



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO.**



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**INSTRUMENTACIÓN DE UNA
PLANTA PILOTO DE
GASIFICACIÓN DE RESIDUOS
BIOMÁSICOS DE 250 kW_e.**

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.

Mario Alberto Barrera Galván

Director: Dr. Javier E. Aguillón Martínez

México D.F., SEPTIEMBRE 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Por brindarme su apoyo incondicional e impulsarme todos los días para alcanzar mis metas. Gracias por todas las palabras y consejos ya que sin ellos no habría alcanzado los logros que hasta hoy he obtenido.

A MIS HERMANOS

Por el cariño que siempre han demostrado tenerme y ser el ejemplo a seguir, por alentarme a luchar siempre por lo que quiero y acompañarme en los momentos difíciles.

A MIS ABUELITOS Y TIOS

Por estar siempre en la mejor disposición de brindarme su apoyo, por transmitirme en base a sus experiencias los mejores consejos y por la confianza que siempre me han tenido.

A DULCE

Por ser uno de mis mayores razones para seguir adelante, por todos los momentos que hemos vivido juntos, con mucho cariño y amor te doy las gracias por estar siempre conmigo.

Dr. JAVIER EDUARDO AGUILLON

Por apoyarme en el desarrollo de este trabajo y ser parte de mi formación profesional al transmitirme sus conocimientos y ser un ejemplo de perseverancia.

Introducción.....	1
Prólogo	3
Resumen	4
Planteamiento del problema	5
Materiales	5
Objetivos.....	6
Hipótesis.....	6

CAPITULO I. La bioenergía.

1.1 Bioenergía.....	7
1.2 La biomasa.....	10
1.2.2 Clasificación de la biomasa	12
1.3 Métodos de transformación de la biomasa	13
1.3.1 Métodos termoquímicos	13
1.3.2 La combustión	14
1.3.3 La pirolisis	14
1.3.4 La gasificación.....	15
1.3.5 Métodos biológicos	16
1.4 Principales características de la biomasa.....	17
1.5 Ventajas y desventajas del uso de biomasa como combustible.....	19
1.6 Uso, disponibilidad y perspectivas de la biomasa en México	20
1.6.1 El contexto internacional.....	21
1.6.2 Potencial a largo plazo: La transición hacia las fuentes renovables de energía.....	21
1.7 La bioenergía en México	22

CAPITULO II La gasificación con biomasa: gasificador del Instituto de Ingeniería UNAM.

2.1 Fundamento teórico	25
2.2 Proceso de gasificación	28
2.3 Secado de la biomasa.....	31
2.4 Proceso de pirolisis.....	32
2.5 Proceso de combustión.....	34
2.6 Tipos de gasificadores	35
2.6.1 Gasificador Updraft.....	36
2.6.2 Gasificador Downdraft	37
2.6.3 Sistema de gasificación Downdraft.....	39
2.6.4 Gasificador de lecho fluidizado.....	40
2.7 Otros tipos de gasificadores.....	42
2.7.1 Gasificador de lecho móvil en corrientes paralelas.....	42
2.7.2 Gasificador de tiro transversal	43
2.7.3 Gasificador de horno rotatorio.....	43
2.7.4 Gasificador de lecho móvil en contracorriente.....	43
2.8 Criterios de elección de un gasificador.....	44
2.9 Los principales requerimientos en la elección de un gasificador de biomasa	44
2.10 Ventajas y desventajas de los tipos de gasificadores.....	45

2.11 Pretratamiento de la alimentación de biomasa al gasificador.....	46
2.12 Remoción de alquitrán.....	47
2.13 Trazas de impurezas	47
2.14 Otros factores que influyen en el proceso de gasificación	48
2.15 Planta piloto de gasificación de biomasa del Instituto de Ingeniería UNAM.....	50
2.15.1 Bases de diseño.....	50
2.15.2 Descripción de proceso.....	52
2.16 Características de equipo de Proceso.....	54

CAPITULO III Instrumentación del proceso de gasificación de Biomasa

3 Variables a medir durante el proceso de gasificación	63
3.1 Temperatura.....	64
3.1.1 Principios de medición	64
3.1.2 Termopares	65
3.1.3 Tipos de termopares	66
3.1.4 Termopar ALMEMO tipo k	67
3.1.5 Instalación de termopar en el gasificador	68
3.1.6 Precauciones y consideraciones al usar termopares	68
3.2 Medición de humedad	69
3.2.1 Principios de Medición.....	69
3.2.2 Sensor de Humedad FH A 606 MF almemo	71
3.3 Medición de Presión	72
3.3.1 Principio de medición.....	72
3.3.2 Sensor (piezoresistivo) de presión albom.....	72
3.3.3 Instalación del medidor de presión en el gasificador	72
3.4 Registrador de datos almemo 2290-8	73
3.5 Medición de poder calorífico.....	74
3.5.1 Principio de medición.....	74
3.5.2 Bomba Calorimétrica Parr 1340.....	74
3.5.3 Calibración de la bomba de Oxígeno	74
3.6 Instrumentación del sistema de encendido electrónico en los motores.....	75
3.6.1 ECU (unidad electrónica de control).....	75
3.6.2 Válvula mariposa y sensor de posición de acelerador TPS	76
3.6.3 Medición de presión absoluta.....	79
3.6.4 Sensor de RPM's	82
3.6.5 Sensores de temperatura de aire y agua.....	84
3.6.6 Electro válvulas de gas y aire	87
3.6.7 Sensor λ (aire/combustible).....	88
3.7 Sistema de Encendido.....	91
3.7.1 Estructura interna de la computadora	89
3.7.2 Parámetros que determinan la inyección de combustible.....	94
3.7.3 El Encendido electrónico.....	96
3.8 Modulo de Ignición MSD DIS-4 PLUS	99
3.9 Bobinas y bujías	100
Conclusiones y recomendaciones.....	102
Bibliografía.....	105
Anexo	110

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

FIGURAS

	Pagina
Fig 1.1 Evolución desde 1971 a 2004 del uso de energía primaria en el Mundo por combustible (Mtoe).....	7
Fig 1.2 Emisión de CO ₂ al ambiente (Mt/año).....	8
Fig 1.3 Evolución de la Generación de electricidad en el Mundo por combustible (TWh).....	8
Fig 1.4 Evolución de la producción total de energía en México desde 1971 al 2004	9
Fig 1.5 Contribución por tipo de Energía Primaria en México	9
Fig 1.6 Ciclo del Carbono	11
Fig 1.7 Fuentes principales de biomasa.....	12
Fig 1.8 Pirolisis: Productos y usos	15
Fig 1.9 Gasificación Productos y usos	15
Fig 1.10 Participación histórica y futura de diversas fuentes en la Producción de energía	22
Fig 1.11 Evolución de la oferta interna bruta de energía primaria en México 1965-2001	22
Fig 1.12 Principales destinos del recurso forestal en México	23
Fig 2.1 Gasificador Downdraft etapas de la gasificación.....	29
Fig 2.2 Porcentaje de combustible gasificado y la temperatura de reacción y el tiempo de contacto.....	29
Fig 2.3 Estructura del árbol de poros del carbón.....	32
Fig 2.4 Ruptura primaria de cadenas.....	33
Fig 2.5 Proceso de pirolisis	33
Fig 2.6 Esquemas principales de gasificadores	36
Fig 2.7 Gasificador UPDRAFT ó gasificador de corriente ascendente	37
Fig 2.8 Gasificador DOWNDRAFT gasificador de corriente descendente o de tiro invertido.....	38
Fig.2.9 Sistema CHP basado en un gasificador Downdraft	39
Fig 2.10. Gasificador de lecho fluidizado.....	40
Fig 2.11 Gasificador de tiro transversal.....	43
Fig 2.12 Diagrama de Flujo de proceso del la planta de gasificación del Instituto de Ingeniería de la UNAM.....	53
Fig 2.13 Molino de cuchillas Veyco ®.....	54
Fig 2.14 Tolva de alimentación	54
Fig 2.15 Carcasa de tornillo Sinfin	54
Fig 2.16 Compresor de aire	54
Fig 2.17 Gasificador de biomasa de flujo descendente	55
Fig 2.18 Separador Ciclónico “Limpiador de gases”	55
Fig 2.19 Intercambiador de calor.....	56
Fig 2.20 Quemador de gases.....	56

Fig 2.21 Filtro de bolsa.....	56
Fig 2.22 Dimensiones del filtro de bolsa.....	57
Fig 2.23 Cromatógrafo de gases Buck Scientific 910	57
Fig 2.24 Motores Diesel Mercedes Benz OM 447 LA.....	58
Fig 2.25 Generador Eléctrico STANFORD ®	58
Fig 2.26 Planta piloto de Generación de electricidad con capacidad de 250kWe	58
Fig 2.27 Planta piloto de gasificación de biomasa 250 kWe. Instituto de Ingeniería UNAM vista frontal derecha.....	59
Fig 2.28 Vista frontal izquierda.....	60
Fig 2.29 Diagrama de distribución de planta.....	61
Fig 2.30 Distribución de planta	62
Fig. 3.1 Gráfica de ley de las temperaturas intermedias.....	65
Fig. 3.2 Intervalos de trabajo de vario termopares	67
Fig. 3.3 Orificios en el gasificador para las sondas de temperatura ®	68
Fig. 3.4 Registro y almacenamiento de resultados	68
Fig. 3.5 Esquema electrónico del medidor de humedad.....	70
Fig. 3.6 Sensor de Humedad en Biomasa.....	71
Fig. 3.7 Sensor de Presión ALMEMO	72
Fig. 3.8 Instalación del sensor de presión.....	72
Fig. 3.9 Registrador de datos ALMEMO 2290-8.....	73
Fig. 3.10 Sistema de adquisición y almacenamiento de datos de temperatura, presión y humedad.....	73
Fig 3.11 Bomba Calorimétrica Parr 1341.....	74
Fig 3.12 Componentes del sistema L-jetronic.....	75
Fig 3.13 Componentes del sistema Motronic	75
Fig 3.14 Sensor mariposa	78
Fig 3.15 Instalación de al válvula mariposa	79
Fig 3.16 Sensor MAP 2 bar FAST 307050	79
Fig 3.17 Ejemplo de conexión del sensor MAP a la ECU ó ECM.....	80
Fig 3.18 Prueba sensor MAP.....	81
Fig 3.19 Sensor de Revoluciones por minuto.....	83
Fig 3.20 Sensor de Temperatura de aire y agua	84
Fig 3.21 Sensor de temperatura de aire (a) y de agua (b).....	85
Fig 3.22 Características mecánicas del sensor de temperatura.....	86
Fig 3.23 Circuito eléctrico sensores de temperatura.....	86
Fig 3.24 Electroválvulas.....	87
Fig 3.25 Lazo Cerrado de Control Sensor Lambda.....	88
Fig 3.26 Esquema de funcionamiento y curva característica de la sonda Lambda	88
Fig 3.27 Sonda lambda planar de banda ancha	89
Fig 3.28 Estructura interna de un sensor lambda de banda ancha	90
Fig 3.29 Estructura Interna del Microprocesador.....	91
Fig 3.30 Funcionamiento básico computadora L-Jetronic	92
Fig. 3.31 Prototipo de la Unidad Electrónica de control (ECU)	93
Fig 3.32 Circuito del sistema de ignición	97
Fig 3.33 Gráfico de una secuencia de encendido en un sistema de encendido "chispa perdida"...	97

Fig 3.34 En este sistema de encendido la corriente eléctrica hace que en una bujía la chispa salte del electrodo central al electrodo de masa, y al mismo tiempo en la otra bujía la chispa salta del electrodo de masa al electrodo central.	98
Fig 3.35 Modulo de encendido: 1.- circuito prevención de bloqueo; 2.- circuito señal de salida IGF; 3.-circuito detección de encendido; 4.- circuito prevención de sobrecorrientes.	98
Fig 3.36 Modulo de ignición MSD DIS-4.....	100
Fig 3.37 Bujía platino 4 bosch 4418.....	100
Fig 3.38 Diagrama de tubería e instrumentación de la planta de generación de electricidad por medio de la gasificación de biomasa	101
Fig. 3.39 Simbología	102

TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de Pirolisis	16
Tabla 1.2 Aprovechamiento mundial de la biomasa	21
Tabla 1.3 Existencia y productividad de combustibles de madera provenientes de bosques naturales para el año 2000	23
Tabla 2.1 Composición Típica del gas de Síntesis (%)	26
Tabla 2.2 Tecnologías de gasificadores a pequeña escala	35
Tabla 2.3 Tecnologías de gasificadores a mediana escala	35
Tabla 2.4 Tabla de selección de gasificadores	44
Tabla 2.5 Propiedades del aire.....	51
Tabla 2.6 Composición química del gas de síntesis	51
Tabla 2.7 Propiedades del gas de síntesis.....	51
Tabla 3.1 Constantes a y b de metales utilizados en termopares.....	66
Tabla 3.2 Características Termopar Almeno	67
Tabla 3.3 Características del sensor de humedad Almeno	71
Tabla 3.4 Rangos de Operación TPS.....	77
Tabla 3.5 Rangos de Operación MAP	80
Tabla 3.6 Datos técnicos del sensor de RPM's	83
Tabla 3.7 Características sensor de temperatura de aire	86
Tabla 3.8 Datos técnicos del sensor de RPM's	86
Tabla 3.9 Electrovalvulas de gas y aire	87

INTRODUCCIÓN

Después de las crisis de combustible en 1973 y 1979, los daños por el alza en el precio de combustibles sobre las economías del mundo y la necesidad de importaciones de los países en desarrollo han sido evidentes, mencionado lo anterior y aunado al hecho de que en muchos países en vías de desarrollo (especialmente en áreas rurales) los motores de combustión interna están siendo utilizados extensamente en usos comunes, tales como generación de la energía eléctrica y operación de las bombas y de los molinos de agua, hacen cada vez mas necesaria la utilización de energías que tengan disponibilidad inagotable de recursos para su generación, lo cual coloca a los residuos biomásicos como una de las mas prometedoras y viables fuentes de energía renovable.

Se estima según datos publicados por Petróleos Mexicanos (Tabla1) que para el año 2020 se agotarán las reservas de petróleo en el país, por lo tanto, la transición energética es en la actualidad una necesidad para satisfacer completamente la demanda de combustibles en México en el futuro y no depender, como en el caso de gasolina, de la importación. Para resolver el problema de escasez de combustibles, México puede echar mano de sus recursos naturales actualmente desaprovechados ya que *solo el 10% de los recursos de biomasa son utilizados en México para la producción de combustibles.*

**Reservas totales de
hidrocarburos en México**

TABLA 1

PERIODO	Total mmbpce a/	Petróleo Crudo mmb	Condensados mmb b/	Gas Seco mmbpce	Relación Reservas/Producción años
1995	63,220	43,127	6,648	13,445	48
1996	62,058	42,146	6,650	13,262	48
1997	60,900	42,072	6,400	12,428	43
1998	56,505	39,841	5,966	10,698	39
1999	57,741	41,064	5,875	10,803	39
2000	58,204	41,495	6,036	10,673	41
2001	56,154	39,918	5,574	10,662	38
2002	52,951	38,286	4,927	9,738	35
2003 ^c	50,032	36,266	4,384	9,382	33
2004	48,041	34,389	4,229	9,423	30
2005	46,914	33,312	4,248	9,354	29
2006	46,418	33,093	4,342	8,982	29

mmbpce: millones de barriles de petróleo crudo equivalente.

mmb: millones de barriles.

a/ Información de principios de cada año. A partir del primero de enero de 1998, las reservas totales se expresan de acuerdo con definiciones, métodos y procedimientos aceptados por la industria petrolera internacional e incluyen las reservas probadas, probables y posibles. Por lo tanto, a partir de ese año las cifras no son comparables con las de años anteriores

b/ Incluye a los líquidos de las plantas en proceso.

c/ A partir de este año se utiliza para la evaluación de las reservas la metodología de la Securities and Exchange Commission (SEC).

FUENTE: Las reservas de Hidrocarburos de México, Pemex Exploración y Producción y Anuario Estadístico Pemex, varios años.

Con la cercana disminución en la producción de combustibles fósiles y el aumento de contaminantes como SO₂, NO_x, la población mundial confrontará en un futuro cercano una crisis de energía, y tendrá que buscar recursos de energía renovable en la naturaleza, pensando siempre en que se trate de fuentes de energía sustentables y amigables con el medio ambiente.

La biomasa es frecuentemente considerada como una prometedora e importante fuente de energía, disponible en gran cantidad como desechos, destacando por su mayor contribución los que provienen de las industrias, las plantaciones agrícolas y los desechos forestales, anualmente llega a generarse una cantidad considerable de este recurso, y que representa una perspectiva y alternativa de energía como sustituto de la energía fósil.

Usando los recursos de biomasa se puede aliviar la problemática de la escasez de energía y disminuir los daños producidos por el efecto invernadero con la disminución de emisiones netas de CO₂ y algunos otros contaminantes como SO₂ y NO_x por su bajo contenido en la biomasa.

Es importante que en México se desarrollen tecnologías para la utilización de la biomasa que puedan ser económicamente aceptadas y extensivamente comercializadas.

La gasificación de biomasa es un proceso termoquímico que transforma la biomasa en un combustible gaseoso que puede aprovecharse entre otras formas para hacer funcionar máquinas comúnmente utilizadas para la generación de electricidad.

En la actualidad la gasificación de biomasa en lecho fluidizado puede tratar una gran cantidad de biomasa con alta eficiencia y bajo costo, además de que es la tecnología de mayor uso e importancia. Es importante tener presente que los generadores de gas a pequeña escala se han utilizado en el pasado y han representado una reducción de la necesidad de importaciones de combustibles en algunos países.

La tecnología de gasificación ofrece los siguientes beneficios:

- generación de potencia con bajas emisiones contaminantes y alta eficiencia;
- disposición ambientalmente benigna de residuos sólidos y líquidos con la posibilidad de recuperar energía; y
- utilización de biomasa para la generación de potencia, con la posibilidad de contribuir a la mitigación del efecto invernadero si se integra a un esquema de explotación sustentable de biomasa.

Existen modelos matemáticos que con la ayuda de simuladores han ayudado a predecir el comportamiento de las variables termodinámicas durante el proceso de gasificación en un diseño predeterminado de reactor, así como también la composición del gas producido, sin embargo existe la necesidad de crear un análisis experimental del sistema de gasificación para comprobar la precisión que brindan dichos modelos matemáticos.

PRÓLOGO

En el primer capítulo de este trabajo se presenta una breve investigación de los antecedentes de la bioenergía describiendo a los biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos, detallando las principales fuentes y aplicaciones, posteriormente se presentarán algunas reseñas del mayor y más importante estudio realizado en México por la Red Mexicana de Bioenergía en el libro “La Bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable” de el autor Masera Cerutti O. Et al, sobre las principales fuentes de biomasa en México, el uso en la actualidad de este recurso y las perspectivas en el futuro, lo que brindará una visión amplia de las oportunidades de aprovechamiento de la biomasa como materia prima para la producción de combustibles.

Se abordarán también, algunas de las principales tecnologías en lo que respecta a gasificadores de biomasa resaltando las ventajas y desventajas del diseño y principios de operación de cada uno de ellos. Enseguida se hablará sobre el proceso de gasificación de residuos biomásicos desarrollado en el proyecto “*Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de la ciudad universitaria por medio de gasificación de residuos biomásicos orgánicos*” por el Instituto de Ingeniería de la UNAM con capacidad instalada de 250 kWe, para lo cual se realizaron diagramas de flujo de proceso y esquemas en 3D para comprender mejor la distribución y ubicación de los equipos que conforman el sistema de gasificación.

Posteriormente en el tercer capítulo se hablará del funcionamiento, calibración, características técnicas y rangos de operación de los diferentes dispositivos de medición con los que se cuenta y que posteriormente serán instalados según se muestra en el diagrama de tubería e instrumentación en los diversos equipos de proceso, dicho diagrama se presenta en este último capítulo.

RESUMEN.

En el presente trabajo se trata de abordar algunos aspectos de la utilización de la Bioenergía como una fuente alternativa, para satisfacer parte de la demanda energética a nivel local y mundial, en particular se habla de los recursos biomásicos detallando la forma y los lugares de los cuales son obtenidos, además, se describen las principales tecnologías de aprovechamiento a pequeña, mediana y gran escala, destacando algunas ventajas y desventajas de su utilización. Dentro de los métodos de conversión de los recursos biomásicos en combustibles, se hace principal enfoque del proceso de gasificación para la producción de electricidad, detallando las principales etapas que se llevan a cabo y el comportamiento de las variables dominantes que son involucradas. Debido a la diversidad de sistemas de gasificación, se describe de manera puntualizada el proceso de gasificación diseñado a nivel laboratorio en el Instituto de Ingeniería UNAM con capacidad de 250 kWe, así como también se especifica cada uno de los equipos que componen el laboratorio realizando la descripción de sus principales características de acuerdo con las bases y criterios de diseño previamente realizadas en trabajos anteriores.

La complejidad que representa el seguimiento de las reacciones que son llevadas a cabo en el gasificador, se requirió de la adquisición de instrumentos de medición para monitoreo de temperatura, presión, humedad y flujo en el gasificador, y de algunos otros instrumentos de medición para los equipos que conforman el sistema. Debido a la variedad de dispositivos de medición, se describe el funcionamiento, principio de medición y características técnicas de los instrumentos que serán instalados, con lo que se pretende tener la información necesaria para asegurar el buen funcionamiento, monitoreo y un futuro control del proceso en general.

Planteamiento del Problema:

El sistema que conforma el laboratorio de gasificación de biomasa tiene la necesidad de tener un monitoreo constante de medición de variables termodinámicas durante la puesta en marcha y operación del sistema de gasificación, por lo que se requiere realizar un análisis de la instrumentación de todo el sistema, además de contar con la información necesaria de los instrumentos de medición que serán instalados en cada uno de los equipos, para determinar su correcto funcionamiento y los rangos de operación sobre los que trabajan.

Material y Métodos:

El laboratorio de gasificación de biomasa del Instituto de Ingeniería ubicado en el Jardín Botánico de Ciudad Universitaria de la UNAM se encuentra en fase de construcción, sin embargo cuenta ya con la totalidad de los equipos que van a formar parte del sistema final, tales como molino, tolva, gasificador, intercambiador de calor, filtro, separador ciclónico, motores de combustión interna y generador, así como también se cuenta con la información de bases de diseño y criterios de diseño de equipo realizadas en trabajos anteriores.

Para el desarrollo de este trabajo se cuenta con la información técnica de los instrumentos de medición que fueron seleccionados y que serán instalados, los cuales son mencionados a continuación:

Bomba calorimétrica Parr, con la que se realizan pruebas de calorimetría de mezclas de residuos biomásicos que serán alimentados al gasificador.

Cromatógrafo de Gases BUCK 910, mediante el cual se obtendrá la composición del gas combustible producto de la gasificación y permite la comparación con patrones deseables.

Registrador de datos ALMEMO 2290, en este dispositivo se puede tener un monitoreo multivariable por medio de la instalación de sondas principalmente de temperatura, presión y humedad relativa, con la posibilidad de tener una comunicación y respaldo de la información por medio de la conexión con una PC.

Sensores de motor para monitoreo de variables de temperatura de aire y agua, rpm's (velocidad anular), posición de cigüeñal, presión absoluta, relación aire/combustible y posición de acelerador. Además se cuenta también con los componentes de encendido del motor como los son el módulo de ignición, las bobinas y las bujías.

Objetivos.

El objetivo del presente trabajo, es el de llevar a cabo un análisis de la instrumentación de una planta de gasificación de biomasa, que permita medir las condiciones de arranque y operación de la planta, mediante la instalación de sistemas de medición, para el monitoreo de variables termodinámicas, tales como temperatura, presión, humedad relativa, así como los dispositivos de monitoreo del motor de combustión interna previamente adaptado, al que se encuentra acoplado el generador. A demás este trabajo pretende servir como una guía que reúna información técnica y detallé el funcionamiento de los diferentes instrumentos de medición que serán instalados en los diferentes equipos de proceso.

Hipótesis:

Es factible conocer los principales parámetros de operación de un sistema de gasificación que opera con biomasa mediante la medición de sus variables de proceso a través de sus principales subsistemas.

Los datos obtenidos por los sensores y su análisis permitirán llevar a cabo la comparación con otros sistemas en actual funcionamiento, así como también se podrán validar algunos modelos matemáticos propuestos para este sistema en particular.

El logar establecer los parámetros o rangos óptimos de operación del gasificador permitirá definir los puntos de ajuste de los diferentes controladores que posteriormente serán instalados y con ello tener un proceso continuo asegurando así la generación de electricidad.

CAPITULO I LA BIOENERGÍA.

1. Bioenergía

El desarrollo de la sociedad humana esta basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La energía que circula por los ecosistemas y permite vivir a los seres vivos procede en última instancia del sol. Sin embargo, a pesar del desarrollo científico y tecnológico, todavía no hemos aprendido a aprovechar eficazmente esta fuente inagotable y, por ello, la mayor parte de la energía que utilizamos procede de fuentes de energía no renovables.

Estas fuentes de energía no renovables son aquellas cuya velocidad de consumo es mayor que la de su generación, lo que, consecuentemente, puede provocar su agotamiento. Éste el caso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y de los minerales. Durante muchos años hemos utilizado recursos no renovables como fuentes de energía. Hoy día se estima que, de seguir un ritmo de consumo similar al actual, las reservas de combustibles fósiles se agotarán en un plazo de entre 50 y 100 años.

Por el contrario los recursos naturales renovables son aquellos que, tras ser utilizados, pueden regenerarse natural o artificialmente, como el agua o los alimentos. Son recursos que, al estar sometidos a ciclos, se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. En la siguiente grafica (figura 1.1) podemos observar el creciente uso de combustibles renovables en el mundo comparado con combustibles no renovables como el petróleo y el gas.

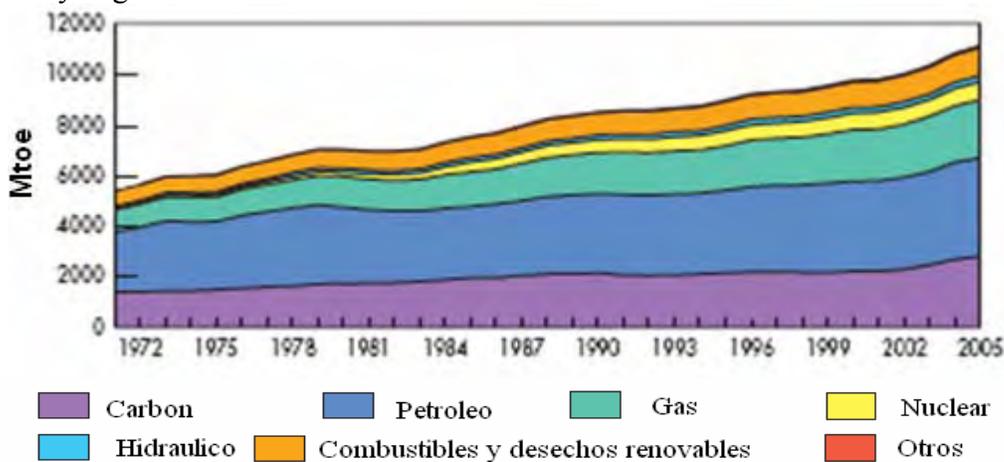


Fig 1.1 Evolución desde 1971 a 2005 del uso de Energía Primaria en el Mundo por Combustible (Mtoe).

* Estadísticas de la Agencia Internacional de Energía. IEA

Las energías renovables son fuentes con gran disponibilidad y diversidad. Al hablar de energías renovables, encontramos a: (i) la energía solar, manifestada a través de células solares fotovoltaicas o de colectores solares de concentración de energía; (ii) la energía eólica, que utiliza el viento como recurso principal para producir energía; (iii) la biomasa, basada en el uso de materia orgánica formada por vía biológica o de productos derivados de ésta; (iv) la energía geotérmica, que tiene su origen en el poder calorífico de las reacciones químicas naturales que ocurren en el interior de la tierra y (v) las centrales hidráulicas, que aprovechando la fuerza cinética del agua, han evolucionado notablemente en los últimos años.

Las energías renovables tienen un potencial enorme para proporcionar servicios de energía de manera más sostenible, con cero o casi nulas emisiones de contaminantes o de gases que causan el efecto invernadero.

En la era contemporánea, la necesidad de disponer de fuentes de energía aprovechables se ha convertido en algo imprescindible para el ser humano. Basta pensar en el consumo energético que una persona común realiza al día para darse cuenta de la dependencia existente. Además de la gran demanda energía, los problemas a los ecosistemas causados por los gases contaminantes están siendo cada vez más evidentes.

Muchos de los problemas medioambientales tienen solución a través de tratamientos finales de proceso o se pueden combatir con modificaciones de la tecnología actual. De los seis gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono representa por si solo las tres cuartas partes del total, y más del 90% de este es de origen energético.

Aquí se muestran las regiones y países en las que divide la Agencia Internacional de Energía a sus integrantes y las contribuciones en emisiones al ambiente de CO₂ en Mt anualmente.

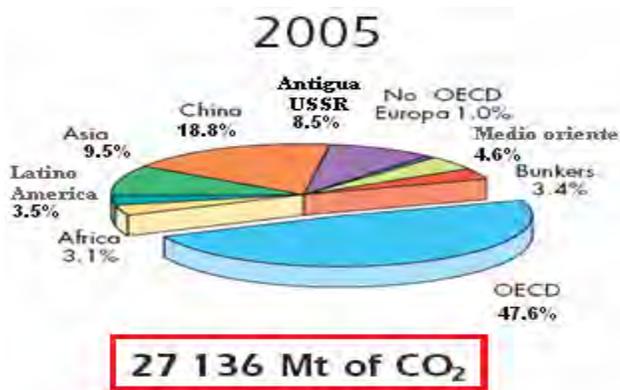
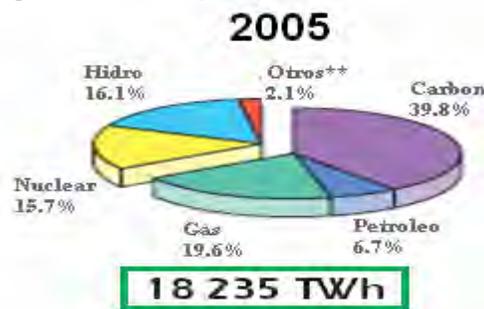
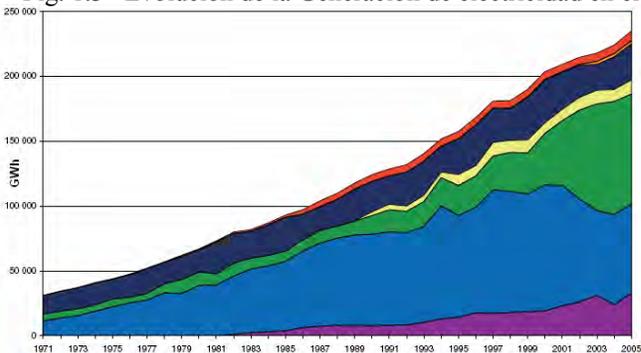


Fig.1.2 Emisión de CO₂ al ambiente (Mt/año). * IEA. * Asia excluye a China

Con el fin de reducir o mitigar esta gran cantidad de emisiones de CO₂, países del mundo, hace ya varios años atrás han trabajado intensamente en el desarrollo de nuevos combustibles renovables y el uso de energías no contaminantes, el más claro ejemplo es el uso que en la actualidad se ha venido dando a los recursos renovables (biomasa, desechos municipales) para la generación de electricidad y combustibles líquidos como el biodiesel y bioetanol.

Fig. 1.3 Evolución de la Generación de electricidad en el Mundo por combustible (TWh)



**Otros incluye geotermal, solar, eolica y combustibles de desechos renovables.

En México el uso de combustibles renovables es común solo en zonas rurales, ya que la leña es la principal fuente de energía, sin embargo el uso de estos combustibles en otros sectores como la industria y el transporte ha sido escaso o nulo, debido a el gran consumo histórico de combustibles derivados del petróleo y a la creación de transportes movidos por electricidad. En la siguiente grafica se muestra la producción total de energía en México y se observa claramente lo anteriormente mencionado.

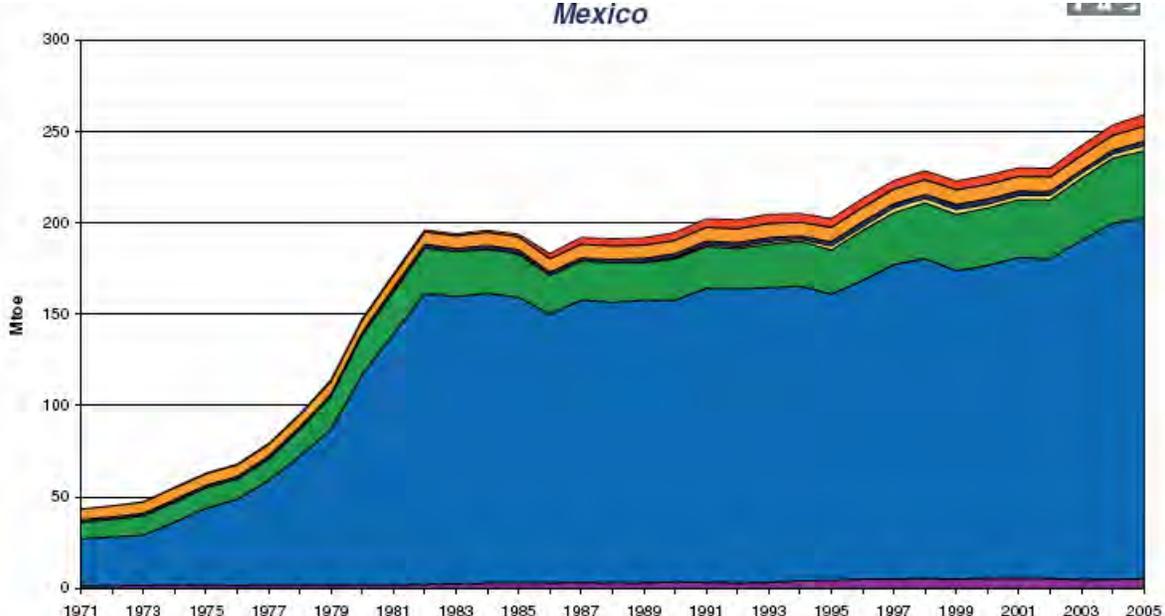


Fig. 1.4 Evolución de la producción total de energía en México desde 1971 al 2005.

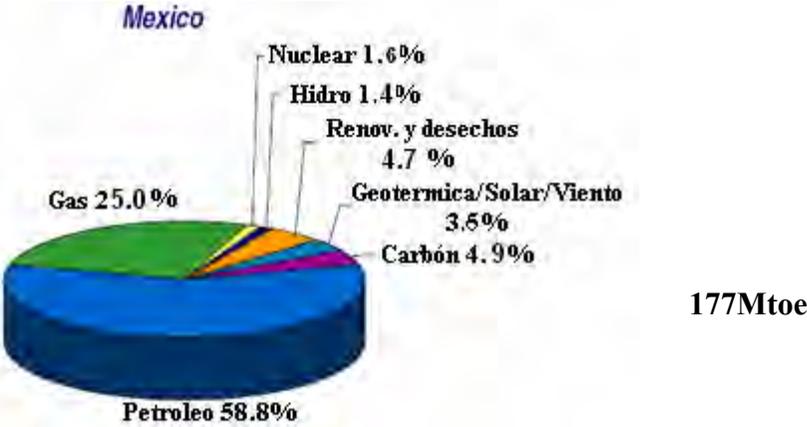


Fig. 1.5 Contribución por tipo de Energía Primaria en México 2005

El creciente pero aun bajo consumo de combustibles renovables hace de interés conocer más acerca de ellos, sin embargo en este trabajo solo nos enfocaremos a la biomasa y a su utilización para la generación de energía eléctrica. En seguida se presenta una breve investigación sobre el uso y las principales fuentes de los recursos biomasicos.

1.2 LA BIOMASA

“El origen”

La biomasa es un recurso renovable de energía proveniente de los residuos de la materia orgánica de tierra y mar que, por cualquier causa, no son utilizables para alimentación humana, ni de los animales que viven en los ecosistemas naturales, es decir toda la materia orgánica de origen vegetal, animal o artificial, que son producidas naturalmente (como en el caso de las dos primeras mencionadas), o que son resultado de una actividad realizada por el hombre en la que son obtenidos como residuos o desechos.

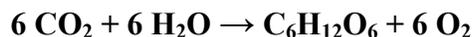
Los materiales biomásicos se producen a partir de la energía contenida en la radiación solar que es captada y transformada en energía del enlace químico mediante la *fotosíntesis* que llevan a cabo las plantas verdes y diversos microorganismos con pigmentos fotosintéticos. La energía contenida en los enlaces químicos de los tejidos que forman los organismos fotosintéticos es, luego, transferida a los animales a través de las cadenas tróficas y se libera al medio ambiente en procesos de oxidación, como los que tienen lugar durante la descomposición de los materiales biológicos residuales o muertos, o bien, de una forma mucho más rápida en el tiempo, en los procesos de combustión.

En cualquier caso, la oxidación de la materia orgánica, al ser un proceso exotérmico, conlleva a una liberación de energía que, en el caso de la combustión, puede ser utilizada por el hombre como fuentes energética.

Como se mencionó anteriormente el proceso de fotosíntesis es esencial para la formación de biomasa, pero además es también fuente de alimentación de animales, que a su vez aportan desechos que son también aprovechados, por lo que es importante hacer una breve mención del fenómeno.

La biomasa puede definirse como energía solar almacenada en las plantas. El fenómeno de la fotosíntesis, base de la vida de las plantas y por ende de nuestro planeta es el proceso más importante de aprovechamiento de energía renovable. Consiste en la captación de fotones en las hojas de las plantas por parte de la clorofila y la transformación en energía química empleada en la síntesis de hidratos de carbono por aprovechamiento del CO₂ con liberación de oxígeno.

El proceso de fotosíntesis puede representarse simplificada por la reacción:



En realidad en la reacción intervienen seis moléculas de dióxido de carbono más seis de agua para resultar en una molécula de azúcar (C₆H₁₂O₆) y seis moléculas de oxígeno. Al quemar este material orgánico se liberan cerca de 16 MJ por cada kg. La fotosíntesis no es un proceso particularmente eficiente, pues normalmente el aprovechamiento de la energía solar es del 1% con un máximo del 8% al 15%.

La fotosíntesis se realiza en dos fases

- Fase luminosa:
- Fase oscura o ciclo de Calvin:

En ambas fases la absorción de dióxido de carbono y la entrega de oxígeno hace de las plantas el principal actor del ciclo de la vida. Además tiene el gran beneficio de que cuando las plantas liberan su energía almacenada a través de un proceso natural o artificial, devuelve al ambiente la misma cantidad de CO_2 que consumió durante su crecimiento, por lo que se dice que este ciclo es CO_2 neutro, es decir que la biomasa no afecta la contaminación en el ambiente. Mientras el consumo de la masa orgánica aprovechada para usos energéticos sea igual o mayor que la producción, se puede considerar a la biomasa como un recurso renovable, por eso la importancia de mantener el equilibrio en bosques y cultivos.

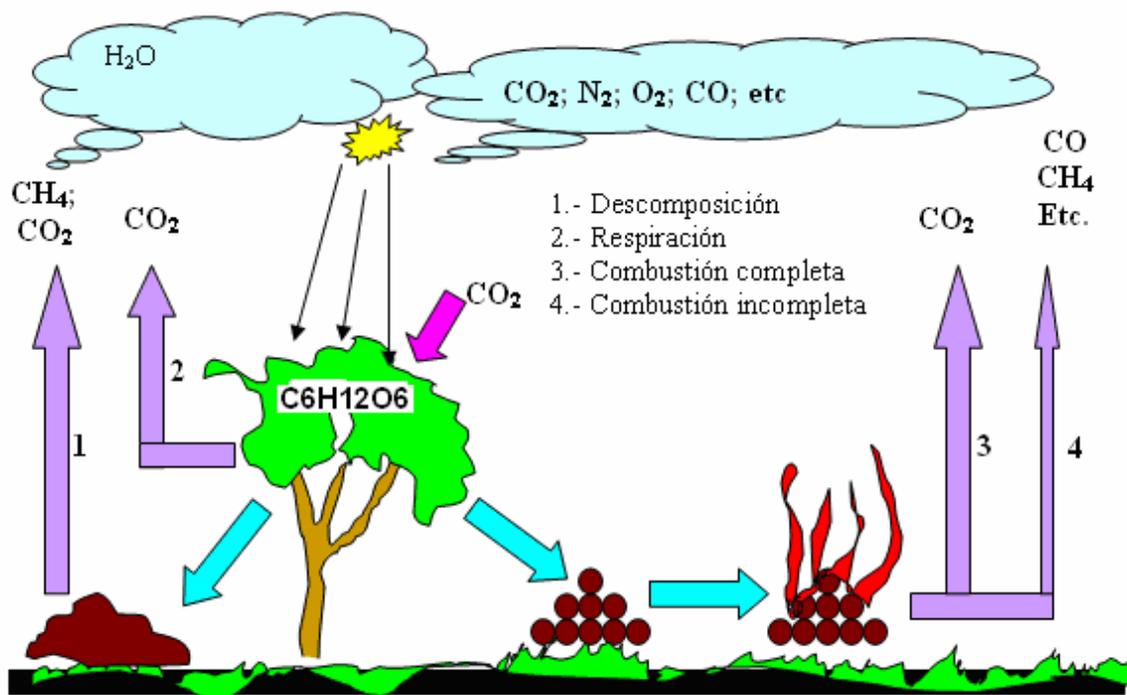


Fig. 1.6 Ciclo del Carbono

1.2.1 Clasificación de la biomasa.

Según la fuente por la cual es producida y aprovechada la biomasa para su transformación en energía podemos clasificarla en:

- **Biomasa natural**, es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana
- **Biomasa residual seca**: está constituida por aquellos 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.

Dentro de la clasificación de la biomasa residual encontramos que las fuentes que más han sido aprovechadas son:

- **Residuos forestales** procedentes de diversos tratamientos silvícolas, podas o limpieza de matorrales.
 - **Residuos agrícolas** de diferentes podas de cultivos leñosos como olivos, vides y frutales. También residuos de cultivos de cereales como el centeno, maíz, trigo, sorgo o arroz e incluso se utilizan los residuos de otros cultivos herbáceos como el tabaco, remolacha, algodón y girasol.
 - **Residuos de industrias forestales**, procedentes en su mayoría de industrias de tratamiento de madera, chapa de madera, corcho o papel.
- **Biomasa residual húmeda**: se incluyen los vertidos denominados biodegradables:
 - **Residuos biodegradables** de industrias agroganaderas y agroalimentarias y también los procedentes de actividad urbana, entre los que destaca el biogás procedente de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas y de los Residuos Sólidos Urbanos.
 - **Cultivos energéticos**: son todos aquellos cultivos realizados con el objetivo de producir biomasa para su uso en la generación de energía.

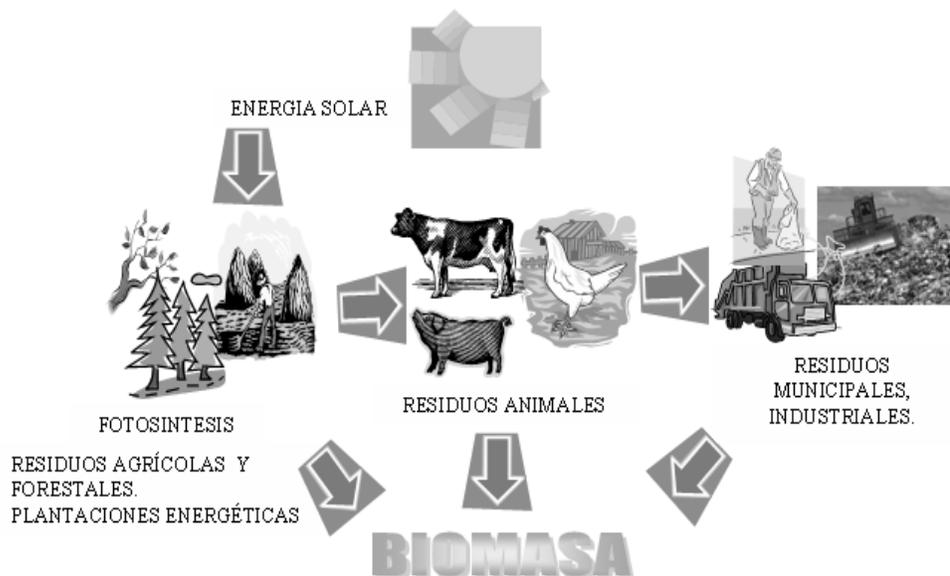
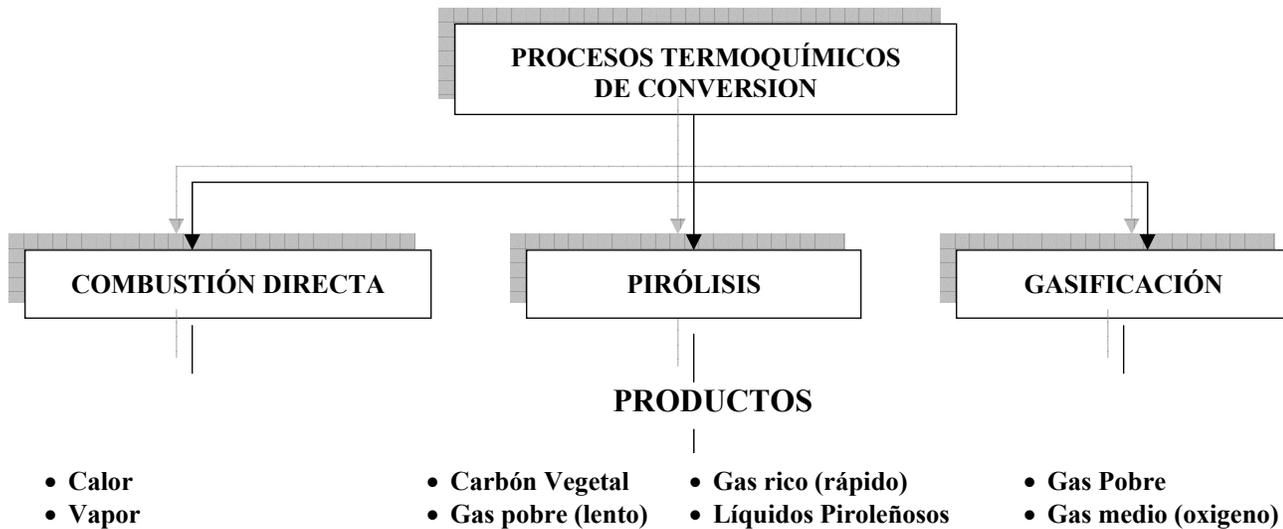


Fig. 1.7 Fuentes principales de biomasa.

Mas adelante mostraremos los resultados de un estudio realizado por la Red Mexicana de Bioenergia acerca de el uso y la disponibilidad de los recursos biomásicos en la Republica Mexicana, lo que nos brindará un panorama amplio de las oportunidades de aprovechamiento de estas fuentes y la inevitable creación de nuevas industrias dedicadas a el aprovechamiento de biomasa y sus desechos con fines energéticos.

1.3 METÓDOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa puede ser sometida a los proceso de transformación que se detallan esquemáticamente en el cuadro.



1.3.1 Métodos termoquímicos.

Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y, en particular, a los de la paja y de la madera.

Según el control de las condiciones del proceso se consiguen productos finales diferentes, lo que da lugar a los tres procesos principales de la conversión termoquímica de la biomasa:

- Combustión
- Gasificación
- Pirólisis

Pudiéndose obtener combustibles sólidos (leña, astillas, carbón vegetal), líquidos (biocarburantes, aceites, aldehídos, alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos) y gaseosos (biogás, hidrógeno).

1.3.2 La combustión

La combustión directa u oxidación completa para dar dióxido de carbono, agua, cenizas y calor (único componente energético útil del proceso), es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. Los factores más importantes a considerar en este proceso son:

- Exceso de oxígeno: 20 - 40%
- Temperatura de combustión: 600 - 1.300 °C

Características del combustible:

- Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
- Químicas: bajo contenido en azufre
- Térmicas: dependen de las físicas y las químicas

La combustión se realiza normalmente en sistemas que constan de las siguientes unidades:

- Horno.
- Equipo de recuperación de calor (caldera).
- Sistema de utilización de la energía (conducción de vapor, turbogenerador).

La energía obtenida puede destinarse a la producción de calor (en forma de agua o de aire caliente) para el uso doméstico o industrial y a la producción de electricidad. La eficacia térmica de la combustión es elevada, siendo el rendimiento global del proceso del 30%. Este método se utiliza en la actualidad en las industrias azucarera, papelera y de derivados de la madera, siendo cada vez más importante su aplicación a las basuras urbanas.

Es necesario destacar finalmente la combustión en el ámbito doméstico, utilizada desde hace ya muchos años y actualmente de nuevo en gran auge. Los modernos diseños de estufas de leña proporcionan un mejor aprovechamiento del calor y una emisión de humos mucho menor que los sistemas convencionales.

1.3.3 Pirólisis

La pirolisis es, la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 grados centígrados, a estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis. Las proporciones relativas de los elementos producidos dependen de la composición de los residuos, de la temperatura y del tiempo que ésta se aplique. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Aparte de este, la pirólisis lleva a la liberación de un gas pobre, mezcla de monóxido y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de débil poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, o para producir electricidad, o para mover vehículos. Una variante de la pirólisis, llamada pirólisis flash o rápida, llevada a 1000 grados centígrados en menos de un segundo, tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa maximizando el producto líquido. Si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, predominarán las cenizas sólidas. De todas formas, la gasificación total puede obtenerse mediante una oxidación parcial de los productos no gaseosos de la pirolisis.

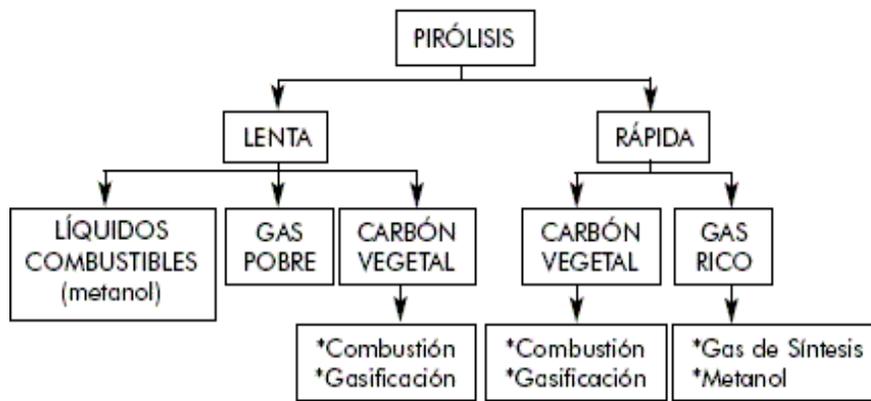


Fig. 1.8 Pirolisis: Productos y usos

1.3.4 Gasificación.

La gasificación consiste en la combustión de leña principalmente en presencia de una corriente de aire controlada que permite la formación de lo que se conoce como “gas pobre”, el aire que se inyecta al equipo es menor al necesario para la combustión completa. El gas pobre se produce en un equipo llamado gasificador y la composición del mismo dependiendo del equipo esta formado por: CO entre 20-25%; H₂ entre 15-20%; CH₄ entre 1-2%; CO₂ entre 10-12% y N₂ entre 48-50%. El poder calorífico del gas obtenido está entre 1150 y 1350 kcal/Nm³.

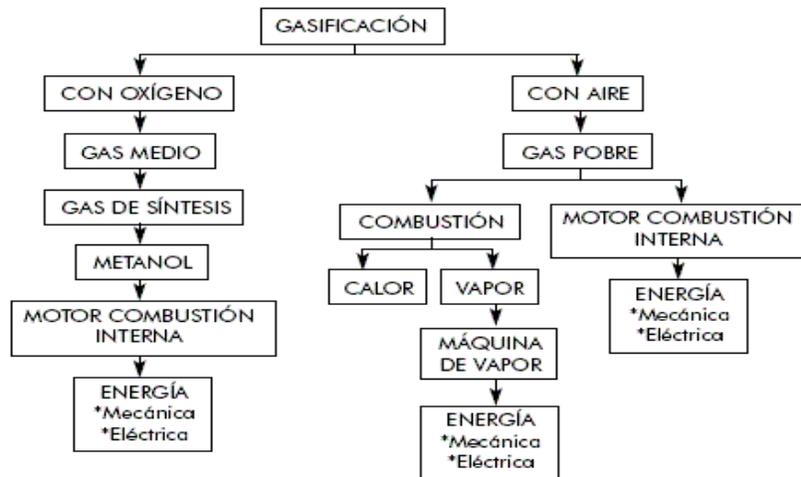


Fig. 1.9 Gasificación Productos y usos.

Las instalaciones en la que se realizan la pirólisis y la gasificación de la biomasa reciben el nombre de gasógenos. El gas pobre producido puede utilizarse directamente como se indica antes, o bien servir la base para la síntesis de un alcohol muy importante, el metanol, que podría sustituir las gasolinas para la alimentación de los motores de explosión (carburol). Así, los productos obtenidos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos.
- Líquidos hidrocarbonatos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas.
- Residuos sólidos carbonosos, que pueden ser utilizados como combustible o para la producción de carbón activo.

Las materias primas que se estudian actualmente para someterlas a este proceso son los subproductos agrícolas y forestales y los residuos sólidos urbanos; precisamente, las mejores perspectivas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos se encuentran en el campo de la pirólisis, orientándose las directrices de tratamiento respecto a la obtención de productos hacia los líquidos y los sólidos.

Existen diferentes tipos de pirólisis en función de las condiciones físicas en las que se realice. Así, factores como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión, etc, tienen una influencia muy grande en la distribución de productos que se obtienen. Esto puede verse resumido en la siguiente tabla.

PIRÓLISIS	TIEMPO DE RESIDENCIA	VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO	PRÉSION BAR	TEMPERATURA °C MAX	PRODUCTO MAYORITARIO
Carbonización	Horas-días	Muy baja	1	400	Sólido
Convencional	5-30 min	Baja	1	600	Gas liq. Y solidó
Flash-liquido	< 1 seg	Alta	1	< 650	Liquido
Flash-gas	< 1 seg	Alta	1	> 650	Gas
Ultra	< 0.5 seg	Muy alta	1	1000	Gas
Vació	2-30 seg	Media	<0.1	400	Liquido

Tabla 1.1 Tipos de Pirólisis

1.3.5 Métodos biológicos.

La fermentación alcohólica es una técnica empleada desde muy antiguo con los azúcares, que puede utilizarse también con la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas dos sustancias. Pero la destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidro, es una operación muy costosa en energía. El proceso se basa en el almacenamiento por parte de las plantas de la energía solar en forma de hidratos de carbono a partir de los cuales se puede obtener alcohol por fermentación, siguiendo diferentes etapas en función del tipo de biomasa de partida. Estas etapas son las siguientes:

- **Pretratamiento de la biomasa:** transformación de la materia prima para favorecer la fermentación por medio de trituración, molienda o pulverización.
- **Hidrólisis:** transformación, en medio acuoso, de las moléculas complejas en azúcares sencillos por medio de enzimas (hidrólisis enzimática) o mediante el uso de reactivos químicos (hidrólisis química)
- **Fermentación alcohólica:** conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas de:

Temperatura: 27 - 32 °C

Acidez: pH entre 4 y 5

Concentración de azúcares: inferior al 22%

Concentración final de etanol: inferior al 14%

- **Separación y purificación del etanol:** destilación de la masa fermentada para obtener etanol comercial del 96% o destilación adicional con un disolvente (benceno) para obtener etanol absoluto (99,5%).
- **La fermentación metánica es la digestión anaerobia de la biomasa por bacteria.** Es idónea para la transformación de la biomasa húmeda (más del 75% de humedad relativa), especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas. En los fermentadores, o digestiones, la celulosa es esencialmente la sustancia que se degrada en un gas, que contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología.

1.4 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA BIOMASA

Frente a la evaluación técnica y económica de factibilidad de uso de la biomasa como fuente de energía alternativa debe tenerse en cuenta ciertos aspectos que la caracterizan; esto permite elegir la mejor tecnología en cuanto a su uso y acondicionamiento. A continuación se menciona algunos de los aspectos a tener en cuenta.

Tipo de biomasa: condiciona la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo. Los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos urbanos, industriales o animales indican el uso de procesos bioquímicos, etc.

La madera, por ejemplo, puede ser quemada directamente, quemarse con otro combustible en un caldero, o convertirse en gas en un gasificador. Si se descompone en un ambiente anaeróbico puede también generar gas, o puede extraerse la celulosa para utilizarla como químico en la fabricación de productos. El grano de maíz también puede ser aprovechado en la producción de gas o convertido en aceite puede hacerse biodiesel para transporte, o como almidón en la fabricación de productos similares al plástico. Las demás partes de la planta de maíz pueden ser aprovechadas por su fibra de forma similar a la madera. La caña de azúcar es un alimento extraordinario por su capacidad de almacenamiento de energía: como azúcar para la producción de alcohol, como bagazo mediante quema directa para producción de calor o por gasificación puede hacerse gas. El estiércol de animales se aprovecha en un digestor aeróbico para producir gas metano y como fertilizante o composta.

Un biodigestor anaeróbico puede producir gas metano y su residuo también tiene un alto contenido de nitrógeno que se utiliza como fertilizante. Los desechos orgánicos municipales o industriales pueden ser tratados para aprovecharse como fuente de combustible. Aceites y grasas vegetales y animales se procesan para fabricar biodiesel.

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 pueden producir altas cantidades de metano, mientras que la biomasa forestal puede emplearse para producir el denominado “gas pobre”, que es una

mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar para lograr resultados óptimos.

Contenido de humedad (H.R.): El contenido de humedad de la biomasa indica el contenido de agua de la misma. Usualmente se informa como el porcentaje de agua sobre base seca de biomasa (gramos de agua por cada 100 gramos de biomasa seca); pero también puede informarse sobre base húmeda (gramos de agua por cada 100 gramos de biomasa húmeda). La mayoría de los procesos de conversión de la biomasa en energía requieren que el contenido de humedad no sea superior al 30%, por lo que generalmente el combustible tiene que ser previamente acondicionado para su uso.

Porcentaje de cenizas: Representa el peso de material sólido no combustible por kilo de biomasa. Este dato es importante para el diseño de los dispositivos de eliminación de cenizas y para el seguimiento del rendimiento de la combustión. El contenido de cenizas rara vez excede el 5% para maderas.

Poder calorífico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. En términos generales puede asignarse a la biomasa un poder calorífico de 3.500 kcal/kg. Si consideramos que el diesel posee un poder calorífico del orden de las 10.000 kcal/kg, se necesitan tres kilos de madera para reemplazar un kilo de diesel.

El poder calorífico superior (PCS) representa la cantidad de calor durante la combustión a presión atmosférica cuando los productos de la misma son enfriados a 25°C.

El poder calorífico inferior (PCI) representa la cantidad de calor liberada cuando el agua generada por la oxidación del hidrogeno presente en el combustible se encuentra bajo la forma de vapor al final del proceso.

Por otra parte, el poder calorífico de la madera está relacionado directamente con su contenido de humedad. En la medida que la humedad sea mayor, el poder calorífico será menor; esto se debe a que parte del calor generado en la combustión es utilizado para evaporar el agua.

Densidad aparente: Representa el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que se usa. Aquellos combustibles con alta densidad aparente tienen mayor energía por unidad de volumen, lo que se traduce en el diseño y utilización de equipos más pequeños y permite en consecuencia tener mayor tiempo entre cargas en los sistemas de alimentación discontinuos o por lotes. Los materiales con baja densidad aparente exigen mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad desde los silos donde son almacenados, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos de operación.

1.5 Ventajas y desventajas del uso de biomasa como combustible

Ventajas

La utilización de la biomasa con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- Disminución de las emisiones de CO₂
Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO₂, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, se puede considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.
- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo el aprovechamiento de las tierras de retirada.
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola.
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.
- En la actualidad la tecnología aplicada a la biomasa está sufriendo un gran desarrollo.

La investigación se está centrando en los siguientes puntos:

1. En el aumento del rendimiento energético de este recurso
2. En minimizar los efectos negativos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones
3. En aumentar la competitividad en el mercado de los productos
4. En posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles

Inconvenientes

- Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- Producción estacional.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.

1.6 Uso, disponibilidad y perspectivas de la biomasa en México.

En este apartado se mostraran de manera muy resumida, los resultados del estudio realizado por la Red Mexicana de Energía, acerca de la disponibilidad de recursos biomásicos en el país, de acuerdo a su origen, y permitirá darnos una idea de la gran cantidad de biomasa generada en el país y que puede ser aprovechada por cada uno de los métodos de conversión mencionados en el siguiente capítulo, para la producción de combustibles limpios y no contaminantes.

El uso de la bioenergía en nuestro país representa 8% (408 PJ) del consumo de energía primaria. La materia prima mas utilizada es leña y el bagazo de caña. La primera es consumida por 25 millones de personas en el medio rural mexicano. El segundo sirve como combustible en algunos ingenios azucareros.

Existe un gran potencial energético del recurso biomásico. La estimación indica que los recursos bioenergéticos en México son de entre 3,035 y 4,559 PJ/año, lo que representa entre 54% y 81% de la oferta interna bruta de energía primaria, es decir, 10 veces su uso actual . Entre 27% y 54% del potencial proveniente de combustibles de madera, 26% de los agrocombustibles y 0,6 % de los subproductos de origen municipal.

En el escenario de alta penetración de las tecnologías bioenergéticas, es posible sustituir 15.5% de la producción de electricidad generada por combustibles fósiles y, 18% del consumo de gasolinas y disel por biodisel y bioetanol en 2030.

La bioenergía permitirá reducir las emisiones de CO₂ y la contaminación local. Se espera una reducción de emisiones de entre 22 y 79 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera para 2030

Se cuenta con un portafolio internacional extenso de tecnologías maduras y otras promisorias en pleno desarrollo. La producción de electricidad mediante combustión directa de biomasa o gasificación lleva varias décadas establecida alcanza 38,000 MW de potencia instalada a nivel mundial. Actualmente se producen 30 mil millones de litros de bioetanol para su uso en automóviles.

Existe un *conjunto de experiencias exitosas en México.* Se ha desarrollado y adaptado en el país tecnología eficiente para la cocción doméstica y para sus pequeñas industrias rurales. Se cuenta también con desarrollos importantes en el área de gasificación y particularmente en la generación de biogás en rellenos sanitarios, así como equipos demostrativos para la gasificación de residuos biomásicos. Existe ya una planta piloto para la producción de biodiesel.

1.6.1 El contexto internacional

El mundo depende de la biomasa para obtener cerca de 11% de su energía. Se estima que 46 Exajoules (EJ) de la energía primaria global se derivan de la biomasa: 85% por uso "tradicional" (leña y estiércol para combustible doméstico) y 15% en uso industrial combustibles, procesos de calor y energía Combinados (CHP), y electricidad (Donald. 2005).

En los países pobres, la biomasa llega a cubrir 90% de la energía suministrada (Hans *et al.* 2000), generalmente en forma tradicional o no comercial, en la Figura 1.1 se observa el uso mundial de la energía primaria en el mundo durante 2001.

Brasil: La energía producida por biomasa equivale a 25.5% de su demanda de energía primaria. Brasil es el líder en el mundo en producción de etanol (9.9 millones de toneladas), el que obtiene principalmente de la caña de azúcar. En este país existen 10 millones de vehículos flexifuel (vehículos capacitados para funcionar con etanol, gasolina y con una mezcla de ambos productos). La bioenergía se utiliza también en varias industrias y para producción de electricidad.

Australia: Es líder en captura y uso de gas metano de rellenos sanitarios. Unos 29 proyectos en este país superan los 13 MW en tamaño, y tienen una capacidad instalada total de cerca de 100 MW.

Estados Unidos: La biomasa provee cerca de 3.5% del total de la energía consumida anualmente en forma de electricidad, combustibles para transporte y calor para procesos industriales. En 2003 produjo 8.4 millones de toneladas, fundamentalmente a partir del maíz.

China: China es el tercer mayor productor de bioetanol (3.1 billones de litros), para lo cual utiliza como materia prima maíz, mandioca y caña de azúcar. China ha sido líder en el desarrollo y difusión de biodigestores de pequeña escala y estufas eficientes de leña (con 272 millones de estufas).

Unión Europea: Los países con más potencial en el aprovechamiento de biomasa están desarrollando programas para aumentar la producción y el consumo de madera para usos energéticos (misma que aumentó 6.5% entre 2002 y 2003). Por cada mil toneladas de madera consumidas se generan entre 4 y 6 puestos de trabajo (el gas sólo genera 1.2 empleos y el petróleo 1.4). En Francia, el uso energético de la madera proporciona trabajo a 50,000 personas (20,000 empleos directos y 30,000 indirectos) y a 52,000 en Alemania.

Tabla 1.2 Aprovechamiento mundial de la biomasa.

1.6.2 Potencial a largo plazo: La transición hacia las fuentes renovables de energía

Se estima la participación en cuanto a producción de energía por biomasa, vaya en aumento en los próximos años hasta conformar el 25 % del total mundial para el año 2100.

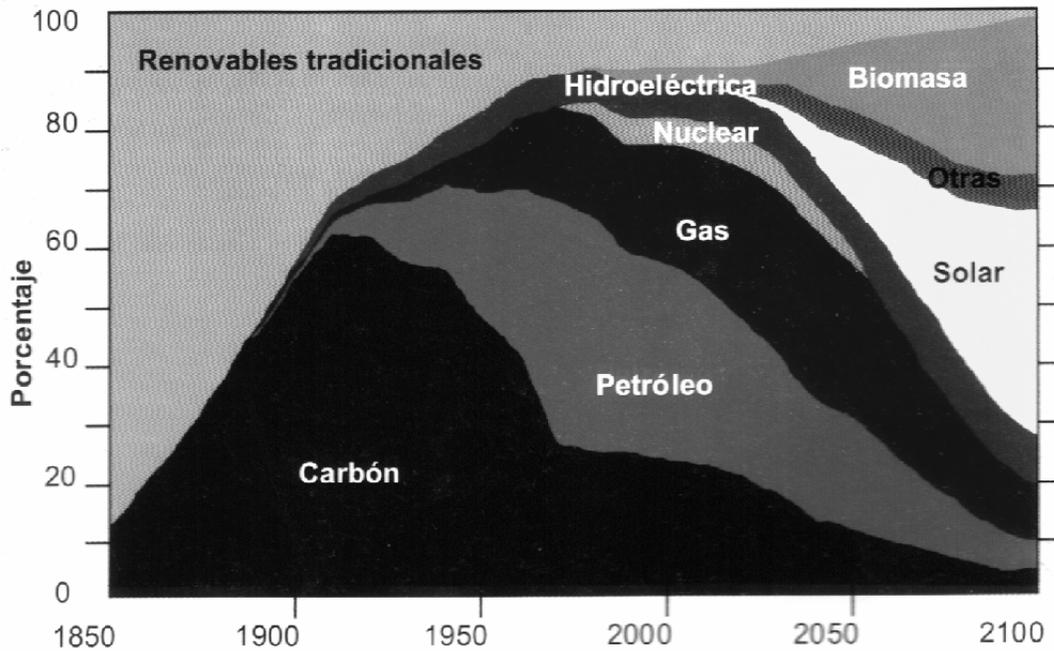


Fig 1.10 Participación histórica y futura de diversas fuentes en la producción de energía. IPCC

1.7 LA BIOENERGÍA EN MÉXICO

En México la bioenergía representa 8% de la demanda de energía primaria y está centrada en el uso de leña como combustible residencial y en las pequeñas industrias, así como en el bagazo de caña en ingenios. En 2001, la oferta interna bruta de energía primaria fue de 5,700 petajoules (PJ), de los cuales 408 PJ corresponden a la energía de la biomasa (leña con 320 PJ y bagazo de caña con 89 PJ) (BNE, 2003). En la Figura 1.1 se puede ver la evolución en cuanto a la oferta interna bruta de la energía primaria en México.

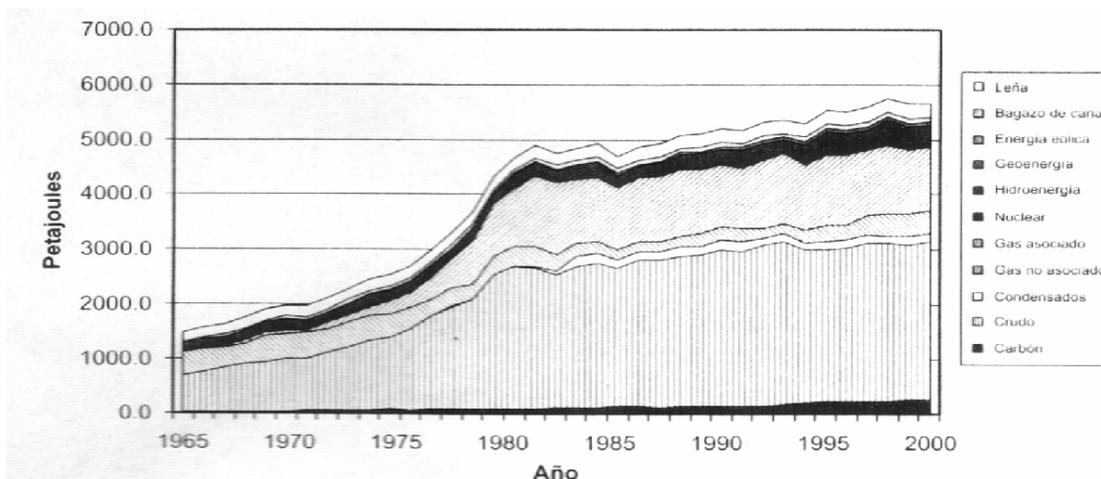
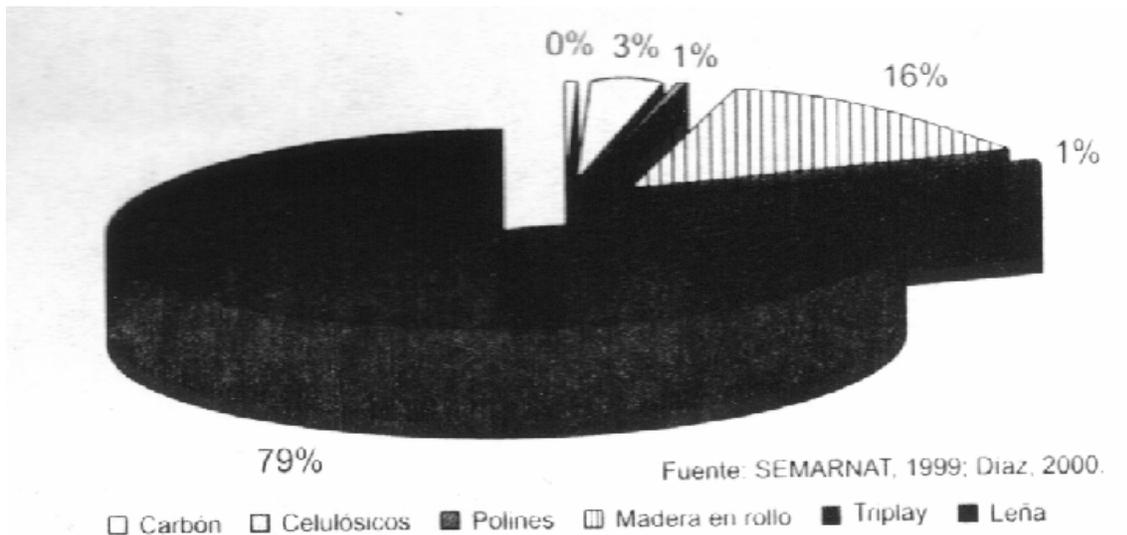


Figura 1.11 Evolución de la oferta interna bruta de energía primaria en México 1965-2001

Actualmente, alrededor de la cuarta parte de la población mexicana, entre 25 y 28 millones de habitantes, cocina con leña (INEGI, 2004). En 2002 el uso de leña como fuente de energía representó casi 40% del uso total de energía de México del sector residencial (320 PJ). El 89% de la población rural cocina con leña.



En la Figura 1.12 se muestran los principales destinos del recurso forestal en México.

Se evaluaron en detalle siete categorías de biocombustibles consideradas de importancia para México. 1) combustibles de madera provenientes de bosques naturales y plantaciones; 2) subproductos de la extracción forestal y la industria maderera; 3) subproductos agrícolas; 4) subproductos pecuarios; 5) subproductos agroindustriales; 6) cultivos energéticos; y 7) subproductos de origen municipal.

Combustibles de madera

Combustibles de madera provenientes de bosques naturales.

Incluyen a la biomasa leñosa (viva o muerta) directamente extraída de árboles y arbustos que crecen en bosques naturales y otras coberturas leñosas (por ejemplo, matorrales). Se excluyen las partes de los árboles y arbustos que se destinan a usos no energéticos.

Formación	Superficie Accesible Millones ha	Equivalente en energía primaria PJ/año
TOTAL	194.3	997-1,716
Bosques	32.9	314-519
Selvas	30.8	378-566
Matorral	55.4	193-455
Vegetación hidrófila	22	112-176

Tabla 1.3 Existencia y productividad de combustibles de madera provenientes de bosques naturales para el año 2000.

Combustibles de madera provenientes de plantaciones energéticas.

La comisión nacional forestal estima el establecimiento de 875 mil ha de plantaciones con fines de producción de madera aserrable y madera para celulosa en México para el 2025.

Para la estimación de potencial de plantaciones energéticas se incluyeron solamente áreas de vocación forestal con vegetación secundaria.

Subproductos de la extracción forestal y la industria maderera.

Se consideraron dos categorías principales: a) subproductos de la extracción forestal, que corresponden a los desechos maderables que se generan durante las prácticas de extracción de la madera comercial y b) subproductos de la industria maderera que se genera principalmente en los aserraderos.

Las existencias de residuos combustibles de madera a partir de la extracción forestal se estimaron mediante el volumen de la producción forestal maderable, el cual se obtuvo del Anuario estadístico de los estados unidos mexicanos publicados por INEGI en 2003.

El volumen total aprovechable de residuos forestales se estimó en 71 PJ/año; de éstos, 41 PJ año corresponden a subproductos de la extracción forestal 31 PJ/año a subproductos de la industria maderera.

Subproductos agrícolas y agroindustriales.

Las existencias de subproductos agrícolas y agroindustriales para uso energético se obtuvieron a partir de datos de producción nacional publicados en el Anuario Estadístico de la producción Agrícola (SAGARPA, 2003).

El potencial térmico de los subproductos agrícolas y agroindustriales es 1,065 PJ/año. Este valor es similar al potencial térmico medido de los combustibles de madera provenientes de los bosques naturales. Sin embargo, el esfuerzo asociado a la recolección y procesamiento podría diferir significativamente.

Subproductos pecuarios

El número de cabezas por especie pecuaria se obtuvo del Centro de Estadística Agropecuaria (CEA), con Información de las Delegaciones, SAGAR (SAGAR, 1999). El análisis arrojó un valor de 148 PJ año.

Cultivos energéticos

Se estimó el potencial del maíz y la caña de azúcar para la producción de etanol, y de soya, aguacate, coco, cacahuete y girasol para la producción de biodiesel. Este valor es de 269 PJ/año. Se partió de la producción total de cada cultivo a partir del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SAGARPA -SIAP. 2003). Se afectó este valor por un coeficiente de generación de combustible.

Subproductos de origen municipal

El potencial energético correspondiente a los subproductos de origen municipal alcanzó un total de 35 PJ, que equivalen a 1.5 MW o a 310 MWe suponiendo un Factor de planta de 80% y una eficiencia de 35%.

CAPITULO II LA GASIFICACIÓN CON BIOMASA: GASIFICADOR DEL INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM.

2.1 Fundamento Teórico.

Gasificación es la conversión de biomasa a un combustible gaseoso por calentamiento en un medio gasificante como el aire, oxígeno o vapor. Al contrario de la combustión donde la oxidación es substancialmente completa, la gasificación convierte la energía química del carbón contenido en la biomasa en un combustible gaseoso en dos etapas (Alexander Klein, Mayo 2002, IEA, Nov 2002).

Las dos etapas que intervienen en la gasificación antes de obtener el producto gaseoso son la *pirólisis* y la *gasificación/combustión*. Durante la pirólisis es un proceso endotérmico en donde se obtiene materia rica en volátiles (75-90% en forma de gases y líquidos) a temperaturas de 400-600°C. Los productos residuales de la pirólisis que no son vaporizados son llamados residuos carbonizados y cenizas. En la segunda etapa toman lugar los procesos de Gasificación y combustión. El carbón que permanece del proceso de pirólisis entra en contacto con vapor y se convierte mayoritariamente en monóxido de carbono e hidrógeno o se combustiona con aire u oxígeno a una temperatura de 700-800°C. La oxidación parcial del carbón provee la energía que es usada como un catalizador en los procesos de pirólisis y gasificación.

La gasificación en pocas palabras consiste en una oxidación parcial de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos para formar lo que se conoce como gas de síntesis.

El gas de síntesis o SYNGAS es un combustible constituido principalmente de Hidrógeno (H₂ entre 25 y 37%), monóxido de carbono (CO entre 40 y 65%), con menores cantidades de Monóxido de Carbono (CO₂), agua (H₂O), metano (CH₄), hidrocarburos pesados y nitrógeno (N₂) a demás de los residuos carbonizados y cenizas. Los factores que afectan el comportamiento de un gasificador son: la temperatura de gasificación, velocidad de calentamiento, tipo de agente gasificante, presión, tiempo de residencia, propiedades de la alimentación y catalizadores o aditivos.

Se pueden obtener tres calidades de gas que pueden ser producidos por la gasificación, por la variación del agente gasificante, el método de operación y las condiciones de operación. El principal agente gasificante es el aire, pero la gasificación con oxígeno o vapor son también utilizadas.^{2,1}

Los tres tipos de gas tienen diferentes valores caloríficos (CV):

Bajo CV	4-6 MJ/Nm ³	Usando aire y aire/vapor.
Medio CV	12-18 MJ/Nm ³	Usando oxígeno y vapor.
Alto CV	40 MJ/Nm ³	Usando Hidrógeno e hidrogenación.

El gas de bajo CV es usado directamente en la combustión o como un combustible de motor, mientras que el gas con medio CV puede ser utilizado como alimentación para una conversión subsecuente en químicos básicos, principalmente en metano o metanol.

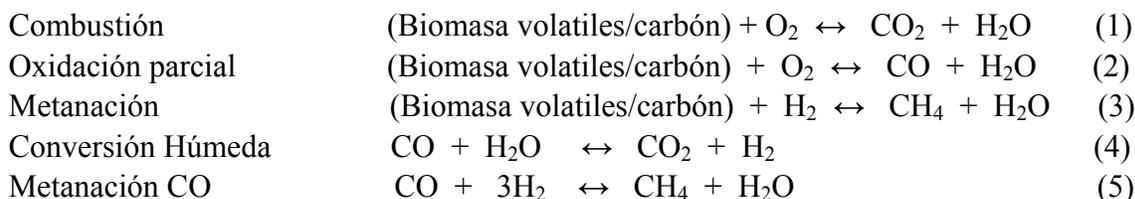
Tabla 2.1 Composición Típica del gas de Síntesis (%)

Componentes	Willow 1999	Buffing Dust Jan 2004	Buffing Dust Jan 2003	Pine/Bark 2004
CO	17.46	15.06	10.52	17.68
CO ₂	14.00	8.6	12.50	14.32
H ₂	17.63	11.1	13.31	15.49
CH ₄	1.85	1.1	1.44	1.80
C ₂ H ₄	0.34	0.3	1.31	0.45
C ₂ H ₆	0.07	0.01	0.16	0.05
C ₃ H ₆	0.05	N	N	0.03
N ₂	48.6	58.7	60.5	50.2
HHV [MJ/Nm ³]	5.6	3.9	4.7	5.3
LHV [MJ/Nm ³]	5.1	3.7	4.3	4.9

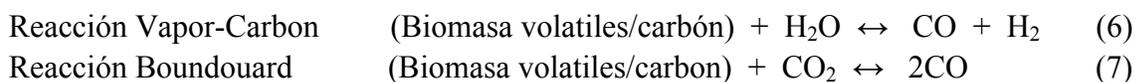
* La composición depende básicamente del tipo de gasificador, condiciones de operación y las propiedades de la alimentación

Las principales reacciones durante la gasificación de biomasa, se presentan en la siguiente lista. ^{2.2}

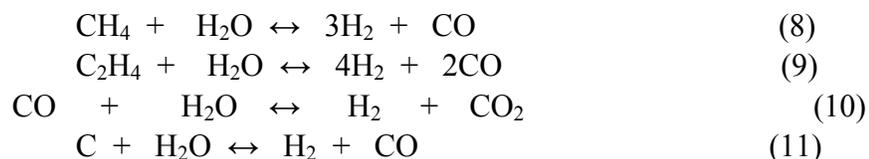
Reacciones Exotérmicas.



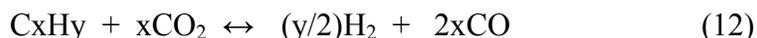
Reacciones Endotérmicas.



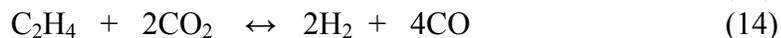
La reacción en la ecuación (6) representa la reacción de los alquitranes con vapor ($\text{C}_x\text{H}_y + x\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (x + y/2) \text{H}_2 + x\text{CO}$) la cual contribuye a incrementar el contenido de H₂ y CO. La mayor producción de hidrogeno durante la gasificación con vapor puede ser atribuida a las siguientes reacciones:



El secado de alquitranes también ocurre durante la gasificación y puede ser representada por la siguiente reacción.



Otras reacciones químicas seguidas por la ecuación (7), cuando el CO₂ es usado como medio gasificante son listadas abajo:



Como se puede observar, las reacciones de gasificación son complejas cuando se utiliza madera u otros residuos celulósicos, que producen alquitrán y ácidos piroleñosos durante la fase de pirólisis del combustible.

Las reacciones exotérmicas proporcionan calor, lo que posibilita la realización de las reacciones endotérmicas. Durante la gasificación existe, de alguna manera, la necesidad de suministro de energía, la cual, lo más común es que sea mediante la combustión de parte de la materia prima a ser gasificada.

De los factores que afectan el desarrollo de la gasificación, el efecto de la relación de equivalencia sobre la composición del gas, el valor calórico y la velocidad de producción del gas han sido muy estudiados. Por ejemplo, la RE para un gasificador en general se ha encontrado en un rango de 0.27 – 0.43, lo cual entra en el rango para la gasificación ideal (0.19-0.43).^{2,1}

2.2 Procesos de gasificación.

Los procesos que le ocurren a una partícula de combustible sólido (carbón) durante la combustión o gasificación son variados y complejos. Estas dificultades, se suman a la naturaleza multifásica (gas-sólido) del flujo y de los procesos que ocurren en la interfase.

Una partícula de carbón se puede considerar compuesta básicamente de cuatro materiales: 1) carbón “crudo”, 2) agua o humedad, 3) carbonizado (*char*) y 4) ceniza. Cuando la partícula se inyecta al gasificador (figura 2.1) se calienta por medio de la conducción de calor que proviene de la fase gaseosa, esto causa que el contenido de humedad en la partícula se transfiera a la corriente gaseosa en forma de vapor de agua (proceso de secado). Las temperaturas presentes en el equipo causan la pirolisis del carbón crudo. De este proceso, se obtienen algunos volátiles que son incorporados a la fase gaseosa y un sólido o residuo carbonizado (*char*) que permanece en la partícula.

Este último dará origen a reacciones heterogéneas de superficie con los componentes de la corriente gaseosa, lo que provocará una disminución de la partícula de carbón. La ceniza es el contenido de material inerte de la partícula y durante los procesos de gasificación se considera que no se transforma. Los cuatro componentes de la partícula están dados por medio del análisis inmediato o aproximado del carbón y son contabilizados por medio de sus fracciones máscas. Los procesos anteriores se llevan a cabo dentro de un régimen turbulento inducido por la fase gaseosa.

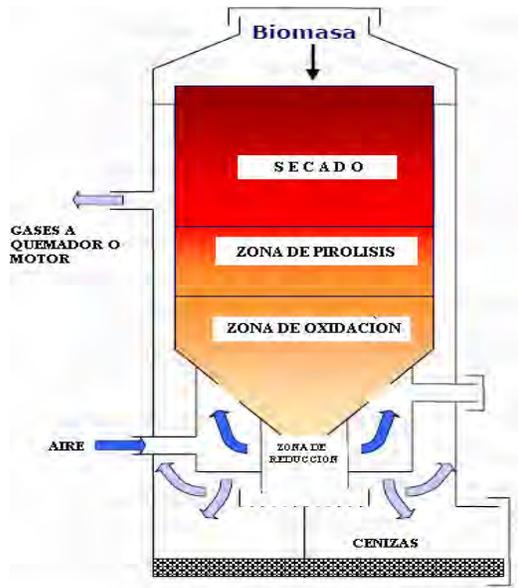
Dicho lo anterior podemos dividir en las siguientes etapas al proceso de gasificación, en la figura 2.1 se muestran estas etapas.

- I. Secado del combustible sólido (Biomasa).
- II. Pirolisis
- III. Oxidación (Combustión).
- IV. Reducción.

Durante la gasificación se presenta una oxidación parcial del carbono contenido en una partícula de combustible. Dentro de un gasificador existen generalmente tres zonas diferenciadas por la cantidad de oxidante:

- a) Zona de combustión (se favorece la oxidación total del combustible mediante reacciones exotérmicas de oxidación total, se proporciona la energía necesaria en el proceso);
- b) Zona de oxidación parcial (muy poco oxidante, predominan las reacciones exotérmicas de gasificación); y
- c) Zona de reducción (no hay oxidante, predominan los procesos de degradación térmica como la volatilización y las reacciones endotérmicas de gasificación).

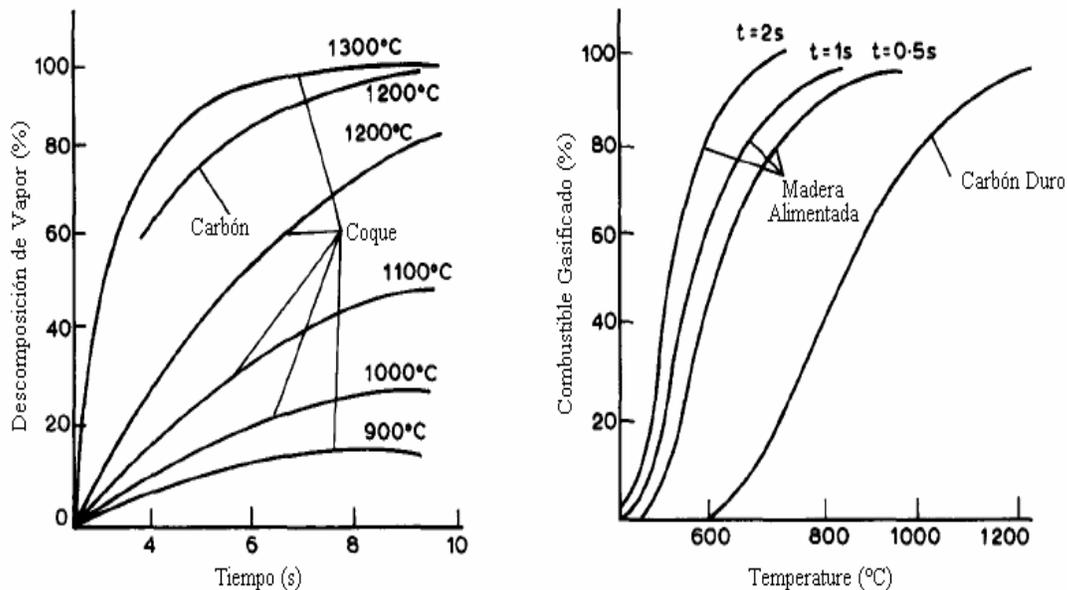
En las siguientes secciones se explican con mayor detalle dichos procesos.



**Fig. 2.1 Gasificador Downdraft
Etapas de la Gasificación**

La temperatura usada en la zona de oxidación depende de el tipo de combustible usado. El punto de ignición de la madera es de 300 °C, carbón de leña 360°C, cascara de arroz 450 °C, aserrín 200-280°C, antracita 650-600°C.^{2,3}

En contenido del gas producido esta influenciado por el tiempo de contacto entre el CO₂ caliente y el carbón en la zona de reducción, el vapor de agua contenido y la composición del material en reacción. En la figura (2.2) se muestra el porcentaje de combustible gasificado y la temperatura de reacción y el tiempo de contacto.



a) Porcentaje de vapor descompuesto contra Tiempo de Contacto entre el Vapor y el Carbón de Leña Caliente a varias Temperaturas.

b) Porcentaje de Combustible Gasificado contra Temperatura con Carbón ó Madera (a tres tiempos de contacto) como combustible

Fig (2.2)

Dependiendo de la temperatura y su distribución en el gasicador, la descomposición del combustible biomásico, productos volátiles, vapores de agua y gas. Los productos a varias temperaturas son los siguientes:

$t_g = 100-150^\circ\text{C}$: Los componentes vaporizados de agua fuera del combustible.

$t_g = 150-200^\circ\text{C}$: El dióxido de carbón se descompone a la salida.

$t_g = 200-250^\circ\text{C}$: El combustible a la salida se descompone y aparecen los productos de alquitrán.

$t_g = 350-400^\circ\text{C}$: La mayor descomposición ocurre; gases combustibles $C_n H_m$, CH_4 , H_2 , CO y CO_2 , y aparecen numerosos productos de alquitrán.

$t_g = 400-450^\circ\text{C}$: Máxima producción de alquitrán.

$t_g = 500-550^\circ\text{C}$: Es finalizada la producción de alquitrán.

$t_g = 600-700^\circ\text{C}$: El volumen del gasificador de gas es 3-4 veces más que el producido a temperaturas en el rango de 200 a 550°C . La descomposición del combustible es detenida en; el combustible sólido es totalmente carbonizado.

2.3 Secado de la Biomasa.

Durante este proceso, las partículas de combustible sufren cambios físicos, ya que éstas se contraen y pueden fracturarse. El grado de contracción es una función del contenido de humedad y del tipo de combustible, donde además ocurre una reducción en el diámetro de los poros. La fracturación se presenta cuando el líquido contenido en las partículas (humedad) se evapora y genera una presión lo suficiente para romper la estructura de las mismas, o también, cuando este vapor no puede escapar suficientemente rápido.^{2,4}

El secado es un proceso endotérmico (necesita calor para llevarse a cabo) donde se controla la transferencia de calor, que depende del contenido de humedad, contenido de cenizas, dimensiones de las partículas, calor específico, conductividad térmica, difusividad y la geometría del equipo de combustión. El secado ocurre cuando la temperatura en la reacción excede los 105°C al punto en el que la humedad se convierte en vapor y se traslada a través de la estructura del poro a la superficie de la partícula (pasando la capa límite de ésta), siendo la conducción el mecanismo de transferencia de calor.

La humedad contenida en la biomasa debe ser de 10 a 15% antes de la gasificación. Los vapores emitidos durante el secado contienen compuestos orgánicos volátiles (VOCs), los que requieren un apropiado sistema de control de contaminantes.^{2,1}

La humedad es reducida por medio de intercambio de masa entre el sólido húmedo y aire caliente. La velocidad con la que la humedad es liberada del sólido es calculada como

$$R_{ev} = K_a h_s (C_{w,s} - C_{w,g}) \quad \text{cuando } T_s < 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad (16)$$

ó

$$R_{ev} = Q_a / H_{ev} \quad \text{cuando } T_s = 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad (17)$$

Donde K_a es la área de superficie de la partícula, h_s el coeficiente de transferencia de masa convectiva entre el sólido y el gas, $C_{w,s}$ es la fracción molar de humedad en la superficie del sólido, $C_{w,g}$ es la fracción molar de humedad en el flujo de aire, T_s es la temperatura del sólido, Q_s es el calor absorbido por el sólido y H_{ev} es el calor de evaporación del material sólido. El calor absorbido incluye tanto el calor de transferencia por convección y radiación el cual es expresado como:^{2,5}

$$Q_a = K_a (h_s' (T_g - T_s) + \epsilon_s \sigma_b (T_{ev}^4 - T_s^4)) \quad (18)$$

Donde h_s' representa el coeficiente de transferencia de calor entre el sólido y el gas, T_g es la temperatura del gas, ϵ_s es la emisividad, σ_b Constante de radiación de Boltzmann, y T_{ev} temperatura ambiente. Los coeficientes de transferencia de calor y masa son reportados en la literatura.

2.4 José Salvador Ochoa Torres, Simulación numérica del proceso de gasificación para la utilización del carbón o coque de petróleo México D.F., Junio de 2001 Tesis Maestría UNAM.

2.5 FCIC program Sheffield University. (2003). <http://www.shef.ac.uk/~suwic/index.html>

2.4 Pirolisis.^{2,4}

La pirolisis produce tres productos principales que son los volátiles (que pueden ser condensables e incondensables), alquitranes que son generalmente hidrocarburos pesados (en la práctica se tratan como productos intermedios) y carbonizado (*char*) que es un combustible sólido rico en carbón con pequeñas cantidades de hidrógeno y oxígeno, esto se puede observar en el la figura 2.5.

Este proceso inicia cuando parte de las partículas del combustible alcanzan la temperatura de reacción, que es aproximadamente de 450-500°C, dependiendo del tipo de carbón. Este proceso involucra cambios físicos y químicos en el carbón.

Los cambios físicos sufridos son la contracción que se origina cuando los volátiles producidos se trasladan a la superficie de la partícula y ocurren reacciones químicas secundarias, originando alquitranes que pueden tapan los poros y por lo tanto se genera una presión interna que rompe la estructura de la partícula del combustible. Los cambios difieren para carbones que exhiben y que no exhiben un comportamiento de ablandamiento. Para carbones que no exhiben un comportamiento de ablandamiento, la estructura del poro cambia, según análisis estadísticos, como una serie de árboles (familia de poros) como se muestra en la figura 2.3. Para carbones que exhiben un comportamiento de ablandamiento, ocurre un cambio físico durante la pirolisis, formándose un *metaplast* (sólido fundido), el cual puede alterar la transferencia de masa asociada a la combustión del carbón.^{2,4}

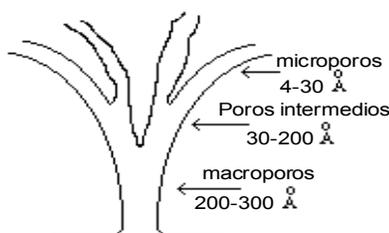


Figura 2.3 Estructura del árbol de poros del carbón

Suuberg [1981] propone un modelo que explica el proceso de pirolisis, como se indica a continuación:

Carbón \longrightarrow *metaplas* + carbonizado inerte + gases

Metaplas \longrightarrow alquitranes + H₂ + gases y líquidos ligeros

Alquitranes \longrightarrow “*metaplas* mayor + H₂”

Este proceso de oxidación inicia con una reacción primaria del carbón, donde existe una ruptura en las uniones débiles del compuesto, particularmente en las uniones C-C y C-O, como se muestra en la primera parte de la figura 2.4, obteniéndose el sólido fundido o *metaplast* y gases volátiles condensables e incondensables. En la segunda parte de la figura antes citada se muestra la división de la estructura del material.

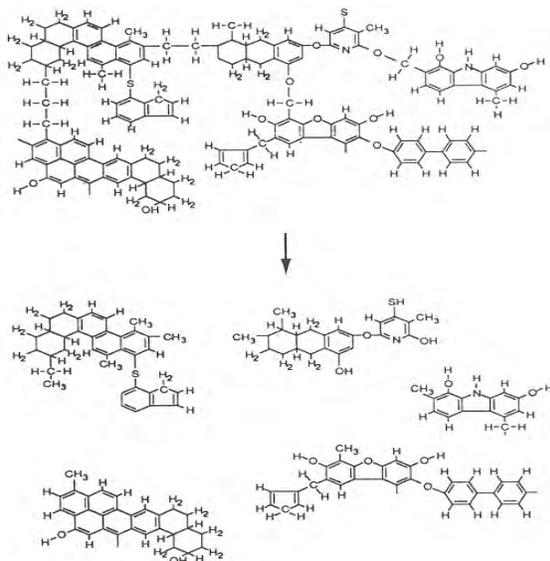


Figura 2.4 Ruptura primaria de cadenas

Posteriormente, ocurre una reacción secundaria en la estructura central del material, continuando la ruptura entre la partícula central y las funcionalidades, resultando en la formación de gases adicionales, como alquitranes, hidrógeno, gases y líquidos ligeros. Además, existe una repolimerización en algunas partículas, resultando en la formación de una matriz de carbonizado (*char*).^{2,4}

La pirolisis es especialmente importante en la gasificación updraft porque sus productos son meramente los de la gasificación.

Biomasa Volátiles ($C_x H_y$, CO , H_2 , CO_2 , O_2 , etc) + residuos carbonizados

El modelo mas usado por su simplicidad para pirolisis es el que sugiere que la velocidad con la que son liberados los volátiles de un sólido es proporcional a los volátiles que permanecen en el sólido y la temperatura.

$$R_v = k_v (v_\infty - v) \quad (19)$$

Donde

$$k_v = A_v \exp (-E_v/RT_S) \quad (20)$$

Donde v_∞ la ultima producción de materia volátil a una específica velocidad de calentamiento y a temperatura ambiente, y v es la cantidad de materia volátil que permanece a un tiempo t ; E_v y R son la energía de activación y la constante universal de los gases, respectivamente, A_v es un factor preexponencial de velocidad.

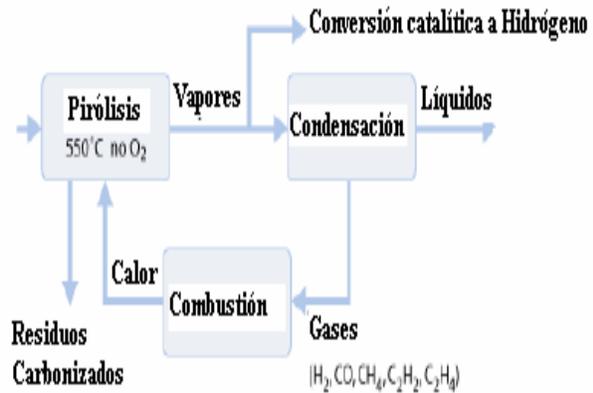


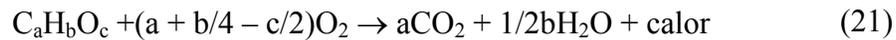
Fig2.5 Proceso de pirolisis

2.5 Combustión.

El sólido combustible esta comúnmente formado de carbón, hidrogeno, y oxígeno. En la combustión completa el dióxido de carbono es obtenido del carbón del combustible y el agua es obtenida del hidrogeno, usualmente del vapor.

Por combustión se entiende como toda reacción química relativamente rápida de combustibles, de carácter notablemente exotérmico, que se desarrolle en fase gaseosa o en fase heterogénea (gas-líquido, gas-sólido), con o sin manifestaciones del tipo de llamas o de radiaciones visibles.

Estequiométricamente la combustión de sólidos puede representarse en un paso de reacción de acuerdo a la ecuación (21):



Los gases combustibles liberados durante el proceso de pirolisis debe estar primero rodeado de el agente gasificante antes de que la reacción ocurra. Obviamente la combustión de los gases volátiles es limitada no solo por la cinética de la reacción si no también por la velocidad con la que se mezcla el gas con el oxigeno o aire.

2.6 Tipos de gasificadores

Existen diversos tipos de gasificadores que se clasifican por la fuente de energía (alotérmico y autotérmico), presión de operación (alta y baja presión), tipo de lecho en el equipo (fijo, fluidizado y corriente fluido), movimiento relativo de los gases y el combustible (intermitente, continuo y semicontinuo) y por el tipo de comburente utilizado (oxígeno con 95% de pureza, aire y oxígeno/vapor). Todos los gasificadores cuentan con un reservorio para el combustible sólido, sistema de abastecimiento de aire en la zona de reacción, sistema de retiro del gas generado, zona de secado, zona de reducción, zona de oxidación del combustible, parilla y colector de cenizas.

Los tres tipos principales de gasificadores empleados actualmente son: **downdraft** o flujo concurrente, **updraft** o flujo ascendente y **lecho fluidizado** Figura 2.6.

La selección del tipo de gasificador que se va a emplear depende de la potencia que se desee. Los de lecho fluidizado se utilizan para instalaciones de gran escala, mientras que para pequeñas potencias se prefieren los de flujo concurrente o downdraft. Otros tipos de reactores son los de lecho fluidizado burbujeante, los de lecho fluidizado circulante, y los de lecho fluidizado presurizados. Otros tipos de reactores son los ciclónicos y los rotatorios, además de diferentes tipos de reactores de cama móvil.

Existen diferentes tecnologías disponibles y cabe dividirlos en pequeña y mediana escala. A pequeña escala (50 – 500 kg/h) existen las siguientes, con diferentes disponibilidades de tecnología.

Tipo de gasificador	Capacidad kg/h
Lecho móvil en co-corriente	50 –250
En contra-corriente	40
De lecho fluidizado	50 – 150
De ciclón	100

Tabla 2.2 Tecnologías de gasificadores a pequeña escala

A mediana escala (500–5000 kg/h) se pueden recomendar los siguientes, en general, disponibles en el mercado.

Tipo de gasificador	Capacidad kg/h	Presión bar
De lecho fluidizado	2500	10 – 15
De lecho fluidizado doble	1000	atmosférica
De lecho fluidizado circulante	400	atmosférica
De lecho móvil en co-corriente	2000	10 – 15
En contra-corriente	1000	atmosférica
	2500	10

Tabla 2.3 Tecnologías de gasificadores a mediana escala

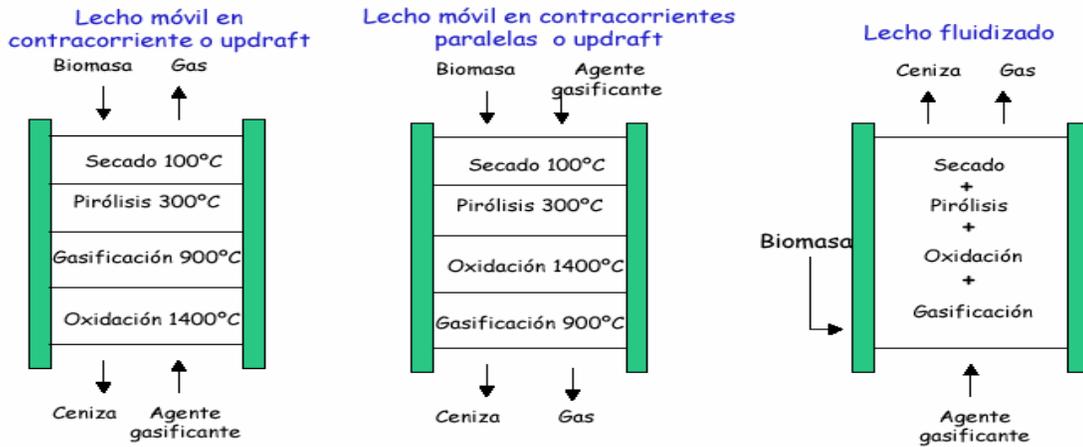


Figura 2.6 Esquemas principales de gasificadores.

2.6.1 Gasificador Updraft

El tipo de gasificador más antiguo y sencillo es el de tiro directo o gasificador ascendente que se presenta esquemáticamente en la Figura 2.7.

En los gasificadores updraft la alimentación es introducida por la parte superior y el aire por el fondo por medio de rejillas en donde descansa los sólidos carbonizados (sólidos remanentes después de la liberarse de los volátiles), las cenizas caen a través de una rejilla al fondo y los gases calientes pasan y son reducidos.

En la parte más alta del gasificador la biomasa es pirolisada y la parte superior, la alimentación es secada, con gases alrededor de 200-300 °C. En la zona de pirolisis donde los compuestos volátiles son liberados, considerables cantidades de alquitranes son formados al condensarse parcialmente sobre la biomasa superior y parcialmente acompañan al gas producto. La temperatura en la zona de gasificación es controlada por adición de vapor al aire usado para la gasificación, o por humidificación del aire. Debido a que la baja temperatura del gas que dejando el gasificador, la eficiencia global del proceso es alta pero también lo es el alto contenido de cenizas. La filtración del gas ayuda a producir un gas con menor contenido de partículas.

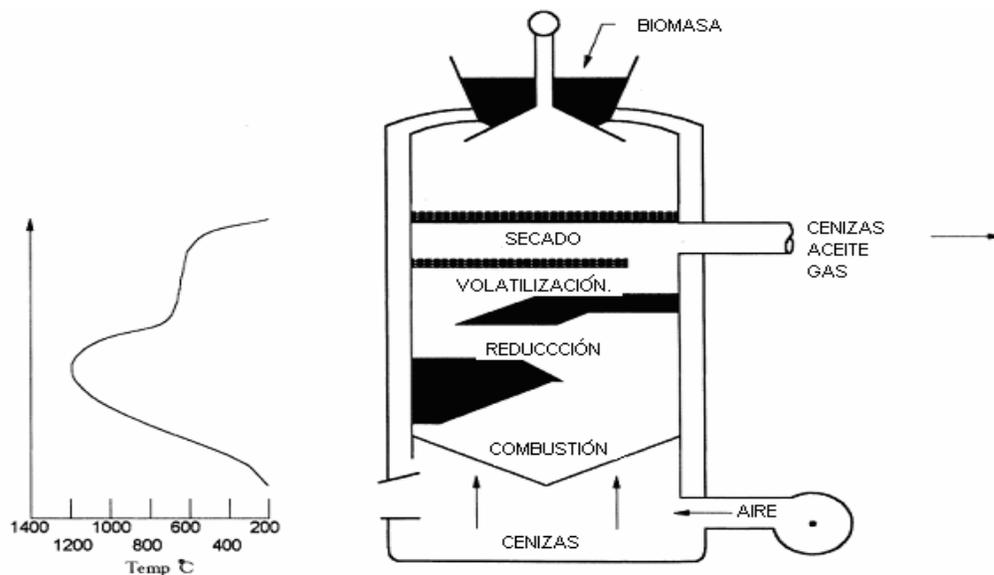


Figura 2.7 Gasificador **UPDRAFT** ó Gasificador de corriente ascendente o tiro directo

La toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba. Cerca de la parrilla, en el fondo, tienen lugar las reacciones de combustión, que van seguidas de reacciones de reducción algo más arriba, en el gasificador. En la parte alta del gasificador tiene lugar el calentamiento y pirólisis de la carga, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, de las zonas inferiores. Los alquitranes y productos volátiles producidos durante este proceso son transportados por la corriente de gas. Se remueven las cenizas del fondo del gasificador.

Las principales ventajas de este tipo de gasificador consisten en su simplicidad, alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que motiva unas bajas temperaturas de salida del gas y alta eficiencia del equipo y también la posibilidad de funcionar con muchos tipos de carga (aserrín, cáscaras de cereales, etc.).

Los principales inconvenientes provienen de la posibilidad de que se produzcan "chimeneas" en el equipo, lo que puede motivar la salida de oxígeno y situaciones explosivas peligrosas y la necesidad de instalar parrillas de movimiento automático y también problemas relacionados con la eliminación de líquidos condensados que contienen alquitranes, resultantes de las operaciones de depuración del gas. Esto último tiene poca importancia si el gas se emplea para aplicaciones directas del calor, en cuyo caso los alquitranes simplemente se queman.

2.6.2 Gasificador **Downdraft**.

En los gasificadores downdraft la alimentación y el aire se mueven en la misma dirección. Los gases producto dejan el gasificador después de pasar a través de la zona caliente, habilitando el craqueo de las cenizas formadas durante la gasificación y dar un gas con bajo contenido de cenizas. Porque los gases dejan el gasificador a temperaturas alrededor de 900-1000 °C, la eficiencia global de un gasificador downdraft es baja, debido a la gran cantidad de calor llevada por el gas. El contenido de cenizas en el gas producto es menor que para un gasificador updraft pero las partículas contenidas en el gas son altas.

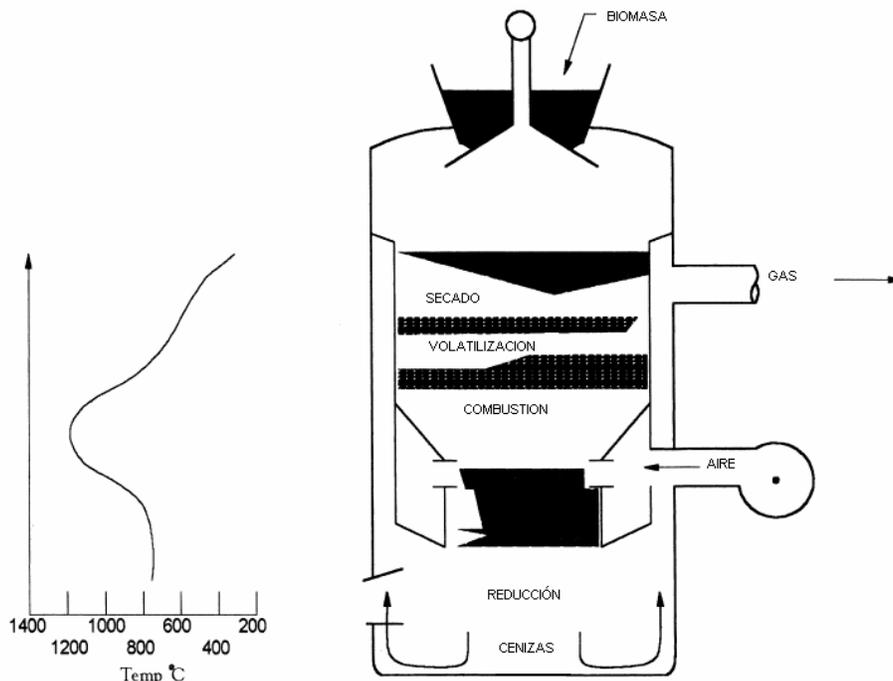


Fig 2.8 Gasificador **DOWNDRAFT** Gasificador de corriente descendente o de tiro invertido

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 primera 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 2.8.

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.

Dependiendo de la temperatura de la zona incandescente y del tiempo de paso de los vapores con alquitrán, se logra una descomposición más o menos completa de los alquitranes.

La principal ventaja de los gasificadores de tipo invertido radica en la posibilidad de producir un gas sin alquitrán apropiado para aplicarlo a motores.

Sin embargo, en la práctica es muy raro lograr un gas libre de alquitranes, en todo el funcionamiento del equipo: se considera normal un índice tres de relación entre los alquitranes existentes y los remanentes al final de la operación; se considera excelente un factor 5 a 6.

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. En particular, los materiales blandos y de baja densidad ocasionan problemas de circulación y una caída excesiva de presión y, el combustible sólido hay que convertirlo en gránulos o briquetas antes de utilizarlo. Los gasificadores de tiro invertido sufren también los problemas relacionados con los combustibles de alto contenido de cenizas (formación de escoria), en mayor proporción que los gasificadores de tiro directo.

Un pequeño inconveniente del sistema de tiro invertido en comparación con el de tiro directo es su eficiencia algo inferior, debida a la falta de intercambio interno de calor y al menor valor calorífico del gas. Además de esto, la necesidad de mantener unas temperaturas altas uniformes en una sección transversal determinada, hace imposible el uso de los gasificadores de tiro invertido en una serie de potencias superior a los 350 kW (potencia en el eje).

2.6.3 Sistema de Gasificación Downdraft

A continuación un ejemplo de un sistema instalado de gasificación downdraft que utiliza residuos forestales de jardines públicos con capacidad instalada de 300kW.

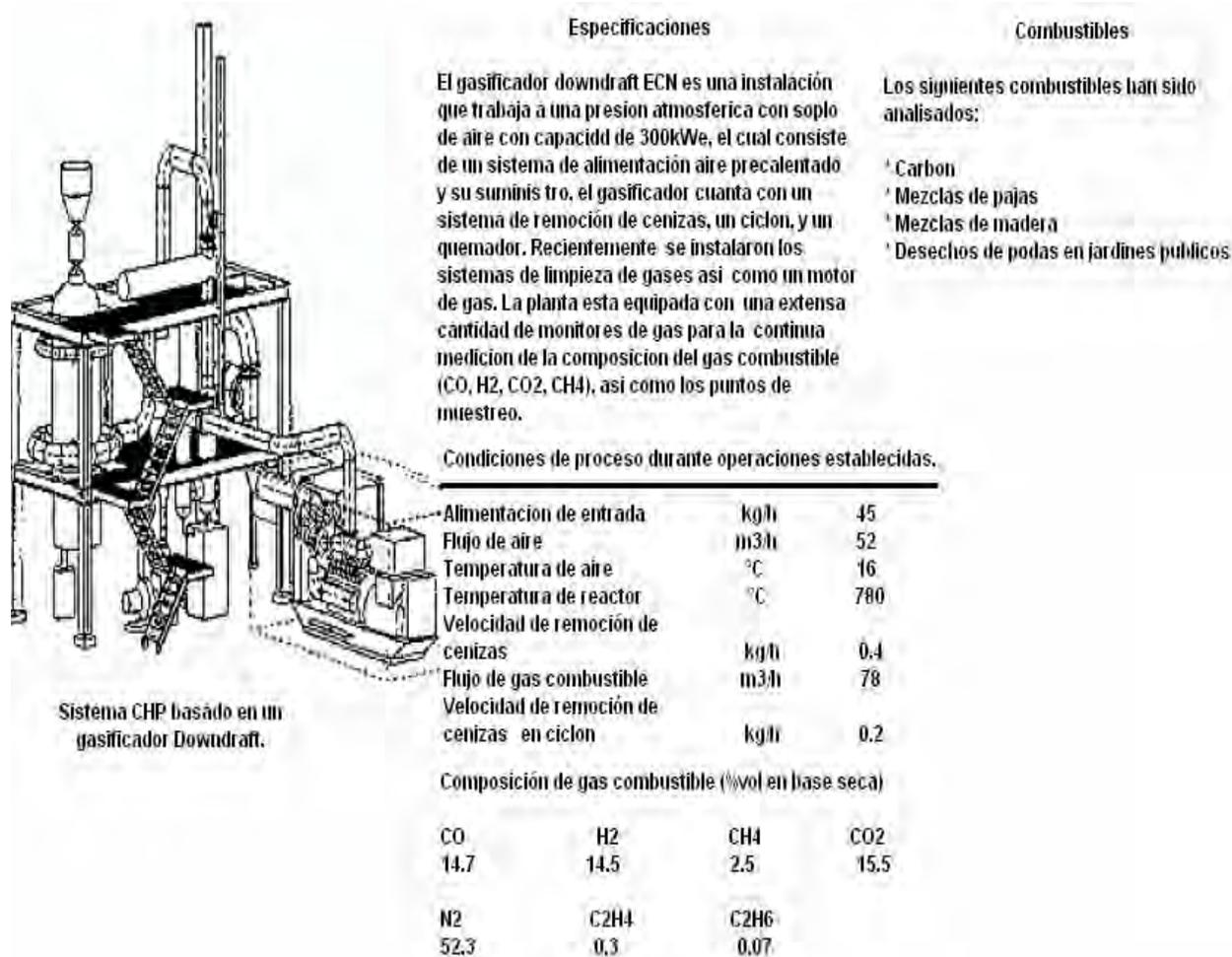


Fig. 2.9 Sistema CHP.**

** Gasification of wood waste from public gardens for CHP production. L. Dinkelbach, H. Klein Teeselink, C.M. van der Meijden, J.P.A. Neeft, E.P. Schenk, S.D. Ytsma. Proc. 10th European conference and technology exhibition: Biomass for energy and industry. Würzburg (Germany). 8-11 June 1998 (Eds. H. Kopetz et al.). pp. 1761-1764

2.6.4 Gasificador de lecho fluidizado

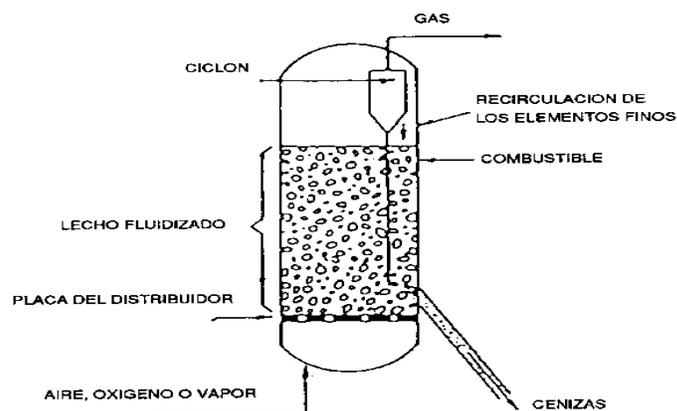
La gasificación en Lecho fluidizado (FB) ha sido extensivamente para la gasificación de carbón por muchos años, su ventaja sobre los gasificadores de lecho fijo es la distribución uniforme de temperatura lograda en la zona de gasificación. La uniformidad de temperatura es lograda una cama de material en grano donde el aire es introducido, fluidizando el material del lecho asegurando una mezcla íntima del material en el lecho, el calor de combustión del gas y la biomasa alimentada.

El funcionamiento de los gasificadores de tiro directo y de tiro invertido se ve afectado por las propiedades morfológicas, físicas y químicas del combustible. Los problemas que se encuentran corrientemente son: la falta de tiro en el depósito, la formación de escoria y la excesiva caída de presión en el gasificador.

Un sistema de diseño que pretende eliminar tales dificultades es el gasificador de lecho fluidizado, que se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.10.

Se suministra aire a través de un lecho de partículas sólidas a velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión. Se comienza por calentar externamente el lecho y el material de alimentación se introduce tan pronto como se alcanza una temperatura suficientemente elevada. Las partículas del combustible se introducen por el fondo del reactor, se mezclan muy rápidamente con el material del lecho y se calientan casi instantáneamente alcanzando la temperatura del lecho. Como resultado de este tratamiento, el combustible se piroliza muy rápidamente, dando como resultado una mezcla de componentes, con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos. En la fase de gas, se produce una nueva gasificación y reacciones de transformación de los alquitranes. La mayoría de los sistemas van equipados con un ciclón interno, a fin de reducir al mínimo el escape de alquitrán por soplado. Las partículas de ceniza se transportan también por la parte superior del reactor, debiendo extraerse de la corriente de gas si este se emplea en aplicaciones para motores.

Figura 2.10. Gasificador de lecho fluidizado



Los dos tipos de gasificadores de lecho fluidizado utilizados son:

- Lecho Fluidizado circulante.
- Lecho Burbujeante.

Gasificador de lecho fluidizado circulante.

Los gasificadores FB circulantes son capaces de trabajar con altas capacidades y son usados en la industria del papel para la gasificación de corteza y otros residuos forestales. El material en el lecho es circulado entre el recipiente de reacción y el ciclón separador, donde las cenizas son removidas y el material del lecho y carbón regresa al recipiente de reacción. Este tipo de gasificadores pueden ser operados a presiones elevadas, ventaja para aplicaciones de usos finales, donde el gas requiere ser comprimido, como en una turbina de gas.

Lecho Burbujeante.

Los gasificadores de Lecho Burbujeante consisten de recipientes con una rejilla en el fondo a través del cual se introduce aire es introducido. Arriba del la rejilla se mueve un lecho de granos finos en la cual la biomasa preparada es introducida. El lecho se mantiene regulado a una temperatura de 700-900 °C por control de la relación aire/biomasa. La biomasa es pirolisada en el lecho caliente para formar un carbón con compuestos gaseosos. Los compuestos con alto peso molecular son divididos por contacto con el lecho caliente, dando un gas producto con bajo contenido de alquitrán típicamente $< 1-3 \text{ g/Nm}^3$.

Las principales ventajas de los gasificadores de lecho fluidizado, tal como lo indican Van der Aarsen y otros, proceden de su flexibilidad en cuanto al material de alimentación debida al fácil control de la temperatura que puede mantenerse por debajo del punto de fusión de las cenizas (cáscaras de arroz) y a su capacidad de funcionar con materiales blandos y de grano fino (aserrín, etc.) sin necesidad de un proceso previo. Con algunos combustibles de biomasa pueden producirse problemas en cuanto a alimentación, inestabilidad del lecho y entrada de cenizas volantes en los conductos de gas.

Otros inconvenientes del gasificador de lecho fluidizado están en el contenido bastante alto de alquitrán del gas producido (hasta 500 mg/m^3 de gas), la combustión incompleta del carbono y lo mal que responde a los cambios de carga.

Debido especialmente al equipo de control necesario para hacer frente a este último inconveniente, no se prevén gasificadores muy pequeños de lecho fluidizado, debiendo establecerse su campo de aplicación, en principio, por encima de los 500 kW (potencia en el eje).

Los gasificadores de lecho fluidizado están actualmente disponibles, con carácter semicomercial, en varios fabricantes de Europa y EE.UU.

2.7 Otros tipos de gasificadores.

Actualmente se están desarrollando otros sistemas de gasificadores de biomasa (de doble fuego, de lecho retenido, de baño fundido), que son en parte subproductos de la tecnología de gasificación de carbón mineral. En algunos casos estos sistemas incorporan refinamientos y complicaciones innecesarios; en otros, tanto el tamaño como la complicación del equipo hacen casi imposible su aplicación en países en desarrollo. Por estas razones, se omiten en esta relación.

2.7.1 Gasificación en lecho móvil en corrientes paralelas:

En gasificación en lecho móvil en corrientes paralelas el aire es introducido dentro del lecho de biomasa de forma que los flujos de gas y del aire son básicamente descendentes. Los productos líquidos y gaseosos formados en la pirolisis son obligados a pasar a través de una zona más caliente que craquea los alquitranes, obteniéndose gases con muy poco contenido en estos productos, menor del 1%.

Además de las tres regiones (secado, pirolisis y oxidación) mencionadas en el gasificador de lecho móvil en contracorrientes, aquí presenta una cuarta región (reducción) en el que tienen lugar reacciones con vapor de H_2O y CO_2 que permiten obtener gases con mayor contenido energético que los del gasificador en contracorriente. Estos reactores son adecuados para procesar pequeñas capacidades (100 - 800 kg biomasa/h), admite un contenido en humedad del 30%

2.7.2 Gasificador de tiro transversal

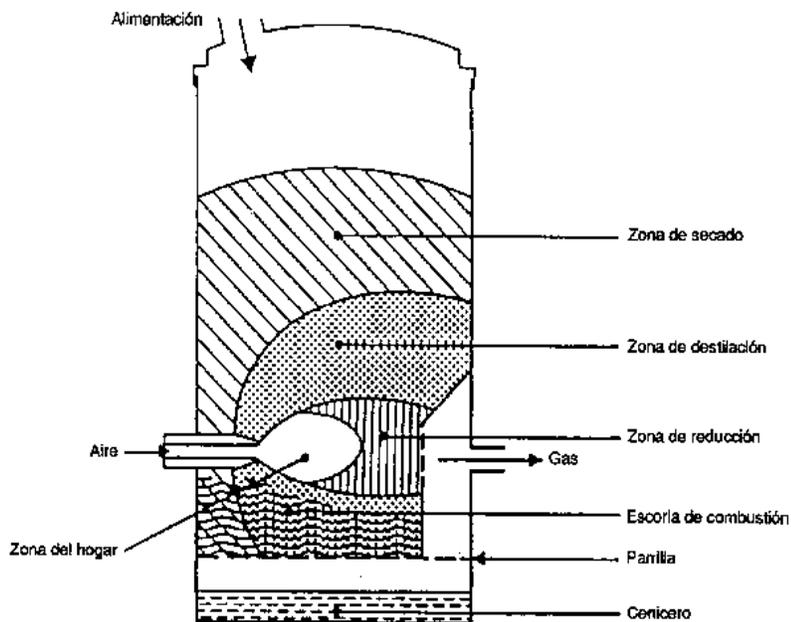
Los gasificadores de tiro transversal, que se ilustran esquemáticamente en la figura 2.10 son una adaptación para el empleo de carbón vegetal. La gasificación del carbón vegetal produce temperaturas muy elevadas (1500 °C y más) en la zona de oxidación que pueden producir problemas en los materiales. En los gasificadores de tiro transversal, el propio combustible (carbón vegetal) sirve de aislamiento contra estas altas temperaturas.

Las ventajas del sistema están en poder funcionar en muy pequeña escala, pudiendo resultar económicamente viables, en ciertas condiciones, instalaciones inferiores a 10 kW (potencia en el eje). La razón está en la gran sencillez del conjunto de depuración del gas (sólo un quemador de ciclón y un filtro caliente) que se puede emplear cuando se utiliza este tipo de gasificador junto con motores pequeños.

Un inconveniente de los gasificadores de tiro transversal es su capacidad mínima de transformación del alquitrán y la necesidad consiguiente de emplear carbón vegetal de alta calidad (bajo contenido de productos volátiles).

Debido a la incertidumbre sobre la calidad del carbón, cierto número de gasificadores de carbón vegetal emplean el sistema de corriente descendente para mantener al menos una capacidad mínima de cracking del alquitrán.

Figura 2.11 Gasificador de tiro transversal



2.7.3 Gasificador de horno rotatorio:

El funcionamiento de este tipo de gasificador presenta similitudes con los gasificadores de lecho móvil pero tiene sus propias características, sobre todo por lo que atañe a la parte mecánica que facilita el desplazamiento de los sólidos lo que hace más fácil el funcionamiento en continuo del sistema. En un horno rotatorio el gas se puede circular en contracorriente o en paralelo con el sólido, teniendo cada caso sus ventajas e inconvenientes, pudiendo establecerse en algunos casos una analogía con los gasificadores de lecho móvil ya mencionados.

Los principales componentes de este tipo de gasificadores son: una tolva para la carga de la biomasa, un alimentador del horno, una cámara de carga, un horno cilíndrico rotativo donde circulan los sólidos con el aire y los gases, un sistema para la alimentación de aire y la cámara de descarga.

2.7.4 Gasificación en lecho móvil en contracorriente:

En la gasificación en lecho móvil en contracorriente el calor se genera en la parte inferior del lecho por donde se introduce el aire. Se forman perfiles de temperatura muy acusados, lo que hace que el material biomásico pase por regiones que están a muy distintas temperaturas y los procesos implicados (secado, pirólisis, oxidación) tengan lugar gradualmente. Su simplicidad y posibilidad de procesar biomasa de hasta un 50% de humedad, hizo que este tipo de reactor fuese muy utilizado. Su capacidad para procesar biomasa oscila entre 500 y 2000 kg/h.

Este tipo de gasificador, updraft, produce del 5% al 20% de productos alquitranados, por lo que no es recomendable utilizarlo directamente para el funcionamiento de motores, siendo adecuado para su combustión en quemadores.

2.8 Los principales criterios de elección son:

- El tamaño y la densidad del residuo biomásico a procesar,
- La capacidad del procesamiento,
- La calidad deseada para el producto gaseoso a obtener.
- La cantidad de energía que se desea obtener.

Tipo de Gasificador	Down Draught	Up Draught	Open Care	Cross Draught	Cross Draught Heat
Máxima Capacidad Comercial (kW)	350	4,000	Aprox. 200	Aprox. 150	20,000
Tiempo de puesta en Marcha (min.)	10-20	15-60	15-60	10-20	15-60
Producción de Cenizas (g/Nm ³ gas)	<0.5	1-15	10-15	<0.1	n.a.
Tamaño y Volumen de Limpiadores de Gas	pequeño	grande	grande	pequeño	n.a.
Cantidad de Residuos de Cenizas	pequeño	grande	grande	Muy pequeño	Ninguno
Valor Calorífico de Gas Frío (MJ/Nm ³)	4.5-5.0	5.0-6.0	5.5-6.0	4.0-4.5	n.a.

Tabla 2.4 Tabla de selección de gasificadores.

2.9 Los principales requerimientos en la elección de un gasificador de biomasa son:

- El gas producido deberá estar libre de alquitrán, polvo y cenizas.
- Las pérdidas de energía deben ser relativamente bajas.
- El modo de operación será simple y adaptable a diferentes tipos de alimentación.
- Debe ser de simple construcción y que permita la eliminación de las cenizas.
- Para evitar puntos fríos en la zona de oxidación, por donde pudieran "pasar" alquitranes sin craquearse, deben elegirse adecuadamente la velocidad del medio gasificante y la geometría de esta zona del gasificador.
- El tiempo de residencia de la biomasa en la zona de pirólisis debe ser suficiente para conseguir la máxima volatilización posible.
- Elección de los materiales de construcción para prever el efecto de altas temperaturas, corrosión, abrasión, etc.
- El movimiento de la biomasa y los gases. Deben ser estacionarios, sin taponamientos ni zonas muertas.

2.10 Ventajas y Desventajas

Propiedades de los tipos de Gasificadores (rampling 1993).

Ventajas	Desventajas
<p>Updraft lecho fijo/móvil. Simple, procesos no caros Temperatura de gas de salida 250°C Opera satisfactoriamente a baja presión. Alta eficiencia de conversión. Bajos niveles de polvo en el gas Alta eficiencia térmica.</p>	<p>Producción de Alquitrán. Se obstruyen rápidamente. Requieren tamaños pequeños en la alimentación. Produce escorias.</p>
<p>Downdraft lecho fijo/móvil. Procesos simples Solo trazas de alquitrán en el gas.</p>	<p>Se permite una cantidad limitada de alquitrán en la alimentación. Puede sufrir taponeo y forma escorias. Tamaños pequeños de alimentación.</p>
<p>Lecho Fluidizado. Flexible en la cantidad de alimentación y composición. Alta cantidad de alquitranes combustibles. Puede presurizarse Alta cantidad de CH₄ en el gas producto. Alta capacidad Volumétrica Facil control de Temperatura.</p>	<p>Limite de temperatura por formación de cenizas que forman clinkler. Gas producción con altas temperaturas. Alto contenido de cenizas en el gas. Posibilidad de arrastrar C en las cenizas.</p>
<p>Lecho fluidizado circulante Proceso Flexible Temperatura de operación superior 850 °C</p>	<p>Problemas de agotamiento y corrosión. Control operacional pobre usando biomasa.</p>

2.11 Pre-tratamiento de la alimentación.

El grado de pretratamiento de la biomasa alimentada es dependiente de la tecnología de gasificación usada. Los problemas principales son:

Secado. La humedad contenida en la biomasa debe ser menor de 10 a 15% antes de la gasificación. Los vapores emitidos durante el secado contienen compuestos orgánicos volátiles (VOCs), los que requieren un apropiado sistema de control de contaminantes.

Tamaño de Partícula. En la mayoría de los gasificadores, el gas pasa a través de la biomasa y tiene que hacerlo con tal fuerza que soporte el peso de la alimentación anterior. El tamaño de partícula alimentado esta en el rango de 20-80 mm son los típicos.

Fraccionación. El contenido de nitrógeno y álcali en la biomasa son críticos, y son llevados corrientes arriba en la corriente de gas. Pequeñas partículas tienden a contener menor nitrógeno y álcali, así que la fraccionación en pequeñas partículas que ayudan a producir un gas con menores impurezas.

Propiedades de la alimentación.

Combustible con humedad superior de 30% hacen la ignición difícil y reduce el CV del gas producto debido a que necesita evaporar la humedad adicional antes de la combustión/gasificación pueda ocurrir. Un alto contenido de humedad reduce la temperatura alcanzada en la zona de oxidación resultando en un crackeo incompleto de los hidrocarburos soltados en la zona de pirolisis. Niveles altos de humedad en presencia de CO produce H_2 y a su vez al incrementarse la cantidad de H_2 produce más CH_4 por hidrogenación directa. La ganancia de H_2 y CH_4 en el gas producto no compensa sin embargo la energía perdida debido a que se reduce el contenido de CO y además da un gas producto con menor CV.

Contenido de cenizas.

Alto contenido de materia mineral puede hacer a la gasificación imposible. La temperatura de oxidación es frecuentemente superior al punto de ebullición de la ceniza de la biomasa, teniendo problemas de clinklerización y subsecuentemente bloquear la alimentación. Clinker es un problema por un contenido de ceniza superior a 5%, especialmente si la ceniza tiene un alto contenido de óxidos de álcali y sales.

Compuestos Volátiles.

El gasificador debe estar diseñado para destruir alquitrán y hidrocarburos pesados liberados durante la etapa pirolisis del proceso de gasificación.

Tamaño de Partícula.

El tamaño de partícula a alimentar depende de las dimensiones del reactor y es típicamente del 10-20% del diámetro del reactor. Las partículas más grandes pueden formar camas con lo que se previene que la alimentación se mueva hacia abajo. Mientras que las partículas

más pequeñas tienden a bloquear al aire disponible, llevando a una alta caída de presión y en consecuencia cierre del gasificador.

2.12 Remoción de alquitrán.

Los compuestos con alto peso molecular en las corrientes del gasificador son condensadas a temperaturas $<400^{\circ}\text{C}$. El material condensado, llamado alquitrán es parcialmente depositado en las paredes de la tubería y pequeñas cantidades en forma de aerosol esta en el gas.

El tipo de Biomasa en gran parte determina la naturaleza de alquitrán producido, lo cual es también influenciado por el proceso de gasificación y las condiciones de operación. La gasificación con aire produce alquitrán de baja densidad, viscosidad y reactividad, mientras que la gasificación con vapor produce un alquitrán líquido con bajo peso molecular. Temperaturas altas de gasificación da un alquitrán con bajo contenido de oxígeno, constituido en su mayoría por hidrocarburos. Se ha determinado que el gasificador downdraft es el mas capaz de producir gas libre de alquitrán.

Dos estrategias pueden ser usadas para remover el alquitrán:

- Mejora de la tecnología de gasificación
- Desarrollo de un proceso para remover el alquitrán.

El alquitrán puede ser dividido en compuestos de menor peso molecular usando un catalizador o un proceso termal: la división con catalizador se lleva a cabo a temperatura de $800-900^{\circ}\text{C}$ y el craqueo termal se lleva a acabo a $900-1100^{\circ}\text{C}$. Una gasificación se realiza en el rango de $800-900^{\circ}\text{C}$, el tratamiento térmico requiere añadir energía para calentar el gas, lo cual usualmente es logrado por la introducción de un pequeño volumen de aire que permita la combustión de parte del gas para alcanzar la temperatura, mientras que el craqueo térmico reduce la eficiencia global de la conversión de biomasa en energía. Por lo tanto el uso de catalizadores como dolomita, olivino y compuestos de níquel son preferentemente utilizados. La uniformación de la temperatura y presión es una buena combinación para un craqueo de alquitrán.

La producción de un gas con un muy bajo contenido de alquitrán es mejor logrado por enfriamiento del gas a $60-80^{\circ}\text{C}$ con agua y usar precipitadotes electroestáticos para capturar algunos aerosoles.

2.13 Trazas de Impurezas.

Para el uso final del gas debe de eliminarse antes las trazas de impurezas como N, S, Cl y otros elementos volatilizados de la biomasa durante la gasificación. Los compuestos de N son principalmente amonio y algún ácido cianhídrico que no son fáciles de remover por filtración pero requieren tener un lavado con agua o soluciones acuosas a 50°C .

Cloro contenido en la biomasa se presenta usualmente en forma de HCl en el gas, la concentración depende de la alimentación y las condiciones de gasificación. Para eliminar el HCl se utilizan lavadores o absorbedores con materiales como CaO/MgO.

Los compuestos álcali en la biomasa, particularmente Na y K, son volátiles a altas temperatura pero es incierto cuales componentes estan todavía en el gas. Los compuesto álcali causan corrosión de los filtros de cerámica y algunas partes de las turbinas y el mejor camino para reducir las concentraciones es enfriar los gases a 500 °C para condensar los compuestos y luego filtrar el gas.

Las ventajas y desventajas de algunos tipos de gasificadotes para la producción de gases de bajo CV (valores caloríficos) son resumidas en la tabla 2.4 .

La selección del tipo de gasificador y su diseño depende de un gran número de factores; la influencia de las propiedades de las alimentaciones (químicas y físicas); las características del gas producto requerido; y las variables de operación involucradas.

A continuación se enlistan los criterios clave para seleccionar un gasificador.

- Costo Capital del gasificador y las unidades de limpieza del gas deben de ser lo mas bajo posible.
- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- El gasificador debe de ser robusto y sin partes móviles.
- Preparaciones de la alimentación como secado, separaciones, reducción de tamaño, deben de ser evitados.

Las características de un gasificador de lecho fluidizado que lo hacen parecer menos atractivos son:

- Diseños y operación complejos.
- Requiere de un tamaño de partícula para ser alimentado.
- El gas producto tiene alto contenido de alquitrán por lo que debe limpiarse posteriormente

2.14 Otros aspectos que influyen en el proceso de gasificación

Existen otros muy diversos aspectos que influyen en el comportamiento de los gasificadores. A continuación se mencionaran algunos.

a) Temperatura:

La temperatura en la zona de reacción afecta directamente a las constantes de equilibrio de las reacciones en proceso. Las temperaturas elevadas, favorecen las reacciones endotérmicas, posibilitando la producción de gas de mejor calidad (mas rico en CO, H₂ y CH₄). Sin embargo, pueden provocar la fusión de las cenizas formando escoria y, en algunos casos, solidificando la sílice sobre la parrilla causando obstrucción parcial, lo que provoca la salida de funcionamiento del gasificador.

La temperatura de operación del gasificador usualmente determina la forma de remoción de cenizas. Temperaturas de operación debajo de los 1000 °C permiten la evacuación de las cenizas secas, mientras que en el rango de 1000-1200 °C se presenta la fundición parcial de

la ceniza formando conglomerados. Temperaturas arriba de los 1200 °C provocan que casi toda la escoria tenga que ser removida en forma líquida.

b) Presión:

Los gasificadores de lecho fijo que operan a presión atmosférica, pueden soportar una ligera presión positiva cuando se presenta un aumento en el flujo de oxidante, o con presión negativa, cuando existe succión.

Los gasificadores de flujo a contracorriente (*updraft*) operan generalmente con inyección del oxidante, ya que los ácidos piroleñosos arrastrados en los gases traen serios problemas a los escape. Los gasificadores con presión positiva, presentan mayores problemas de pérdidas, particularmente durante la carga.

Los sistemas de succión presentan menores problemas de pérdidas y son más utilizados en gasificadores de flujo concurrente (*downdraft*), en los cuales, los contenidos de ácido piroleñosos y alquitrán son menores.

En general, se puede afirmar que los gasificadores pueden operar tanto a presión atmosférica, como a elevadas presiones, pero la influencia de tanto de la temperatura como de la presión, afectan la composición final del gas de síntesis.

c) Materia prima para gasificación:

El uso de un determinado combustible, implica la selección de una clase de gasificador, de un comburente, de sistemas de salida de gases etc. Un factor muy importante es la granulometría de la materia prima empleada.

d) Humedad del combustible:

La humedad del combustible es un factor muy importante, principalmente cuando se utiliza madera. El poder calorífico del gas que se produce es altamente influenciado por la humedad del combustible, y de no existir suministro externo de calor, el sistema no puede operar eficientemente con humedad superior a 30%. Así también, la temperatura de la reacción disminuye con el aumento de la humedad.

2.15 Planta piloto de gasificación de biomasa Instituto de Ingeniería UNAM.

2.15.1 Bases de diseño.

Planta piloto de generación de electricidad por medio de la gasificación de residuos sólidos biomásicos.

Proceso Termoquímico.

Localización

El laboratorio de gasificación de biomasa del Instituto de Ingeniería esta ubicado en el Jardín Botánico de Ciudad Universitaria de la UNAM y actualmente se encuentra en fase de construcción.

Proyecto 2006-12/95-3915 UNAM, Instituto de Ingeniería, Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de Ciudad Universitaria por medio de la gasificación de residuos biomásicos.

Debido a las altas temperaturas alcanzadas durante la gasificación y a las características térmicas del gasificador se pretende manejar un Factor de servicio 0.9 (328 días/año).

La planta tiene una capacidad de diseño y normal de 256 kWe dada por el generador acoplado al motor de combustión y una capacidad mínima de 200 kWe.

La planta seguirá operando bajo las siguientes condiciones anormales.

	Durante el arranque	Durante Operación
Falla de electricidad	NO	SI
Falla de aire	NO	NO
Falla de alimentación de Biomasa	NO	NO

El diseño del gasificador de biomasa así como la estructura que lo soporta están acondicionados para futuras ampliaciones, como en caso de trabajar en lecho fluidizado.

Especificaciones de las Alimentaciones de proceso

La biomasa deberá almacenarse protegida del agua, para su posterior traslado continuo a la tolva de alimentación asegurando siempre el suministro al gasificador.

La mayoría de los procesos de conversión de la biomasa en energía requieren que el contenido de humedad no sea superior al 30%, por lo que generalmente el combustible tiene que ser previamente acondicionado para su uso, el contenido de cenizas no debe exceder el 5%, la biomasa generalmente tiene un poder calorífico en el rango 15-20 MJ/kg. Los residuos biomásicos entran a un flujo de 10-40 kg/hr con un tamaño de partícula no mayor a 5 cm.

El aire alimentado al gasificador a volumen de 627 m³/hr.

El aire, fluido empleado para el enfriamiento del gas de síntesis, se encuentra a las condiciones normales de 25 °C y 1 atmósfera de presión. Se espera que a la salida del intercambiador de calor el aire se encuentre a 90 °C, temperatura que se especifica por diseño debido a que con esta condición se evita el cambio de fase del agua presente en el aire como humedad libre, condición indeseable debido a los problemas de corrosión que se ocasionarían en el intercambiador de calor.

Las propiedades del aire a estas condiciones son:

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad	kg/m ³	1.05
Capacidad calorífica	kcal/m ³ °C	0.2410
Capacidad calorífica	kcal/kg °C	0.2290
Conductividad	kcal/h m °C	0.0248
Viscosidad	kg/m h	0.0728

Tabla 2.5 Propiedades del aire

Especificaciones de productos

El volumen del gas de síntesis a 600 °C es de 175.8 m³/h. La composición química media del gas de síntesis obtenido de la gasificación de la madera el peso molecular, la densidad y la viscosidad de cada componente a 2 atmósferas de presión absoluta y 600 °C se muestran en la tabla siguiente:

Componente	Porcentaje	Peso molecular (g/mol)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad (g/cm s)	
1	CO ₂	11	44	1.228	5.403E-04
2	CO	20	28	0.782	4.882E-04
3	H ₂	12	2	0.056	1.245E-04
4	CH ₄	5	16	0.447	3.413E-04
5	N ₂	52	28	0.782	5.072E-04

Tabla 2.6 Composición química del gas de síntesis

Valor calorífico del gas de síntesis: 5.9 MJ/Nm³

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo volumétrico	m ³ /h	60.0
Densidad	kg/m ³	0.772
Flujo másico	kg/h	46.33
Capacidad calorífica	kcal/m ³ °C	0.321
Capacidad calorífica	kcal/kg °C	0.416
Conductividad	kcal/h m °C	0.095

Tabla 2.7 Propiedades del gas de síntesis

La ceniza presente en el gas de síntesis se encuentra en cantidades que varían desde los 0.5 a 5 g/m³ de gas, en tanto que los contenidos de alquitranes en el gas suelen variar desde los 100 mg/m³ hasta los 2000 mg/m³

El gas de síntesis alimentado a los motores de combustión debe de cumplir con las siguientes características para evitar posibles taponamientos.

Es importantes lograr una disminución en la corriente del gas de síntesis a valores que van desde los 10-100 mg/m³ de gas; debido a que estos compuestos condensan en las superficies frías (80 °C) o forman aerosoles ocasionando problemas de taponamiento y ensuciamiento, problemas indeseados para cualquier instalación; en tanto que el contenido en polvo no debe exceder los 1.536 g/m³ de gas.

Los desechos generados serán recolectados para su posterior tratamiento.

2.15.2 Descripción del proceso

El propósito primordial del proceso de gasificación de biomasa es el convertir la mayor cantidad de energía química, producida durante la gasificación de los residuos biomásicos, en energía eléctrica, sin embargo cabe considerar la eficiencia de cada uno de los equipos para poder determinar el grado de conversión

El proceso comienza con la alimentación de 10-40 kg/hr de mezcla de biomasa o residuos municipales a la tolva de alimentación **TV-101**, a las condiciones de tamaño (virutas de madera) y humedad (12-15% HR) requeridas, el tamaño es obtenido mediante el uso de un molino de cuchillas **M-101** y la deshumidificación de la madera es lograda mediante la introducción de aire seco y caliente proveniente de el intercambiador de calor **EA-101**, para medir la humedad se utilizará el sensor de humedad FH A696 MF ALMEMO® conectado al registrador de datos 2290-8 ALMEMO®.

La tolva galvanizada para evitar corrosión se encuentra acondicionada con un tornillo sin fin de acero inoxidable, el cual se encarga de transportar la biomasa triturada a la boquilla de alimentación del gasificador **RA-101**, en donde mediante gravedad se introduce la carga de alimentación a control de flujo. Una vez introducida la carga comienzan a llevarse a cabo las reacciones de reducción, combustión y volatilización, utilizando gas LP a control de flujo como agente gasificante y alimentando aire proveniente del compresor **CO-101** a 3 kPA igualmente sometido a control de flujo.

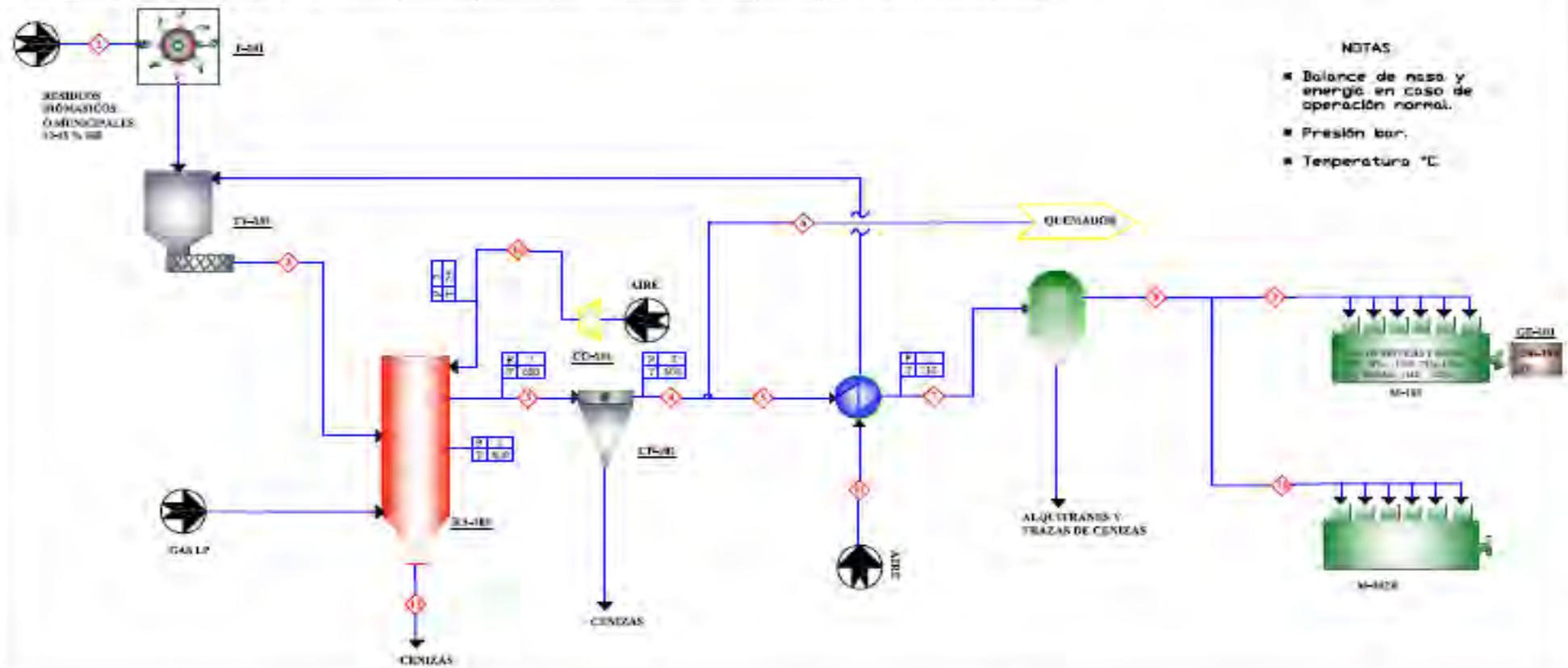
El gasificador de tipo “flujo descendente” es monitoreado constantemente en su temperatura mediante termopares tipo K (NiCr) con rango de medición de -200 a 1370 °C instalados a lo largo del gasificador y los datos son almacenados en un ordenador conectado al registrador 2290-8 ALMEMO®.

Se retiran constantemente las cenizas acumuladas en la parte inferior del gasificador como subproducto de la reacción de combustión de los residuos biomásicos. Los gases producto de la gasificación están conformados principalmente de CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂, cenizas y alquitranes y abandonan el gasificador a una temperatura de 500 a 600 °C, la limpieza de el gas se lleva a cabo inicialmente en un colector de polvos **CP-101** 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 **FA-101**.

Los gases libres de partículas son enfriados al pasar por el intercambiador de calor **TA-101** 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 y que utiliza gas He como acarreador. 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 **M-101/R**. Los motores están conectados al generador de electricidad **GE-101** en donde se producen de 200-300kW.

BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Flujo Biomasa (g/h)	20	20												
Flujo CH4 (m³/h)				7.14	7.14		7.14	7.14	7.14	7.14				
Flujo CO2 (m³/h)				21.42	21.42		21.42	21.42	21.42	21.42				
Flujo CO (m³/h)				35.7	35.7		35.7	35.7	35.7	35.7				
Flujo H2 (m³/h)				21.42	21.42		21.42	21.42	21.42	21.42				
Flujo H2O (m³/h)				74.97	74.97		74.97	74.97	74.97	74.97				
Flujo total gas total				179.5	179.5		179.5	179.5	179.5	179.5				
Flujo total gas combustible total				54.25	54.25		54.25	54.25	54.25	54.25				
Flujo aire (m³/h)											427	42		
T (°C)	30	30	600	600	600		150	150	150	150	30	35		
P (bar)	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		
Densidad			5 g/m³	1 g/m³	1 g/m³		1 g/m³	0.5 g/m³	0.5 g/m³	0.5 g/m³			150 g/h	300 g/h
Abstracciones (mg/m³)			1000	1000	200		100	100	100	100				
Extrac.			gas	gas	gas		gas	gas	gas	gas				
Volum. Limpieza	1700 m³/h	1700 m³/h		0.9 m³/h	0.9 m³/h		0.9 m³/h	0.9 m³/h	0.9 m³/h	0.9 m³/h				

CLAVE	LISTA DE EQUIP.	CARACTERÍSTICAS
P-01	BOLO DE BOMBA	Mód. 2hp. caudal agua 0.2 m³/h
V-01	VALVULA DE ALIVIA	Diámetro 40". Acero 316, acero 304/304L
BA-01	BALANZADOR DE BIOMASA	Diámetro 20". Acero 316, acero 304/304L
EL-01	ENFRACADOR DE GAS	Longitud 1.12 m. Diámetro 400mm. Acero 316
FL-01	FILTRO DE GAS	Diámetro 1.12 m. Diámetro 400mm. Acero 316
CO-01	COLLECTOR DE CENIZAS	Diámetro 1.12 m. Diámetro 400mm. Acero 316
CO-02	COMBUSTOR	360 rpm 1.5 hp. 50 gal. 150 cm
M-01	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA (ETANOL Y DIESEL)	3 cilindros en línea, 150 HP a 2100 rpm
M-02H	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA (ETANOL)	
M-02L	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA (DIESEL)	



- NOTAS**
- Balance de masa y energía en caso de operación normal.
 - Presión bar.
 - Temperatura °C

DISEÑO DE PROYECTO		CP. REGIA	FEELICACIONES			APROBACION		AUTORIZACION	
REV.	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

BARRERA GALVAN MARO ALBERTO
 INSTITUTO DE INGENIERIA
 DIAGRAMA FLUJO DE PROCESO
 PLANTA DE GENERACION DE
 ELECTRICIDAD POR MEDIO DE LA
 GASIFICACION DE BIOMASA

2.16 Características de equipos de proceso



Fig.2.13 Molino de cuchillas Veyco ®

Molino de cuchillas. Cuchillas fabricadas en acero D-2 tratadas térmicamente a 56/58 Rc que garantizan una alta resistencia al impacto y máxima durabilidad de los filos de corte. Tres cuchillas rotativas, dos cuchillas fijas. Diámetro de rotor de 8'' Cribas fabricadas en placas roladas de acero de alta calidad con diferentes diámetros de barrenos. Cámara de molienda construida con placas de acero rectificadas y de gran espesor con diseño de fácil acceso que permite una rápida limpieza. Cuentan con una boca de alimentación grande de Tolva de carga (200x300mm) con deflector para evitar que el producto que entra a la cámara de molienda regrese.



Fig. 2.14 Tolva de alimentación



Fig. 2.15 Carcasa de tornillo Sin fin

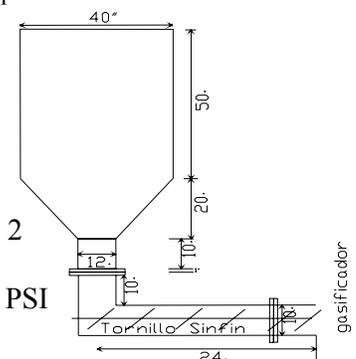


Fig. 2.16 Compresor de aire.

Tolva de alimentación. Construida en acero al carbón con diámetro de 40'' por 70'' de altura, con una brida 4'', totalmente galvanizada.

Tornillo Sin fin de acero inoxidable, impulsado con un motor de 2 HP y carcasa de acero galvanizado.

Compresor de aire 3450 rpm, 240 V, 7-3.2 HP, 60 gal, 150 PSI máximo.



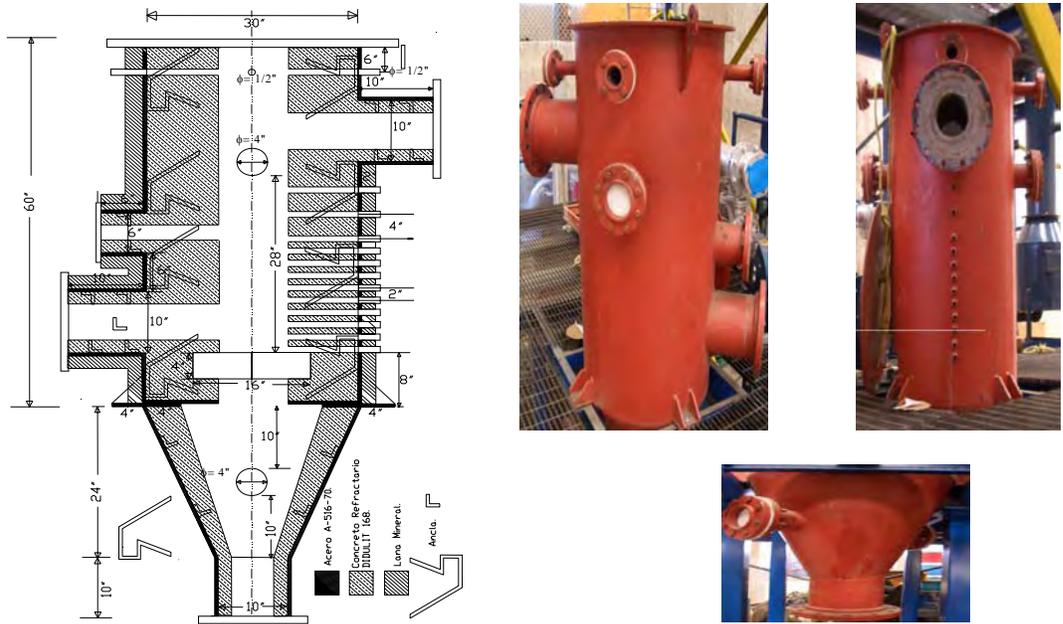


Fig. 2.17 Gasificador de biomasa de flujo descendente

Gasificador de Biomasa. Construido de acero A-516-70, con cuatro entradas de aire en la parte superior donde es introducido el aire, una entrada de alimentación conectada a la carcasa del tronillo sinfín, una salida de gas producto hacia el limpiador de gases, dos entradas de agente gasificante colocadas en la parte inferior, 15 orificios para termopares justo debajo de la alimentación. El gasificador tiene un diámetro de 30'' y esta recubierto de material refractario de alta alumina DIDURIT 18 en su interior reduciendo el diámetro interior a 20''. El lecho de biomasa está soportado por una rejilla de 14'', con perforaciones de 1'' a través de la cual salen las cenizas.

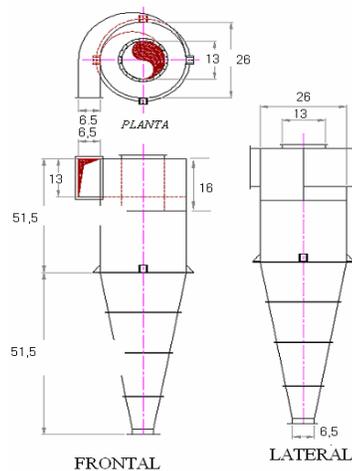


Fig. 2.18 Separador Ciclónico "Limpiador de gases" (Talleres Century S.A) * Unidades en cm

Limpiador de gases. Construido en acero inoxidable y con lámina de acero al carbón 1010 calibre 14, se encuentra al igual que el gasificador recubierto con material refractario con espesor de 8cm, debido a las altas temperaturas del gas que salen del gasificador, 0.05 m³/s según los cálculos realizados resulta ser la condición más favorable para la colección del 90% de las partículas presentes en el gas de síntesis.

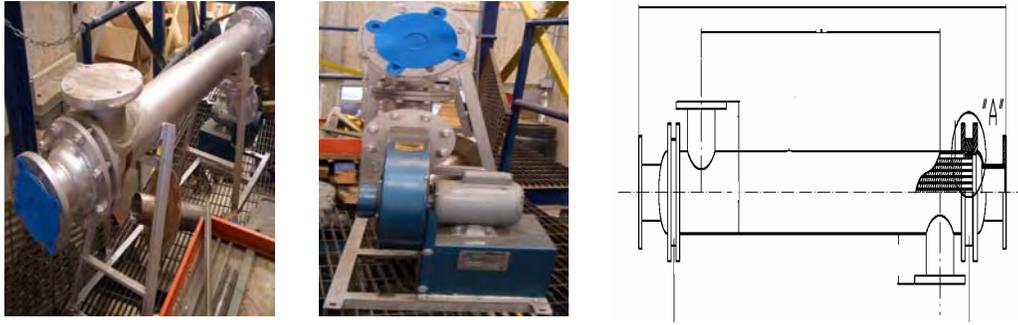


Fig. 2.19 Intercambiador de calor

Intercambiador de calor. Intercambiador de calor de tubos y coraza construido en acero inoxidable, con constante global de transferencia de calor $U = 9.8 \text{ kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, longitud de 1.12 m, el fluido caliente (gas de síntesis) circula por los tubos, mientras que el fluido frío (aire) impulsado mediante un ventilador es pasado por la coraza, la temperatura que entra al intercambiador es de aproximadamente 600°C y por diseño se espera una temperatura de 130°C a la salida, la caída de presión a través de los tubos se estima alrededor de 0.014 lb/plg^2



Fig. 2.20 Quemador de gases

Filtro de Bolsas.

Características

Diseño “Over the top” el cual previene fugas del producto no filtrado.

Construida en código ASME en acero al carbón, grado industrial.

Tapa con Manija

Canasta perforada y graduada longitudinalmente

Conexión para manómetros, venteo y drenaje

Dos válvulas de globo 2” de acero inoxidable instaladas, una en la salida y otra en la entrada de cada carcasa.

Bolsa filtrante de nylon de 7” de diámetro y 33” de longitud



Fig. 2.21 Filtro de bolsa
NS-122-LP-V

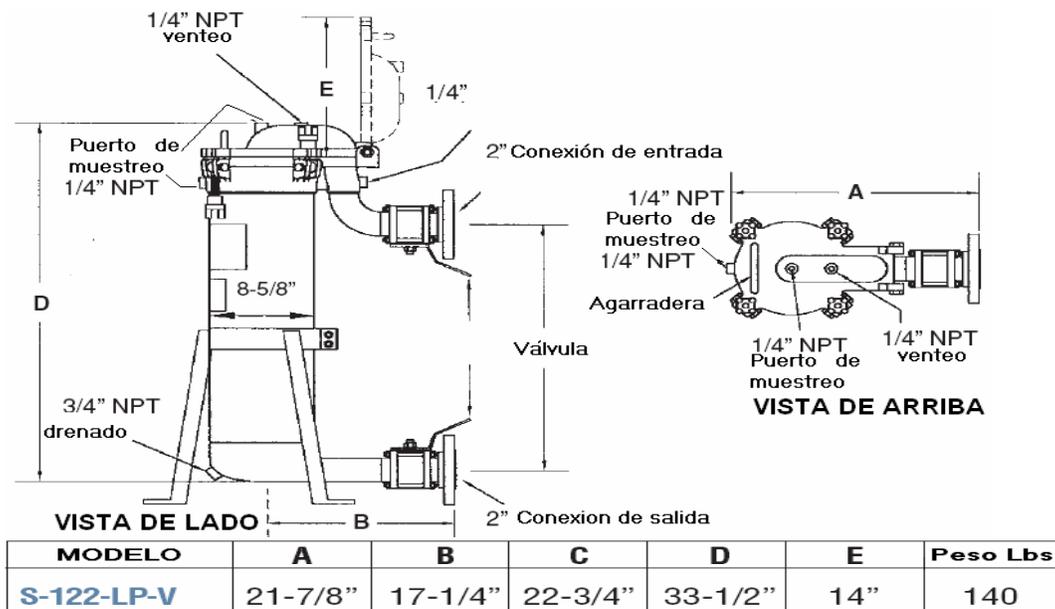


Fig 2.22 Dimensiones del filtro de bolsa



Fig. 2.23 Cromatógrafo de gases Buck Scientific 910.

Cromatógrafo de Gases. Cuenta con dos columnas separadoras Haysep D y Molecular Sieve 13X de 0.53 mm de diámetro, dos puertos de inyección uno para gases y el otro para líquidos, cuenta con un detector TCD y dos puertos para instalar otro tipo de detectores, trabaja a un régimen de 20 ml/min de Helio (fase móvil), en el panel de control se configuran los puntos de ajuste de los controladores de temperatura y presión, así como de la temperatura del horno de las columnas y el detector. El cromatógrafo es conectado a una computadora y con ayuda del software (Peak Simple) se obtienen los cromatogramas de los análisis realizados.

Parámetro	Característica
Cantidad de cilindros	6
Disposición de los cilindros	En línea
Ciclo de funcionamiento	4 Tiempos
Diámetro de los cilindros	128 mm
Carrera de los émbolos	155 mm
Cilindrada total	11967 cm ³
Relación de compresión	17.25:1
Presión de compresión normal	26 bar
Presión de compresión mínima	20 bar
Presión de compresión variación máxima	4 bar
Revoluciones Ralentí	600
Revolución nominal máxima	2400
Inicio de inyección	12 ° APMS
Combustible indicado	Diesel
Sistema de inyección	Electrónico
Sentido de rotación del volante	A la derecha
Juego de válvulas de admisión	0.30 mm
Juego de válvulas de escape	0.50 mm
Par motor máximo	204 mkg _f @ 2000/min
Consumo específico	192 g/ kWh (141 g/cvh) @ 1500/min
Potencia máxima	265 kW (360 cv) @ 2300/min

Motores Diesel-Gas de Síntesis.



Fig. 2.24 Motores Diesel Mercedes Benz OM 447 LA



Fig. 2.25 Generador Eléctrico STANFORD ® HCI-434-C1L-0080E

Generador Eléctrico. Acoplado al motor y con capacidad hasta de generar hasta 256 kW, frecuencia 60 Hz, 1800 rpm, 440 V, 3 fases, 420 A, temperatura de operación de 40 °C.



Fig. 2.26 Planta piloto de Generación de electricidad con capacidad de 250kW.

Fig. 2.27 PLANTA PILOTO DE GASIFICACION DE BIOMASA 250 kWe.
INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

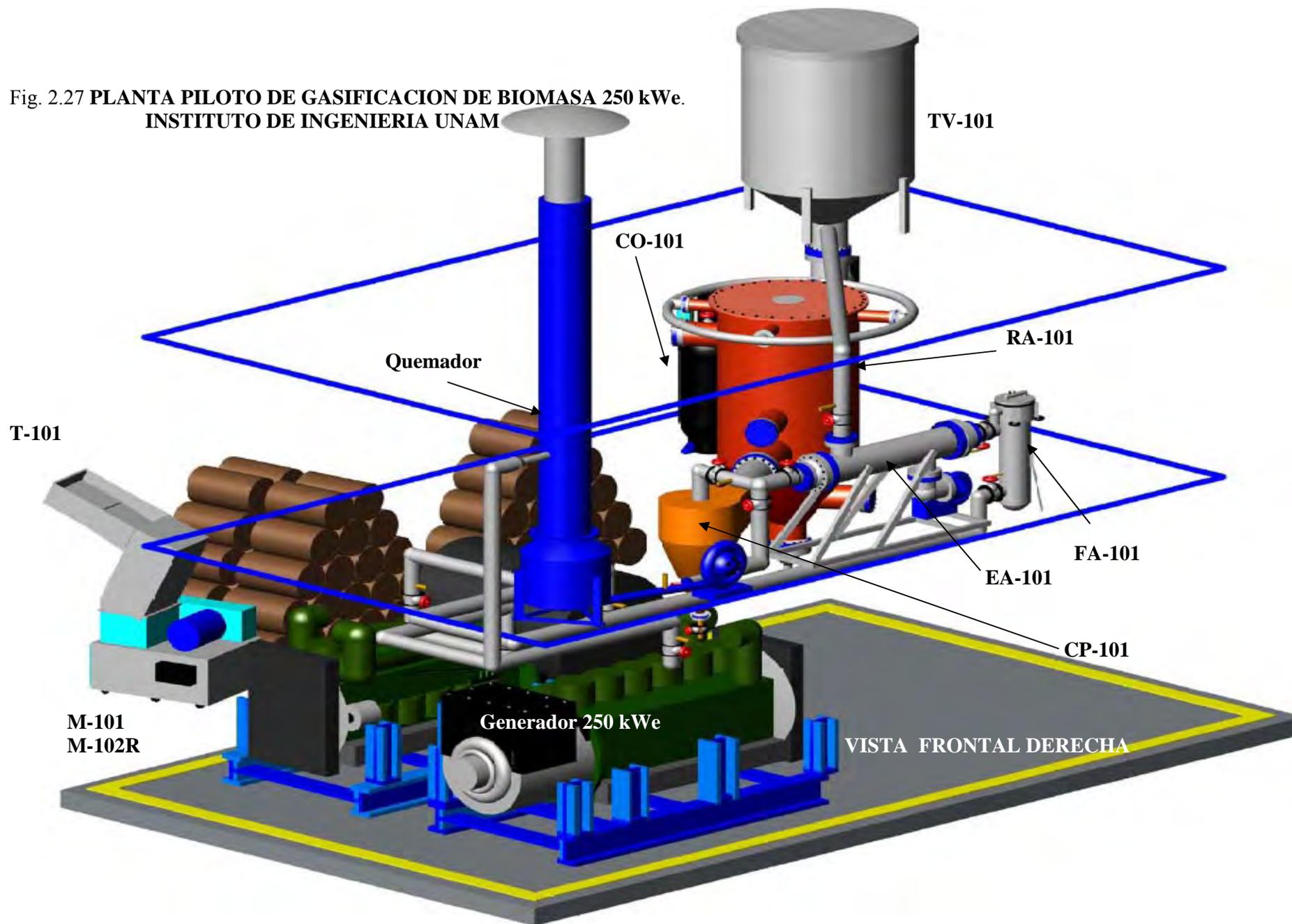
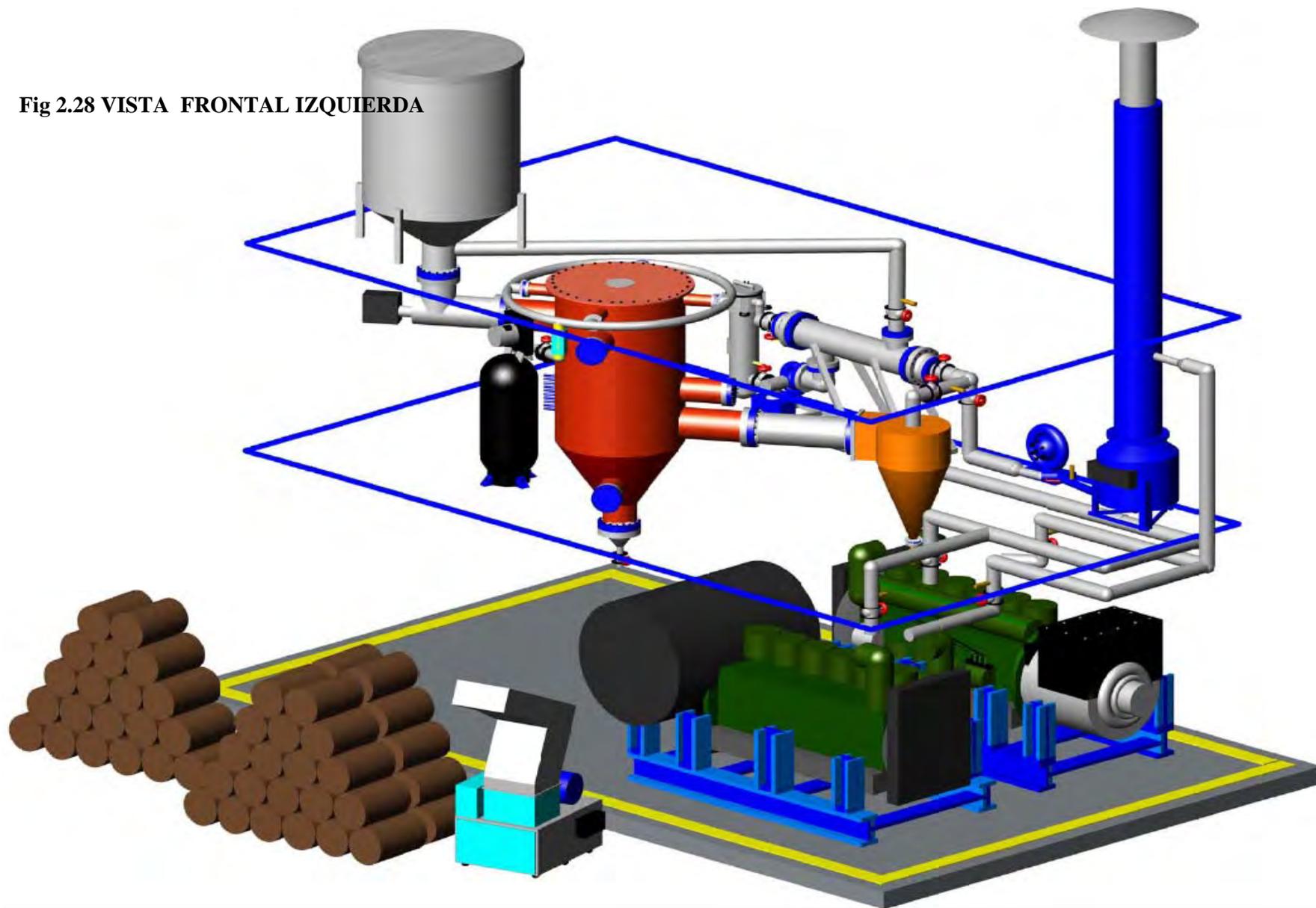
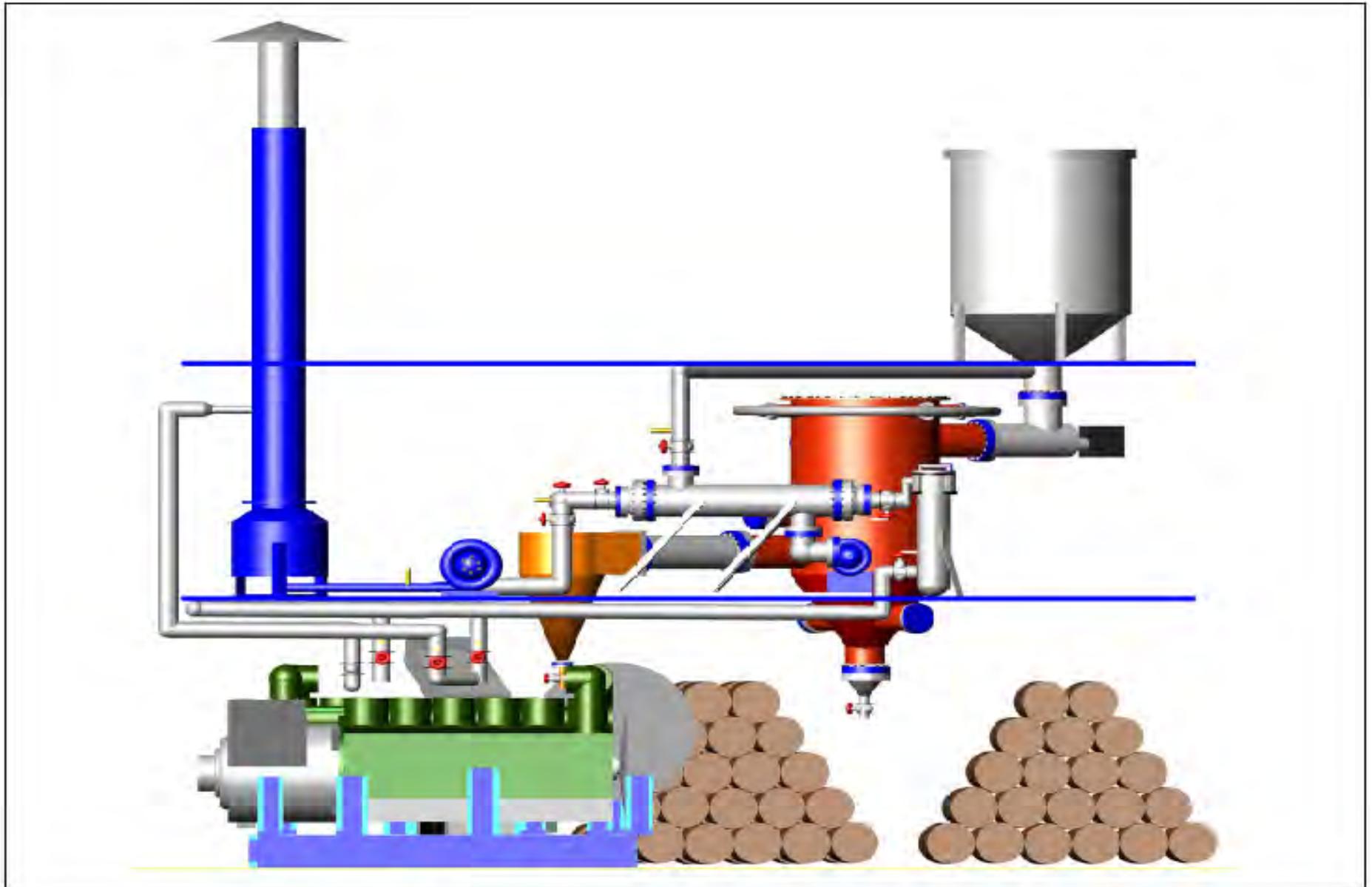


Fig 2.28 VISTA FRONTAL IZQUIERDA





CAPITULO III. INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

3 Variables a Medir.

Con el objetivo de tener conocimiento del funcionamiento y operación de cada uno de los instrumentos instalados en los diversos equipos, en este capítulo se desarrollaron los siguientes puntos.

- * Descripción de cada una de las variables a medir en el proceso de gasificación y los principios bajo los cuales son determinados.
- * Descripción de funcionamiento y rangos de operación de los instrumentos seleccionados para la medición de las variables.
- * Instalación, calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición.

Acondicionamiento de la Biomasa

- % Humedad
- Tamaño
- Poder calorífico de los residuos biomásicos.

Gasificador de Biomasa

- Temperatura
- ΔP Presión.
- Corrientes de Flujo de aire, combustible, residuos biomásicos y gas producto.

Intercambiador de Calor

- Temperatura
- Caída de de Presión

Filtro, Ciclón

- Caída de Presión.

Motores.

Sensores

- Presión en el múltiple de admisión.
- Posición del cigüeñal.
- Temperatura (aire, motor)
- Rpm.
- Factor Lamda (λ), relación aire/combustible.
- Flujo de entrada de aire y combustible.

Controladores

- ECU (Siglas en Ingles) Unidad Electrónica de Control.

Actuadores

- Mando de la mariposa.
- Unidad de Ignición.
- Bobinas.
- Bujías

3.1 Temperatura

La temperatura es un parámetro importante en todas las etapas, y por tanto en el rendimiento final del proceso. En concreto, las proporciones entre char, tar y gas en los productos de pirólisis dependen estrechamente de la velocidad de calentamiento y de la temperatura final alcanzada. Como idea general puede decirse que a altas velocidades de calentamiento y alta temperatura final se produce mayoritariamente gas, mientras que a temperaturas finales y velocidades de calentamiento menores se producen mayoritariamente líquidos o sólidos.

En los gasificadores de lecho fluidizado se tiene normalmente velocidades de calentamiento altas (hasta miles de °C/seg), mientras que en los reactores de lecho móvil las velocidades de calentamiento suelen ser moderadas (del orden de **0,2 - 0,5 °C/seg**).

En la etapa de gasificación propiamente dicha, dada la reversibilidad de la mayoría de las reacciones, la temperatura influye en los equilibrios de reacción. En general para distintos combustibles puede decirse que el aumento de temperatura favorece el aumento del contenido en el gas producto de H₂ y CO y decrecimiento de CH₄ y del H₂O.

3.1.1 Principios de Medición

Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y que son utilizados para medirla:

- a) Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- b) Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- c) Variación de resistencia de un semiconductor (termistor)
- d) F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopar)
- e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirometros de radiación)
- f) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad de sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.)

Se emplean los siguientes instrumentos:

Termómetros de vidrio, termómetros bimetalitos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros de resistencia, termopares, pirometros de radiación, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

Debido a sus características de fácil manejo y rápida respuesta se eligieron los termopares para llevar a cabo las mediciones de las temperaturas en el gasificador. A continuación se abunda más sobre su funcionamiento.

3.1.2 Termopares

T.S. Seebeck, 1821, observo que si se forma un circuito cerrado empalmando dos alambres de distinto material por sus dos extremos y se calienta una de las uniones mientras la otra se mantiene a temperatura ambiente, se produce en el circuito una corriente eléctrica. Así si dos hilos de cobre se conectan a los bornes de un galvanómetro por un extremo, y por el otro se unen mediante un pedazo de hierro, al calentar una de las uniones de cobre y hierro podrá comprobarse el paso de una corriente a través del aparato porque se desviara la aguja del galvanómetro. La diferencia de potencial así obtenida se llama fuerza electromotriz térmica (FEM).

La fuerza electromotriz (FEM) generada depende de la diferencia de temperaturas entre la junta caliente (comúnmente llamada junta de referencia), y la junta fría. Sin embargo, algunas leyes termoeléctricas afectan tanto al diseño del termopar como al uso de la fuerza electromotriz producida.

Existen dos leyes termoeléctricas que gobiernan la teoría y la practica de los termopares. Estas son conocidas como

- a) Ley de las temperaturas intermedias.
- b) Ley de los metales intermedios.

Ley de las temperaturas intermedias.

Esta ley establece que la suma de la FEM generada por dos termopares, uno con su junta fría a 0°C (32°F) y su junta caliente sujeta a una temperatura de referencia y el otro con su junta fría a la misma temperatura de referencia y su junta caliente a la temperatura de medición, es igual a la FEM generada por un solo termopar con su junta fría a 0°C (32°F) y su junta caliente a la temperatura de medición.

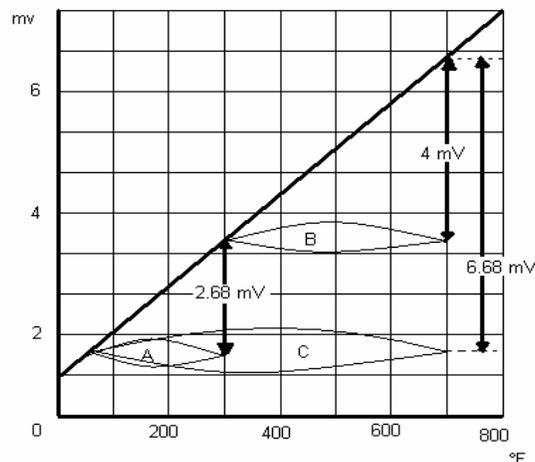


Figura 3.1 Gráfica de ley de las temperaturas intermedias.

Ley de los metales intermedios.

La ley de los metales intermedios establece que la introducción de un tercer metal dentro del circuito no tendrá efecto sobre la FEM generada si a lo largo de las juntas del tercer metal con los otros dos se mantiene siempre a una temperatura constante.

La curva que representa la FEM (E) en función de la temperatura (t) de la junta caliente, estando la fría a 0°C es aproximadamente una parábola.

$$E = at + b/2 (t^2)$$

Donde a y b son constantes. Estas constantes dependen de la naturaleza de los metales.

METAL	a	b
Cobre	2,86	0,008
Zinc	2,73	0,0138
Cadmio	3,11	0,0334
Hierro	13,2	-0,0286
Niquel	-19,16	-0,029
Cobalto	-15,51	-0,076
Mercurio	-3,21	-0,0168
Platino	-3,1	-0,0206

Tabla 3.1 Constantes a y b de metales utilizados en termopares

3.1.3 Tipos de Termopares

Tipo K (Cromo (Ni-Cr) Chromel / Aluminio (aleación de Ni -Al) Alumel): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200 °C a +1.200 °C y una sensibilidad 41µV/°C aprox.

Tipo E (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de 68 µV/°C.

Tipo J (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a 760 °C ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de -40°C a +750°C y una sensibilidad de ~52 µV/°C.

Tipo N (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros. Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad (10 µV/°C aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300 °C).

Tipo B (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800 °C. El tipo B por lo general presentan el mismo resultado a 0 °C y 42 °C debido a su curva de temperatura/voltaje.

Tipo R (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1.300 °C. Su baja sensibilidad (10 µV/°C) y su elevado precio quitan su atractivo.

Tipo S (Platino / Rodio): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1.300 °C, pero su baja sensibilidad (10 µV/°C) y su elevado precio lo convierten en un

instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro (1064,43 °C).

Tipo T: es un termopar adecuado para mediciones en el rango de -200 °C a 0 °C. El conductor positivo está hecho de cobre y el negativo, de constantán.

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el rango de temperaturas a determinar...

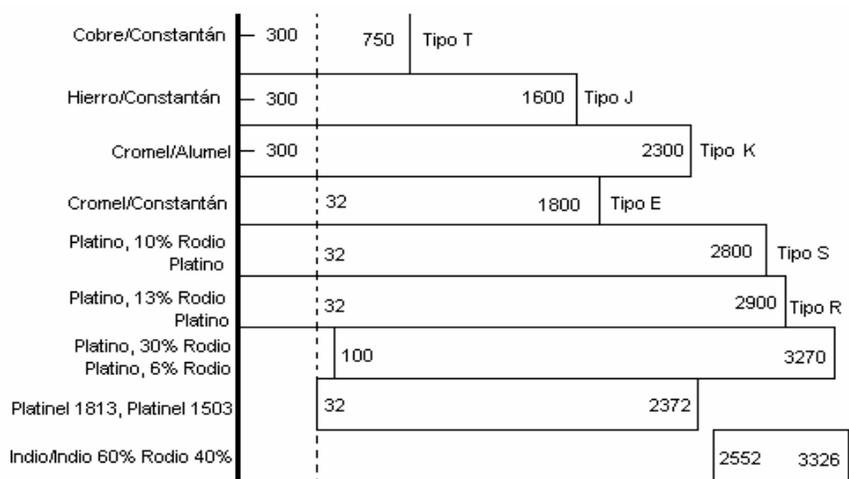


Fig. 3.2 Intervalos de trabajo de vario termopares, T (°F) * Manual del Ingeniero Químico, Robert H. Perry, Séptima Edición Volumen II Pag. 10-9.

3.1.4 Termopar Almemo ® tipo K

Características +

Temperatura °C	Tipo K mV
-270	-1.00
-200	-3.554
-100	-5.891
0	0
100	4.096
200	8.138
300	12.209
400	16.397
500	20.644
600	24.905
700	29.129
800	33.275
900	37.326
1000	41.276
1100	45.119
1200	48.838
1300	52.41

Tabla 3.2 Características Termopar Almemo



Termopar tipo K Almemo ®

3.1.5 Instalación



Fig. 3.3 Orificios en el gasificador para las sondas de temperatura

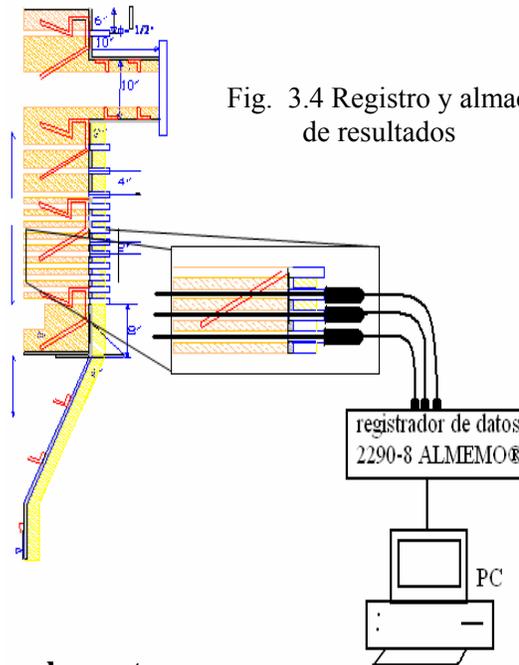


Fig. 3.4 Registro y almacenamiento de resultados

3.1.6 Precauciones y consideraciones al usar termopares

La mayor parte de los problemas de medición y errores con los termopares se deben a la falta de conocimientos del funcionamiento de los termopares. A continuación, un breve listado de los problemas más comunes que deben tenerse en cuenta.

Problemas de conexión

La mayoría de los errores de medición son causados por uniones no intencionales del termopar. Se debe tener en cuenta que cualquier contacto entre dos metales distintos creará una unión. Si lo que se desea es aumentar la longitud de las guías, se debe usar el tipo correcto del cable de extensión. Así por ejemplo, el tipo K corresponde al termopar K. Al usar otro tipo se introducirá una unión termopar. Cualquiera que sea el conector empleado debe estar hecho del material termopar correcto y su polaridad debe ser la adecuada.

Resistencia de la guía

Para minimizar la desviación térmica y mejorar los tiempos de respuesta, los termopares están integrados con delgados cables. Esto puede causar que los termopares tengan una alta resistencia, la cual puede hacer que sea sensible al ruido y también puede causar errores debidos a la resistencia del instrumento de medición. Una unión termopar típica expuesta con 0,25 mm tendrá una resistencia de cerca de 15 ohms por metro. Si se necesitan termopares con delgadas guías o largos cables, conviene mantener las guías cortas y entonces usar el cable de extensión, el cual es más grueso, (lo que significa una menor resistencia) ubicado entre el termopar y el instrumento de medición. Se recomienda medir la resistencia del termopar antes de utilizarlo.

Descalibración

La descalibración es el proceso de alterar accidentalmente la conformación del cable del termopar. La causa más común es la difusión de partículas atmosféricas en el metal a los extremos de la temperatura de operación. Otras causas son las impurezas y los químicos del aislante difundiendo en el cable del termopar. Si se opera a elevadas temperaturas, se deben revisar las especificaciones del aislante de la sonda.

Ruido

La salida de un termopar es una pequeña señal, así que es propenso a absorber ruido eléctrico. La mayoría de los instrumentos de medición rechazan cualquier modo de ruido (señales que están en el mismo cable o en ambos) así que el ruido puede ser minimizado al retorcer los cables para asegurarse que ambos recogen la misma señal de ruido. Si se opera en un ambiente extremadamente ruidoso, (Ej: cerca de un gran motor), es necesario considerar usar un cable de extensión protegido. Si se sospecha de la recepción de ruido, primero se deben apagar todos los equipos sospechosos y comprobar si las lecturas cambian.

3.2 Humedad

Influye sobre la viabilidad del proceso. Influye sobre el balance térmico del proceso pues una parte del calor producido debe utilizarse para evaporar esa cantidad de agua. También influye sobre la composición del gas de salida, incluso desplazando algunas reacciones. En general se aceptan humedades de entre 10 y 20 % para lechos móviles y hasta el 40 % para lechos fluidos. Existen por tanto distintos tipos de equipos adecuados para el tratamiento de sólidos de características diferentes dependiendo de cuales sean las aplicaciones buscadas.

3.2.1 Principios de Medición.

En la determinación de la humedad de los sólidos se emplean varios métodos.

Secado Térmico. Que es el método más antiguo; se emplea normalmente como comprobación de los demás sistemas. Consiste en aplicar calor al material en estado sólido, granular, fibroso e incluso en forma líquida hasta que no pueda liberarse más agua a no ser que se aumente la temperatura. El agua se evapora mientras su presión de vapor dentro del material es mayor que la del aire del horno que le rodea; de esta modo pueden mejorarse las condiciones de secado trabajando a temperaturas altas y manteniendo baja humedad dentro del horno (con sustancias absorbentes del agua o en hornos al vacío). La muestra del producto debe mantenerse un cierto tiempo a la temperatura de secado para llegar a un equilibrio de humedad en su interior, pudiendo variar este tiempo de 2 horas a 15 horas.

El método de conductividad, se basa en la medida de la conductividad de una muestra del producto al pasar por una corriente a través de los electrodos en contacto con el mismo. Estos electrodos forman parte de un puente de Wheatstone con la indicación, el registro o el control de la humedad.

El método da buenos resultados y es repetitivo. Sin embargo, la lectura viene influida considerablemente por el estado de la superficie de contacto de los electrodos, por la presión de los mismos en el material, por la temperatura, etc. En particular en los materiales de alta resistividad como el papel.

El método de capacidad, se basa en la variación de la constante dieléctrica que el material experimenta entre el estado húmedo y el estado totalmente seco. Por ejemplo, en el caso del papel, la variación puede estar entre 2,8 al salir del horno y 80 que es la constante dieléctrica del agua.

Una molécula de agua está compuesta por 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno. Los átomos de hidrógeno se encuentran unidos al oxígeno a través de un enlace covalente, que se produce al compartir un electrón, sin embargo, lo anterior ocurre en forma

desequilibrada geométricamente hablando. Lo cual se traduce en que una molécula de agua tenga una disposición neta de sus cargas, similar a las de un dipolo eléctrico.

Los electrodos que constituyen las placas de un condensador cuyo dieléctrico es el material cuya humedad ha de medirse forman parte de un oscilador de radiofrecuencia cuya salida alimenta un puente de medida de capacidades.

1. Fuente de tensión continua estable regulable de ± 5 V y 300 mA.
2. Oscilador de onda cuadrada de 10 Vpp.
3. Resistencia referencia y bornes de sensado.
4. Rectificador de media onda.
5. Promediador.
6. Transmisor de 4-20 mA.

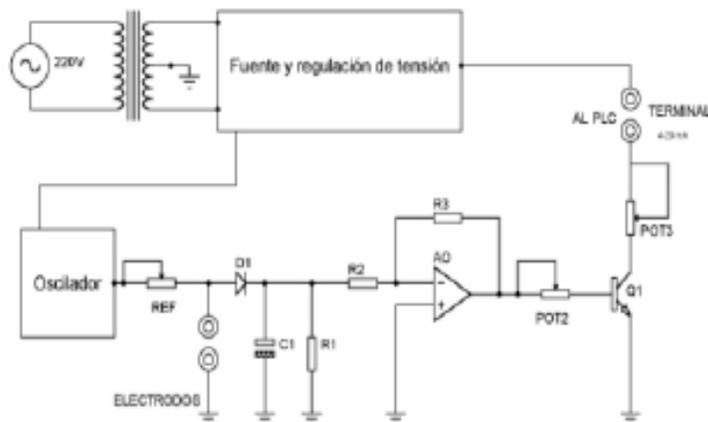


Fig. 3.5 Esquema electrónico del medidor de humedad.

El sistema se emplea en materiales con un contenido de humedad menor de 20 a 25% y es independiente de la presión del contacto de los electrodos o de los cambios en la temperatura.

Método de infrarrojos, El método de infrarrojos aplicado preferentemente en la fabricación de papel, una fuente de rayos infrarrojos emite un haz de rayos hacia la superficie del material cuya humedad desea medirse. La onda emitida esta seleccionada de tal forma que el agua contenida en el producto absorbe la máxima radiación infrarroja mientras que la celulosa absorbe el mínimo. (Creus Solé, 2005).

Las moléculas (cualesquiera), no son estructuras rígidas e inmóviles, poseen movimientos rotatorios alrededor del centro de masa, y movimientos vibratorios (de sus componentes atómicos), similares a un movimiento armónico simple. Ambas energías, tanto la rotatoria como la de vibración están cuantizadas, y para que la molécula pase de un nivel energético a otro se requiere por lo tanto, de una cantidad de energía específica, que depende del tipo de molécula que se esté considerando. Lo anterior origina la teoría de espectros moleculares. Dado que las ondas electromagnéticas poseen cierta cantidad de energía dependiendo de la longitud de onda de la misma, las moléculas absorberán o emitirán ondas de frecuencias muy específicas, cuya energía sea equivalente a las transiciones energéticas que presente la molécula.

3.2.2 Sensor de humedad Modelo FH A696 MF ALMEMO®



Fig. 3.6 Sensor de Humedad en Biomasa

Características.

Descripción	Sensor de humedad para determinación de la humedad en materiales de construcción minerales, Madera, papel y card boards
Principio de medición	Medición indirecta de la humedad por determinación de la constante dieléctrica, la medición de la capacidad es hecha por medio del uso de una alta frecuencia eléctrica en cual para a través del material sin daña al mismo.
Resolución.	0.1%
Rango de Medición	Productos de construcción minerales de 0 hasta 20%, maderas desde 0 hasta 50%, papel y card board desde 0 hasta 20%
Manufactura	Plástico con integrated electronicos, 40mm dia., largo 130mm
Bloque de conexión	Aluminum/plastic, 20 x 25 x 70mm
Measuring Probe	Stainless steel spring, 70 x 35, thickness 0.5mm
Peso	260g
Rango de operación	0 to 60°C (temperature nominal 15 to 25°C) 10 to 90% HR

Tabla 3.3 Características del sensor de humedad Almeno.

Dada la naturaleza polar del agua, en presencia de un campo eléctrico, se produce la alineación de la moléculas, siendo esta la causa del porque el agua presenta un constante dieléctrica (80) mayor que el aire. Luego si se utiliza como dieléctrico, una mezcla gaseosa que contenga vapor de agua, el valor C del condensador va a variar dependiendo de la cantidad de moléculas de agua que estén presentes entre las placas. En consecuencia basta medir, o convertir el cambio de capacitancia, a otro tipo de variable eléctrica más fácil de manejar, lo anterior se puede lograr con un puente de Wheatstone de condensadores, o un circuito resonante, o también utilizar el condensador como componente de un oscilador estable que varía su frecuencia de acuerdo al cambio de C.

3.3 Presión

En general el aumento de la presión desfavorece las reacciones de gasificación, aumentando las proporciones de hidrocarburos y alquitranes. Los gasificadores de lecho móvil suelen trabajar a **presión atmosférica** y los de lecho fluidizado suelen trabajar a presión, alcanzándose hasta los 30 bars en algunos casos.

3.3.1 Principio de Medición

El transductor **Piezo-Resistivo** convierte la presión en cambios de resistencia. La tensión de la presión aplicada es medida a lo largo de un puente resistivo activo de cuatro hilos mientras que la temperatura es medida a partir de un secundario del puente principal.

El propósito de la medición de temperatura es el de que la salida del transductor de presión pueda ser compensada por aquellos errores inducidos por la temperatura ('compensada en temperatura' para una precisión aumentada de presión a lo largo de un amplio rango de temperatura, 15°C a 125°C / 59°F a 257°F).

3.3.2 Sensor (Piezo resistivo) de Presión “Alborn”.

Este sensor de presión se basa en materias semiconductoras. El cambio de resistencia se basa en la movilidad cambiada de los electrones en la estructura cristalina. Con materias semiconductores (generalmente silicona) la cambia de resistencia es hasta 100 veces más grande que con materias metálicas. Eso hace posible, una fabricación de sensores muy pequeñas y a la vez rangos de medida muy pequeños (mbar).

La materia de la membrana (silicona) y los contactos eléctricos al sensor de presión son muy sensitivos y incompatible con la mayoría de los medios. Por lo tanto, la presión tiene que ser dirigida a la membrana mediante una membrana separadora y un líquido (generalmente aceite silicona) para transferir la presión. Al lado del medio, se utiliza una membrana con ondulaciones concentricas de acero inoxidable.

Rango de Operación: 0600 mbar
Presión máxima: 3 bar
Temperatura en uso: 0....70°C
Salida 4 ... 20 mA
Carcaza acero inoxidable



Fig.3.7 Sensor de Presión ALMEMO

3.3.3 Instalación

El lugar de instalación del sensor de presión es justo a un costado de la zona de alimentación al gasificador,.

El sensor al igual que los demás sensores de la familia ALMEMO es conectado al registrador de datos Almemo el cual es descrito a continuación.



Fig. 3.8 Instalación del sensor de presión

3.4 Registrador de Datos Almemo 2290-8

Todos los modelos de registradores disponen del mismo circuito de entrada de medida y de más de 60 gamas de medida estándar para su aplicación en todos los sectores profesionales. Están equipados, según modelo, de una memoria de 512 Kb (100.000 medidas) hasta 32 Mb configurable para un registro lineal o circular. Es posible programar una secuencia de muestreo de 10 a 50 medidas por segundo.

Los muestreos se programan individualmente permitiendo la selección independiente del ciclo de medida, la edición o memorización de los valores medidos y de los valores medios así como los mínimos y máximos, el inicio y final del muestreo por diversos métodos : desde el teclado, por interface, programación de fecha y hora, por umbrales o por disparo de una señal externa.

Existe una amplia gama de sensores, sondas y señales que pueden ser conectados en cada entrada de un equipo a través de los conectores ALMEMO. No es necesaria ninguna programación ya que todas las características del sensor están memorizadas en el conector, de manera que el equipo se configura automáticamente desde el



Fig. 3.9 Registrador de datos ALMEMO 2290-8

Con la ayuda de la memoria de datos (EEPROM) que cada conector incorpora, el usuario puede calibrar, poner en escala y atribuir un texto único a cada sensor. Este texto individual permite clarificar el montaje evitando errores. Las derivas propias de los sensores pueden ser corregidas en el conector, convirtiendo sensores sencillos en instrumentos de precisión. Para sensores múltiples, por ejemplo temperatura / humedad, generalmente sólo es necesario un conector común. En el caso de que el usuario disponga de sus sensores, basta con equiparlo del conector adecuado para que pueda ser utilizado con los equipos ALMEMO.



Fig. 3.10 Sistema de adquisición y almacenamiento de datos de temperatura, presión y humedad.

3.5 Poder Calorífico

Puede indicarse el superior o el inferior. Es el parámetro que determina la máxima energía aprovechable de un residuo desde el punto de vista de su uso como combustible.

3.5.1 Principio de Medición.

A cualquier temperatura sobre el cero absoluto, los átomos poseen distintas cantidades de energía cinética por la vibración. Ya que los átomos vecinos colisionan entre sí, esta energía se transfiere. Aunque la energía de los átomos individuales puede variar como resultado de estas colisiones, una serie de átomos aislados del mundo exterior tiene una cantidad de energía que no cambia porque va pasando de átomo a átomo. Conceptualmente, la energía promedio por átomo puede calcularse dividiendo la energía total por el número de átomos. La **calorimetría** se encarga de medir el calor en una reacción química o un cambio físico usando un calorímetro.

Aunque no conocemos la energía total de los átomos de un objeto, podemos medir el efecto de esa energía cinética promedio - se trata de la temperatura del objeto. Un aumento en la energía cinética promedio de los átomos del objeto se manifiesta como un aumento de temperatura y viceversa.

3.5.2 Bomba Calorimétrica Parr 1341

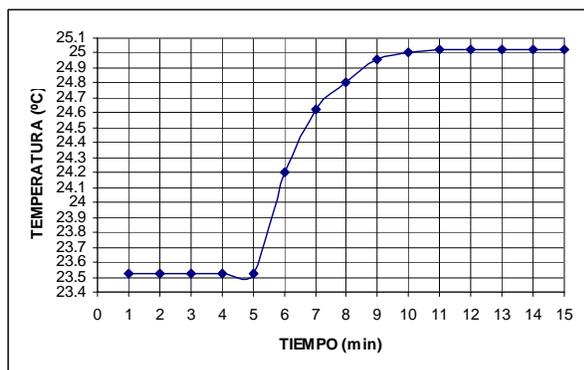
Este equipo permite determinar los poderes caloríficos de los residuos biomásicos (madera), a introducir en el gasificador, esta conformado por un modulo de ignición, un agitador que homogeniza la temperatura del agua en el interior, un termómetro de 19-35°C con escala de 0.02 °C lo cual asegura una gran precisión en la lectura de las temperaturas.

En este equipo se realizo el análisis de aproximadamente 15 especies de árboles de algunos estados de la republica y de Ciudad Universitaria. De dichos análisis se determino que el poder calorífico de la madera oscila entre **17-24 kJ/kg**



Fig.3.11 Bomba Calorimétrica Parr 1341

A continuación se muestra una grafica típica de un análisis de la especie “Acacia cochliacantha” con la bomba de oxígeno (calorímetro) ya que fue la especie de la que se obtuvieron los resultados de poderes caloríficos mas significativos.



Grafica 3.1 Aumento de temperatura durante el análisis de análisis de 1 gr de muestra de “Acacia cochliacantha”

3.5.3 Calibración. La calibración se lleva a cabo con 1 gr de Acido Benzoico, durante periodos de 4 a 5 meses de uso, o cuando se cambie alguna de las piezas que conforman el calorímetro, realizando por lo menos 5 determinaciones con Acido Benzoico para obtener un promedio de la energía equivalente del calorímetro que es de alrededor de 2426 cal/°C.

3.6 Instrumentación del sistema de encendido electrónico en motores.

3.6.1 ECU

La Unidad electrónica de control o unidad central de proceso se trata de verdaderos ordenadores capaces de efectuar cálculos complejos mediante los cuales se puedan tomar decisiones previamente memorizadas. Mediante estas órdenes se podrá proporcionar al motor, en cada momento y bajo cualquier circunstancia, el aporte de los mejores condicionamientos posibles para su funcionamiento óptimo en cada circunstancia.

La ECU se utiliza principalmente en motores de inyección de gasolina con control automático, sin embargo, en nuestro caso en el que el combustible a utilizar es el gas síntesis, o en su caso su combinación con diesel, la unidad de control permitirá proveer la mezcla de combustible necesaria. Aquí el microcontrolador al igual que en el motor a gasolina relaciona la temperatura del motor, en cada momento, la cantidad de aire que ha entrado, el número de revoluciones por minuto y la presión absoluta que ha entrado al colector de admisión para determinar el tiempo en milisegundos que ha de abrirse el paso de la válvula que provee el volumen exacto de combustible en cada uno de los regímenes del motor.

La importancia del uso de una unidad de control aumenta cuando al circuito le son agregados las funciones del circuito de encendido del motor. En este caso, a los cálculos propios de la inyección se unen también los cálculos del avance de encendido, del limitador de régimen y de la alimentación general del primario de la bobina.

Las unidades electrónicas de control más importantes que se utilizan en los automóviles modernos provienen de las instalaciones provistas de inyección de gasolina. La casa Bosh posee fundamentalmente dos sistemas de inyección diferenciados que reciben las nomenclaturas de L-Jetronic y Motronic.

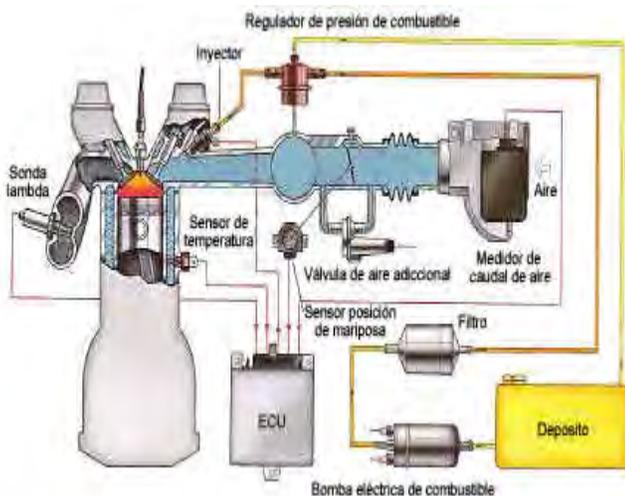


FIG. 3.12 Componentes del sistema L-jetronic: 1.- Medidor de caudal de aire; 2.- ECU; 3.- Bomba eléctrica de gasolina 4.- Filtro; 5.- Válvula de aire adicional; 6.- Sonda lambda; 7.- Sensor de temperatura; 8.- Inyectores electromagnéticos 9.- Sensor de posición de la mariposa; 10.- Regulador de presión de combustible.

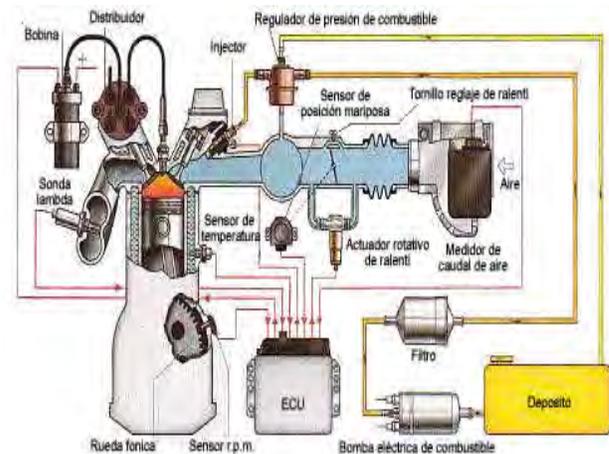


FIG. 3.13 Componentes del sistema Motronic: 1.- Medidor de caudal de aire; 2.- Actuador rotativo de ralentí; 3.- ECU 4.- Bomba eléctrica de combustible; 5.- Distribuidor (Delco); 6.- Detector de posición de mariposa; 7.- Bobina de encendido 8.- Sonda lambda; 9.- Sensor de r.p.m; 10.- Sensor de temperatura; 11.- Inyectores electromagnéticos; 12.- Filtro

3.6. 2 Válvula Mariposa y Sensor de posición de Acelerador TPS.

El sensor de posición de aceleración, es el encargado de controlar el paso de aire al múltiple de admisión y a medida que el sensor gira sobre la flecha se determinan cuatro modos de operación por la computadora, estos modos de operación son: mariposa cerrada (incluye marcha lenta desaceleraciones), aceleración parcial (velocidad crucero o aceleración moderada), aceleración total (aceleración máxima) y relación angular de la mariposa.

El sensor, llamado TPS o sensor TP (del ingles Throttle - Position -Sensor), efectúa un control preciso de la posición angular de la mariposa. La ECU (Unidad de Control Automático) toma esta información para poder efectuar distintas funciones, de suma importancia para el correcto funcionamiento de un sistema de inyección electrónica de combustible. Actualmente el tipo de TPS más utilizado es el potenciómetro. Este consiste en una pista resistiva barrida con un cursor, y alimentada con una tensión **de 5 voltios** desde la ECU

Los TPS de este tipo suelen tener 3 cables de conexión y en algunos casos pueden tener 4 cables, este último caso incluye un switch, utilizado como contacto de marcha lenta.

Ubicación y Función:

- Localizado en el cuerpo de aceleración.
- Informa a la ECU la posición de la mariposa del cuerpo de aceleración.
- Calcula el pulso del inyector.
- Calcula la curva de avance del encendido.
- Es de tipo potenciómetro.
- Calcula el funcionamiento del sistema del control de emisiones.

Las señales que genera este sensor la computadora las usa para modificar:

- Regulación del flujo de los gases de emisiones del escape a través de la válvula egr.
- La relación de la mezcla aire combustible.
- Corte del aire acondicionado por máxima aceleración.

Síntomas:

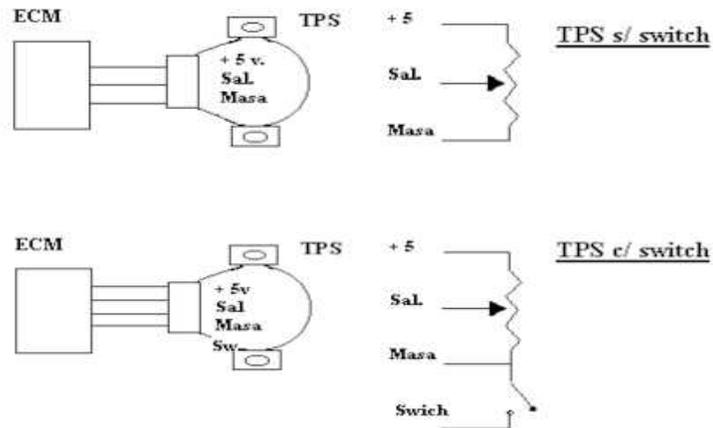
- La marcha mínima es variable están más bajas o más altas las rpm normales.
- El titubeo y el ahogamiento durante la desaceleración.
- Una falta de rendimiento del motor o mayor consumo de combustible.

Pruebas:

- Revisar 5 volts del potenciómetro del sensor con un multímetro.

Revisar que todas las líneas estén bien esto se hace checando la continuidad con el multímetro

Conexiones del TPS con la ECU



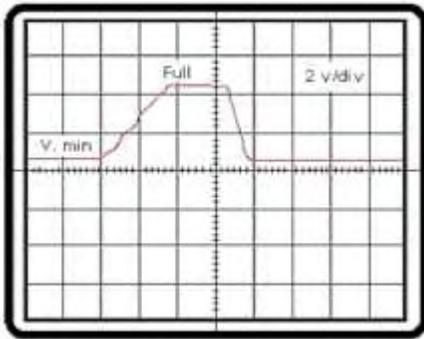
En el primer caso, el cursor recorre la pista y de acuerdo a la posición de este sobre la pista del potenciómetro, se puede leer en tensión dicha posición angular. El segundo caso (con switch), un cuarto cable se conecta a masa cuando es sensada la condición de mariposa cerrada

Condiciones de trabajo de un TP

Marcha lenta: La condición de marcha lenta o mariposa cerrada, es detectada por el TPS en base a su condición de tensión mínima prevista, dicha tensión debe estar comprendida en un rango predeterminado y entendible por la ECU como marcha lenta. Este valor de tensión se suele denominar Voltaje Mínimo del TPS o Voltaje Mínimo y su ajuste es de suma importancia a los efectos que el ECU pueda ajustar correctamente el régimen de marcha lenta y la condición de freno motor. En aquellos casos en los que el TPS incorpore switch, es este mismo switch el que al conectarse da aviso a la ECU acerca de la condición de marcha lenta.

Volts	Posición Mariposa % abierta
0.75	0.00
1	6.43
1.25	13.09
1.5	19.76
1.75	26.42
2	33.09
1.875	29.75
2.25	39.75
2.5	46.42
2.652	50.47
2.75	53.08
3	59.75
3.25	66.41
3.5	73.08
3.75	79.74
4	86.41
4.25	93.07
4.5	100.00

Tabla 3.4 Rangos de Operación TPS



La salida de tensión del TPS "Arranca" con el Voltaje Mínimo, y a medida que se abre la mariposa la tensión debe ir ascendiendo hasta llegar al valor máximo, normalmente comprendido entre 4 y 4.5 voltios. La forma de comprobar este barrido consiste en efectuar la medición con un tester de aguja, osciloscopio analógico o digital y verificar el ascenso de la tensión de salida sin interrupciones.

Apertura Máxima: La condición de apertura máxima, permite que la ECU detecte la aceleración a fondo, condición que se efectúa cuando el acelerador es pisado a fondo. En esta condición la ECU efectúa enriquecimiento adicional, modifica el avance y puede interrumpir el accionamiento de los equipos de A/C. La forma de comprobar esta condición se realiza con el tester el acelerador a fondo, la medición debe arrojar una lectura comprendida como se dijo entre 4 y 4.5 voltios, siempre con el sistema en contacto.

Reglaje y controles de un TPS

Para reglar un TPS, primero se debe alinear bien la mariposa del acelerador, el cuerpo de mariposas debe estar limpio y la mariposa debe quedar en reposo, " levemente abierta". Apenas debe haber luz en sus bordes. Luego se debe colocar el TPS, y conectado, y en contacto verificar la masa (no debe arrojar una lectura de mas de 30 mvoltios), el positivo de alimentación en 5 voltios; y luego la salida de señal que debe acomodarse al valor especificado para el Voltaje Mínimo. Luego se comprobara el barrido y posteriormente el TPS a fondo.

Fallas comunes con el TPS

El TPS se desajusta cuando toma temperatura: La falla se presenta como perdida del control de marcha lenta, en otras palabras el motor se queda acelerado o regula en un régimen inadecuado en ciertas condiciones .

El fenómeno se debe a que el TPS al tomar temperatura en el compartimiento del motor, modifica su resistencia y el Voltaje Mínimo cambia sorpresivamente, en esta condición la ECU no reconoce la condición de marcha lenta y por consiguiente no efectúa su control. Se detecta el problema dejando el "tester" conectado a la salida de señal del TPS y esperando que se produzca la falla como consecuencia de la variación de tensión mencionada.

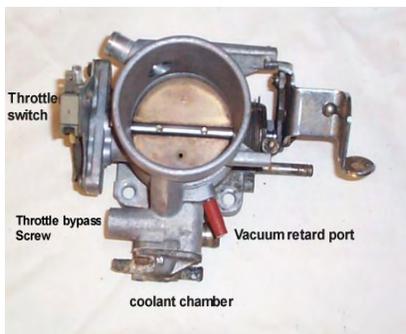


Fig.3.14 Sensor mariposa

Instalación.

Usualmente es instalado entre el filtro de aire y el múltiple de admisión, cercano al sensor de flujo de aire.



TPS (FAST 307006)

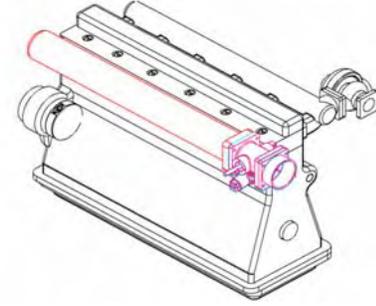
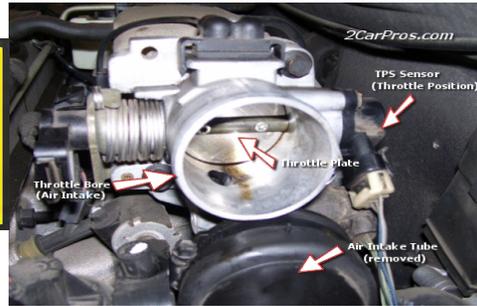


Fig. 3.15 Instalación de al válvula mariposa

3.6.3 Medición de Presión Absoluta.

Un sensor de presión Absoluta **MAP** (**M**anifold **A**bsolute **P**ressure) es uno de los sensores utilizados en el sistema de control electrónico de motores de combustión. Los motores que usan un sensor MAP son típicamente “fuel injected”. El sensor de presión absoluta provee instantaneamente la información de presión a la unidad electrónica de control (ECU). Dicha información es necesaria para calcular la densidad del aire y determinar la velocidad de flujo de masa de aire, datos utilizados para la calcular la cantidad apropiada de flujo de combustible (relación estequiométrica).

Un sistema de control de motor que usa la presión absoluta para calcular la masa de aire, es usando el método velocidad-densidad. La velocidad de motor (RPM) y la temperatura del aire son también necesarias para completar el cálculo de densidad.

La masa de aire es proporcional a la densidad del aire, la cual es proporcional a la presión absoluta y inversamente proporcional a la temperatura absoluta. La velocidad del motor determina la frecuencia, o velocidad, a la cual la masa de aire esta dejando el múltiple de admisión entrando a los cilindros.

$$\text{FLUJO DE MASA DE AIRE} = \frac{N * \text{MAP} * \text{DESPLAZAMIENTO} * \text{RPM}}{T \text{ CARGA}}$$

N= Factor empírico 0.6

MAP= Presión Absoluta en el Múltiple de admisión.

Desplazamiento= Volumen de los cilindros * # de cilindros cm³

RPM= Revoluciones por minuto

Tcarga= Es la temperatura de la mezcla aire-combustible

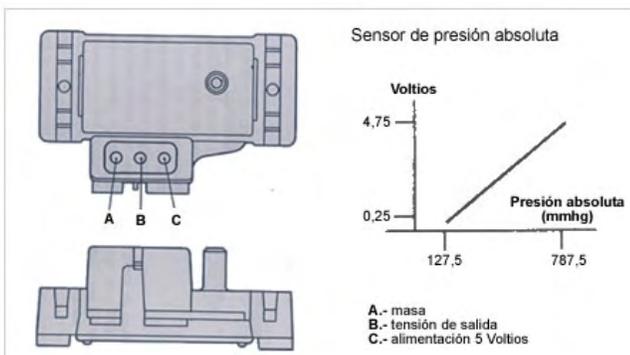


Fig. 3.16 Sensor MAP 2 bar FAST 307050

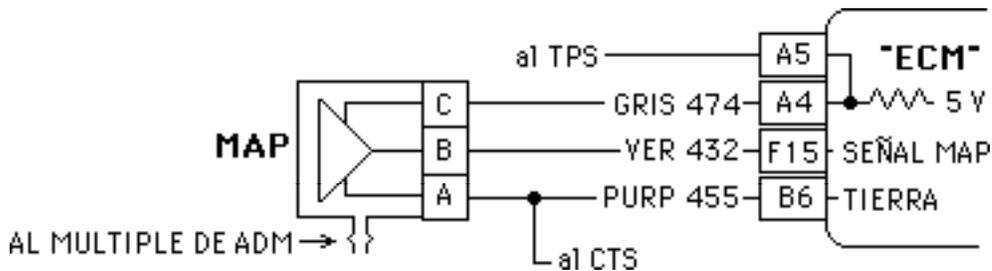


Fig. 3.17 Ejemplo de conexión del sensor MAP a la ECU ó ECM.

El sensor MAP se encarga de medir la presión absoluta del múltiple de admisión convirtiendo el vacío a una señal de voltaje la cuál interpreta la ECU como presión absoluta en el múltiple. Este sensor le indica también a la ECU la presión barométrica o sea la altura sobre el nivel del mar.

$$\text{MAP} = \text{Presión atmosférica} - \text{Presión en el múltiple de admisión.}$$

A mayor altura sobre el nivel del mar existirá menos presión y mandará a la terminal de la ECU menos voltaje así como también entre más vacío exista en el múltiple de admisión el voltaje será menor.

Al poner la llave en "ON", la ECU "lee" el voltaje de la terminal y monitorea la presión barométrica existente o altura sobre el nivel del mar y determina la cantidad de combustible a inyectar, así como también la curva de avance del tiempo de encendido. Esto también lo hace en una aceleración repentina a fondo cuando el vacío en el múltiple de admisión es cero.

El sensor MAP tiene tres cables y un conector de vacío conectado al múltiple de admisión. Un cable va a la terminal de la ECU con un voltaje de referencia (VREF) de 5 voltios. Si no existe voltaje de referencia, el problema está en el cable o en la ECU. Otro cable es la salida de la señal de referencia y se conecta a la terminal de la ECU. Al ensamblarse el conector en el sensor, su voltaje será de aproximadamente a 4.5 voltios; si el voltaje es cero o queda en 5 voltios, el sensor está defectuoso. Por medio de la señal de referencia transformada a voltaje, ECU modifica la curva de avance del tiempo del encendido y la inyección de combustible. En un último cable no existirá voltaje ya que éste está conectado a tierra en la terminal de la ECU.

Control de la ECU según información del MAP

Dependiendo de la presión barométrica la ECU controla:

- Tiempo de encendido.
- Inyección del combustible.

Dependiendo del vacío del motor ECU controla:

- Tiempo de encendido.
- Inyección de combustible.
- Corte momentáneo de la inyección de combustible en desaceleración.

Volts	kPa
4.50	105.00
4.00	98.30
3.50	91.60
3.00	84.90
2.50	78.20
2.00	71.50
1.50	64.80

Tabla 3.5 Rangos de Operación MAP

Lecturas Típicas:

El rango de salida de voltaje es 0.5 a 4.5 Volts

Voltajes de salida entre 0.5 y 1.5 volts indica una situación de vacío alto (baja presión) tal como Valenti o desaceleración.

Voltajes de salida entre 1.5 y 3.0 volts indica un nivel medio de vacío como en un situación de ligera aceleración.

Voltaje de salida entre 3.0 y 4.5 volts indica una situación de bajo vacío (alta presión) como en una alta aceleración

Cualquier lectura de 0 voltios o más de 4,5 voltios indica un problema.

Prueba del Sensor

Como ejemplo en este caso se ha tomado un sensor de presión absoluta de un automóvil *Renault 19/1.8 Lts*.

De cualquier manera los procedimientos de ensayo para este sensor, valen practicamente para todos los Sensores MAP por Tensión de cualquier marca y modelo

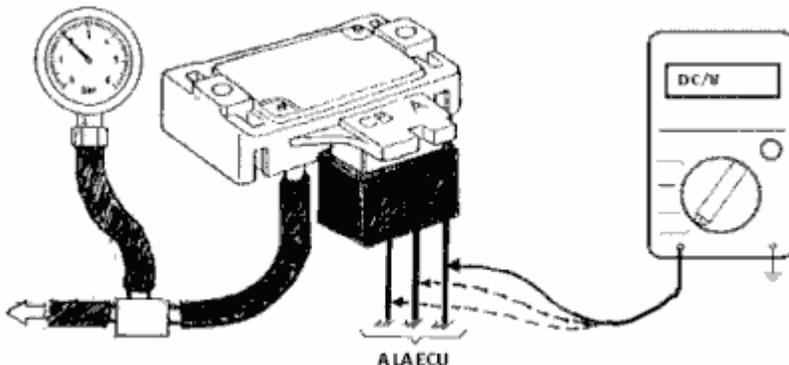


Fig. 3.18 Prueba sensor MAP

- Para la comprobación de este componente utilizar un multímetro digital dispuesto para medir tensiones (voltaje) de corriente continua (DC/VOLTS).

Si no es un instrumento autorango, seleccionar la escala de 20 volts.

- Conectar un vacuómetro al múltiple de admisión como se indica en la figura.
- Conectar la punta negativa del multímetro a masa (chassis).
- Poner el auto en contacto.
- Con la punta positiva del multímetro, medir la tensión presente en el "Pin A" de la ficha de conexión del MAP.
- **En este punto debe medirse una tensión de + 5 volts, esta tensión es la de alimentación del MAP, tensión que es generada por el circuito regulador de tensión del computador y que utiliza este como tensión de referencia para distintos sensores.**

Una vez comprobada la existencia de la alimentación de + 5 volts, pasar la punta positiva del multímetro al "Pin C" de la ficha. Este punto es masa, pero es tomada en un Pin del computador, punto que es denominado "Masa de Sensores", o también puede figurar en algunos diagramas de circuito eléctrico como "Masa Electrónica".

- **En este punto debe medirse una tensión no mayor que 0,08 volts (80 milivolts).**

Pasar ahora la punta positiva del multímetro al "Pin B" de la ficha del MAP, por este Pin el sensor entrega la información de la presión existente en el múltiple de admisión (vacío producido por el motor en la fase de admisión de los cilindros).

- Como todavía no fue puesto en funcionamiento el motor, la presión en el múltiple será igual a la atmosférica. La tensión de información entregada por el MAP en estas condiciones, será de alrededor de 4 volts.
- Poner en funcionamiento el motor, dejarlo estabilizar.
- Mantener la punta positiva del multímetro en el "Pin C" del MAP (salida de información).
- Para un vacío de motor de 18 pulgadasHg. (460 mm.Hg), la tensión a medir estará alrededor de 1,1 a 1,2 volts.

3.6. 4 Sensor de RPM

Los sensores de revoluciones del motor (sensores de barra), también llamados transmisores de revoluciones o r.p.m, se emplean para:

- Medir el número de revoluciones del motor
- Detectar la posición del cigüeñal (posición de los pistones del motor).

El número de revoluciones se calcula mediante el intervalo de tiempo entre las señales del sensor. La señal de este sensor es una de las magnitudes más importantes del control electrónico del motor.

Estructura y funcionamiento

El sensor está montado (separado por un entrehierro) directamente frente a una rueda de impulsos ferromagnética (figura inferior, pos. 5). Contiene un núcleo de hierro dulce (espiga polar) (3) rodeado por un devanado (4). La espiga polar comunica con un imán permanente (1). Hay un campo magnético que se extiende sobre la espiga polar y penetra en la rueda de impulsos (5). El flujo magnético a través de la bobina depende de si delante del sensor se encuentra un hueco o un diente de la rueda de impulsos. Un diente concentra el flujo de dispersión del imán. Se produce una intensificación del flujo útil a través de la bobina. Por contra, un hueco debilita el flujo magnético. Estos cambios en el flujo magnético inducen en la bobina una tensión sinusoidal de salida que es proporcional a la velocidad de las variaciones y, por tanto, al número de revoluciones (figura 3.19). La amplitud de la tensión alterna crece intensamente a medida que aumenta el número de revoluciones (pocos mV... >100 V). Existe una amplitud suficiente a partir de un número mínimo de 30 revoluciones por minuto.

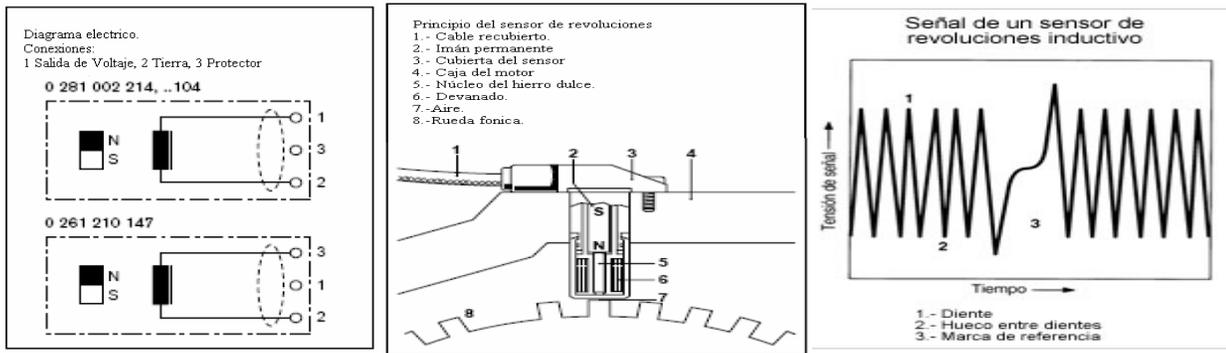


Fig. 3.19 Sensor de Revoluciones por minuto.

El número de dientes de la rueda de impulsos depende de la aplicación. Los motores con sistemas de gestión por electroválvulas tienen ruedas de impulsos con división 60, existiendo en ellas un hueco correspondiente a dos dientes (5). Esto quiere decir que la rueda tiene $60 - 2 = 58$ dientes. El hueco por dientes faltantes especialmente grande es una marca de referencia y está asignado a una posición definida del cigüeñal. Sirve para la sincronización de la unidad de control. Otra ejecución de la rueda de impulsos lleva un diente por cilindro en el perímetro. Si el motor es de cuatro cilindros p.ej. hay cuatro dientes; por tanto, por cada vuelta se producen cuatro impulsos. Los dientes y la espiga polar han de estar ajustados entre sí en su geometría. El circuito de evaluación en la unidad de control convierte la tensión sinusoidal de amplitud muy diferenciada en una tensión rectangular de amplitud constante. Esta señal se evalúa en el microcontrolador de la unidad de control.

Datos técnicos

Rango de velocidad	$\approx 20 \dots 7000$ rpm
Temperatura ambiente de trabajo en el área del cable	$-40 \dots +130$ °C
Temperatura ambiente en el área de la bobina	$-40 \dots +140$ °C
Numero de giros	4300 \pm 10%
Resistencia de la bobina a 20°C	860 \pm 10% Ω
Inductancia a 1kHz	370 \pm 15% mH.
Salida de Voltaje U_A ¹	0 \dots 200 V

Tabla 3.6 Datos técnicos del sensor de RPM's.

En este trabajo se cuenta con un de las revoluciones por minuto que se adapta directamente al sistema de inyección de Diesel, para ello se tiene que implemento una rueda fónica o dentada a fin de adaptar sobre esta el sensor. La rueda consta de un círculo que se ha dispuesto para ser tallado en 44 dientes, aunque se deben dejar 4 dientes sin tallar (dos en cada semi-giro), ya que en esta zona se debe producir la señal que la unidad electrónica de control podrá elaborar. De este modo se produce la señal exacta 90° antes de los PMS y 90° antes del PMI a cada vuelta completa del cigüeñal. La rueda fónica no altera el orden de encendido en los cilindros, mismo que es gobernado por el sistema de engranes original; siendo este 1-5-3-6-2-4.

Instalación

Es normalmente instalado dentro de la campana sobre el aro dentado en un motor de combustión interna, de manera que el arranque del aro dentado actúe sobre él para generar un pulso de voltaje cada vez que un diente pase por la parte final del sensor.



3.6.5 Sensores de Temperatura de aire y agua.

Sensor de Temperatura de Aire

Ubicación:

- Se encuentra en el ducto de plástico de la admisión del aire.
- Puede estar en el filtro de aire o fuera de él antes del cuerpo de aceleración.

Función:

- Determinar la densidad del aire (menor temperatura más denso y viceversa).
- Medir la temperatura del aire.
- Este sensor trabaja en función de la temperatura, o sea que si el aire está en expansión o en compresión, esto debido a su temperatura.
- Ajustar la cantidad de combustible suministrado durante el encendido en frío.
- Activación de la válvula EGR
- Modificar el avance de encendido

La ECU suministra al sensor con 5 Volts de tensión, que pasa por una resistencia interna, y de acuerdo a la temperatura del aire entrante, devuelve una tensión de nuevo a la ECU. Un voltaje de retorno. Por ejemplo de 3 volts, le diría a la ECU que el aire está frío.

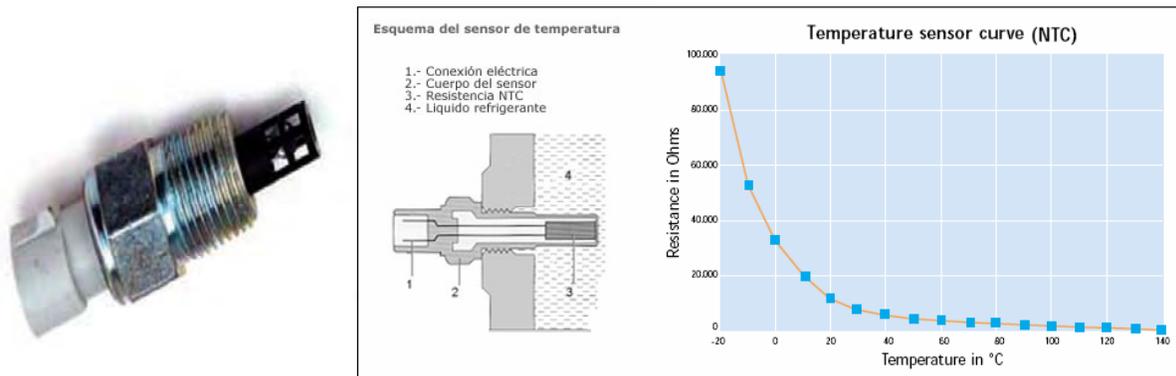


Fig. 3.20 Sensor de Temperatura de aire y agua (FAST 307003 y 307004).

Cuando la temperatura del aire son altas, la densidad del aire que está siendo introducido cae, disminuyendo así el volumen de oxígeno disponible para la combustión, en caso de que el combustible que se inyecta siga siendo constante entonces la mezcla será demasiado rica. Para compensar esto, la ECU aplica una corrección de acuerdo a un perfil predeterminado de corrección. A medida que la temperatura del aire aumenta la densidad del aire de manera que seguirá disminuyendo y, por tanto, el sistema de alimentación se reducirá.

Este sensor montado en el tramo de admisión registra la temperatura del aire aspirado con la que es posible calcular, en combinación con un sensor de presión de sobrealimentación, la masa de aire aspirada. Además de ello se pueden adaptar valores teóricos para circuitos reguladores (p.ej. realimentación de gases de escape, regulación de la presión de sobrealimentación) a la temperatura del aire (campo de medición -40...+125 °C).

Causas de falla:

- Cable abierto, terminal aterrizada, ECU dañada, falso contacto.

Fallas:

- Altas emisiones contaminantes de monóxido de carbono.
- Consumo elevado de combustible.
- Problemas para el arranque en frío.
- Aceleración ligeramente elevada o alta.

Pruebas: Se conecta el multímetro a la punta izquierda del sensor , que es la de corriente y se prueba el volts que debe dar un valor de 4.61 Volts

Sensor de Temperatura de agua.

Ubicación:

- Se encuentra en la caja del termostato conocida como toma de agua.

Función:

- Informar a la ECU la temperatura del refrigerante del motor para que este a su vez calcule la entrega de combustible, la sincronización del tiempo y el control de la válvula EGR, así como la activación y la desactivación del ventilador del radiador.

Síntomas de falla:

- Ventilador encendido en todo momento con motor funcionando.
- El motor tarda en arrancar en frío y en caliente.
- Consumo excesivo de combustible.
- Niveles de CO muy altos.
- Problemas de sobrecalentamiento.

Pruebas:

- Se conecta el multímetro a la punta izquierda del sensor , que es la de corriente y se prueba el volts que debe dar un valor de 4.61 v
- Se conecta el multímetro en ohms y se chequea resistencia con el interruptor del carro apagado.



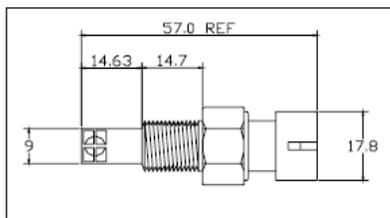
Fig. 3.21 Sensor de temperatura de aire (a) y de agua (b)

Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)	Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)	Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)
-40	99,328	10.46	1.6	25	2,752	5.56	1.2	90	238.1	2.35	0.8
-35	71,332	10.00	1.5	30	2,205	5.28	1.2	95	203.9	2.13	0.7
-30	51,791	9.55	1.5	35	1,778	5.00	1.2	100	175.3	2.00	0.7
-25	37,994	9.11	1.5	40	1,443	4.72	1.1	105	151.3	2.24	0.8
-20	28,146	8.67	1.5	45	1,177	4.45	1.1	110	131.0	2.45	0.9
-15	21,044	8.25	1.4	50	965	4.18	1.1	115	113.9	2.63	1.0
-10	15,873	7.83	1.4	55	796	3.94	1.0	120	99.4	2.79	1.0
-5	12,073	7.42	1.4	60	660	3.71	1.0	125	87.0	2.92	1.1
0	9,256	7.02	1.3	65	551	3.47	1.0	130	76.4	3.03	1.2
5	7,153	6.72	1.3	70	462	3.24	0.9	135	67.3	3.11	1.2
10	5,572	6.43	1.3	75	389	3.01	0.9	140	59.4	3.18	1.3
15	4,373	6.14	1.3	80	329	2.79	0.8	145	52.6	3.22	1.3
20	3,457	5.85	1.3	85	279	2.57	0.8	150	46.7	3.24	1.4

Tabla 3.7 Características sensor de temperatura de aire

Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)	Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)	Temp (°C)	R(Ω)*	R (±%)	Ref. Acc. (±°C)
-40	102,122	12.04	1.8	25	2,830	7.09	1.6	90	244.8	3.87	1.2
-35	73,340	11.58	1.8	30	2,268	6.81	1.6	95	209.7	3.66	1.2
-30	53,249	11.12	1.8	35	1,828	6.53	1.5	100	180.3	3.45	1.2
-25	39,064	10.67	1.8	40	1,483	6.25	1.5	105	156.6	3.22	1.1
-20	28,939	10.24	1.7	45	1,210	5.97	1.5	110	134.7	3.02	1.1
-15	21,637	9.81	1.7	50	992	5.70	1.5	115	117.1	2.84	1.0
-10	16,321	9.39	1.7	55	819	5.45	1.4	120	102.2	2.69	1.0
-5	12,413	8.97	1.7	60	679	5.21	1.4	125	89.4	2.57	1.0
0	9,516	8.57	1.6	65	566	4.98	1.4	130	78.5	2.54	1.0
5	7,354	8.27	1.6	70	475	4.75	1.4	135	69.1	2.62	1.0
10	5,728	7.97	1.6	75	400	4.52	1.3	140	61.1	2.69	1.1
15	4,496	7.67	1.6	80	338	4.30	1.3	145	54.1	2.73	1.1
20	3,556	7.38	1.6	85	287	4.08	1.3	150	48.1	2.76	1.2

Tabla 3.8 Características sensor de temperatura de agua



Sensor Body Material: Brass Housing
 Connector: PBT 30% GF
 Basket: PBT 40% GF
 Hex Size: 18.90mm (3/4")
 Thread Size: 3/8"-18 NPTF
 Sealing Pressure: 200 kPa
 Mating Connector & Seal: 12162197
 Installation Torque: 20 N-m, dynamic
 Overall Weight: 33.3 g

Fig. 3.22 Características mecánicas del sensor de temperatura

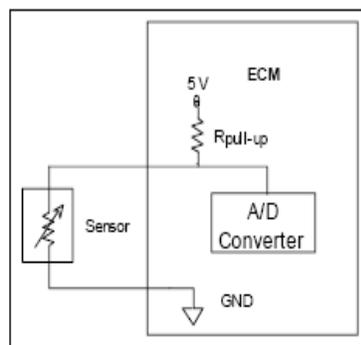


Fig. 3.23 Circuito eléctrico sensores de temperatura. ECM = ECU

3.6.6 Electroválvulas de Gas y aire

Estas electroválvulas tipo solenoide controlan de acuerdo a los tiempos programados en la ECU la cantidad de aire y combustible que entra al múltiple de admisión.

La electroválvula de admisión se adapta directamente en el tubo de aspiración justo después del filtro de aire. Este dispositivo controlado por la computadora regula la cantidad de aire que se mezcla con el gas de síntesis. A plena carga los requerimientos de aire son mayores, en tanto que en marcha mínima los requerimientos disminuyen.

Rangos de presión de operación			
Presión mínima de Operación (Aire)		Presión Máxima de Operación (Aire)	100 PSI - 6.9 Bar
Presión mínima de Operación		Presión máxima de operación.	80 PSI - 5.5 Bar



Fig 3.24 Electrovalvula

Información técnica			
		Inlet Pipe Size (NPT)	1
AC/DC	DC	Longitud	18.00 in - 45.72 cm
Método de Actuación	Solenoide	Temperatura ambiente máxima	77 F - 25 C
Approvals	UL Gen. Pur.	Temperatura de Fluido Máxima	77 F - 25 C
Voltaje Disponible	24/DC	Temperatura ambiente mínima	32 F - 0 C
Material	Brass		
DC Wattage	30.60 W	Tamaño de orificio	1 in

Tabla 3.9 Electrovalvulas de gas y aire

3.6.7 Sensor Lambda

Ubicación

En la salida de los gases de escape del motor.

Interacción de la sonda lambda y la ECU.

La señal de contenido de oxígeno en el gas del escape, es la señal de retroalimentación más importante que la computadora recibe para determinar si la porción inicial aire/combustible se programó correctamente. Si hay oxígeno en exceso en el gas de escape, indica que durante la combustión hubo muy poco combustible. El computador permitirá que los inyectores se queden abiertos por más tiempo para enriquecer la mezcla de combustible. Cuando el sensor se calienta a la correcta temperatura de operación, produce un voltaje que varía de acuerdo con la cantidad de oxígeno que haya en el gas de escape que pase por él. El sensor puede llamarse *batería galvánica*. El voltaje varía de cero a un voltaje positivo en algunos sensores de oxígeno. El voltaje que se genera es la señal del sensor a la computadora.



Fig. 3.25 Lazo Cerrado de Control Sensor Lambda

Algunos de los sensores de oxígeno más recientes tienen un elemento calefactor en su interior. Ese sensor no produce salida, hasta que alcanza una temperatura mayor a los 600°F.

El contenido de oxígeno en los gases de escape es el resultado de una combustión de mezcla pobre que provoca un voltaje menor de 450mV que serán entregados a la computadora. Cuando los gases del escape son el resultado de una combustión rica, el voltaje del sensor de oxígeno a la computadora será mayor a 450 mV.

Cuando el voltaje del sensor de oxígeno esta indicando una condición de mezcla pobre, la computadora responderá enriqueciendo la mezcla. Cuando el voltaje del sensor es alto, la computadora responderá empobreciéndola. De esta manera se ajustan los errores mínimos y variaciones desde los sensores de entrada y controla la relación aire/combustible. En el esquema siguiente se observa mejor lo anteriormente mencionado.

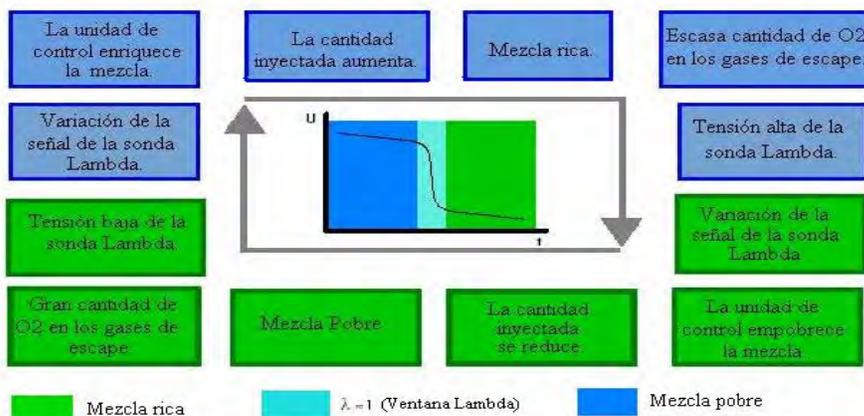


Fig. 3.26 Esquema de funcionamiento y curva característica de la sonda Lambda

Sonda lambda de banda ancha LSU4

La sonda lambda de banda ancha LSU4 es una sonda planar de dos células. Su célula de medición (figura inferior) es de cerámica de dióxido de circonio (ZrO_2). Está constituida por la combinación de una célula de concentración de Nernst (célula sensible, funciona como en una sonda lambda de dos puntos) y una célula de bombeo que transporta iones de oxígeno.

La célula de bombeo de oxígeno (figura inferior, pos. 8) está dispuesta de tal modo respecto a la célula de concentración de Nernst (7) que entre ambas se forma una ranura de difusión (6) de aprox. 10... 50 μm . Esta ranura está en comunicación con los gases de escape a través de un agujero de acceso (10); la barrera porosa de difusión (11) limita el flujo sucesivo de las moléculas de oxígeno contenidas en los gases de escape.

La célula de concentración de Nernst comunica en un lado por un canal de aire de referencia (5), a través de una abertura, con la atmósfera ambiente; en el otro lado está expuesta a los gases de escape en la ranura de difusión. La sonda no suministra una señal útil hasta que se alcanza una temperatura de servicio de 600... 800 $^{\circ}C$ como mínimo. Para que se alcance rápidamente esta temperatura, la sonda está provista de un calentador (3).



Fig. 3.27 Sonda lambda planar de banda ancha

Funcionamiento

Los gases de escape llegan a través del pequeño agujero de acceso de la célula de bombeo a la verdadera cámara de medición (ranura de difusión) de la célula de concentración de Nernst. Para poder ajustar el coeficiente de aire "valor lambda" en la ranura de difusión, la célula de concentración de Nernst compara los gases en esta ranura con el aire ambiente en el canal de aire de referencia.

El proceso total se desarrolla del modo siguiente: Mediante la aplicación de una tensión a los electrodos de platino de la célula de bombeo, a través de la barrera de difusión se puede bombear oxígeno de los gases de escape a la ranura de difusión o viceversa. Con ayuda de la célula de concentración de Nernst, un circuito electrónico en la unidad de control regula esta tensión aplicada a la célula de bombeo, de manera que la composición de los gases en la ranura de difusión se mantenga constante en "valor lambda" = 1.

Cuando los gases de escape son pobres, la célula de bombeo, bombea el oxígeno hacia afuera (corriente de bombeo positiva). Cuando son ricos, se bombea por el contrario el oxígeno (mediante descomposición catalítica de CO_2 y H_2O en el electrodo de gases de escape) de los gases del entorno a la ranura de difusión (corriente de bombeo negativa). Con "valor lambda" = 1 no se ha de transportar oxígeno. La corriente de bombeo es cero. Ella es proporcional a la concentración de oxígeno en los gases de escape y constituye así una medida (no lineal) del coeficiente de aire "valor lambda".

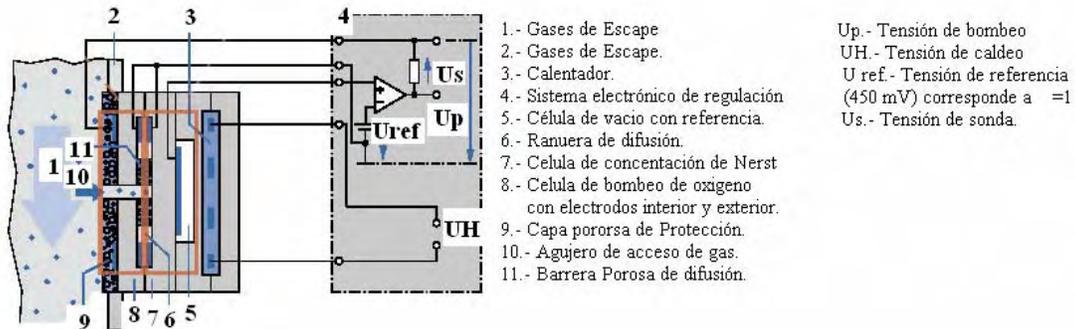


Fig. 3.28 Estructura interna de un sensor lambda de banda ancha

Pruebas y lecturas típicas:

La salida del sensor se puede también leer con 10K ohm de impedancia en un voltímetro digital.

El sensor de voltaje lambda debe de tener una lectura mínima de 200 milivolts (0.20V) y una lectura máxima de 800 milivolts (0.80V). La lectura promedio del sensor es baja (debajo de 400 milivolts) o alta (arriba de 500 milivolts).

Si la salida del sensor nunca consigue un voltaje superior a 0.60 V y nunca cae a menos de 0.30 V, este necesita ser remplazado. El rendimiento de la salida del sensor será de la misma manera si esta inactivo o no cambia.

Para checar el sensor a la respuesta de niveles de cambios de oxígeno en la descarga, primero cree condición artificialmente baja tirando una larga línea de vacío. Cuando se introduce aire extra al equipo, el voltaje de la salida del sensor deberá caer a 0.2V.

modificaciones. Usualmente la EPROM se utiliza durante la etapa de desarrollo del sistema, para poder así poder depurar y alterar el programa.

La Unidad de Control.

La actividad principal de un microprocesador, regulada por la unidad de control, es cíclica y consiste en la búsqueda y la obtención de datos e instrucciones, y en la ejecución secuencial de estas últimas.

Después de que la instrucción ha sido obtenida y decodificada, la circuitería de control envía señales apropiadas a dispositivos tanto internos como externos a la CPU, para iniciar la acción de procesamiento indicada por la instrucción.

La unidad aritmético/lógica.

Todos los microprocesadores tienen una unidad aritmético/lógica conocida más comúnmente como ALU. La ALU, como su nombre lo indica, es la parte del microprocesador que lleva a cabo las operaciones aritméticas y lógicas en los datos binarios.

La ALU generalmente es capaz de ejecutar las siguientes operaciones:

- 1.- Suma aritmética.
- 2.- Funciones lógicas AND, OR, XOR.
- 3.- Complemento.
- 4.- Rotación hacia la derecha o izquierda.

Los registros internos.

Los registros internos son unidades de almacenamiento temporal dentro de la CPU. Algunos de ellos tienen usos específicos, mientras que otros son de propósito general. A este registro se le llama contador del programa (program counter).

Una de las entradas de control al microprocesador es la entrada "reset" (restablecer). Cuando se reestablece el microprocesador, la unidad de control carga el contador de programa con ceros. Este valor inicial establece la dirección de memoria de donde se va a obtener la primera instrucción.

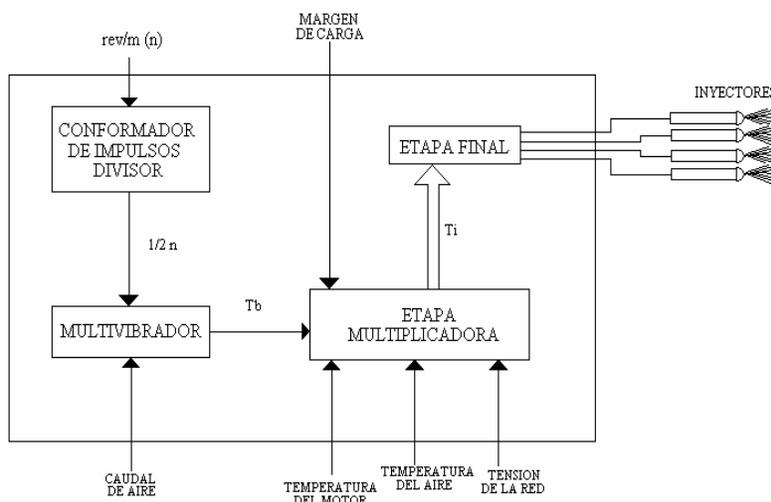


Fig. 3.30 Funcionamiento básico computadora L-Jetronic.

Control de la inyección de Combustible.

Para un motor con fuel injection, una ECU determinara la cantidad de combustible inyectado en base a un número de parámetros. Si el pedal de aceleración es presionado hasta el fondo, debería abrirse la válvula de admisión y permitir la entrada de aire al motor. La ECU inyectaría más combustible de acuerdo a la cantidad de aire que esta entrando al motor. Si el motor no se ha calentado todavía, mas combustible debería ser inyectado (causado que el motor corra ligeramente hasta que entre en calor).

Control del tiempo de ignición.

Un motor de ignición requiere de una chispa para iniciar la combustión en la cámara de combustión. Un ECU puede ajustarse al tiempo exacto de generación de chispa (llamado tiempo de ignición) para dar un mejor poder y economizar. Si la ECU detecta golpeteos, una condición que destruye potencialmente los motores, y es resultado de que el tiempo de ignición esta siendo antes de el PMS, para corregir esto solo se tiene que retrasar el tiempo de la chispa.

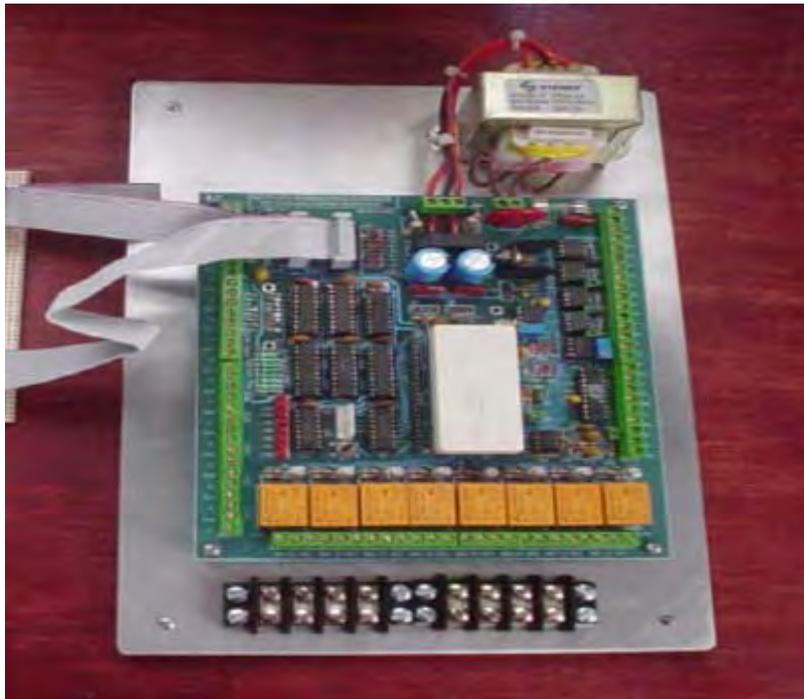


Fig. 3.31 Prototipo de la Unidad Electrónica de control (ECU)

3.7.2 Parámetros que determinan la inyección de combustible.

Los parámetros básicos que determinan las condiciones de la inyección son dos:

- El inicio de la Inyección.
- La duración de la Inyección.

Estos datos son modificados en función de los datos suministrados al modulo electrónico por las distintas sondas que cuantifican en señales eléctricas las condiciones externas e internas del motor. El modulo procesa toda la información y determina el momento y el tiempo que la bobina de los inyectores debe permanecer excitada, permitiendo mediante las electroválvulas de aire y combustible, el paso de la cantidad justa de combustible para el rendimiento óptimo del motor con un número mínimo de contaminantes en la salida del escape.

El objetivo primario del Sistema Electrónico de Control de combustible, es controlar la proporción exacta de la mezcla aire/combustible. Se usan dos sistemas posibles para determinar la cantidad de aire que el motor esta introduciendo y, por tanto, la cantidad de combustible que debe de inyectarse.

El primer sistema y el utilizado en este trabajo, mide la transferencia de presión entre la atmósfera interior y exterior del múltiple de admisión. Esa diferencia de presión y las RPM del motor pueden usarse para calcular el flujo real aire. Una vez que se calcula el flujo de aire hay que calcular la cantidad de combustible necesario.

El segundo sistema para determinar el flujo de aire en el interior del motor, es la medición directa del flujo de aire. Se monta un sensor de flujo de aire en el multiple de admisión.

Sensores del Motor.

1. Sensor de Presión Absoluta Multiple.
2. Sensor de posición del Acelerador.
3. Sensor de Referencia del cigüeñal (medición de la inyección del combustible).
4. Sensor de Temperatura del líquido refrigerante.
5. Sensor de Oxígeno en los gases de escape.
6. Sensor de temperatura del aire del multiple.
7. Sensor de revoluciones por minuto.

La cantidad de aire entrante en el múltiple de admisión es determinado por los siguientes factores:

1. **La temperatura del aire entrante**, entre mayor es la temperatura es menos denso por lo tanto tiene menos cantidad de oxígeno.
2. **Velocidad del Motor**, mayor velocidad mayor requerimiento de aire.
3. **Presión Atmosférica**, la presión atmosférica es mayor a mayores altitudes, el flujo de aire es menor también.
4. **Posición de la Mariposa de Aceleración**, la mariposa esta conectada al pedal de aceleración, la velocidad se incrementa apretando el pedal, incrementándose el flujo de aire al motor.

“La computadora debe calcular cuanto aire esta entrando al motor para ajustar el flujo del combustible”.

Las señales eléctricas del sensor de temperatura, del aire entrante, un sensor de velocidad, el sensor de presión absoluta en el múltiple y el sensor de posición del acelerador son usados para calcular la cantidad de aire que entra al cilindro.

Sensores de Presión Absoluta.

Conocido como MAP monitorea la presión en el múltiple de admisión, y las mediciones se usan para calcular la masa de aire entrante al motor, para determinar la cantidad de combustible que se requiere para una combustión correcta.

Si las MAP aumenta la computadora asume que la masa de aire entrante al motor incrementa.

$$\frac{\text{Flujo de masa de aire}}{\text{de aire}} = \frac{N * MAP * Desplazamiento * RPM}{T_{carga}}$$

Donde:

N= Factor empírico 0.6

MAP= Presión Absoluta en el múltiple de admisión en kPa.

Desplazamiento=Volumen de Cilindros * #de Cilindros en cm³.

RPM= Revoluciones por minuto.

Tcarga= Es la temperatura de la mezcla aire-combustible.

El rango de presión típica para los sensores es hasta 105 kPa y en turbocargados de 250 kPa.

3.7.3 El encendido electrónico

Podría decirse que el avance en el rendimiento de los motores modernos de combustión, se ha hecho posible gracias al encendido al que se encomienda un a elevada responsabilidad en el correcto funcionamiento del motor.

Requerimientos del encendido.

El problema del encendido en general no es ni más ni menos que conseguir objetivos tan básicos y difíciles como los siguientes.

Primero: Conseguir una corriente que tenga la cualidad de poder saltar entre los electrodos de una bujía, es decir, por el aire, a través de una interrupción del circuito y a través de una atmósfera densamente comprimida.

Segundo: Disponer de energía suficiente para iniciar la inflamación de la mezcla explosiva.

Tercero: Hallarse perfectamente sincronizado el salto de esta chispa en el giro del motor, de modo que el resultado final de la inflamación de la mezcla se produzca en el mismo PMS del embolo o muy pocos grados después de este, pero nunca antes.

Estos tres sencillos puntos comportan un océano de dificultades a la hora de crear un mecanismo capaz de cumplir con estos requisitos en cualquier estado de giro del motor.

El número de chispas por minuto depende de dos factores fundamentales: En primer lugar el número de cilindros de que disponga el motor, y en segundo lugar de su velocidad de giro o régimen.

En los motores de cuatro tiempos, en lo que cada dos revoluciones del cigüeñal se produce una explosión en cada uno de los cilindros, el numero de chispas por minuto es bastante grande. Por ejemplo que un motor de cuatro cilindros que esta funcionando a un régimen de 4000 rpm en los motores modernos se puede alcanzar de 5800 a 6300 rpm en algunos modelos.

En el caso del ejemplo tendremos una producción de chispas necesarias para su alimentación será por cilindro de $4000/2=2000$ chispas por minuto y si son 4 cilindros serán 8000 chispas en un minuto

El tiempo que dispone el dispositivo será pues el resultado de dividir 60 seg por las 8000 chispas que ha de proveer. En total 0.0075 seg por cada chispa o lo que es igual 7.5mseg por chispa.

Momento de salto de la Chispa.

Desde el punto de vista teórico la chispa debe producirse cuando el pistón se encuentra en el Punto Muerto Superior (PMS). Pero la chispa es solo el inicio de la combustión que, por el contrario precisa de unas milésimas de segundo para consumarse.

Existe pues una demora que se hace tanto mas sensible cuanto mas elevado sea el régimen de giro del motor.

Puede verse que hay una necesidad de conseguir que la chispa salte unos milisegundos antes del citado PMS del pistón ya que puede verse que hay una necesidad de conseguir que la chispa salte unos milisegundos antes del citado PMS para que el grueso de la inflamación corresponda en este mismo punto.

Esto es a lo que se le llama adelanto de encendido el cual debe ser proporcional a la velocidad de giro del motor, en el sentido de aumentar el avance del salto de la chispa a medida que la velocidad de giro aumenta para dar tiempo a que se produzca la inflamación y esta coincida con el PMS.

Encendido simultáneo: utiliza una bobina por cada dos cilindros. La bobina forma conjunto con una de las bujías y se conecta mediante un cable de alta tensión con la otra bujía.

Circuito del Sistema de Encendido simultáneo.

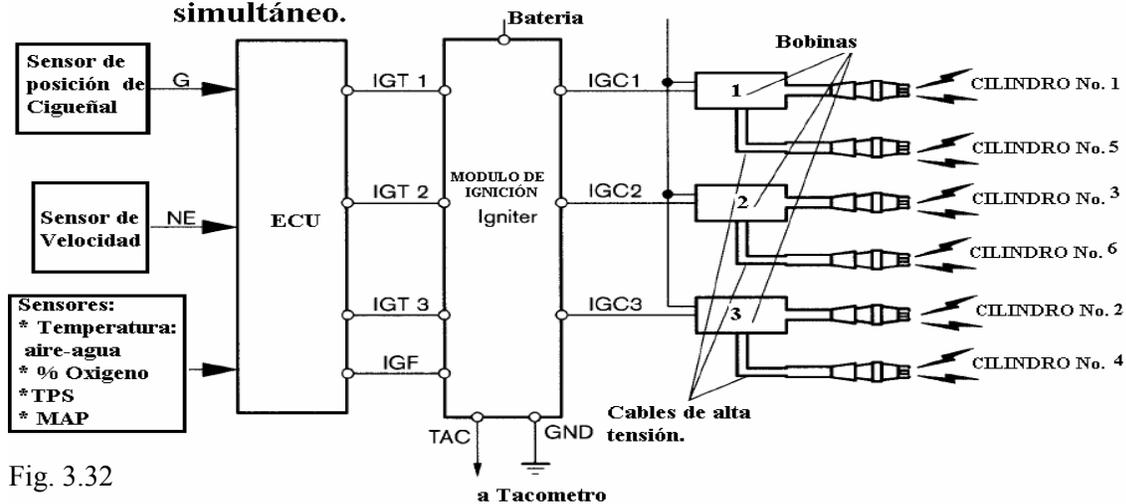


Fig. 3.32

A este sistema de encendido se le denomina también de "chispa perdida" debido a que salta la chispa en dos cilindros a la vez, por ejemplo, en un motor de 6 cilindros la chispa saltaría en los cilindros nº 1 y 6, 2 y 5 o 3 y 4. Al producirse la chispa en dos cilindros a la vez, solo una de las chispas será aprovechada para provocar la combustión de la mezcla, y será la que coincide con el cilindro que esta en la carrera de final de "compresión", mientras que la otra chispa no se aprovecha debido a que se produce en el cilindro que se encuentra en la carrera de final de "escape".

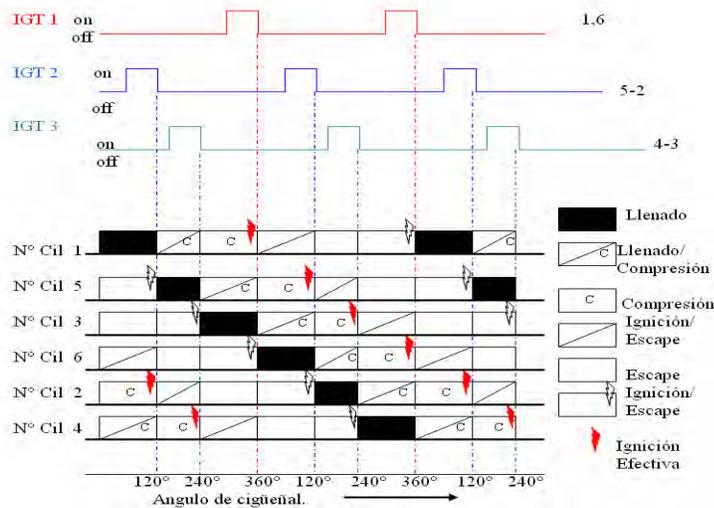


Fig. 3.33 Gráfico de una secuencia de encendido en un sistema de encendido "chispa perdida". Se ve por ejemplo: como salta chispa en el cilindro nº 2 y 5 a la vez, pero solo esta el cilindro nº 5 en escape.

Las bujías utilizadas en este sistema de encendido son de platino sus electrodos, por tener como característica este material: su estabilidad en las distintas situaciones de funcionamiento del motor

La bujía tiene dos funciones primarias:

- 1) Quemar la mezcla aire/combustible
- 2) Disipar la Temperatura dentro de la cámara de combustión hacia el sistema de enfriamiento del motor.

El voltaje necesario para que salte la chispa entre los electrodos de la bujía depende de la separación de los electrodos y de la presión reinante en el interior de los cilindros. Si la separación de los electrodos esta reglada igual para todas las bujías entonces el voltaje será proporcional a la presión reinante en los cilindros. La alta tensión de encendido generada en la bobina se dividirá teniendo en cuenta la presión de los cilindros. El cilindro que se encuentra en compresión necesitara más tensión para que salte la chispa que el cilindro que se encuentra en la carrera de escape. Esto es debido a que el cilindro que se encuentra en la carrera de escape esta sometido a la presión atmosférica por lo que necesita menos tensión para que salte la chispa. Si comparamos un sistema de encendido DIS y uno tradicional con distribuidor tenemos que la alta tensión necesaria para hacer saltar la chispa en la bujía prácticamente es la misma. La tensión que se pierde en los contactos del rotor del distribuidor viene a ser la misma que se pierde en hacer saltar la "chispa perdida" en el cilindro que se encuentra en la carrera de escape de un sistema de encendido DIS.

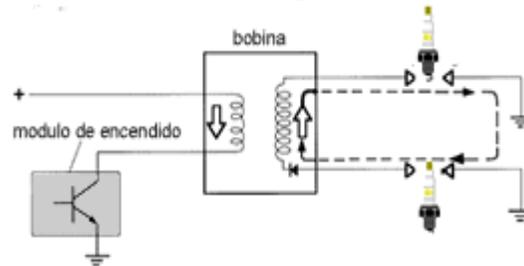


Fig. 3.34 En este sistema de encendido la corriente eléctrica hace que en una bujía la chispa salte del electrodo central al electrodo de masa, y al mismo tiempo en la otra bujía la chispa salta del electrodo de masa al electrodo central.

El "igniter" o modulo de encendido será diferente según el tipo de encendido, siempre dentro del sistema DIS, y teniendo en cuenta que se trate de encendido:

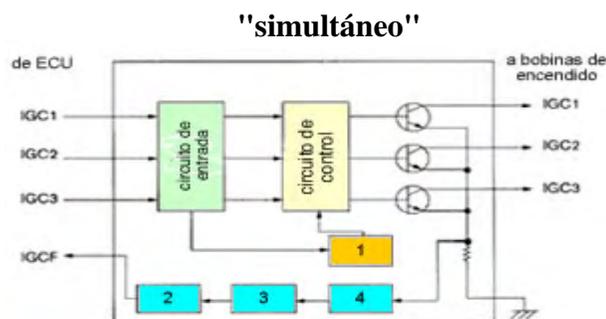


Fig 3.35 Modulo de encendido: 1.- circuito prevención de bloqueo; 2.- circuito señal de salida IGF; 3.- circuito detección de encendido; 4.- circuito prevención de sobrecorrientes.

3.8 Modulo de ignición MSD DIS-4 PLUS

El modulo de ignición Digital DIS-4 Plus se puede ser equipado hasta con cuatro bobinas de doble salida. El modulo acepta señales de disparo provenientes de la unidad electrónica de control.

En la siguiente tabla se muestran sus principales características.

Características técnicas.

Voltaje de operación	12-18 volts
Corriente de operación	10 Amperes a 10,000 RPM
Capacidad RPM	14,000 con 4, 6, 8 cilindros a 14 volts
Voltaje de salida del tacometro	(+) 12 volts longitud de onda cuadrada, 40° de duración.
Limitador de revoluciones	Limites ajustables de altas y bajas RPM
Duración de la chispa	20° - 4-6-8 cilindros, 12 chispas máximo.
Máxima energía de salida	105-115 miliJoules por chispa.
Voltaje de Salida	Primario (en la bobina): 460-480 volts Secundario (bujías) 43,000 volts
Peso y tamaño	3 lbs, 9.5" largo x 4.5" Ancho x 2.2" altura.

Descarga capacitiva

En un encendido inductivo, la bobina debe almacenar e intensificar la tensión al máximo la fuerza en cada disparo. A mayores revoluciones por minuto, ya que hay menos tiempo para cargar las bobinas para alcanzar plena capacidad, la tensión está lejos de alcanzar el máximo de energía que se traduce en una pérdida de poder

El encendido MSD cuenta con un capacitor que rápidamente se carga a 460-480 voltios y lo almacena hasta que la ignición se dispara. El voltaje enviada a la bobina está siempre a plena potencia incluso a altas rpm

Múltiples chispas

El número de chispas que se producen decrecen conforme las revoluciones por minuto aumentan, sin embargo la chispa dura para siempre 20 ° de rotación de cigüeñal. Por encima de 3000 rpm no existe simplemente el tiempo suficiente para disparar la bujía más de una vez, por lo que sólo hay una poderosa chispa.

Batería

El MSD se puede utilizar con una batería de 16 voltios y puede soportar una momentánea a 24 voltios en el caso de un salto de inicio. El encendido entregará plena tensión con un suministro de 12 - 18 voltios y funcionará con una tensión de alimentación tan bajas como 8 voltios.



Fig. 3.36 Modulo de ignición MSD DIS-4.

3.9 Bujías platinum +4

Las bujías platinum +4, cuya tecnología de encendido única y de vanguardia combina las ventajas de la tecnología de chispa deslizante y chispa al aire, cuatro electrodos de masa con 8 posibles saltos de chispa y un electrodo central fundido mediante calor que contiene cuatro veces más platino puro, esto genera la chispa más potente que se puede obtener. La chispa recorre primero la superficie de la nariz de la cerámica y después forma arcos a través de la separación de los cuatro electrodos hasta llegar a un electrodo de masa para generar una chispa más prolongada sin aumentar los requerimientos de voltaje. Este tipo de bujías son las mas comúnmente ocupadas en motores que trabajan utilizando gas de síntesis como combustible.

Resistor:	Si.
Material del centro del electrodo:	Cobre
Material de la punta del electrodo:	Platinum
Tamaño de la rosca:	14mm
Alcance de la chispa:	0.708 in.
Diámetro:	5/8 in.
Electrodos a tierra:	Cuatro



Fig. 3.37 Bujía platino 4 bosch 4418

Dado que la probabilidad de propagación de las chispas es igual para todos los electrodos, el desgaste de los electrodos de masa se distribuye uniformemente. La resistencia óhmica realizada en el vidrio fundido reduce la erosión eléctrica y con ello contribuye a reducir el desgaste de los electrodos.

En las pruebas de laboratorio se garantizó con la bujía de encendido hasta $\lambda = 1,55$ una ignición segura de la mezcla, mientras que en las bujías de encendido estándar, en este campo, la mezcla ya no se inflama en más de la mitad de todos los encendidos.

SIMBOLOGIA



VÁLVULA CHECK



VÁLVULA MACHO



VÁLVULA DE COMPUERTA



TOMA DE MUESTRA



BRIDA CIEGA



TERMOPAR, SONDA DE RESISTENCIA O TERMISTOR CONECTADOS AL INDICADOR DE TEMPERATURA



TERMOPAR INDICADOR MULTIPUNTO

TUBERIA

2"-GC-106-A54

DIAMETRO- SERVICIO-N° LINEA-MATERIAL

— VARIABLE MEDIDA (F) FLUJO, (P) PRESIÓN, (M) HUMEDAD, (A) ANALISIS
 (M) FUNCIÓN DE SALIDA (RR) REGISTRO, (I) INDICADOR, (T) TRANSMISOR, (C) CONTROL



UBICACIÓN PRIMARIA ACCESIBLE AL OPERADOR, INSTRUMENTOS DISCRETOS



UBICACIÓN PRIMARIA ACCESIBLE AL OPERADOR, VISUALIZACIÓN COMPARTIDA



UBICACIÓN PRIMARIA ACCESIBLE AL OPERADOR, FUNCIÓN DE ORDENADOR



CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE



INDICADOR DE HUMEDAD



INDICADOR PRESIÓN DIFERENCIAL



INDICADOR DE FLUJO



INDICADOR DE PRESIÓN



INDICADOR DE TEMPERATURA



INTERRUPTOR ELECTRICO MANUAL DE CONTACTO MOMENTANEO



INDICADOR DE CAUDAL DE ÁREA VARIABLE



TRANSMISOR DE ANALISIS



INDICADOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL



REGISTRADOR DE ANALISIS



REGISTRADOR DE TEMPERATURA



REGISTRADOR DE PRESIÓN



SENSOR DE OXIGENO



SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA



SENSOR DE VELOCIDAD



SENSOR DE TEMPERATURA DE AGUA



SENSOR DE TEMPERATURA DE AIRE

ITEM	DESCRIPCIÓN DE REFERENCIA	ESPECIFICACIONES	MATERIALES				UBICACIONES				AUTORIZACIONES	FECHA	
			TIPO	GRADO	PROBADO	OTRO	TIPO	GRADO	PROBADO	OTRO			

DAVIERA GALVAN MARIO ALBERTO
 INSTITUTO DE INGENIERIA
 COMISION DE LA PLANTA DE
 GENERACION DE ELECTRICIDAD POR
 MEDIO DE IMPULSION DE BRAMA
 UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTONOMA DE MEXICO
 2008

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se cumplieron con los objetivos planteados y se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Se realizó una selección, análisis de comportamiento y calibración de los principales sensores de medida relacionados con la planta gasificación como son la temperatura, presión y humedad en los cuales se establecieron correlaciones de las variables a medir y su comportamiento en voltaje.

Cabe resaltar que dichos sensores se utilizarán tanto en la biomasa como en el gasificador, siendo este último, el equipo principal del proceso. Los sensores de temperatura tipo termopar, brindan una rápida respuesta, lo que permite conocer e identificar cada una de las etapas del proceso de gasificación como el secado, la pirolisis y la combustión.

Se realizaron y diseñaron los diagramas de flujo de proceso, de instrumentación y de distribución de equipo los cuales son una herramienta importante en la colocación y distribución de los sistemas auxiliares y de medición del laboratorio de gasificación. Dichos diagramas se realizaron tomando en cuenta los parámetros de diseño calculados y simulados en previamente.

Se realizó un estudio de los sensores que se instalaran en el motor Diesel previamente adaptado (rpms, MAP, temperatura de agua y aire, válvula solenoide, sensor de oxígeno, entre otros) los cuales ayudaran a establecer la secuencia de control y de operación de los diferentes regimenes de trabajo de los diferentes regimenes de trabajo del motor, con ello se lograra aprovechar al máximo el combustible (gas de síntesis) alimentado.

Finalmente se puede mencionar que se colaboró estrechamente en la caracterización de la bomba calorimétrica que determina el poder calorífico de la biomasa y del cromatógrafo de gases que medirá la concentración del gas de síntesis generado en la instalación experimental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la selección e instalación de un sensor de nivel de sólidos en la tolva de alimentación para asegurar la operación continua del gasificador.

Designar un lugar para el establecimiento del sistema de monitoreo remoto, dotado con los utensilios necesarios para la visualización, registro, almacenamiento y traslado de la información enviada por los sensores.

Realizar pruebas de operación de los motores de combustión a diferentes regimenes de rpm's y medir la presión absoluta en el múltiple de admisión, lo que ayudad junto con la señal del sensor de oxígeno a modificar la cantidad de combustible o mezcla de este proveído a los motores.

Designar los puntos de toma de muestra para llevar a acabo el análisis de cromatografía de gases.

Instalación de sensores de monóxido de carbono para evitar riesgos de intoxicación de operarios en caso de fuga.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la selección e instalación de un sensor de nivel de sólidos en la tolva de alimentación para asegurar la operación continua del gasificador.

Designar un lugar para el establecimiento del sistema de monitoreo remoto, dotado con los utensilios necesarios para la visualización, registro, almacenamiento y traslado de la información enviada por los sensores.

Realizar pruebas de operación de los motores de combustión a diferentes regímenes de rpm's y medir la presión absoluta en el múltiple de admisión, lo que ayudará junto con la señal del sensor de oxígeno a modificar la cantidad de combustible o mezcla de este proveído a los motores.

Designar los puntos de toma de muestra para llevar a cabo el análisis de cromatografía de gases.

Instalación de sensores de monóxido de carbono para evitar riesgos de intoxicación de operarios en caso de fuga.

BIBLIOGRAFIA.

1. Antonio Creus Sole, instrumentación industrial, editorial Alfaomega, 7ª edición, 2005.
2. André faaij, Jesper Ahrenfeldt, Michael Morris y jo Penninger. “Handbook biomass gasification”. Harrie Knoef. Septiembre 2005. 211-228 p.
3. Alan shihadeh and simone hochgreb, diesel engine combustion of biomass pyrolysis oils, massachusetts institute of technology, department of mechanical engineering, energy & fuels 2000, 14, 260-274
4. Ali tabatabaie-raissi, George j. Trezek, parameters governing biomass gasification, ind. Eng. Chem. Res. 1987,26, 221-228
5. Bastick, m., perrot, j.m. Y weber, j. “general characteristics of coal gasification”, international chemical engineering, vol.26, n0.2, p. 251, 1986.
6. B. Reed thomas, hanbook of biomass downdraft gasifier engine systems, editorial seri 1988.
7. B.v. Babu and pratik n. Sheth, modeling and simulation of downdraft biomass gasifier, department of chemical engineering, birla institute of technology and science, pilani – 333 031 (rajasthan) india.
8. Chongli zhong, thermodynamic modelling of biomass conversion processes, fluid phase equilibria, 7 march 2001.
9. Chohey nicholas p, handbook of chemical engineering, mc. Graw hill, 1994
10. Conae, 2005. Fuentes no renovables de energía primaria. Comisión nacional para el ahorro de energía; dirección de demanda eléctrica. México.
11. Conae, el sistema de combustible de los motores de combustión interna
12. Commision of the european communities, biomass for energy and industry, c.a.r.m.e.n, 1998.
13. Donald q. Kern. “procesos de transferencia de calor”. Continental. México. 1990. 159-208 p.
14. F. Vyarawalla, p.p. Parikh, h.c. Dak and b.c. Jain, utilisation of biomass for motive power generation - gasifier engine system, biomass 5 (1984) 227-242
15. Franco, perspectives for the use of biomass as fuel in combined cycle power plants, international journal of thermal sciences 44 (2005).

16. Fao, wood gas and engine fuel, forestry department, 1986
17. Frederick L. Dryer, Marcos Chaos, Ignition of syngas/air and hydrogen/air mixtures at low temperatures and high pressures: Experimental data interpretation and kinetic modeling implications, Elsevier, Combustion and Flame
18. G j gallagher, development of a small-scale biomass chp system, sustainable energy ltd.
19. G. Schursten g. Löffler, biomass steam gasification-an extensive parametric modeling study, , institute of chemical engineering, 19 diciembre 1999
20. Gao Xian Sheng, Biomass Gasifiers: From Waste to Energy Production, Biomass 20 (1989) 3-12
21. Ganesan v, internal combustion engines, editorial mc. Graw hill.
22. Hongmei zhang, jun wang, combustion characteristics of a diesel engine operated with diesel and burning oil of biomass, renewable energy 31 (2006) 1025–1032, elsevier
23. Ine 2000. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1994-1998. Instituto nacional de ecología, secretaría de medio ambiente, recursos naturales y pesca. México .
24. International energy agency, biomass energy: key issues and priority needs, ocde, 1997.
25. J. Van doorn, j.h.a. Kiel, biomass gasification research at ecn in fixed bed and fluidised bed reactors. E.p. Schenk,. Proc. Biomass gasification and pyrolysis, stuttgart (germany), pp. 129-137
26. Joaquín ocon garcía y gabriel tojo barreiro. “problemas de ingeniería química: operaciones básicas, tomo i”. Tolle-lege. Madrid, españa. 1974. 216-250 p
27. José antonio posluszny. 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.
28. José Salvador Ochoa Torres, Simulación numérica del proceso de gasificación para la utilización del carbón o coque de petróleo México D.F., Junio de 2001 Tesis Maestría UNAM.

29. Juan José Vaquer Hernández, Juan Armando Vaquer Hernández y Reinaldo Martínez Martínez “estudio del empleo de combustibles alternativos en motores de combustión interna”. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Villa Clara, Cuba. 1999.
30. Knoef h.a.m, handbook biomass gasification, h.a.m knoef, 2005.
31. Klass Donald I, biomass for renewable energy, fuels, and chemicals, Academic Press, 1998.
32. Larson E. “technology for electricity and fuels from biomass”. Rev. Energy Environ. 1993.
33. Manual de la bomba calorimétrica Parr 1108
34. Manual del cromatógrafo Buck 910
35. Masera Cerutti Omae, la bioenergía en México, Red Mexicana de Bioenergía, 2006.
36. Nader Jand, Vincenzo Brandani, and Pier Ugo Foscolo, thermodynamic limits and actual product yields and compositions in biomass gasification processes, Ind. Eng. Chem. Res. 2006, 45, 834-843
37. Oliver Solis Martínez, Análisis funcional de los sistemas de control electrónico del motor de combustión interna a gasolina del automóvil moderno, tesis electrónicas, UNAM.
38. P.I. Spath and D.C. Dayton, preliminary screening technical and economic assessment of synthesis gas to fuels and chemicals with emphasis on the potential for biomass-derived syngas.
39. Peter McKendry Energy production from Biomass part 3: gasification Technologies, Elsevier, Bioresource Technology 83(2002) 55-63
40. Perry Green, manual del ingeniero químico, volumen IV
41. Richard I. Bain, electricity from biomass in the United States: status and future direction, Bioresource Technology 46 (1993).
42. Rolando Zanzi, updraft gasification, Dept. of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology (KTH), S-100 44 Stockholm, Suecia.
43. S. Kalisz, C. Lucas, A. Jansson and W. Blasiak, continuous high temperature air/steam gasification (HTAG) of biomass, 6th Int. Conference on Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

44. S. M. Chern, walter p. Walawender* & l. T. Fan, mass and energy balance analyses of a downdraft gasifier, department of chemical engineering, college of engineering, durland hall, kansas state university, manhattan, kansas 66506, usa.
45. Sangeeta chopra and anil kr jain, a review of fixed bed gasification systems for biomass, school of energy studies for agriculture, pau, ludhiana, 141004, india.
46. S.M. Walton *, X. He, B.T. Zigler, M.S. Wooldridge, An experimental investigation of the ignition properties of hydrogen and carbon monoxide mixtures for syngas turbine applications, Proceedings of the Combustion Institute 31 (2007) 3147–3154
47. T.a. Milne and r.j. Evans, biomass gasifier “tars”: their nature, formation, and conversion, national renewable energy laboratory 1617 cole boulevard golden, colorado, us
48. Thomas nussbaumer, combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction, energy & fuels 2003.
49. Tiejun wang, synthesis gas production via biomass catalytic gasification with addition of biogas, , energy & fuels 2005.
50. Tsuji h, gupta ak, hasegawa t, katsuki m, kishimoto k, morita m. High temperature air combustion: from energy conservation to pollution reduction, crc press. 2002.
51. Ulrich zuberbühler, michael specht, adreas bandi, gasification of biomass an overview on available technologies centre for solar energy an hydrogen research, stuttgart, germany.
52. V. K. Jones, Brian A. Ault, Gene F. Franklin, Fellow, IEEE, and J. David Powell, Identification and Air-Fuel Ratio Control of a Spark Ignition Engine, IEEE TRANSACTIONS ON CONIKOL SYSTEMS TECHNOLOGY. VOL. 3. YO. I, MARCH 1995
53. Van der meijden, j.p.a. Neeft, e.p. Schenk, s.d. Ytsma gasification of wood waste from public gardens for chp production. L. Dinkelbach, h. Klein teeselink,. Proc. 10th european conference and technology exhibition: biomass for energy and industry. Würzburg (germany).
54. Wong Ha Ing, Tesis Gasifier to Methanol Plant, University to Queensland
55. Zhengshun wu, chuangzhi wu, haitao huang, shunpeng zheng, and xianwen dai, test results and operation performance analysis of a 1-mw biomass gasification electric power generation system, energy & fuels 2003, 17, 619-624

<http://www.shef.ac.uk/~suwic/index.html>
<http://www.fao.org/docrep/T0512S/t0512s00.htm#Contents>
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia21/HTML/articulo04.htm>
<http://www.monografias.com/trabajos27/gasificacion-citricos/gasificacion-citricos.shtml#resum>
<http://www.biomassgasifier.com>
http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Welcome.asp
http://www1.eere.energy.gov/biomass/information_resources.html
http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_622_energia_de_la_biomasa
<http://www.iea.org/Textbase/stats/prodresult.asp?PRODUCT=Electricity/Heat>
<http://www.msdiygnition.com/1ignitions.htm>
http://www.parrinst.com/default.cfm?page_id=176<http://www.ahlborn.com>
http://www.filtsys.com/brochures/eng_26_INSTALLATION_OPERATION_MANUAL_SPANISH.pdf

ANEXO Microcomputadora "VVT_JISR - 01".

Descripción general.

La microcomputadora utilizada en este trabajo está basada en la familia de controladores TIGRE, de la cual, existen tres subfamilias: ECONO-TIGRE, TINY-TIGRE y **BASIC-TIGER**; todas trabajan sobre el mismo sistema operativo y contienen una arquitectura prácticamente igual, diferenciándose solamente en el tamaño de la memoria "RAM", "FLASH", número de entradas y salidas. Se cuenta con los periféricos más usados en aplicaciones de instrumentación, control y automatización, los cuales son: etapas de entradas-salidas analógicas y digitales, salidas de potencia mediante relevadores, comunicación serie local RS-232 y SPI, comunicación serie remota RS-485, interfaz con usuario mediante pantalla alfanumérica y teclado, salida controlada por un reloj de tiempo real, y una salida de alimentación para sensores. **Diagrama interno de la microcomputadora.**

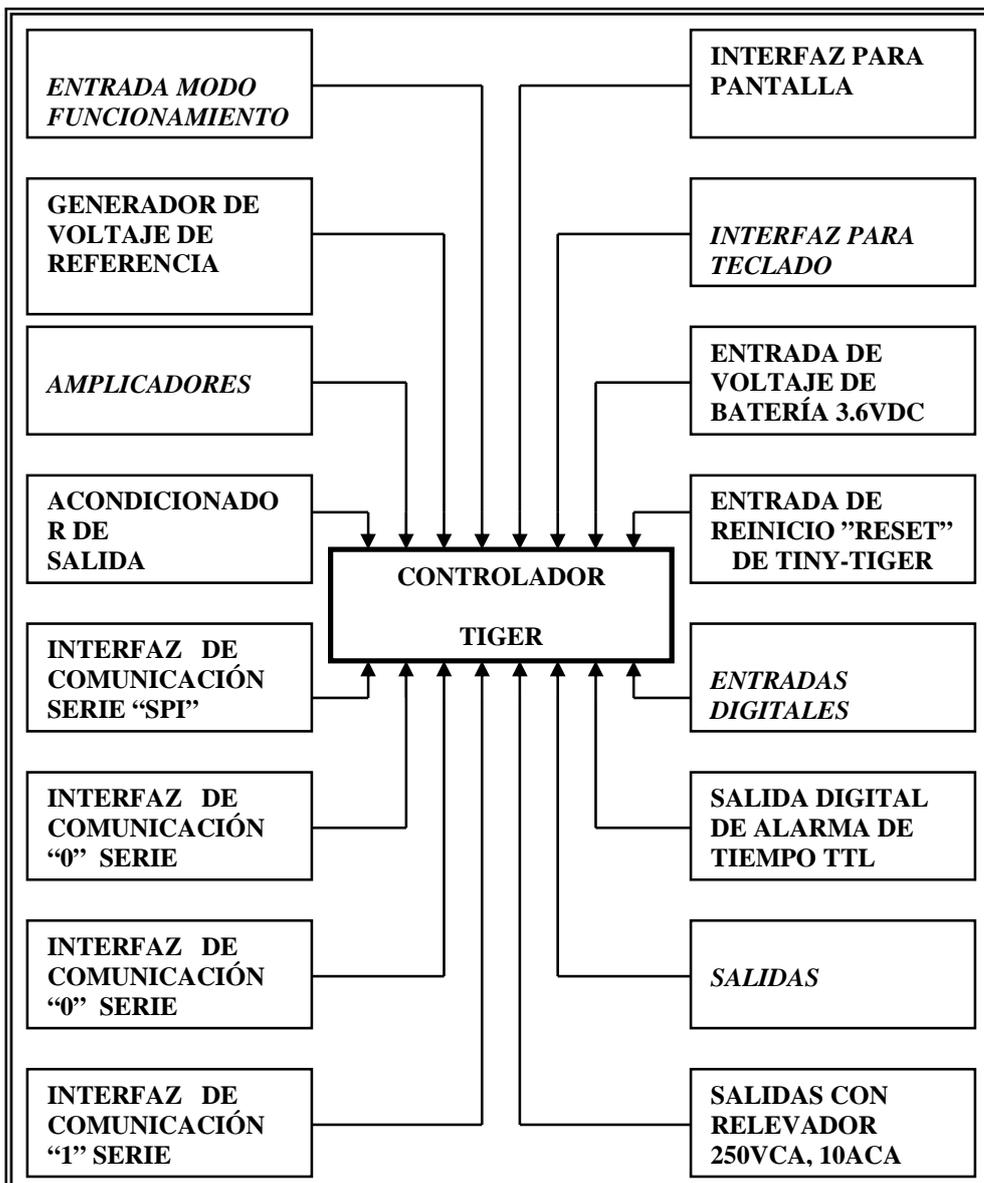
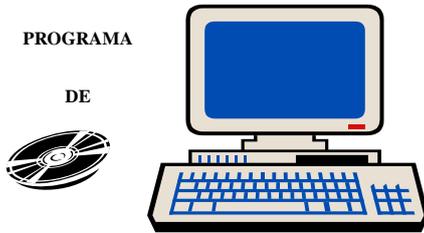
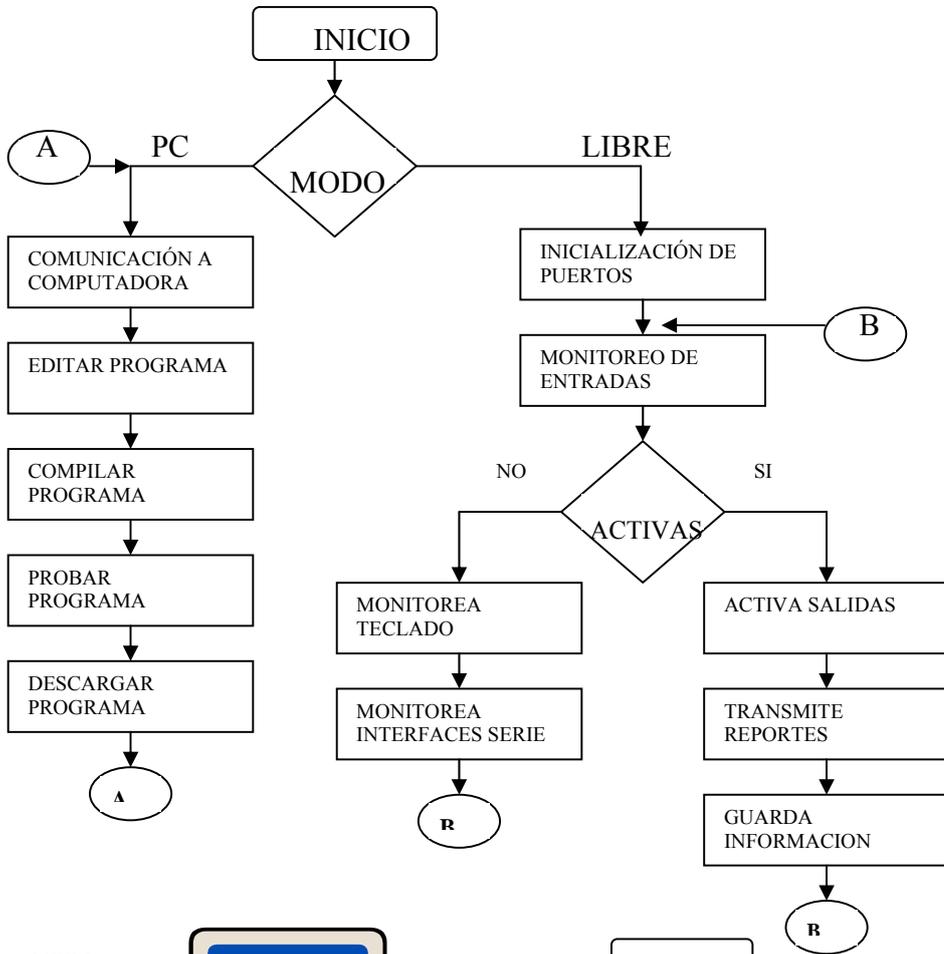


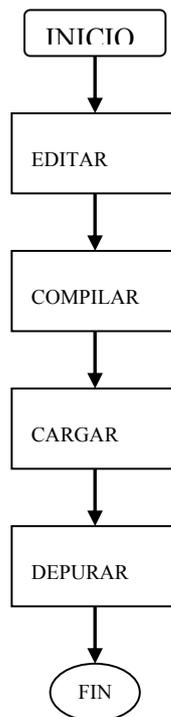
Diagrama de flujo general de programación.



PUERTO DE COMUNICACIÓN



TARJETA DE DESARROLLO DE MICROCOMPUTADORA



Especificaciones eléctricas generales.

NO.	PARÁMETRO	CANTIDAD	INTERVALO
01	Entradas analógicas.	04	0 a Vref.
02	Impedancia de entrada	04	1 MΩ.
03	Ganancia de entrada con amplificador de instrumentación. CN0=6, CN1=10.4, CN2=60, CN3=119	04	1 a 200
04	Voltaje de referencia.	01	3.5 a 5 Vdc, 10 mA.
05	Salida analógica.	01	0 – 10 Vdc
06	Impedancia de salida	01	1 Ω.
07	Ganancia de salida con amplificador FET.	01	1 a 5
08	Entradas digitales	08	5Vdc, 1 mA.
09	Atenuador para entradas digitales (no instalado, calcularlo)	08	5 a 600 VDC, 10 mA.
10	Salidas digitales (la No. 1 está compartida con la pantalla).	08	5Vdc, 10 mA.
11	Salidas de potencia	08	120VAC, 10A.
12	Salida controlada por el reloj de tiempo real	01	1 mseg a 1 año 5Vdc, 10 mA.
13	Salida de voltaje	01	+12VDC, 1A
14	Interfaz serie RS-232	02	300bps a 153,6Kbps, 7 a 9 bits datos, control de paridad, 2 bits de arranque y paro.
15	Interfaz serie RS-485 (la velocidad de transmisión está en función de la distancia).	01	300bps a 153,6Kbps, 7 a 9 bits datos, control de paridad, 2 bits de arranque y paro.
16	Interfaz para pantalla alfanumérica	01	1x8 hasta 4X20 caracteres por renglón
17	Interfaz para teclado	01	64 teclas, 8x8 renglones X columnas
18	Alimentación	01	127VCA, 1A
19	Consumo	01	5W

Instalación de la Microcomputadora.

- Conectar la Micro mediante el cable serial RS-232 a la PC.
- Conectar la Micro a la corriente eléctrica 220 V.
- Iniciar el programa Tiger Basic desde la PC
- Seleccionar el puerto de comunicación en el Menú OPCIONES y en la caja de dialogo seleccionar el COM PORT en el que se encuentra conectado. La baudrate debe estar siempre en 36000 bd.
- Coloque el interruptor en “modo PC” y presione el botón RESET.
- Seleccionar Tiger Status del menú View

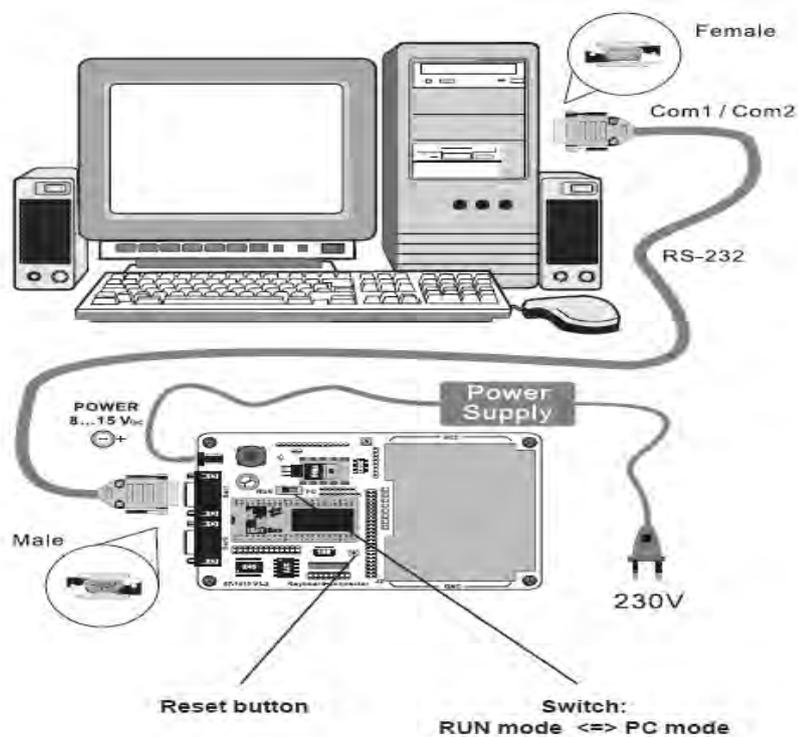
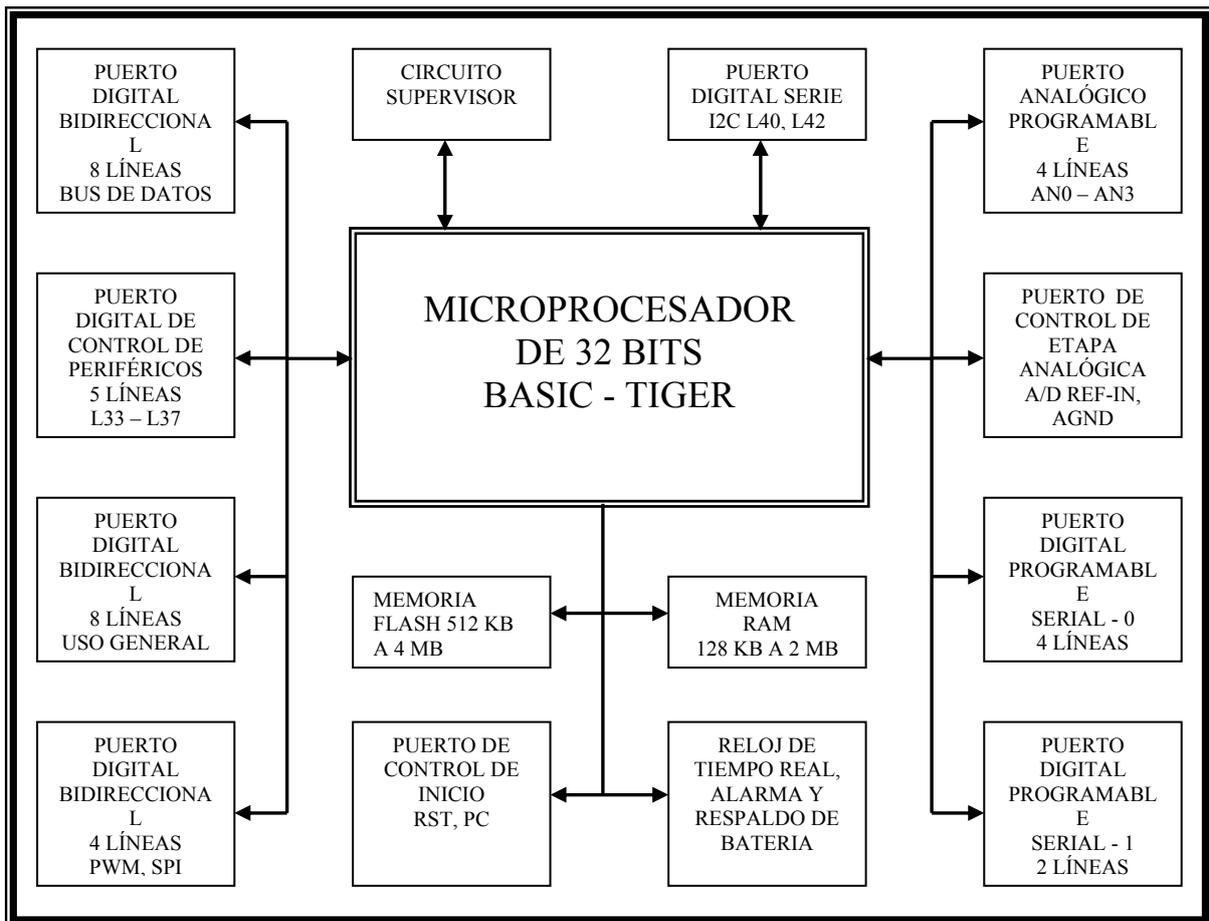


Diagrama de bloques de controlador BASIC-TIGER.



Pantalla Principal de TIGER Basic

```
TIGER-Basic 5.01n (Lite)
File Edit Search View Start Debug Options Window Help
C:\ARCHIVOS DE PROGRAMA\WILKE TECHNOLOGY\TIGER BASIC 5.01N (LITE)\VALENTE\COMRS-232VVT.TIG
-----
Nombre: Prueba de comunicación RS-232, COMRS-232VVT.TIG
-----
#INCLUDE DEFINE_A.INC           'definición de sistema
#INCLUDE UFUNC3.INC            'definición de términos

TASK MAIN                       'inicio de tarea principal
INSTALL DEVICE #SER, "SER1.TDD",& 'manejador de puertos serie
BD_9_600,DP_8N,JA, BD_9_600,DP_8N,JA, 00100000b,9,1

string A$                       'definición de variable local

INICIO: 'inicio de ciclo

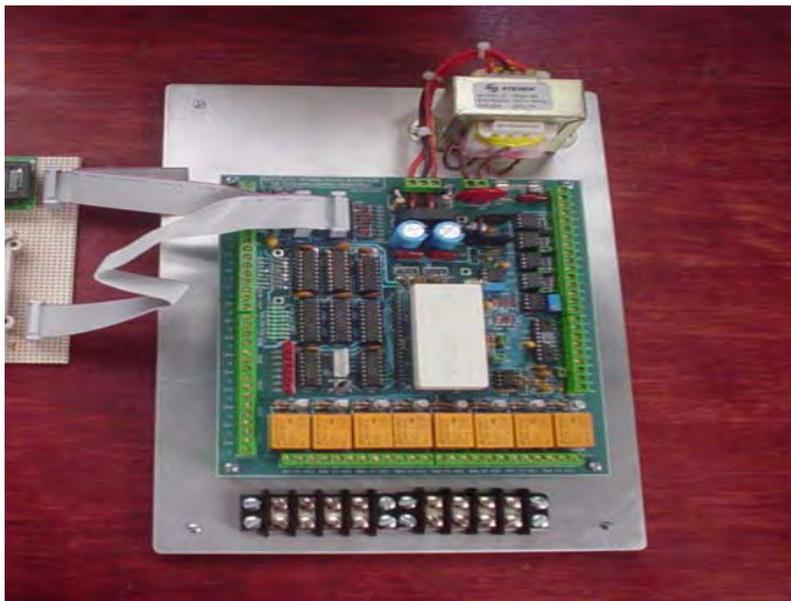
A$=""                            'limpia registro de cadena de datos

GET #SER, #0, 0, A$              'lee puerto serie "0"

IF A$<> "" THEN                 'dato recibido?
  PRINT #SER, #1,A$             'Si, transmite por puerto serie "1"
ENDIF                            'fin de ciclo "IF"

GOTO INICIO                      'regresa a ciclo infinito

END                               'fin de tarea
```



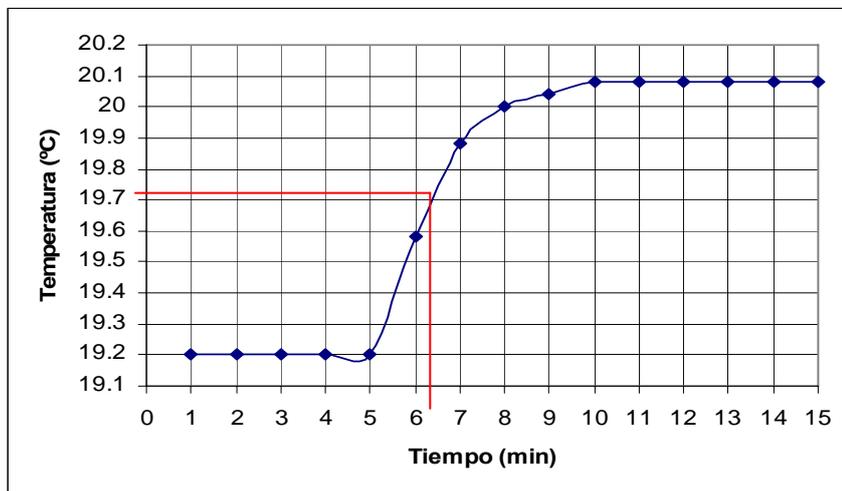
Microcomputadora (Unidad Electrónica de Control ECU)

PODERES CALORIFICOS DE RESIDUOS BIOMASICOS.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	26-jun-2006
ESPECIE:	PASTO (corrida 1-2)
PROCEDENCIA:	Zona urbana F.C

θ (min)	T (°C)
1	19.2
2	19.2
3	19.2
4	19.2
5	19.2
6	19.58
7	19.88
8	20
9	20.04
10	20.08
11	20.08
12	20.08
13	20.08
14	20.08
15	20.08
Peso muestra (gr)	0.4
e (residuo fusible, cal):	4
Poder calorífico(MJ/kg)	22.562

a	5
c	10
d	15
tb	19.728
b	1.3
r1	0
r2	0
t	0.88



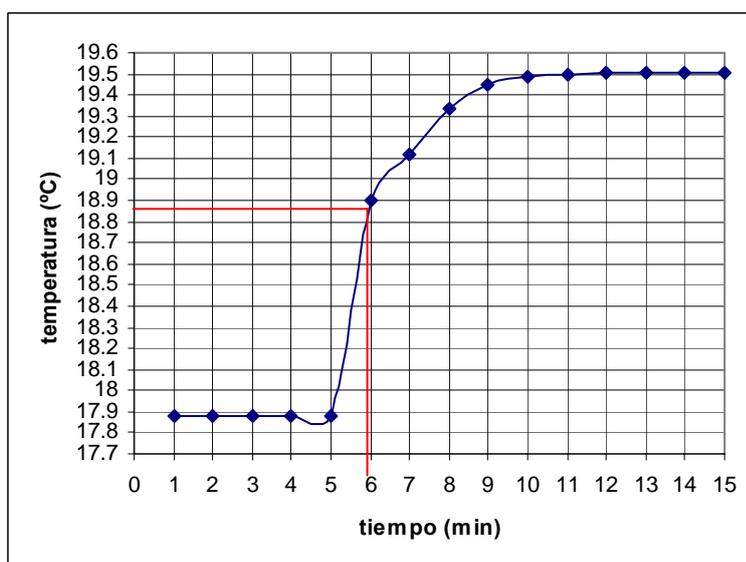
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	05/09/06
ESPECIE:	TEHUIZTLE BLANCO (corrida 1-3)
PROCEDENCIA:	N.D

θ (min)	T (°C)
1	17.88
2	17.88
3	17.88
4	17.88
5	17.88
6	18.9
7	19.12
8	19.34
9	19.45
10	19.49
11	19.5
12	19.51
13	19.51
14	19.51
15	19.51
Peso muestra (gr)	0.9
e (residuo fusible, cal):	5
Poder calorífico(MJ/kg)	16.163

a	5
c	10
d	15
tb	18.86
b	1
r1	0
r2	0.004
t	1.57



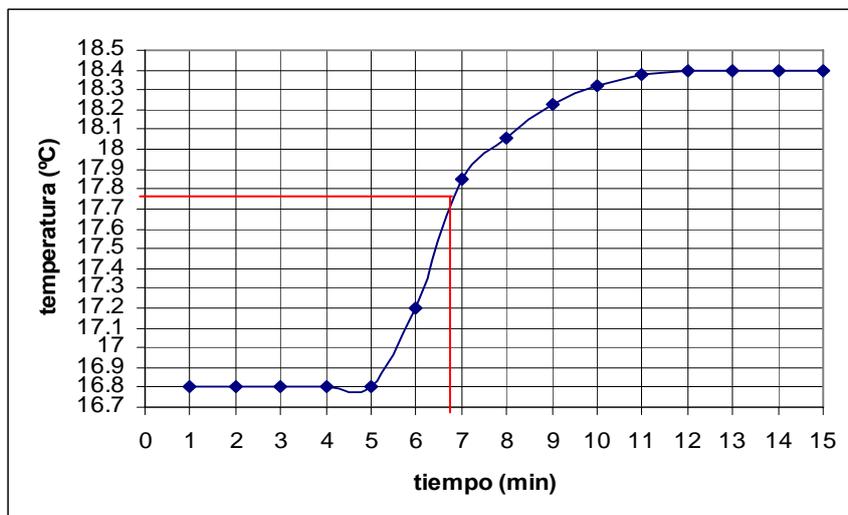
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	05/09/06
ESPECIE:	TEHUIZTLE ROJO (corrida 1-3)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	16.8
2	16.8
3	16.8
4	16.8
5	16.8
6	17.2
7	17.85
8	18.06
9	18.23
10	18.32
11	18.38
12	18.4
13	18.4
14	18.4
15	18.4
Peso muestra (gr)	0.9
e (residuo fusible, cal):	5
Poder calorífico(MJ/kg)	17.329

a	5
c	12
d	15
tb	17.76
b	1.8
r1	0
r2	0
t	1.52



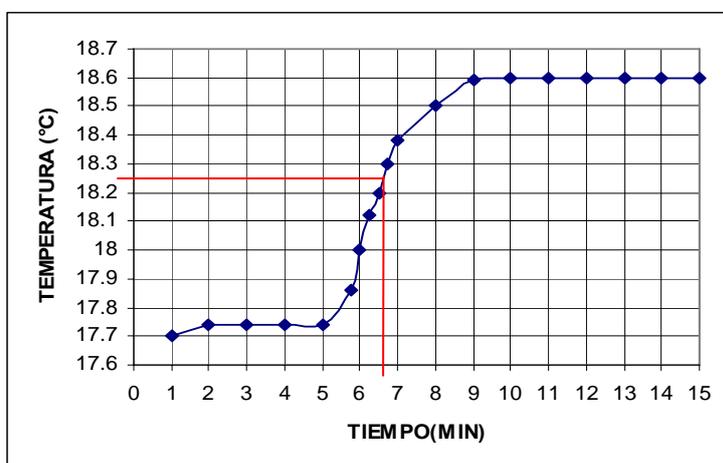
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	marzo 2006
ESPECIE:	Eucalipto (corrida 1-4)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	17.7
2	17.74
3	17.74
4	17.74
5	17.74
05:45	17.86
6	18
06:15	18.12
06:30	18.2
06:45	18.3
7	18.38
8	18.5
9	18.59
10	18.6
11	18.6
12	18.6
13	18.6
14	18.6
15	18.6
Peso muestra (gr)	0.5
e (residuo fusible, cal):	5
Poder calorifico(MJ/Kg)	18.059

a	5
c	9
d	15
tb	18.256
b	1.7
r1	0.01
r2	0.001666667
t	0.880833333



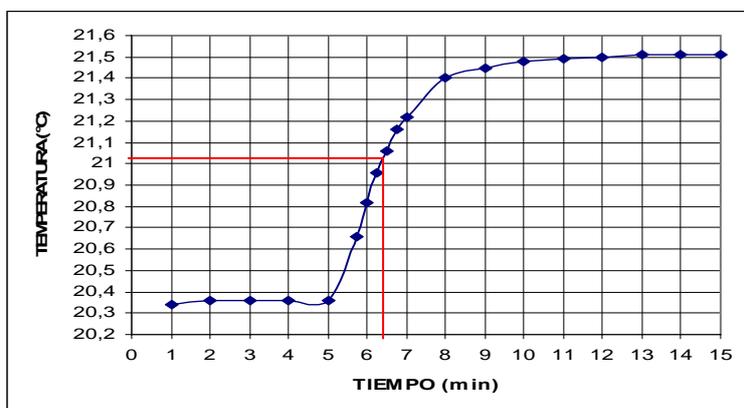
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	13 JULIO 2006
ESPECIE:	GREVILLEA ROBUSTA (corrida 1-4)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	20,34
2	20,36
3	20,36
4	20,36
5	20,36
05:45	20,66
6	20,82
06:15	20,96
06:30	21,06
06:45	21,16
7	21,22
8	21,4
9	21,45
10	21,48
11	21,49
12	21,5
13	21,51
14	21,51
15	21,51
Peso muestra (gr)	0,6
e (residuo fusible, cal):	4
Poder calorifico(MJ/Kg)	20.514

a	5
c	12
d	15
tb	21.044
b	1.3
r1	0.005
r2	0.003333333
t	1.199633333



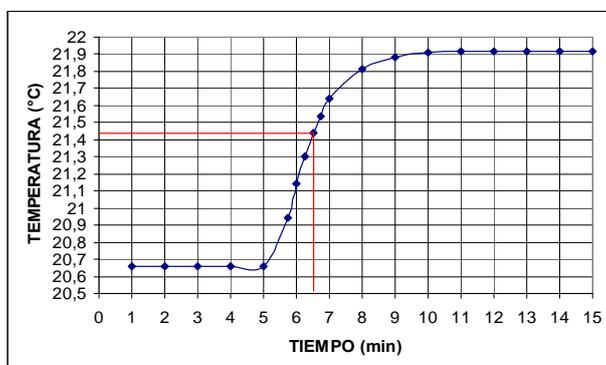
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	08-NOV-06
ESPECIE:	CEDRO (corrida 1-4)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	20,66
2	20,66
3	20,66
4	20,66
5	20,66
05:45	20,94
6	21,14
06:15	21,3
06:30	21,44
06:45	21,54
7	21,64
8	21,81
9	21,88
10	21,91
11	21,92
12	21,92
13	21,92
14	21,92
15	21,92
Peso muestra (gr)	0,6
e (residuo fusible, cal):	5
Poder calorifico(MJ/Kg)	21.079

a	5
c	10
d	15
tb	21.4
b	1.5
r1	0
r2	0
t	1.23



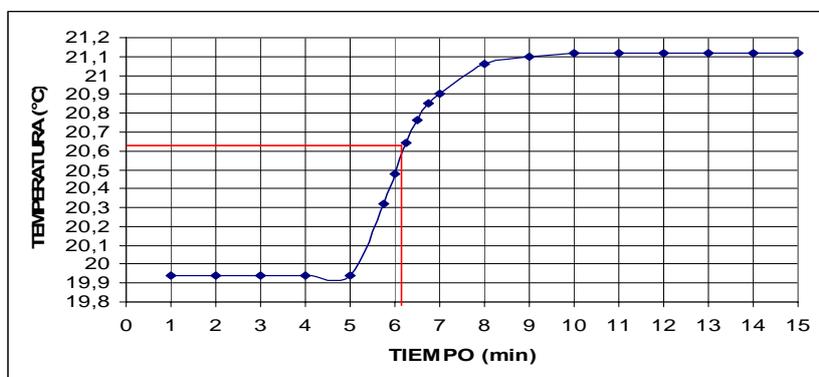
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, °C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	10-NOV-06
ESPECIE:	HULE (corrida 1-3)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	19,94
2	19,94
3	19,94
4	19,94
5	19,94
05:45	20,32
6	20,48
06:15	20,64
06:30	20,76
06:45	20,85
7	20,9
8	21,06
9	21,1
10	21,12
11	21,12
12	21,12
13	21,12
14	21,12
15	21,12
Peso muestra (gr)	0,6
e (residuo fusible, cal):	17
Poder calorifico(MJ/Kg)	20.088

a	5.00
c	10.00
d	15.00
tb	20.65
b	1.10
r1	0.00
r2	0.00
t	1.18



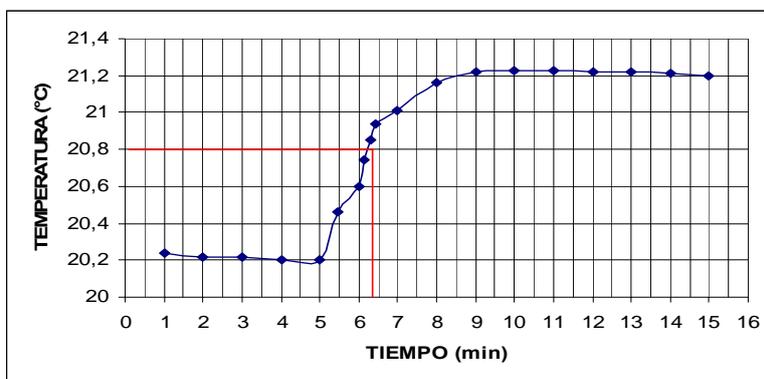
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, °C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE ANALISIS:	28-NOV-06
ESPECIE:	JACARANDA (corrida 1-3)
PROCEDENCIA:	N/R

θ (min)	T (°C)
1	20,24
2	20,22
3	20,22
4	20,2
5	20,2
05:45	20,46
6	20,6
06:15	20,74
06:30	20,85
06:45	20,94
7	21,01
8	21,16
9	21,22
10	21,23
11	21,23
12	21,22
13	21,22
14	21,21
15	21,2
Peso muestra (gr)	0,6
e (residuo fusible, cal):	6
Poder calorifico(MJ/Kg)	17.568

a	5
c	10
d	15
tb	20,8
b	1,4
r1	-0,01
r2	-0,004
t	1,0284



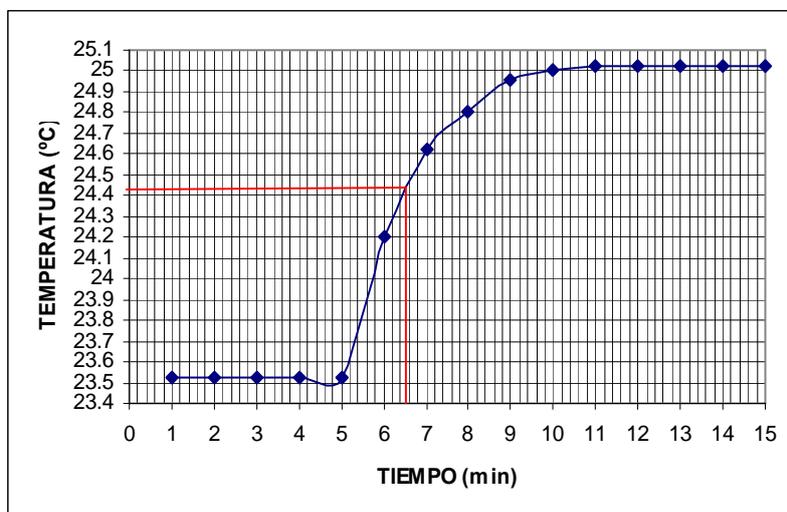
NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

DATOS DE LA MUESTRA	
FECHA DE MUESTREO:	16-DIC-05 (28.57gr) (1.15) 5
ESPECIE:	ACACIA COCHLIACANTHA (corrida1-5)
PROCEDENCIA:	N.D.

θ (min)	T (°C)
1	23.52
2	23.52
3	23.52
4	23.52
5	23.52
6	24.2
7	24.62
8	24.8
9	24.96
10	25
11	25.02
12	25.02
13	25.02
14	25.02
15	25.02
Peso muestra (gr)	0.7
e (residuo fusible, cal):	9.6
Poder calorifico(MJ/Kg)	20.976

a	5
c	11
d	15
tb	24.42
b	1.6
r1	0
r2	0.005
t	1.43

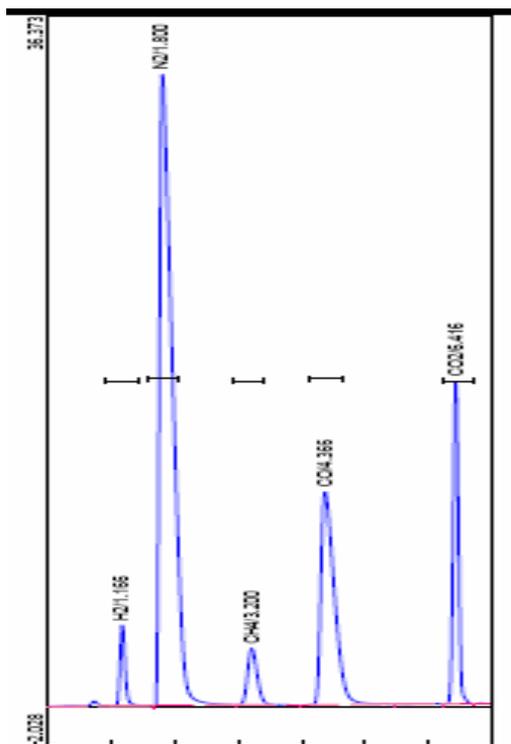


NOTAS:

- a: Tiempo en que se realiza la ignición, min.
- c: Tiempo en que deja de aumentar la temperatura, min.
- d: Tiempo de ultimo registro, min.
- tb: Temperatura del 60% de incremento total de temperatura, ° C
- b (tb-a)
- r1 y r2: factores de corrección.
- t: factor de corrección de aumento total de temperatura.

CROMATOGRAMA BASE

RAMPA 5						
Componente	Retención	Área	Área %	Altura	Anchura	Temperatura
H2	1.15	22.681	3.0393	4.047	39	30
N2	1.733	460.6495	61.7281	34.406	73	30
CH4	3.066	31.267	4.1899	3.028	52	46
CO	4.15	162.909	21.8302	11.005	72	62
CO2	6.416	68.749	9.2125	11.826	26	90



Lab name: IINGEN UNAM
 Analysis date: 01/18/2008 17:32:53
 Method: Syringe Injection
 Description: TCD
 Column: MS 13 X HAY SEP D
 Carrier: HELIUM AT 24 PSI
 Temp. prog: RAMPA6.tem
 Events: corridatres.evt
 Data file: rampa6.CHR ()
 Sample: 1 mL SYNGAS
 Operator: DULCE LOPEZ
 Comments: TEMPERATURA LOPPS: 85° C
 NOTA: ESTA CORRIDA SE REALIZO CON LOS EVENTOS DE LA CORRIDA 3 DEL 7/12/2007 Y UNA RAMPA DE TEMPARATURA DE 28 A 90 AUMENTANDO 16° C/MIN.
 MUESTRA: **RAMPA 6/6**
 Temperature program:
 Init temp Hold Ramp Final temp
 25.00 2.000 0.000 25.00
 25.00 0.000 16.000 90.00
 90.00 2.000 0.000 90.00
 Events:
 Time Event
 0.000 ZERO
 0.000 B ON (TRAP BAKE SETPOINT)
 0.050 G ON (VALVE#1 LOAD/INJECT)
 6.000 B OFF (TRAP BAKE SETPOINT)
 6.000 A ON (SPLIT VENT ON/OFF)

RAMPA 6						
Componente	Retención	Área	Área %	Altura	Anchura	Temperatura
H2	1.166	23.082	2.9631	4.213	40	25
N2	1.8	461.416	59.2326	33.283	76	25
CH4	3.2	31.333	4.0223	2.964	55	44
CO	4.366	165.871	21.2931	11.228	79	63
CO2	6.416	97.288	12.489	17.009	29	90