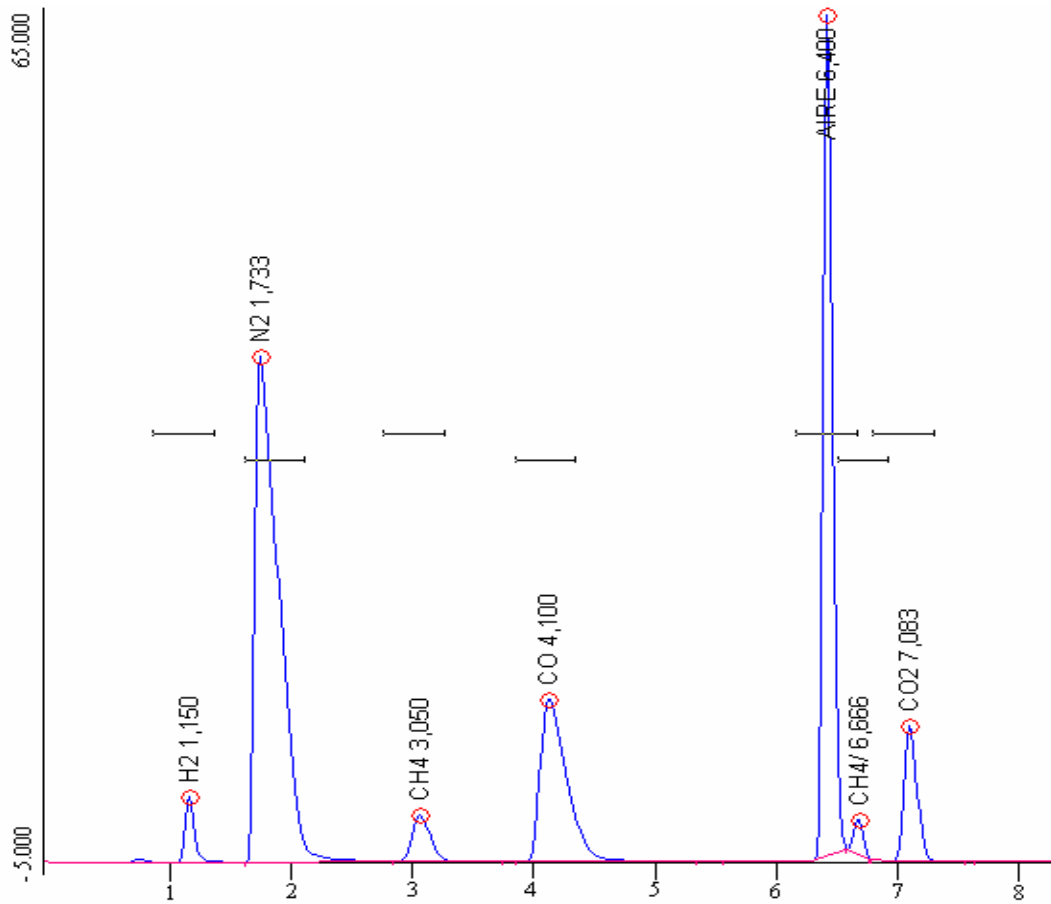


180 cte 1-1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	Área %	Temperatura (°C)
AIRE-CH4-CO	2.633	560.601	93.3644	180
CO2	2.833	39.843	6.6356	180

RAMPA 1

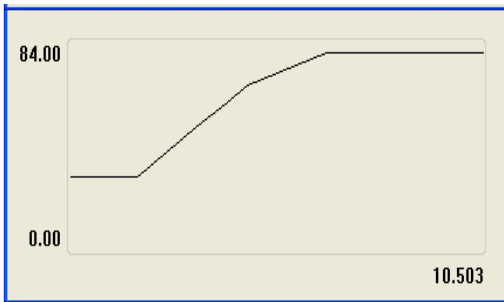


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

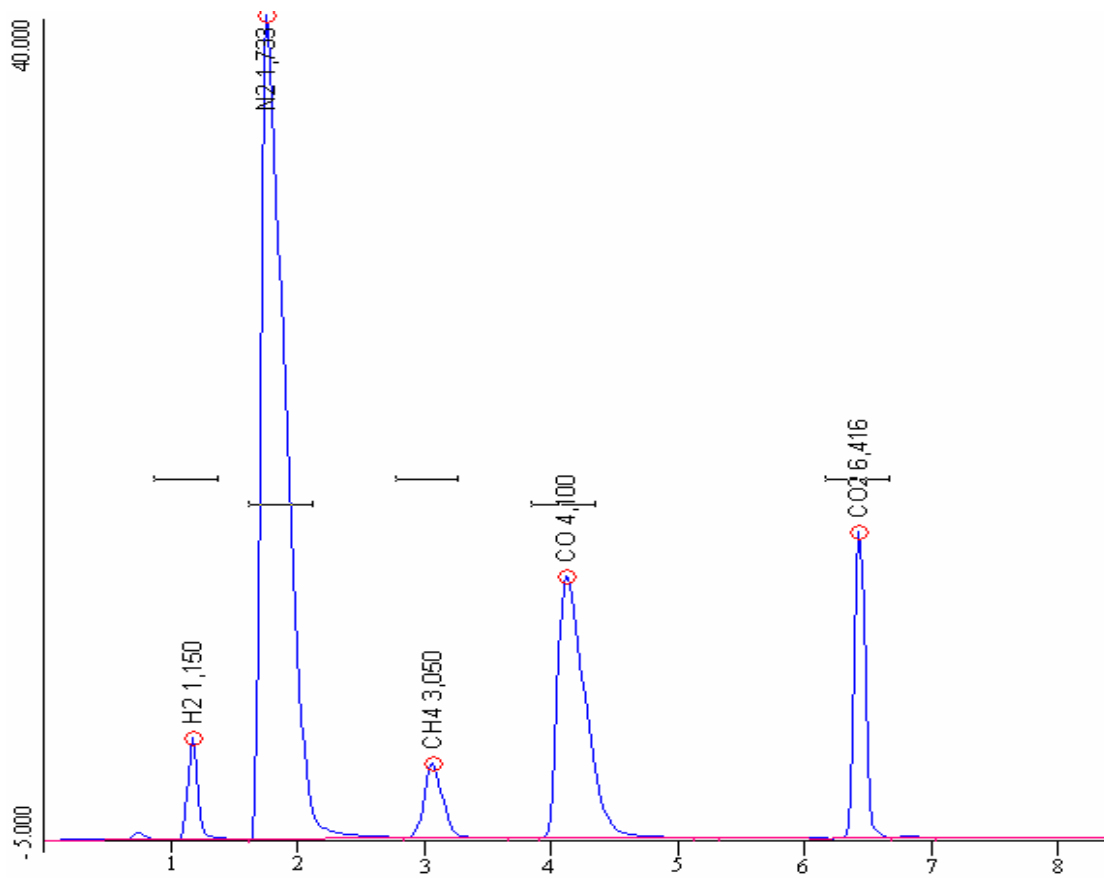


Rampa 1				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,15	24,968	2,1916	30
N2	1,733	487,5635	42,796	30
CH4	3,05	32,98	2,8948	48
CO	4,1	172,269	15,121	61
AIRE	6,4	338,329	29,6969	79
CH4/CO	6,666	13,673	1,2002	80
CO2	7,083	69,49	6,0995	80

- **RAMPA 2**

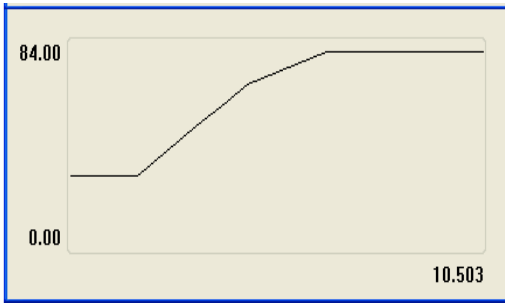


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

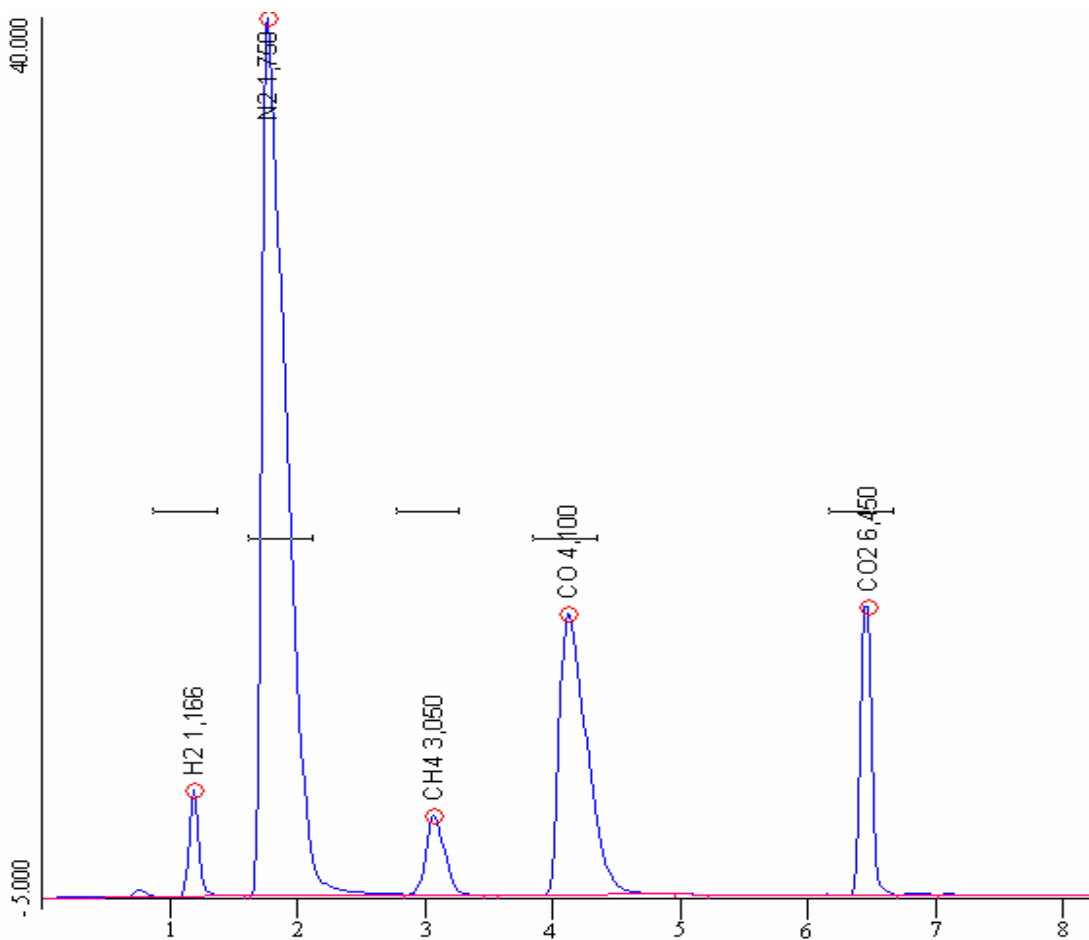


Rampa 2				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,15	22,727	3,0227	30
N2	1,733	461,378	61,3638	30
CH4	3,05	31,204	4,1502	48
CO	4,1	162,946	21,672	61
CO2	6,416	73,6185	9,7913	79

• RAMPA 3

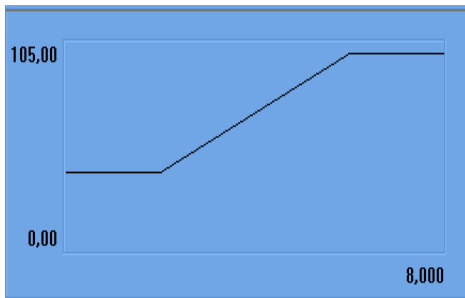


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	1700	0.000	30.00
30.00	0.000	13300	50.00
50.00	0.000	12500	60.00
60.00	0.000	14000	67.00
67.00	0.000	6500	80.00
80.00	4000	0.000	80.00

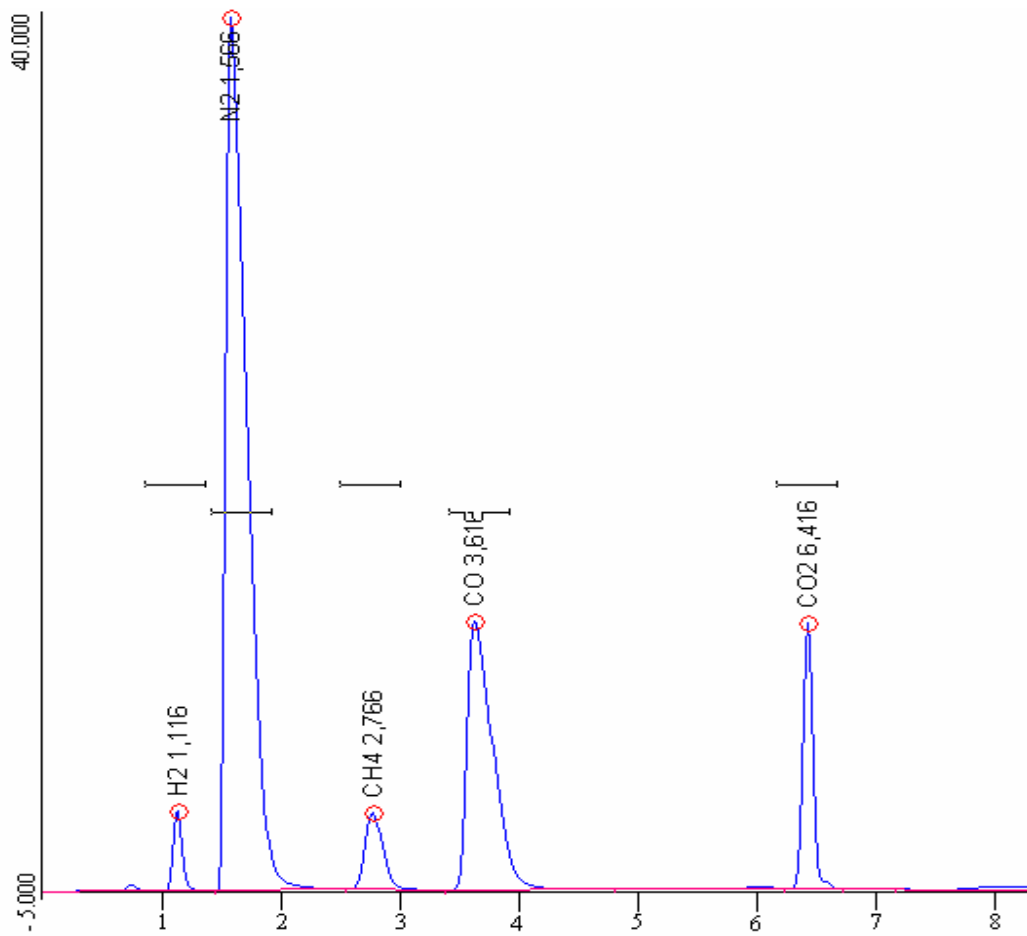


Rampa 3				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,166	22,189	2,9925	30
N2	1,75	460,564	62,1139	31
CH4	3,05	30,97	4,1768	48
CO	4,1	162,904	21,97	61
CO2	6,45	64,856	8,7468	80

• **RAMPA 4**

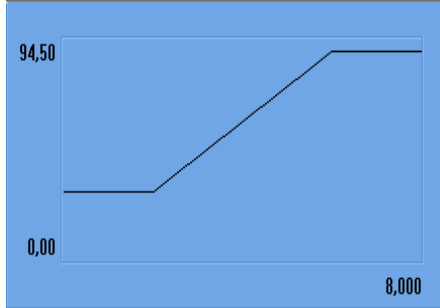


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
40.00	2.000	0.000	40.00
40.00	0.000	15.000	100.00
100.00	2.000	0.000	100.00

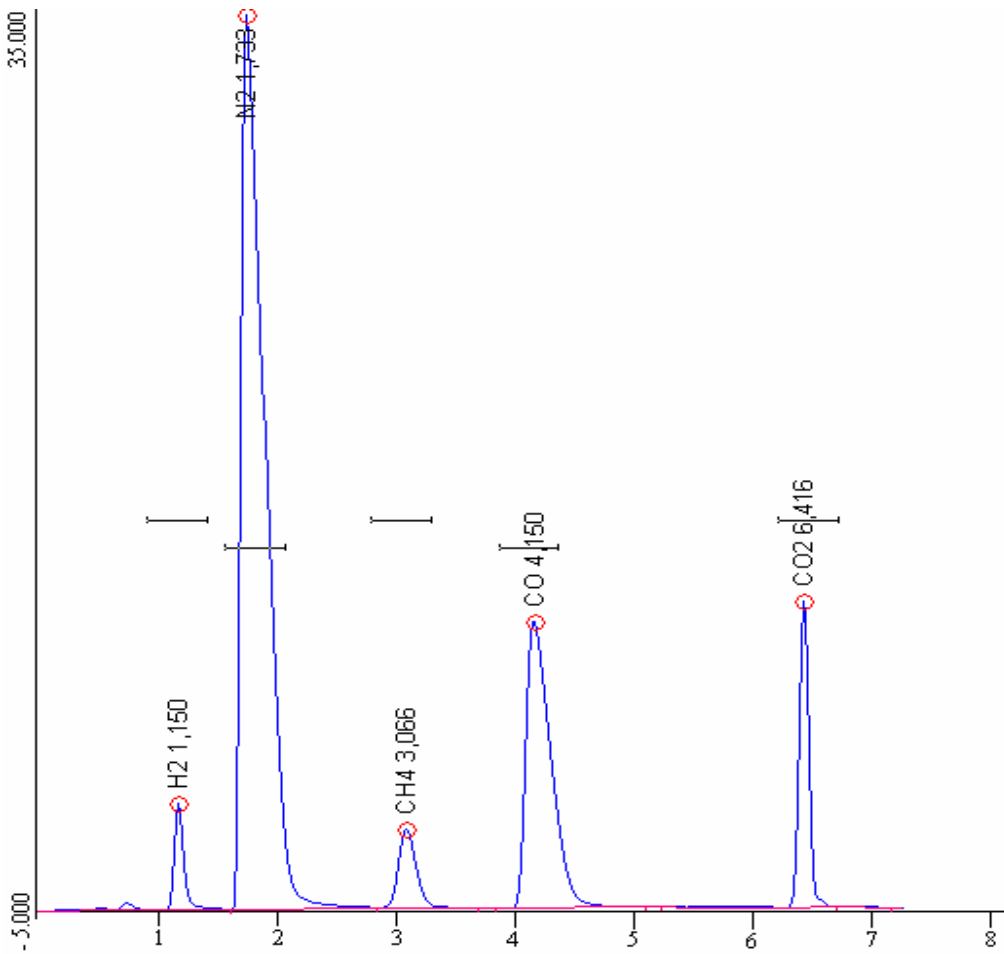


Rampa 4				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,116	18,3595	2,4095	40
N2	1,566	473,038	62,0818	40
CH4	2,766	32,795	4,304	51
CO	3,616	170,021	22,3137	64
CO2	6,416	67,746	8,891	100

• RAMPA 5

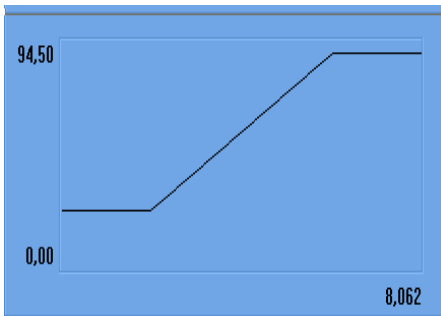


Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
30.00	2.000	0.000	30.00
30.00	0.000	15.000	90.00
90.00	2.000	0.000	90.00

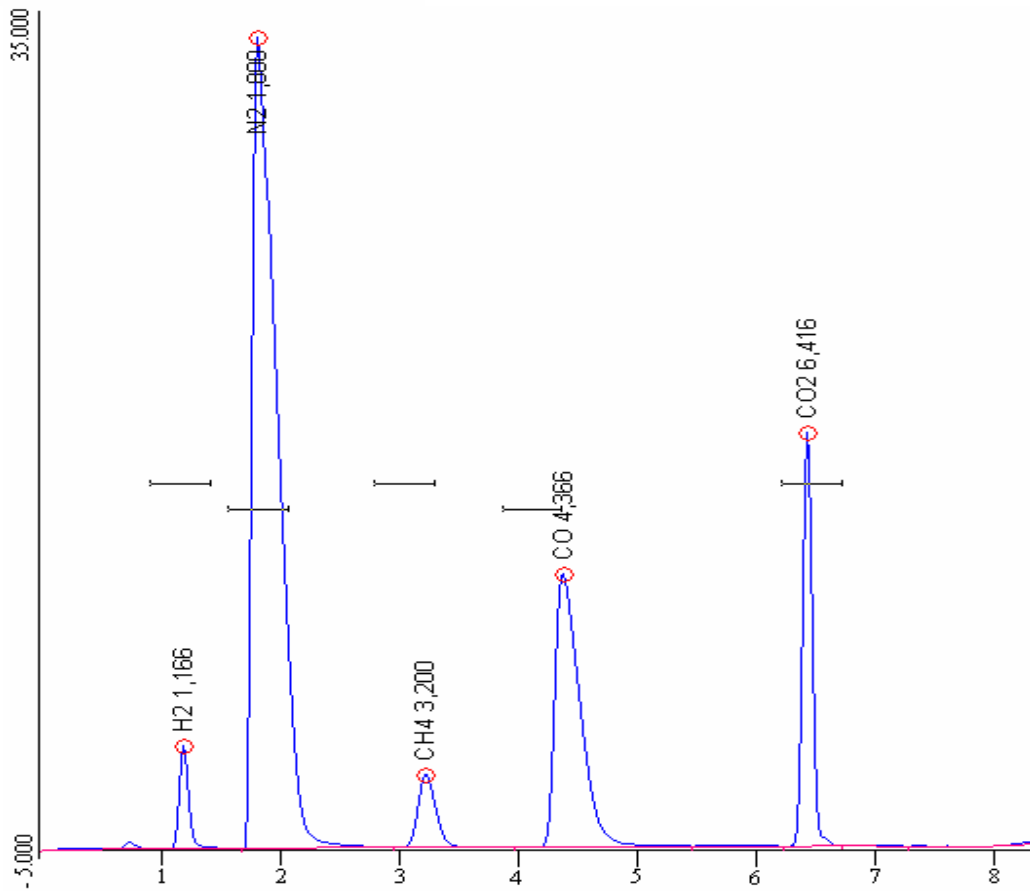


Rampa 5				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,15	22,681	3,0393	30
N2	1,733	460,6495	61,7281	30
CH4	3,066	31,267	4,1899	46
CO	4,15	162,909	21,8302	62
CO2	6,416	68,749	9,2125	90

• **RAMPA 6**



Temperatura inicial (°C)	Sostenido (min)	Rampa (°C/min)	Temperatura final (°C)
25.00	2.000	0.000	25.00
25.00	0.000	16.000	90.00
90.00	2.000	0.000	90.00



Rampa 6				
Componente	Tiempo de Retención (min)	Área (mV)	% Área	Temperatura (°C)
H2	1,166	23,082	2,9632	25
N2	1,8	461,416	59,236	25
CH4	3,2	31,2935	4,0174	44
CO	4,366	165,866	21,2937	63
CO2	6,416	97,288	12,4897	90