

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA  
CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN GASIFICADOR  
TIPO DOWNDRAFT O FLUJO CONCURRENTE DE 10 KW DE  
POTENCIA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**MARCO VINICIO TAMAYO ALBAN**

**DIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ**

**CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA**

SANGOLQUÍ, 2012-02-22

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT O FLUJO CONCURRENTE DE 10 KW DE POTENCIA” fue realizado en su totalidad por el Sr. MARCO VINICIO TAMAYO ALBAN como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Roberto Gutiérrez**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Luis Echeverria**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2012-02-22**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT O FLUJO CONCURRENTES DE 10 KW DE POTENCIA”**

**Elaborado por:**

---

**Marco Vinicio Tamayo Albán**

**CI: 1716305048**

---

**Ing. Xavier Sánchez**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

**Sangolquí, 2012-02-22**

## DEDICATORIA

*A mis padres y a mi hermana, por ser un apoyo muy importante en mi vida y por sus consejos de honestidad y perseverancia.*

MARCO TAMAYO

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a todas las personas que contribuyeron para la realización del proyecto, a toda mi familia que siempre estuvo apoyándome y a todos los ingenieros de la ESPE que elevaron mis conocimientos en toda la carrera universitaria.*

*MARCO TAMAYO*

## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
INDICE DE CONTENIDOS .....	vi
LISTADO DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN.....	x

### **Capítulo 1 – Generalidades**

1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Definición del problema.....	3
1.4 Justificación e importancia.....	3
1.5 Alcance.....	4
1.6 Objetivos	
1.6.1 General.....	4
1.6.2 Específicos.....	4

### **Capítulo 2 – Marco Teórico**

2.1 Historia de la Biomasa.....	5
2.1.1 Tipos de biomasa.....	5
2.1.2 Fuentes de Extracción.....	6
2.1.3 Características de la biomasa.....	9
2.1.4 Ventajas de la utilización de la biomasa.....	11

2.1.5 Inconvenientes de la utilización de la biomasa.....	12
2.2 Procesos de conversión de la biomasa en energía.....	12
2.2.1 Proceso de Gasificación.....	14
2.2.2 Clasificación de los procesos de gasificación.....	17
2.3 Tipos de gasificadores.....	18
2.4 Comparación entre los distintos tipos de gasificadores.....	21
2.5 Elección del tipo de gasificador.....	21
2.6 Proceso del Gasificador de lecho fijo o descendente en equicorriente (downdraft).....	22

### **Capítulo 3 – Ingeniería Conceptual**

3.1 Detalle de la construcción de los elementos	
3.1.1 Diseño y Construcción de un Gasificador de Lecho Fluizado a escala de Laboratorio para el tratamiento Térmico de los residuos forestales.....	25
3.2 Planos y Detalle de la Construcción del Gasificador	
3.2.1 Planos de Taller y de Detalle.....	31
3.2.2 Instrucción de Fabricación – Gasificador de 10KW.....	31

### **Capítulo 4 – Ingeniería básica y de detalle**

4.1 Diseño Térmico	
4.1.1 Parametros del diseño térmico.....	61
4.2 Diseño Mecánico	
4.2.1 Parametros del diseño mecánico.....	63

### **Capítulo 5 – Parámetros de Automatización**

5.1 Sistema de control.....	67
5.2 Instrumentación.....	68
5.2.1 Medidores de temperatura.....	69

5.2.2 Medidores de caudal.....	70
5.2.3 Medidores de presión y nivel.....	71
5.2.4 Análisis del gas.....	72
<b><u>Capítulo 6 – Análisis económico y Financiero.</u></b>	
6.1 Análisis Económico	
6.1.1 Costo de realización del proyecto.....	73
6.2 Análisis Financiero	
6.2.1 Valor futuro a la construcción del gasificador.....	74
<b><u>Capítulo 7 – Conclusiones y recomendaciones.</u></b>	
7.1 Conclusiones.....	75
7.2 Recomendaciones.....	76
<b><u>Bibliografía</u></b> .....	77
<b><u>Anexos</u></b> .....	79



## **LISTADO DE ANEXOS**

ANEXO A: PLANOS

ANEXO B: ESQUEMAS DEL GASIFICADOR CON OPCIONES DE MEJORA

ANEXO C: TABLA DE RESULTADOS DE LOS CALCULOS

## RESUMEN

A partir del análisis inmediato y elemental de los residuos forestales, se estudió la posibilidad de su descomposición térmica mediante un método termoquímico, en este caso la gasificación. Esto permitió diseñar y construir un gasificador de lecho fluidizado capaz de lograr estos requerimientos.

La comunidad científica a nivel mundial trabaja en el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas e industriales, permitiendo incrementar el valor económico de diferentes materiales.

El desarrollo de esta tesis va dirigido en ese sentido llevando a cabo diferentes tecnologías que permitan el aprovechamiento de estos residuos como nuevas fuentes de energía.

La gasificación forma parte de estas tecnologías y en este caso se utilizará como materia sólida los residuos forestales. En un gasificador de flujo descendente, el material de alimentación (residuos de forestales) se introduce tan rápido como se alcanza una temperatura suficientemente elevada (820 °C). Las partículas del combustible se introducen en el lecho del reactor, se mezclan rápidamente con el material del lecho y se calientan casi instantáneamente, alcanzando así la temperatura de este.

Como resultado de este tratamiento, el combustible se pirolisa muy rápidamente, dando como resultado una mezcla de componentes con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos, la fase de gas se reproduce una nueva gasificación y reacciones de los alquitranes. La instalación va equipada con un ciclón interno, a fin de reducir el mínimo de escape de partículas sólidas. Las partículas de ceniza se extraen también por la parte inferior del reactor y en el ciclón de gas si este se emplea en aplicaciones para motores

## **Capítulo 1 – Generalidades**

### **1.1 Introducción**

En los últimos años se han enfrentado grandes problemas en el medioambiente, como consecuencia de la contaminación de la actividad industrial, de la explotación indiscriminada de recursos, sin tener en cuenta el impacto que generan en el entorno.

El fenómeno actual denominado calentamiento global tiene como consecuencia el efecto invernadero que se refiere a la absorción de parte de la energía que el suelo emite, debido a que el suelo ha sido calentado por la radiación solar. Esta absorción de energía es principalmente ocasionada por el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), por el NO<sub>x</sub> (óxido de nitrógeno), el vapor de agua y por el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), este último ocasiona la llamada lluvia ácida.

Es por ello que desde el Protocolo de Kyoto, convocado por la Organización de las Naciones Unidas, en la Comisión de Cambios Climáticos muchas naciones acordaron reducir las emisiones que contribuyen al efecto invernadero, entre el 5 y 8% para el 2012, por medio de la búsqueda de obtención de energías que no causen impacto en el medio ambiente.

Un ejemplo de este tipo de energía es el uso de la Biomasa la cual se define como el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico. Entre las ventajas del uso eficiente de la Biomasa se encuentra que en la combustión el CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera forma parte del ciclo natural del carbono y el empleo de Biomasa tiene bajo contenido de azufre.

Uno de los dispositivos o equipos que ayudan al aprovechamiento óptimo son los gasificadores por lo que este proyecto entonces, tiene por objeto generar el conocimiento inmerso dentro del proceso de conceptualización para la construcción y automatización de un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente.

## 1.2 Antecedentes

El gasificador tipo Downdraft hace que sea fácil ejecutar soluciones de alto rendimiento en la gasificación de la biomasa y la pirólisis. En la gran investigación de las energías renovables y la biomasa, el gasificador elimina los obstáculos a partir de la energía de la biomasa y toma gas para generación de energía limpia.

El gasificador está diseñado de forma modular para la conexión entre los reactores y los diferentes regímenes de funcionamiento. Usted puede utilizar el gasificador para ejecutar un tiro descendente ó configurar el gasificador para alimentar motores y generar electricidad. O bien, puede utilizar el sistema con accesorios para crear un modo de reactor de pirólisis múltiple para hacer carbón a partir de la pirolisis y efectuar estudios de suelos.

Los motivos expuestos anteriormente son la principal razón por la que se ha decidido realizar el presente proyecto estudio que consiste en el diseño para la construcción y automatización de un gasificador tipo Downdraft o flujo concurrente, y de esta manera minimizar los efectos negativos ambientales de los residuos aprovechados y las propias aplicaciones, aumentar la competitividad en el mercado y posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles. De esta manera se podrá contribuir con la economía ecuatoriana.



GASIFICADOR TIPO DOWNDRAFT O FLUJO CONCURRENTE

### **1.3 Definición del problema**

La ejecución de este proyecto persigue producir el conocimiento necesario, a través de un proceso investigativo, de los parámetros para el análisis de la creación de un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente de 10 Kw de potencia.

### **1.4 Justificación e importancia**

En el plan de desarrollo del buen vivir 2009-2013.se estipula que se dará prioridad al empleo de energías renovables. El uso de la Biomasa tiene un gran interés ambiental y se basa en las múltiples ventajas que presenta como la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la no emisión de contaminantes sulfurados o nitrogenados. Es por ello que en la Biomasa se utilizan recursos naturales renovables, es decir, son aquellos que tras ser utilizados, pueden regenerarse naturalmente o artificialmente como el agua o los alimentos. Son recursos que al estar sometidos a ciclos, se mantienen de forma constante en la naturaleza.

En el proceso de investigación de la ESPE en el campo de Energía, se ha desarrollado calentadores y biocalentadores a cargo del Ing. José Guasumba, pero no se a desarrollado el uso optimo de la biomasa es por eso que para reforzar la línea de investigación de energía de la ESPE se llevara a cabo este proyecto que radica en la investigación del aprovechamiento de la biomasa mediante un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente.

Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovables alternativas que aunque actualmente son poco rentables, tienen la ventaja de ser poco contaminantes.

Este proyecto, por lo tanto, es de suma importancia como sustento a la idea de traer desarrollo, crecimiento y progreso al sector industrial y comercial del país, por medio de la generación de un equipo que provea energía a base del uso óptimo de la biomasa.

## **1.5 Alcance**

El proyecto tiene como alcance el enfoque a la construcción de un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente de 10 kw de potencia, posterior al estudio y análisis de este proyecto.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 General**

Elaborar la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la construcción y automatización de un gasificador tipo downdraft o flujo concurrente de 10 Kw de potencia.

### **1.6.2 Específicos**

1. Estudio en el estado del arte de la elaboración de un gasificador tipo downdraft.
2. Análisis de la funcionalidad de cada uno de los elementos que componen al gasificador y análisis en conjunto del sistemas
3. Realizar un análisis de los materiales involucrados en la construcción del gasificador
4. Evaluar el flujo de trabajo que va a realizar el gasificador tipo downdraft.

## **Capítulo 2 – Marco Teórico**

### **2.1 Historia de la Biomasa**

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

Desde principios de la historia de la humanidad, la biomasa ha sido una fuente energética esencial para el hombre. Con la llegada de los combustibles fósiles, este recurso energético perdió importancia en el mundo industrial. En la actualidad los principales usos que tiene son domésticos.

En Europa, Francia es el país que mayor cantidad de biomasa consume (más de 9 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep)) seguido de Suecia. España ocupa el cuarto lugar dentro de esta lista con 3,6 millones de tep.

#### **2.1.1 Tipos de biomasa.**

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético.

**Biomasa natural:** Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.



*Fig. 1 Biomasa natural.*

**Biomasa residual (seca y húmeda):** Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosos y herbáceos) y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el serrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, etc.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).



*Fig. 2 Biomasa residual.*

**Cultivos energéticos:** Estos cultivos se generan con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Estos cultivos los podemos dividir en:

- Cultivos ya existentes como los cereales, oleaginosas, remolacha, etc.;
- Lignocelulósicos forestales (chopo, sauces, etc.)
- Lignocelulósicos herbáceos como el cardo *Cynara cardunculus*
- Otros cultivos como la patata

### **2.1.2 Fuentes de extracción.**

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas), se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles. Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han



sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, calderas, secado de granos, etc.

### **Plantaciones energéticas:**

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel. Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica, usualmente, solo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche, carne o tomate. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de combustible, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

### **Desechos agrícolas:**

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de "residuos húmedos" en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobre fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

### **Desechos industriales:**

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

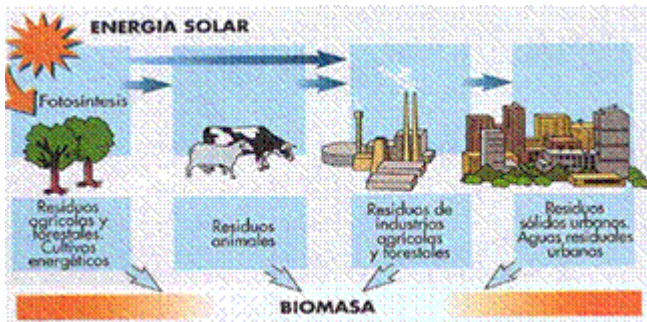
### **Desechos urbanos:**

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo:

Residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre

todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación. Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía "limpia".

A corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.



*Fig. 3 Fuentes de extracción de la biomasa.*

### **2.1.3 Características de la biomasa.**

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan.

- **Tipo de biomasa:** Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc.

- **Composición química y física:** Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.
- **Contenido de humedad (HR):** El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.
- **Porcentaje de cenizas:** El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.
- **Poder calórico:** El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.
- **Densidad aparente:** Se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor

volumen de almacenamiento y transporte, algunas veces presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión y eleva los costos del proceso.

- **Recolección, transporte y manejo:** Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

#### **2.1.4 Ventajas de la utilización de la biomasa.**

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

- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO<sub>2</sub>, 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.

### **2.1.5 Inconvenientes de la utilización de la biomasa.**

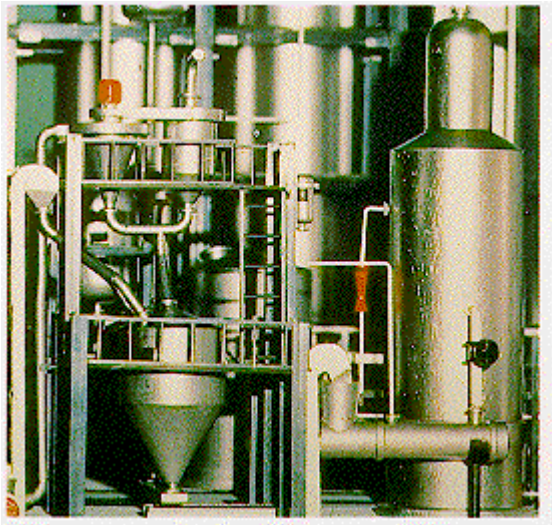
- Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- Producción estacional.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que 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.

## **2.2 Procesos de conversión de la biomasa en energía**

Existen diferentes métodos que transforman la biomasa en energía aprovechable, expondremos los dos métodos más utilizados en este momento, los termoquímicos y los biológicos.

- **Métodos termoquímicos.**

Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo para la paja y la madera.



*Fig. Planta termoquímica.*

Se utilizan los procesos de:

**a) Combustión:** La combustión es el proceso de conversión en el cual se produce la oxidación completa del combustible. La combustión directa de la biomasa es el sistema más elemental y, por supuesto, más antiguo de recuperación energética de la misma. La combustión de la biomasa puede caracterizarse por la siguiente reacción química:

Exceso de oxígeno + celulosa + hemicelulosa + lignina + minerales?  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} +$   
cenizas + calor

La energía obtenida en forma de calor (producto primario del proceso) se utiliza en calderas para la producción de vapor y como calor de proceso en una multitud de aplicaciones, como son para uso doméstico o industrial, calefacción, etc.

**b) Pirólisis:** La pirólisis es la degradación térmica en ausencia de oxígeno. El objetivo de este proceso es obtener tanto combustible líquido como sea posible. La principal ventaja de este proceso es que este líquido o aceite pirolítico obtenido es fácil de manipular en cuanto a transporte y almacenamiento, pero tienen la desventaja de su inestabilidad química y física. Se añaden agentes estabilizadores o aditivos a estos combustibles para aprovechar sus ventajas, por ejemplo como combustibles de transporte. Sin embargo esta tecnología está todavía en una

etapa de desarrollo, y por tanto los costes son todavía muy altos y se han de reducir significativamente para alcanzar una introducción en el mercado.

**c) Gasificación:** En este proceso, se produce una conversión de la biomasa en un gas combustible, que actúa de portador de energía, mediante una oxidación parcial a alta temperatura. Como se ha mencionado anteriormente, en la tecnología convencional de combustión la biomasa se quema utilizando un exceso de aire para asegurar una combustión completa; sin embargo en el proceso de gasificación la cantidad de oxígeno generalmente es de un quinto a un tercio de la cantidad requerida teóricamente para la combustión completa. El principal producto del proceso es un gas combustible, cuyo poder calorífico varía dependiendo de la atmósfera de gasificación (la atmósfera de gasificación, también denominada agente gasificante, es el medio gaseoso que reacciona con el combustible sólido desencadenando una serie de reacciones heterogéneas y homogéneas) y del contenido en humedad del combustible. Esta conversión se puede llevar a cabo en diferentes tipos de reactores que se dividen principalmente en gasificadores de lecho fijo o móvil y gasificadores de lecho fluidizado.

#### **Métodos biológicos.**

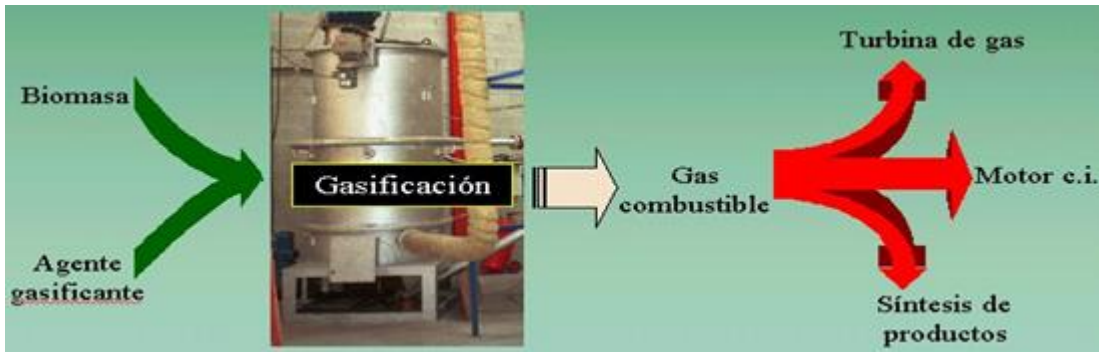
**a) Fermentación alcohólica:** Transforma la biomasa en etanol (biocombustible). Este alcohol se produce por la fermentación de azúcares

**b) Fermentación metánica:** Es la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias. Se suele utilizar para la transformación de la biomasa húmeda en los fermentadores, o digestores. La celulosa es la sustancia que se degrada en un gas, el cual contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. Para este proceso se requiere una temperatura entre 30-35 ° C.

### **2.2.1 Proceso de Gasificación**

Es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua).





*Fig. Proceso de Gasificación.*

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

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

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

Se parte de una biomasa en las condiciones en que se encuentre. Una vez en la planta se acondiciona la biomasa, limpieza, secado, homogeneizado. El reactor

gasificador se alimenta de forma continua de biomasa y aire atmosférico en las proporciones requeridas. En el interior del reactor gasificador se producen las reacciones de la gasificación, alcanzándose altas temperatura en la zona de oxidación. Los productos de la gasificación son el gas de gasificación y los residuos (cenizas) que alcanzan valores entre el 4 % y el 12 % según la biomasa utilizada.

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

La gasificación constituye una combustión incompleta que se lleva a cabo sometiendo la biomasa a una descomposición térmica a altas temperaturas (600-1500 grados Celsius) en una atmósfera pobre en oxígeno, es decir, con una cantidad de oxígeno por debajo del punto estequiométrico necesario para la combustión completa. Como producto de la gasificación se obtiene gas pobre, un gas combustible constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y vapor de agua, así como pequeñas cantidades de metano, etano, etilo, etileno y otros hidrocarburos ligeros, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, alquitranes y cenizas.

### **Termoquímica de los procesos de gasificación.**

En el proceso de gasificación tienen lugar una gran variedad de reacciones cuyo orden de importancia relativa depende de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado, pero que pueden agruparse en tres bloques o etapas en los que conceptualmente puede dividirse el proceso:

**Pirólisis o descomposición térmica:** Mediante calor, el sólido original se descompone en una mezcla de sólido, líquido y gas. Al sólido se le suele denominar "char" y a los líquidos, debido a la presencia mayoritaria de alquitranes y vapores condensables, "tar". Puede incluirse aquí el proceso de secado que tiene lugar al entrar la biomasa al gasificador.

**Oxidación o combustión:** Tiene lugar cuando el agente gasificante es un oxidante como oxígeno o aire e implica el conjunto de reacciones de oxidación, tanto homogéneas como heterogéneas, fundamentalmente exotérmicas, mediante las que se genera el calor necesario para que el proceso se mantenga.

**Reducción o gasificación:** La constituyen las reacciones sólido-gas o en fase gas, mediante las que el sólido remanente se convierte en gas. Se trata de reacciones fundamentalmente endotérmicas, algunas de las cuales tienen lugar en muy poca extensión, o solo tienen lugar en determinadas condiciones, como ocurre con la hidrogenación y/o reformado.

Es importante constatar que la pirólisis, aparte de ser un proceso termoquímico en sí mismo, es también la etapa inicial de la gasificación en la que se producen los residuos característicos. El conocimiento de esta fase es, por tanto, interesante ya sea como etapa precursora de la gasificación de un material, como por la obtención de char y biocombustibles, productos por lo general de gran aplicabilidad, para la producción de carbones activados o como combustibles.

### **2.2.2 Clasificación de los procesos de gasificación.**

El término genérico "gasificación" engloba una gran variedad de procesos en los que pueden obtenerse productos muy diversos.

Basándose en el agente gasificante empleado puede establecerse una primera clasificación de los procesos de gasificación:

- **Con aire:** La combustión parcial con el aire da lugar a una reacción exotérmica cuyo producto es un gas de bajo poder calorífico, susceptible de ser aprovechado con fines de carácter energético.

- **Con oxígeno:** Se produce un gas de poder calorífico medio, de mayor calidad al no estar diluido con N<sub>2</sub>. Además de aplicaciones de carácter energético, puede utilizarse como gas de síntesis para la obtención de metanol.
- **Con vapor de agua y/o oxígeno (o aire):** Se produce un gas enriquecido en H<sub>2</sub> y CO que se puede utilizar como gas de síntesis para diversos compuestos (amoníaco, metanol, gasolinas, etc.).
- **Con hidrógeno:** Se produce un gas de alto contenido energético que, por tener altos porcentajes de metano, puede utilizarse como sustituto del gas natural.

Otra clasificación interesante de los procesos de gasificación utiliza como criterio el movimiento entre el agente gasificante y el sólido gasificado en el interior del gasificador. Basándose en este criterio los principales tipos de gasificadores son: de lecho móvil en corrientes paralelas (downdraft) o en contracorriente (updraft), y de lecho fluidizado, en régimen burbujeante o circulante. Otros tipos de gasificadores utilizados en menor medida son los hornos rotatorios, reactores ciclónicos, de arrastre, etc.

## 2.3 Tipos de gasificadores

Existen tres clasificaciones principales dentro de los gasificadores: los gasificadores de lecho fijo, los de lecho fluidizado y los rotatorios. Dentro de los gasificadores de lecho fijo, existen los gasificadores en contracorriente (updraft) o en equicorriente (downdraft).

### · Gasificadores de lecho fijo

Es la técnica más antigua. Se puede usar tanto con aire como con oxígeno y vapor de agua. El sólido se alimenta por la cabeza del gasificador y la extracción de cenizas se hace por la parte inferior del lecho.

Estos a su vez se clasifican en contracorriente o equicorriente.

**- Gasificadores de lecho descendente o fijo en contracorriente (Updraft).**

En estos gasificadores el sólido es introducido por la parte superior y desciende lentamente en contracorriente con la corriente de gas generada por la introducción de los agentes gasificantes (aire u oxígeno y vapor) por el fondo del gasificador. Según desciende el sólido, es calentado por la corriente ascendente del gas hasta llegar a la zona de combustión donde se alcanza la máxima temperatura, sufriendo un enfriamiento posterior previo a la descarga de escorias. La regulación de la temperatura se hace mediante la inyección de vapor. Las principales ventajas de este sistema son su simplicidad y que aceptan biomasa con un gran contenido de humedad (hasta un 60%). El inconveniente que presenta esta tecnología es que se obtiene un gas bastante contaminado de alquitranes. Esto los hace adecuados para aplicaciones térmicas pero supone un problema en aplicaciones energéticas, que requieren un gas bastante limpio.

**- Gasificadores de lecho descendente o fijo en equicorriente (Downdraft).**

El sólido entra por la parte superior, experimentando sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al ser sometido a un aumento progresivo de la temperatura. Las temperaturas se debe al hecho que la conducción del calor (y radiación a temperaturas suficientemente elevadas) tiene lugar desde la parte inferior, donde se está generando calor mediante combustión parcial (el oxígeno está en defecto) de los productos que llegan hasta allí. La oxidación se produce en la mitad del reactor y el gas se obtiene en la parte inferior del gasificador

Como inconvenientes tenemos que el gas obtenido es de baja calidad energética y que es necesario secar la biomasa como acondicionamiento previo al proceso (debe tener una humedad de menos del 20%) y que hay que acondicionar el tamaño de las partículas que deber ser uniforme (4- 10 cm), además este tipo de Gasificador no es adecuado para construirlo a gran escala. Como ventaja, produce el gas con menor contenido en alquitranes y en otros condensables.

### **Gasificadores de lecho fluidizado**

El sólido triturado se introduce por un lateral del gasificador, donde reina una temperatura uniforme (para biomasa se opera a unos 800-900° C). Los agentes gasificantes, que se introducen por la parte inferior a una velocidad alta, mantienen en suspensión las partículas de sólido, formando un fluido que se comporta como un líquido mientras se producen las reacciones. Las cenizas se extraen por la parte inferior, mientras el gas suele arrastrar partículas de sólido sin quemar que en gasificadores de diseño más avanzado suelen recogerse y recircularse al lecho. La conversión del carbono contenido en la biomasa suele alcanzar valores próximos al 100% si se recirculan las cenizas volantes, lo que no suele ser económico a pequeña escala. El volumen de gas producido por unidad de volumen del reactor es superior al de los gasificadores de lecho fijo, lo que se traduce en un menor precio. La composición del gas es muy uniforme, variando muy poco con las condiciones de operación debido a las buenas condiciones de transferencia de calor y materia que proporciona el lecho fluidizado. Al ser la temperatura muy uniforme en todo el lecho, los gases salen del gasificador a una temperatura bastante elevada, lo que obliga a optimizar cuidadosamente el sistema de recuperación de calor a fin de mantener un buen rendimiento térmico global. Como ventajas de este sistema el contenido en alquitranes es menor que en los updraft y se puede usar biomasa con altos contenidos en humedad, además de ser adecuados para aplicaciones de gran escala. El inconveniente es que el sistema es más caro y complicado, y su modo de funcionamiento es más difícil.

### **Gasificadores rotatorios**

El sólido troceado es alimentado por un extremo del gasificador, mientras el aire (con o sin vapor) se introduce en el extremo contrario por la parte inferior, de tal manera que reaccionan contracorriente. Las cenizas se descargarán por el extremo contrario al de carga del sólido. Debido a la baja temperatura de salida de gases, el rendimiento térmico es bueno, pero se producen alquitranes y aceites por destilación del sólido.

## 2.4 Comparación entre los distintos tipos de Gasificadores

**Cuadro 2.4. comparación de Gasificadores**

	Lecho fijo		Lecho fluidizado
	Updraft	Downdraft	
Biomasa con alto contenido en humedad (25- 50%)	Sí	No	No
Tamaño del combustible uniforme	Poco crítico	Crítico	No crítico
Contenido en alquitranes del gas	Alto	Bajo	Moderado
Productos comerciales de generación de electricidad de pequeña escala (<100kWe)	Medianamente adecuado	Adecuado	No adecuado

## 2.5 Elección del tipo de gasificador

En este caso el gasificador más adecuado es el de lecho fijo o descendente en equicorriente (downdraft). Esto es debido a que es el más barato, produce la menor cantidad de alquitranes y es sencillo en cuanto al modo de operación. La mayoría de los gasificadores de pequeña escala usados para generación de electricidad son de tipo downdraft y existen varios casos en los que se usa esta modalidad para proyectos de cooperación al desarrollo en electrificación rural.

El gas producido en los gasificadores downdraft suele tener una composición aproximada de un 20% de H<sub>2</sub>, 20% de CO y un pequeño porcentaje de CH<sub>4</sub>, y gases no combustibles como CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. El gas producido contiene más del 70% de la energía de la biomasa en aplicaciones energéticas.

## **2.6 Proceso del Gasificador de lecho fijo o descendente en equicorriente (downdraft)**

La biomasa secada al aire (hasta un 40% en peso de humedad máxima) se almacena en una tolva, que alimenta el gasificador cuando el nivel de sólido en este disminuye de sus 2/3 partes, utilizando un sistema de control automático con sensor mecánico de nivel.

El gasificador es de lecho móvil descendente estratificado, también denominado “downdraft”, y el movimiento de sólidos en el mismo se rige por la gravedad y por la succión o vacío al que opera, debido a la presión negativa provocada en el motor de explosión.

El aire atmosférico accede al gasificador por el filtro superior y circula hacia abajo por todo el lecho, para mejorar la transferencia de calor en todo el lecho e impedir la recirculación de gas hacia arriba y su salida al exterior en los periodos de carga.

Inicialmente (zona gris) la biomasa se seca y se va calentando lentamente (toda la partícula es isotérmica, sin perfiles radiales de temperatura).

Posteriormente (zona marrón) conforme se aproxima a la región caliente inferior comienzan los fenómenos de pirolisis. Es en ese punto cuando se hace necesario un aumento en la velocidad de flujo del gas de modo que los alquitranes liberados sean rápidamente transportados a la región de combustión caliente inferior para su craqueo en moléculas simples; para ello se reduce sustancialmente el diámetro del gasificador.

Posteriormente se encuentra la región de combustión (zona roja) donde la temperatura es tal que el oxígeno del aire reacciona con el carbono e hidrógeno fijos de la biomasa oxidándolos a dióxido de carbono y agua respectivamente, y liberando una gran cantidad de energía que es transmitida por conducción y radiación a todo el lecho.



El encendido del gasificador, para arrancarlo cada vez que es necesario realizar una parada, se realiza en esa zona por medio de una resistencia que calienta el lecho hasta llevarlo a incandescencia.

Al final se encuentra el volumen de reducción (zona azul), donde se produce la reducción del carbono fijo no combustionado con el dióxido de carbono, produciendo monóxido de carbono, quedando como sólido inerte las cenizas inorgánicas que dado su bajo tamaño y cohesión caen por la parrilla a la parte inferior del gasificador y de ahí, por medio de una válvula de apertura temporizada, al cenicero que dispone de un sistema de refrigeración.

La salida del gas del gasificador se lleva a cabo por un toroide excéntrico que además de aumentar el tiempo de residencia del gas en esa región de alta temperatura (para craquear aun mas los alquitranes), produce un aumento en la sección de paso del gas y por consiguiente una disminución en su velocidad con lo que se produce la precipitación de parte de la cenizas volantes.

Después el gas, a unos 600 °C, llega a un intercambiador de calor de carcasa y tubos [9], donde se produce su refrigeración hasta unos 200 °C. Por el exterior de la carcasa circula el refrigerante, que puede ser agua (para refrigerar en una torre de refrigeración evaporativa de ciclo abierto), o aire para emplear en cogeneración (por ejemplo en un secadero de pintura o cereal).

El gas circula por el interior de los tubos en el intercambiador de arriba a abajo, ya que al disminuir su temperatura de 400 °C, comienzan a condensar los alquitranes remanentes y el agua de condensación, formando unas finas gotitas grasientas, que quedan retenidas en el pre-filtro formado por partículas de unos 10 mm de la propia biomasa de gasificación, goteando posteriormente al decantador donde se separan por flotación los alquitranes (que son recirculados al gasificador) por medio de una bomba de impulsos

Luego el gas atraviesa, de abajo para arriba, un filtro de una sección amplia (por consiguiente una muy baja velocidad del gas) formado por un lecho empacado de

partículas de biomasa de diámetro 2 mm, de forma que la totalidad de cenizas volantes son retenidas, obteniendo un gas depurado. La finalidad de utilizar biomasa como agente filtrante es para emplearla como combustible (introduciéndola en la tolva de alimentación) una vez cumplido su ciclo de operación.

Posteriormente el gas llega a la zona de carburación donde se mezcla en proporción estequiométrica (aproximadamente a partes iguales en volumen) con el aire atmosférico proveniente del filtro. El dosado instantáneo en función de la carga del motor es regulado automáticamente, actuando un controlador sobre las válvulas de mariposa de aceleración y estrangulación de aire. La temperatura de la mezcla carburada deberá ser de unos 50 0C, medida con un termopar y actuando un lazo de control, en estado estacionario, sobre la carga de refrigeración en el intercambiador, para lograr ese valor aproximado.

En periodos de arranque del gasificador, hasta alcanzar un régimen permanente de generación de gas, este es conducido y quemado por la antorcha siendo aspirado por un ventilador centrifugo metálico que proporciona el tiro en periodos de inactividad del motor. El arranque pleno se logra en unos 15 minutos.

Para parar el gasificador, simplemente se obtura la entrada de aire a la vez que se va expulsando y quemando el gas remanente por la antorcha. La parada completa se consigue en unos 30 minutos.

Por último, la mezcla aire gas es aspirada por el motor de combustión interna (con un alternador acoplado ), que idealmente será un motor de gas pobre operando según un ciclo Otto, especialmente cuando interesa obtener calor de cogeneración a partir del agua de refrigeración, aceite y gases de escape. Para instalaciones pequeñas (aproximadamente 25 Kw) de autoabastecimiento eléctrico, podrá emplearse un motor de explosión de gasolina que opere con alimentación a carburador. Los gases de escape son liberados por la chimenea.

## **Capítulo 3 – Ingeniería Conceptual**

### **3.1 Detalle de la construcción de los elementos**

#### **3.1.1 Diseño y Construcción de un Gasificador de Lecho Fluizado a escala de Laboratorio para el tratamiento Térmico de los residuos forestales**

A partir del análisis inmediato y elemental de los residuos forestales, se estudió la posibilidad de su descomposición térmica mediante un método termoquímico, en este caso la gasificación. Esto permitió diseñar y construir un gasificador de lecho fluidizado capaz de lograr estos requerimientos.

La comunidad científica a nivel mundial trabaja en el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas e industriales, permitiendo incrementar el valor económico de diferentes materiales.

El desarrollo de esta tesis va dirigido en ese sentido llevando a cabo diferentes tecnologías que permitan el aprovechamiento de estos residuos como nuevas fuentes de energía.

La gasificación forma parte de estas tecnologías y en este caso se utilizará como materia sólida los residuos forestales. En un gasificador de flujo descendente, el material de alimentación (residuos de forestales) se introduce tan rápido como se alcanza una temperatura suficientemente elevada (820 °C). Las partículas del combustible se introducen en el lecho del reactor, se mezclan rápidamente con el material del lecho y se calientan casi instantáneamente, alcanzando así la temperatura de este.

Como resultado de este tratamiento, el combustible se pirolisa muy rápidamente, dando como resultado una mezcla de componentes con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos, la fase de gas se reproduce una nueva gasificación y reacciones de los alquitranes. La instalación va equipada con

un ciclón interno, a fin de reducir el mínimo de escape de partículas sólidas. Las partículas de ceniza se extraen también por la parte inferior del reactor y en el ciclón de gas si este se emplea en aplicaciones para motores.

## **Materiales y métodos**

Inicialmente se tomaron varias muestras de residuos forestales en diferentes instalaciones donde se procesa madera; se trituran y las muestras homogeneizadas se secan al aire; se toma la porción. Se briquetiza para su conservación y posterior análisis inmediato (volátiles, ceniza, carbono fijo).

Para conocer la composición química de estos residuos se tomó el análisis elemental que aparece en la bibliografía correspondiente. Conociendo los elementos fundamentales que componían el residuo se le determinó el aire estequiométrico que necesitaba para su combustión, este valor es necesario para que una vez fijada la relación estequiométrica con déficit de oxígeno óptima para la gasificación (alrededor de 30 %) y el flujo de residuos que se va a alimentar, poder determinar la cantidad de aire que se introduce en el lecho del gasificador, que garantiza el correcto funcionamiento de la instalación, a partir de fijarle una temperatura con que se debe trabajar, que en nuestro caso se tomó 820 °C .

Según la metodología propuesta por Kunii y Daizo [1991] se determinaron los parámetros fundamentales del gasificador (diámetro del reactor, diámetro del tubo de extracción de ceniza, altura del lecho, altura total del gasificador.).

## **Resultados y discusión**

El valor en tanto por ciento en base seca del análisis inmediato obtenido después de un procesamiento estadístico, es el siguiente:

*Tabla 1. Análisis inmediato de los residuos forestales*

<b>Materia</b>	<b>% volátiles y carbono fijo</b>	<b>% ceniza</b>	<b>% humedad</b>
Residuos forestales	92,76	2,40	4,84

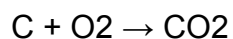
Como se demuestra, el residuo aporta más de 90 % de su composición a gas, lo que lo favorece a la hora de gasificarlo.

El análisis elemental de la muestra es el siguiente:

*Tabla 2. Análisis inmediato de los residuos forestales*

<b>Composición</b>	<b>Análisis en base seca %</b>	<b>Peso en gramos con respecto a los 450 g/h de residuos alimentados</b>
Hidrógeno	4,28	19,3
Carbono	40,92	184,1
Nitrógeno	0,48	2,1
Azufre	0,00	0,00
Oxígeno	47,08	211,9
Ceniza	2,40	10,8
Humedad	4,84	21,8

En la descomposición térmica a partir de la combustión el oxígeno reacciona con el hidrógeno, carbono ya que no hay azufre en estos residuos; esto permite obtener el aire estequiométrico para que aparezca la combustión.



Para obtener los mol/h de oxígeno en estas reacciones debemos primeramente dividir el flujo de carbono y de hidrogeno (los flujos de los compuestos químicos dependen del valor total de residuo que se asume y será alimentado, cuyo valor es de 450 g/h) por sus respectivas masas moleculares (12 y 4, respectivamente); sumarlos después y el resultado sería el oxígeno estequiométrico igual a 20,2 mol/h. Con este valor se calcula el caudal de aire que se debe introducir en la instalación a partir de la siguiente expresión:

$$G_a = (RE * \text{mol/h O}_2 / 100) * (1 + (100 - \%O_2) / \%O_2) * 22,4 / 1000.$$

Donde:

$G_a$ : Caudal de aire Nm<sup>3</sup>/h.

RE: Relación estequiométrica óptima para gasificar (30 %).

Mol/h: Oxígeno son los calculados (20,2 mol /h).

% O<sub>2</sub> : % de oxígeno en el aire (21 %).

Sustituyendo los valores en la expresión anterior el caudal obtenido es de 0,6464 Nm<sup>3</sup> /h. La N de la unidad de medida está referida a condiciones normales para el aire,  $p = 1 \text{ atm}$  y  $T = 273 \text{ K}$ .

A partir de este momento se comienzan a calcular los parámetros de diseño del gasificador a través de los pasos siguientes:

### 1. Superficie del reactor m<sup>2</sup> .

$$S_{rea} = G_a * (273 + T_g) / 273 / R_{vel} / v_{mf} / 3600$$

Donde:

$S_{rea}$ : Superficie del reactor (m<sup>2</sup> ).

Tg: Temperatura del gasificador 820 °C .

Rvel: Veces que la velocidad del aire es superior a la mínima de fluidización (22 veces Universidad de Barcelona, apuntes de Ampliación de reactores químicos, Fidel Cunill. Montserrat Iborra, Javier Tejero).

Vmf: Velocidad mínima de fluidización cuyo valor es función de las propiedades del aire, del número de Re<sub>in</sub>ol y de Arquímedes. Esta velocidad se calcula según Kunii y Daizo [1991] y el valor resultante fue de 0,006 m/s.

## **2. Superficie del tubo de extracción de ceniza.**

$$Ste = 3,1416 * Dte^2 / 4.$$

Donde:

Ste: Superficie del tubo de extracción (m<sup>2</sup> ).

Dte: Diámetro del tubo de extracción (fijamos un valor ,2667m )

## **3. Diámetro del reactor.**

$$Dr = ((Srea + Ste) * 4 / 3,1416)^{0,5} .$$

## **4. Velocidad de trabajo.**

$$Wt = Ga * (273 + Tg) / 273 / Srea / 3600$$

Donde:

Wt: Velocidad de trabajo (M/s).

## **5. Altura del gasificador**

$$Hg = Ln ((1 - 0,4) / fag) * Wt / 5 + Hl$$

Donde:

Hg: Altura del gasificador (m).

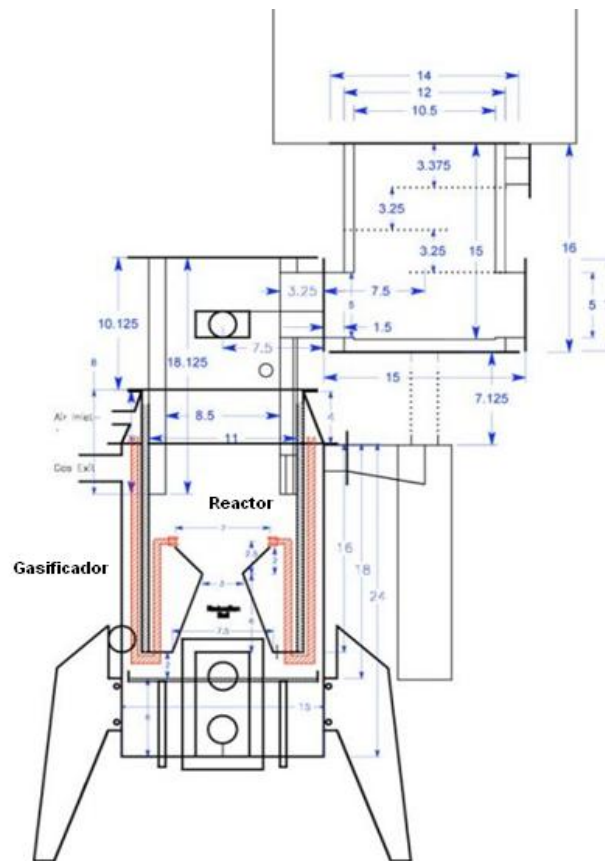
Fag: fracción de gasificación 0,0043

Hl: Altura del lecho (se fija en 0,1524 m )

Los valores obtenidos para los siguientes parámetros fueron:  $S_{rea} = 0,005446 \text{ m}^2$ ,  $St_e = 0,055864 \text{ m}^2$ ,  $Dr = 0,27939 \text{ m}$ ,  $Wt = 0,132 \text{ m/s}$  y  $Hg = 0,28277 \text{ m}$ .

El gasificador construido se muestra en la figura 1.

A partir de esta metodología se puede diseñar y construir un gasificador en el cual se pueden estudiar, además de los residuos forestales, otras materias existentes.



**Fig. 1. Gasificador tipo downdraft o flujo concurrente.**



## **3.2 Planos y detalle de la construcción del Gasificador**

### **3.2.1 Planos de taller y de detalle**

ANEXO A

### **3.2.2 Instrucción de Fabricación – Gasificador de 10KW**

#### **Método de fabricación y normas**

El gasificador está compuesto por tres partes básicas: tubos del gasificador, anillos tipo bridas y conjunto de placas.

Los anillos tipo bridas y las placas funcionan como apoyos para construir los tubos del gasificador, permiten que se mantengan cilíndricos y listos para la soldadura. Todas las ranuras y pestañas deben ser cortadas como se indica en cada plano para garantizar un producto final preciso. Este sistema de "auto-ensamblado" es fundamental para facilitar la construcción del GASIFICADOR.

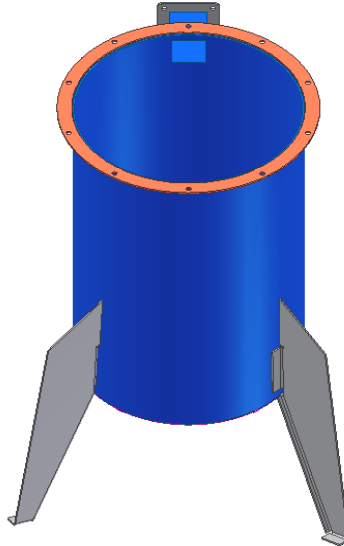
Mientras siga las instrucciones paso a paso, asegúrese de recordar estas normas comunes.

- Los anillos de la brida y las placas deben estar orientadas de tal manera que el lado de la rebaba se encuentre hacia el interior.
- Los tubos de los gasificadores se varolan de forma que el lado de la rebaba quede hacia el interior
- Los tubos tendrán aproximadamente 3 / 8" de traslape en la costura de soldadura, esto facilita la construcción y el ensamblaje, en los tubos más pequeños (ciclones y quemador) el traslape será de 1 / 4".
- Cuando las bridas empiecen a ser ensambladas con los tubos y las placas, hay que realizar punteos de soldadura a todo su alrededor y no cordones continuos que tuerzan las bridas.

## Construcción de la cubierta de gases y cenizas

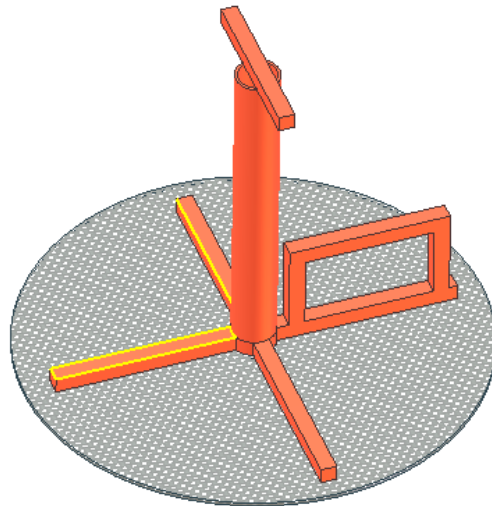
### I. Lista de piezas:

#### CUBIERTA DEL GASIFICADOR:



- Tubo central del gasificador
- Anillo inferior diámetro 14 3/4 " x 1 1/2" de ancho
- Placa del fondo (sin foto)
- Extremo inferior del tubo placa (asa de la parilla recolectora de ceniza)
- Brida superior 17 " de diámetro x 1 1/8 "de ancho
- Tubo de salida del gas y entrada al ciclón
- Niple de 1 / 2"
- 4 Tornillos 5/16" x 5/8" para el conjunto recolector de ceniza
- 4 Tuercas mariposa de 5/16" para el conjunto recolector de ceniza
- 4 Patas para el conjunto recolector de ceniza

- 10 Tuercas de 5/16" para el anillo inferior
- 8 Tornillos de 3/8" para fijar las patas
- 8 Tuercas de 3/8" para fijar las patas
- Reductor hembra de 1 1/2" a 1/2" – Disco perforado de acero para el recolector de ceniza
- Neplo diámetro 1" x 10"
- 4 Tubos cuadrados de 1/2" x 5,5" de longitud
- 2 Tubos cuadrados de 1/2" x 2 7/8"
- 1 Tubo cuadrado de 1/2" x 4"
- 1 Tapón de 1"
- Varilla cuadrada de 1/2" x 9" de longitud para el volante

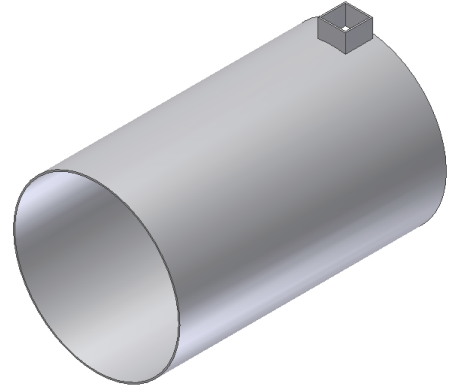


## CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA DEL GASIFICADOR

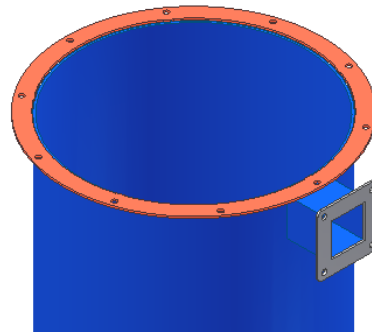
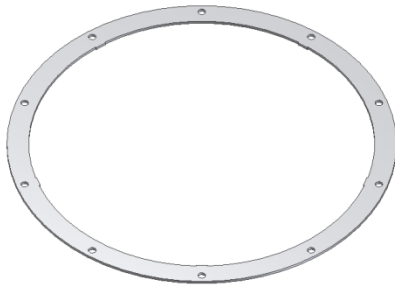
### A) Soldadura de pernos en la parte inferior del tubo gasificador

*Propósito:* En estos pernos soldados se conectará las patas del tubo del gasificador.

- *Soldadura:* de gases tight
- Coloque los pernos de 3/8 "para soldar en la parte inferior de la cubierta del gasificador.
- Ajustar con las tuercas de 3/8" por el lado exterior del tubo para garantizar una perfecta alineación
- Soldar las tuercas que están del lado exterior, posteriormente soldar los pernos por el interior del tubo.



### B) Soldadura de 10 tuercas 5/16" en las bridas



- *Soldadura:* de gases tight
- Coloque los pernos y las tuercas de 5/16" en el anillo.
- Suelde las tuercas y posteriormente retire los pernos
- *Orientación:* Esta brida se suelda en parte inferior del gasificador del lado donde van los pernos que sujetarán las patas. Las tuercas deben estar dentro de la cubierta. Se puntea alrededor del tubo y posteriormente se va realizando cordones hasta que se complete todo su perímetro.

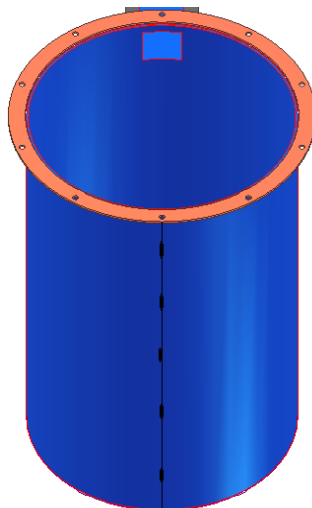
- Es aconsejable sujetar el anillo por debajo para evitar deformaciones por el calor. Además, alternando las soldaduras a través de la brida, se sugiere distribuir el calor de la soldadura de manera uniforme.

### C) Brida superiores

- *Soldadura:* tack (MIG puntos de suelda)
- *Orientación:* No hay una orientación especial. Utilice cualquiera de las ranuras de posicionamiento, la brida exterior debe estar al ras con la parte superior del tubo
- Sujetar a la brida con mordazas. La soldadura debe ser realizada sólo en la parte inferior de la brida. Si se tiene suficientes pinzas o mordazas, la soldadura puede realizarse en todo el anillo. Si no se dispone de pinzas suficientes, el trabajo se lo realiza en una sola dirección, asegurándose en todo momento que la brida quede pegada al tubo del gasificador.

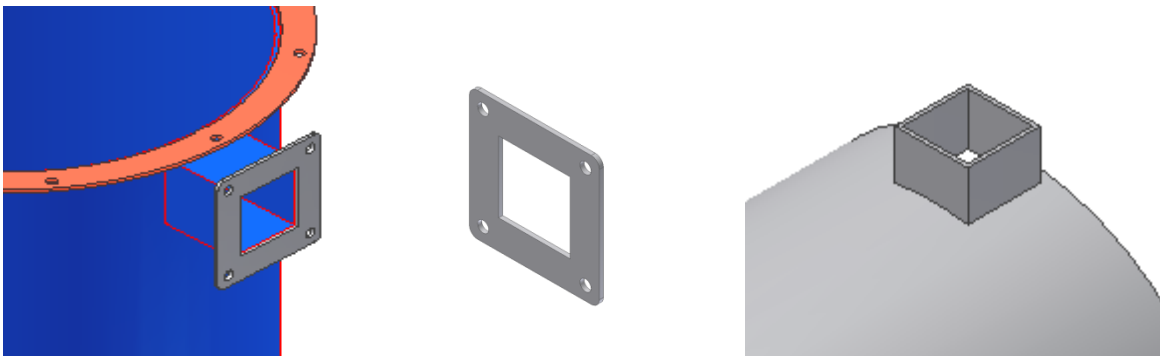
### D) Costuras laterales del tubo gasificador

- *Soldadura:* tack (MIG puntos de suelda)
- Para desaparecer la costura lateral, es posible que tenga que ajustar el conjunto para obtener paralelismo a lo largo de la costura, debido al traslape que ayuda a mantener consistente la estructura. Puede utilizar una correa de amarre, cuerda, o simplemente se lo empuja hacia abajo sobre la mesa para conseguir la unión entre sí y conseguir el paralelismo.



### E) Montaje de salida del gas

- *Soldadura: de gases tight*
- Soldadura de la brida en el extremo de 2" tubo cuadrado, la brida es simétrica por lo tanto no necesita una orientación especial. Sin embargo, asegúrese de que el tubo quede al ras con la placa de la brida
- Soldadura de la mitad del acople de 1/2 " sobre el agujero en la pared del tubo cuadrado.
- El tubo cuadrado debe ser ensamblado en la parte superior del tubo del gasificador. Asegúrese de que la brida está bien alineado respecto a la brida externa y al tubo del gasificador. La desalineación causa que el ciclón quede completamente desorientado y por lo tanto causando problemas en el momento del ensamble.
- Limpie los orificios de la aleta con una broca de 11/32 "

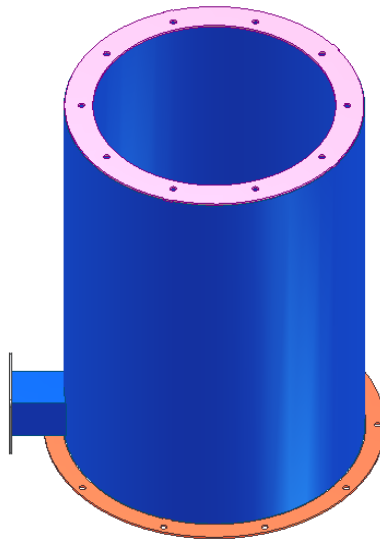


### F) Soldadura completa de todo el subconjunto tubo gasificador

- *Soldadura: de gases tight*
- Punteada de soldadura en tramos cortos para evitar deformaciones.
- *Brida superior:* Suelde solamente por la parte inferior de la brida externa superior, la cara de esta brida tiene que empalmar con una segunda brida,

por lo tanto en la cara vista no tiene que haber ni un solo exceso de soldadura.

- *Brida inferior:* Asegúrese de que la soldadura para el anillo de la brida inferior no va a crear interferencia con los espárragos que sujetaran las patas del tubo.
- Tenga cuidado de no deformar el ala superior al soldar el tubo cuadrado del escape de gas.

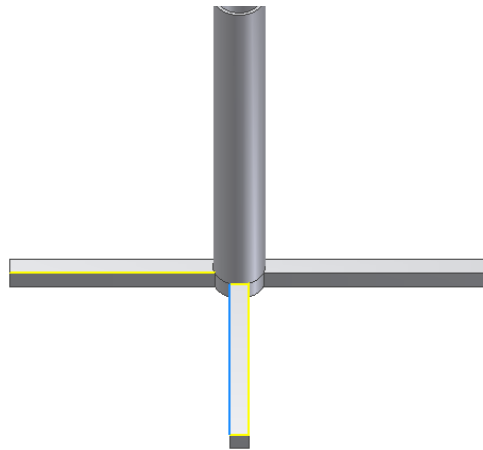


## CONSTRUCCIÓN DE LA REJILLA PARA LA CENIZA

### *A) Disco de malla perforada con nervaduras de tubo cuadrado de 1/2" y tubo central*

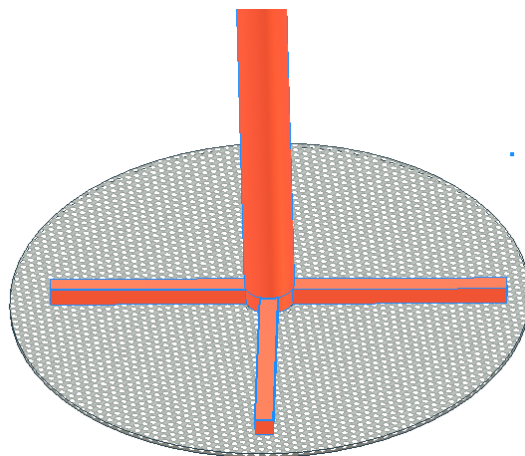
- *Soldadura:* MIG/ estructural
- *Orientación:* El disco perforado se monta en la parte superior del ensamble
- Los tubos de 1/2" permite que el tubo central se ubique en la posición correcta. Los tubos cuadrados se emplean como nervaduras para dar rigidez a la rejilla. Para el ensamble hay que asegurarse que el disco de malla se respalde sobre una superficie totalmente plana para poder ser soldada. Es difícil de ver en las fotos, pero eso es lo que se debe hacer.

- Sujetar los tubos cuadrados en forma de cruz a 90 grados con una mordaza y alinear con el tubo central, apoyar este con escuadras para asegurar su perpendicularidad.
- En esta etapa no se realiza ninguna soldadura en los tubos cuadrados porque se necesita que sea alineado en el ensamble con el tubo del gasificador.



#### *Brazos de apoyo*

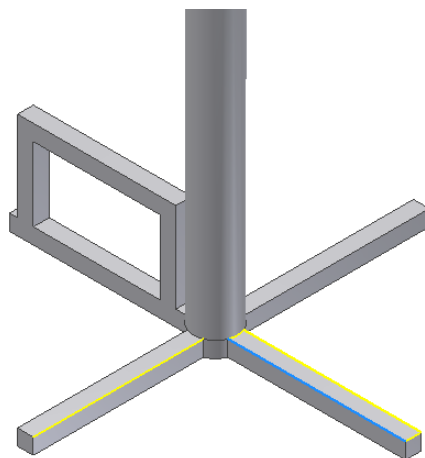
- *Soldadura:* MIG / estructural.
- *Orientación:* los brazos de soporte se colocan debajo de la rejilla
- Asegúrese de mantener el tubo central perfectamente a plomo puesto que puede inclinarse debido al calor de la soldadura.
- Suelde en el punto medio de estos soportes y realice unos puntos de soldadura en los extremos como se muestra en la foto.





### Barrido del brazo

- *Soldadura: estructural*
- *Orientación:* el brazo tipo Use ubica en la parte inferior de la parrilla y se suelda sobre uno de los brazos
- Las columnas laterales son  $2\ 7/8$  "de largo y el puente o travesaño de 4"



### C) Soldar (4) pernos de $5/16$ " en la placa del extremo inferior.

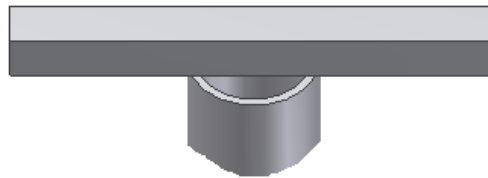
*Orientación:* Los pernos se colocan hacia abajo en la parte exterior del reactor.

- *Soldadura:* hermética.
- Instalar temporalmente la rejilla para la ceniza con tuercas mariposa para comprobar la tolerancia. Limpie los agujeros de la rejilla con una broca de  $11/32$  " si es necesario.
- Adherir el espárrago de soldadura de la tapa.
- La soldadura incluye la tubería hacia el exterior de la placa del extremo inferior exactamente sobre el agujero central y a 90 grados a la placa el alineamiento es muy importante. El asa de la parrilla se proyectará hacia abajo a través de este tubo, las tolerancias son muy ajustadas. Es necesaria mucha precisión para permitir que el mango y la rejilla quepan

correctamente el interior de la cubierta sin rosar. Es útil usar la parrilla para sostener la tubería en su lugar.

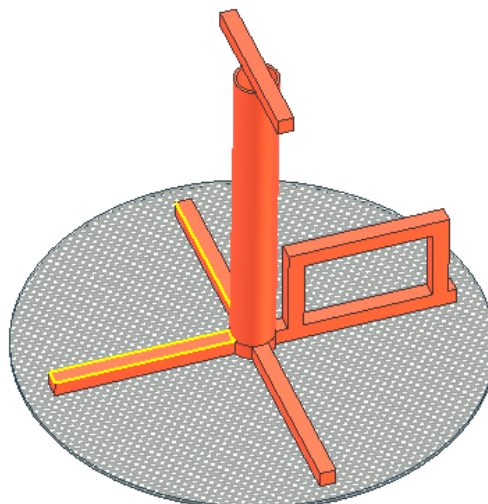
### **Soldadura del asa**

- *Soldadura:* estructural.
- Soldar el asa al tapón de 1”.
- *Nota:* El interior de la tapa se considera el interior del reactor. Asegúrese de que la soldadura no traspase hasta el interior del tapón

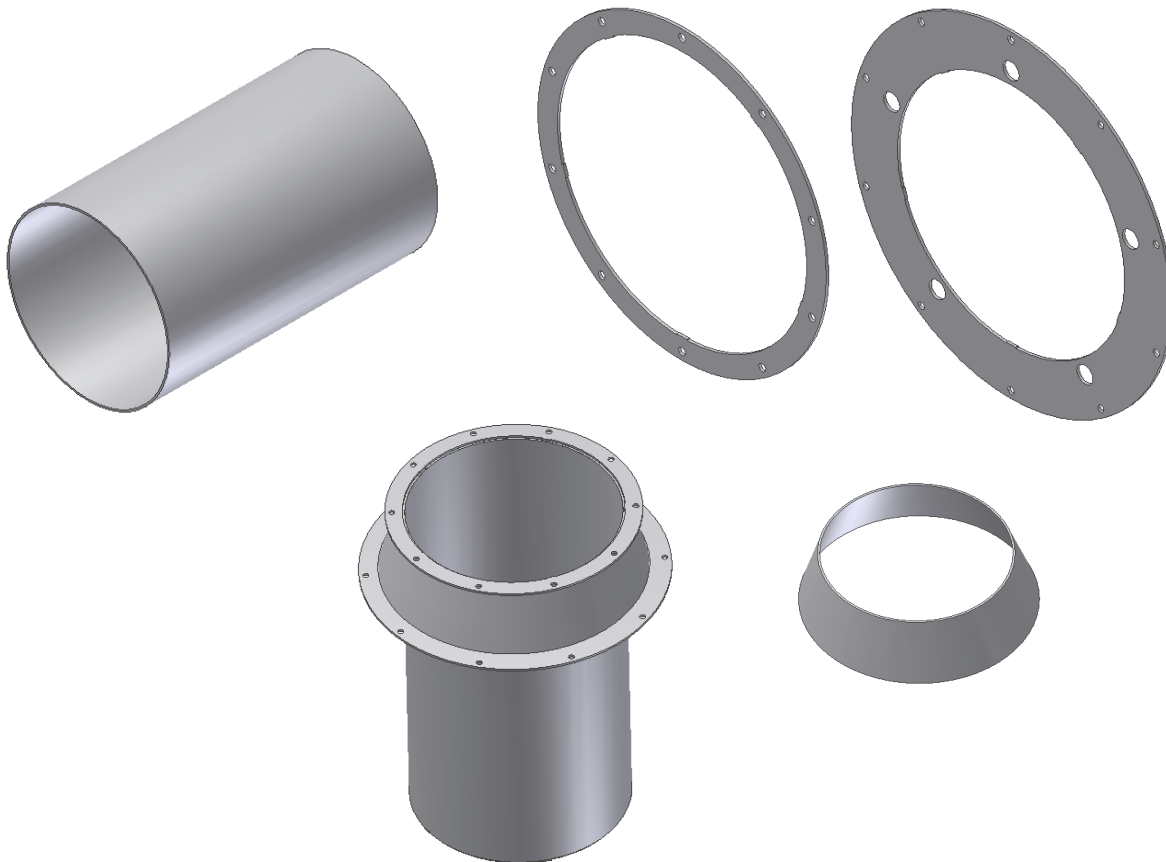


### *IV) La tapa inferior de la cubierta del Gasificador*

- *Soldadura:* Mig
- La orientación de la rosca de los pernos se colocan hacia el exterior junto con el tubo de la chimenea.
- *Parte:* La tapa inferior del gasificador tiene una rosca interna de 1” NPT en el centro similar al tapón del reactor.
- Tolerancia: Asegúrese de que el tubo de la parrilla esté soldado perpendicular.



## CONSTRUCCION DEL REACTOR DE FLUJO DESCENDENTE DEL GASIFICADOR



### I) LISTAS DE PIEZAS:

REACTOR:

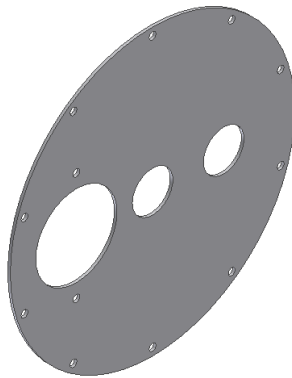
- Recipiente del reactor fuera del tubo
- Fondo de la placa final
- Anillo de brida superior
- Codos de  $\frac{1}{2}$  " 90 grados (5 piezas)
- Bushing de  $\frac{1}{2}$  npt a 15/16 (5 piezas)

#### BOQUILLAS DE AIRE:

- Tubos para boquilla 1 "x 7.25" (5 piezas)
- Codos 3 / 8 " (5 piezas)

#### TAPA DEL REACTOR:

- Tapa de la placa y las piezas
- Partes individuales del recipiente interior del reactor



NOTA: Podría decirse que este es el elemento central del Gasificador, y consiste en la fabricación más complicada de este proceso. Preste especial atención a todas las instrucciones y asegúrese de completar cada paso antes de hacer el siguiente.

## II) CONSTRUIR LA TAPA DEL REACTOR

**Orientación:** Las roscas de los pernos de soldadura y acoples deben estar en la parte superior de la tapa.

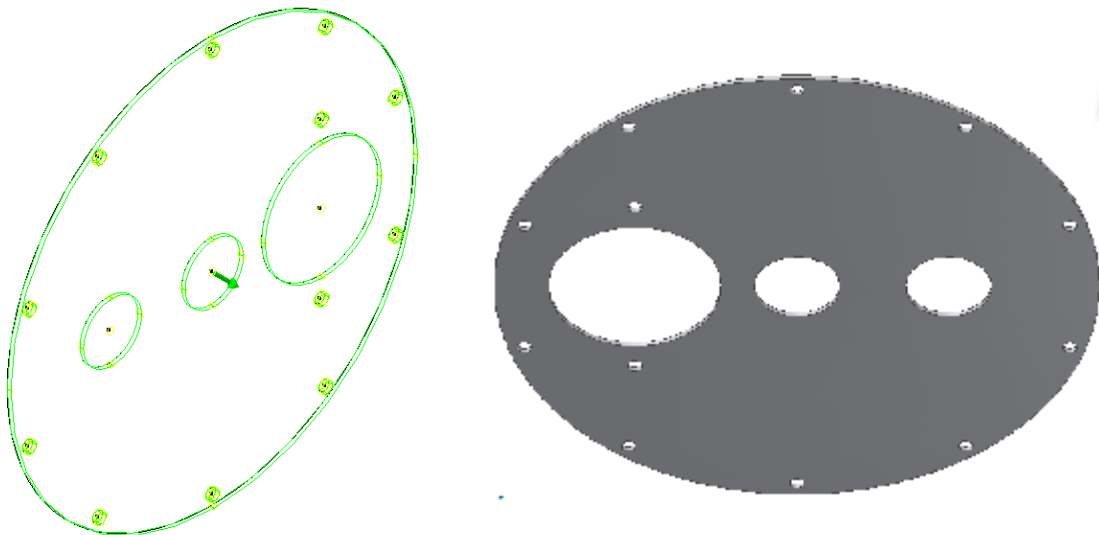
**Soldadura:** hermética.

Amordazar la tapa de la placa a una mesa de fabricación o a una gruesa placa de acero, en cualquier caso, con al menos 6 pinzas. Asegúrese de que este bien asegurada, esta placa en particular, es susceptible a la deformación por el calor de la soldadura.

**Tolerancias:** Buscar la tapa de la cubierta de la placa más pequeña que se coloca sobre la abertura más grande. El cordón de la soldadura deberá tener 1,5” aproximadamente. Hacer un punto de soldadura de 1/2” alrededor de los acoples, alternando los lados, permitiendo así un buen tiempo de enfriamiento entre las soldaduras.

Retire las abrazaderas y ajuste 05/16” , Suelde los pernos de un lado y de otro con la rosca de frente a la parte superior de la tapa, coloque la cubierta de la tapa de la placa encima de los pernos y apriete con las tuercas.

Suelde las cabezas de los tornillos con soldadura hermética.

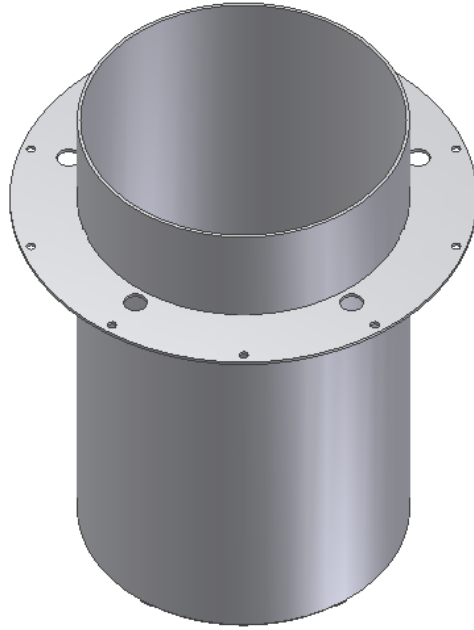


### III) REACTOR:

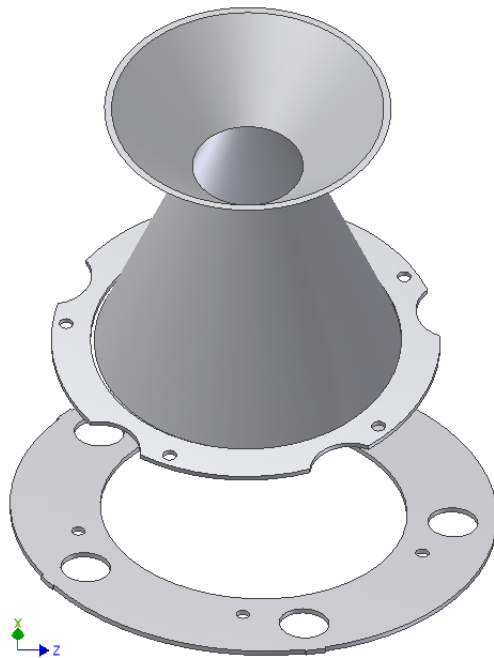
**A. RECIPIENTE DEL REACTOR:** Suelde el borde del anillo en el tubo del reactor.

**Orientación:** Este anillo va hacia la parte superior del reactor..

**Soldadura:** Enganche el borde del anillo en el tubo del recipiente.

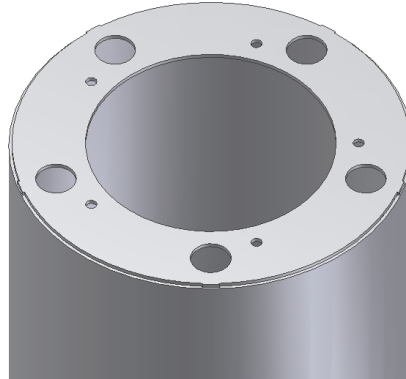


**Orientación:** La parte inferior del reactor debe coincidir con el perno. La cara que se acopla con la campana del reloj de arena deberá estar enfocada hacia la parte superior o interior del reactor.



Sujete el borde de la placa inferior con la parte superior hacia el interior del recipiente.

Alinee ambos bordes con la pared del reactor. Asegúrese de que esta superficie quede totalmente plana con una soldadura hermética.



**B. SOLDADURA** Se necesitarán codos de  $\frac{1}{2}$ " a 90 grados en el borde del fondo inferior de la placa.

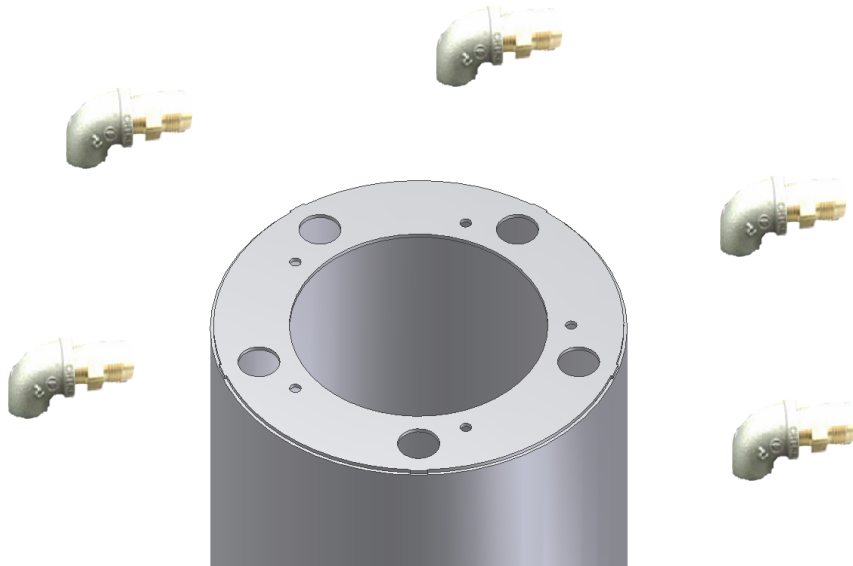
Alinear los codos para soldarlos.

**En la parte inferior:** Los codos deben salir hacia el exterior a la izquierda. Las líneas de aire hacia el exterior en espiral hacia la derecha, pasando lo más cerca posible por el lado del tubo de entrada de aire. Así, el codo debe quedar perfectamente alineado.

El collar del codo debe quedar en el extremo inferior de la placa. No coloque el codo muy alejado porque obstruirá la rejilla cuando se inserte en la cubierta de gas.

**En el interior del reactor.** Los codos deben estar alineados para aumentar la entrada de aire de las boquillas, hacia arriba y paralelo a la pared del tubo de aislamiento del recipiente. Puede utilizar un ángulo recto para dibujar líneas rectas verticales. Luego, utilice un codo de 12 " o una neopreno de tubería de  $\frac{1}{2}$  " con un acople en el extremo para indicar esta línea. Empuje el codo y el acople contra la pared para asegurar una orientación paralela. Use una pinza para mantener la plantilla en su lugar.

Los codos deben ser soldados herméticamente. Es fácil pasar por alto los puntos alrededor del cuello del codo.



### **C. Insertar y soldar un tubo de acceso al recipiente exterior**

Inserte uno de los tubos de 1 "x 2 1 / 2" tubos en el agujero directamente a la derecha de la costura de la soldadura vertical.

Asegúrese de que encaje bien en el interior del reactor.

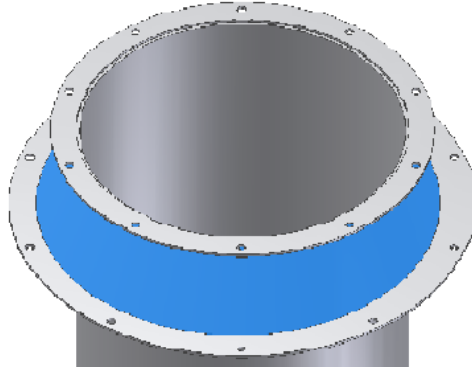
### **D. Ajuste y punteo del cuello de aire sobre la parte superior del reactor**

Empiece ajustando el primer agujero en el cuello de aire del tubo de entrada.

Empuje y ajuste en su lugar, manteniendo empujados los bordes superior e inferior del cuello de aire contra la pared del reactor.

Habrá un 3 / 32 "a 1 / 8" de espacio entre el borde superior del cuello de aire y el borde superior. Los puntos de soldadura realizados anteriormente en este conjunto no deben interferir con el cuello de aire cuando esté siendo empujado a la pared.



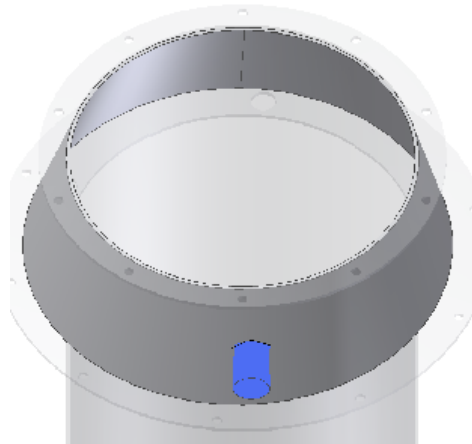


**E. Ajuste y soldadura del segundo tubo de acceso a través del cuello de aire**

Ajuste el segundo tubo de acceso a través del agujero del cuello de aire del reactor. Este tubo debe estar al ras con la pared del reactor y ser paralelo al nivel del borde medio. El uso de una lima redonda sobre los agujeros puede ser necesario para asegurar un ajuste paralelo. Haga una soldadura completa alrededor del agujero en el interior del reactor, y también en el exterior del cuello de aire.

**F. Suelde 1" entre la toma y el cuello de aire**

Ajuste sobre el agujero más grande que está en el cuello de aire. Puntee y haga una soldadura de sellado completo alrededor de la entrada.

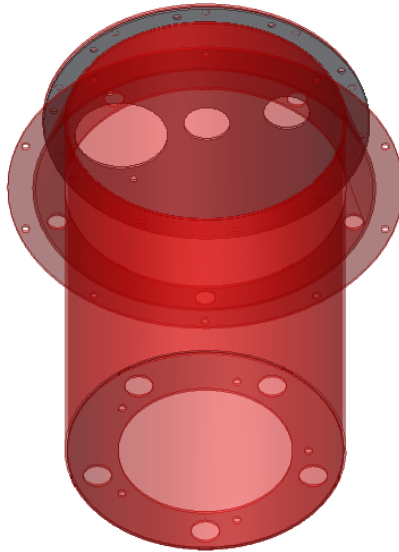


### **G. Atornillamiento del Reactor dentro de la cubierta**

Inserte el reactor dentro de la cubierta de gas, y alinee los agujeros de los tornillos en la placa base

Atornille la tapa del reactor sobre la parte superior del reactor.

Atornille hacia abajo con fuerza! Este paso es para evitar deformaciones durante la soldadura



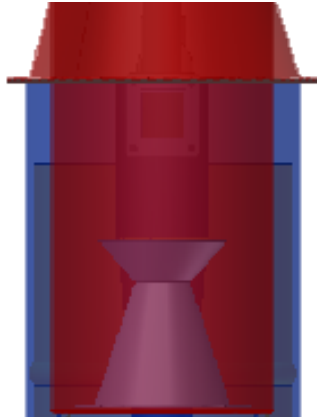
### **H. Puntos de soldadura de aire alrededor del cuello, alternando bordes superior e inferior**

Utilizar 2 "- 3" de suelda en un entorno más fresco, hacer una soldadura en medio de la brida y el cuello de aire, y luego alternar con la brida superior, dejando 2 "- 3" espacios sin soldar entre sí. Esto distribuye el calor y permite un enfriamiento a medida que se va avanzando.

El espacio que queda por encima del cuello de aire y debajo de la brida superior debe ser completamente llenado con un cordón de soldadura. Estas dos costuras son necesarias para el buen funcionamiento de su Gasificador.

Siga girando el recipiente, llenando y alternando puntos hasta que ambas queden completamente soldadas.

Cuando esté completamente soldado, dejarlo enfriar. No quite los tornillos hasta que se haya enfriado.



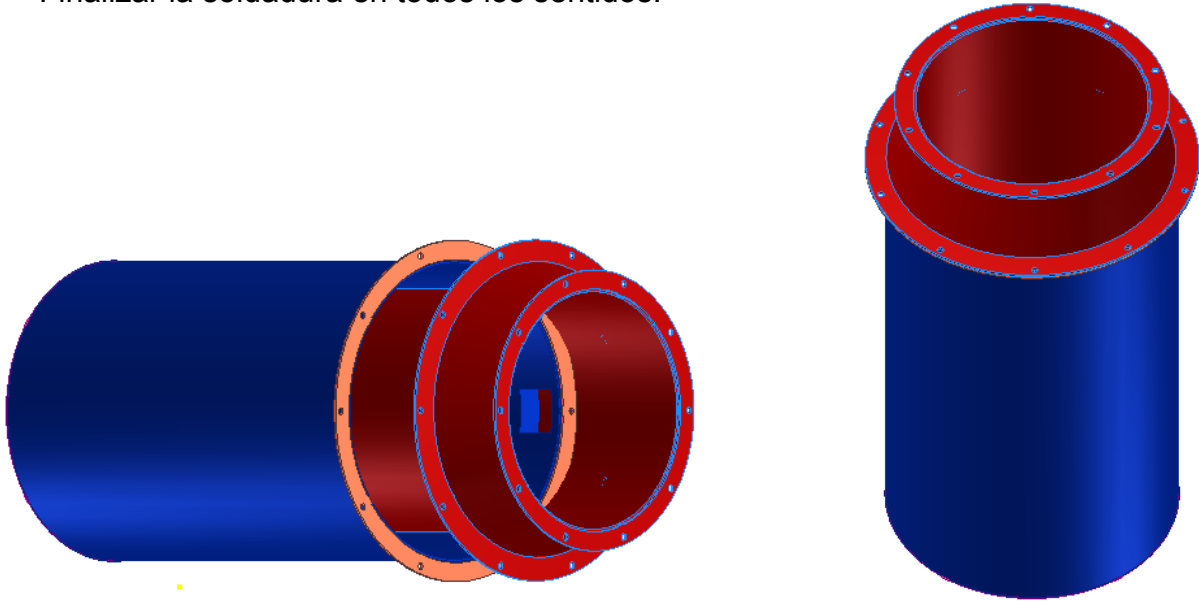
## **DESATORNILLAR Y SOLDAR**

Antes de desatornillar puede que tenga que enderezar o aplanar algunas partes de la brida.

Desatornille el recipiente y saque del reactor, y luego póngalo al revés.

Suelde de 1 / 2 "NPT a 15/16" los adaptadores de gas de los tubos de entrada de aire. Asegúrese de que los adaptadores estén centrados en cada hoyo, y bien alineados con el lado del tubo del recipiente. Además, una de las esquinas del hexágono de cada instalación tiene que estar apuntando directamente hacia la pared del reactor para una mejor soldadura.

Finalizar la soldadura en todos los sentidos.



### **LAS BOQUILLAS DE AIRE**

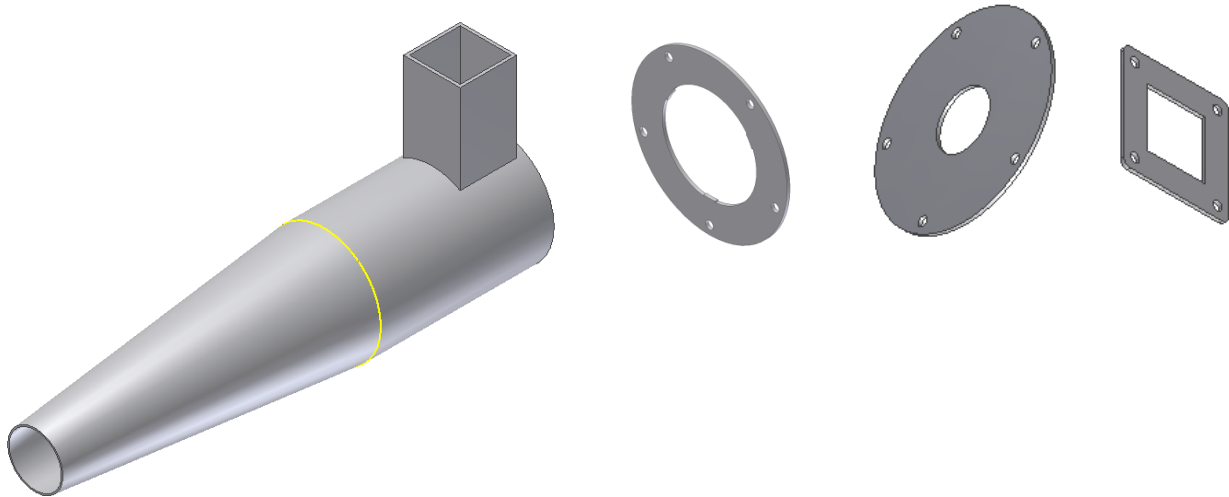
Suelde el codo de 3/8" sobre 1" x 7.25" de los tubos de boquilla de aire. Asegúrese de que los codos estén soldados directamente a un ángulo de 90 grados de los tubos de la boquilla.

Tolerancias: Asegúrese de que estén al mismo nivel ya que esta parte es el corazón del reactor. Si estos estuvieran desiguales, se promovería una zona de combustión irregular en el reactor.



## CONSTRUCCION DEL CICLON

Nota: usted debe construir la cubierta del gas antes de construir el ciclón para garantizar un ajuste y montaje adecuado.



l) Lista de piezas del ciclón:

- Ciclón de tubos
- Fondo de la placa
- Anillo de brida superior
- Tubo de entrada del gas
- Placa cuadrada de entrada del gas
- Niple roscado de 1"
- Tubo y placa de inserción del ciclón

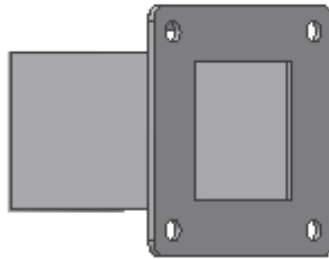
## **II) EL CICLON**

### **A. Puntee la placa cuadrada al tubo de entrada de gas**

Ajuste el tubo de entrada en un tornillo de sujeción para cerrar el espacio abierto y el cuadrado de arriba.

Colocar la placa cuadrada en el extremo cuadrado del tubo de entrada, para nivelar los bordes del tubo.

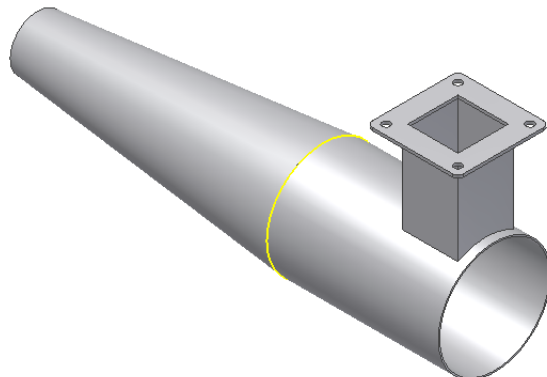
Puntee los bordes del tubo y la placa cuadrada. Haga un punteo mínimo para mantener una alineación adecuada.



### **B. Ajuste y punteo de la entrada superior del ensamblado con el paso de entrada en el tubo del cuerpo del ciclón**

Asegúrese de ajustarlo frente al "labio" final del tubo de entrada de gas, dentro del tubo del ciclón.

Nuevamente, sólo 1 o 2 puntos pequeños son necesarios aquí, ya que después, usted tendrá que moverse alrededor de la entrada, para una correcta alineación de la cubierta.

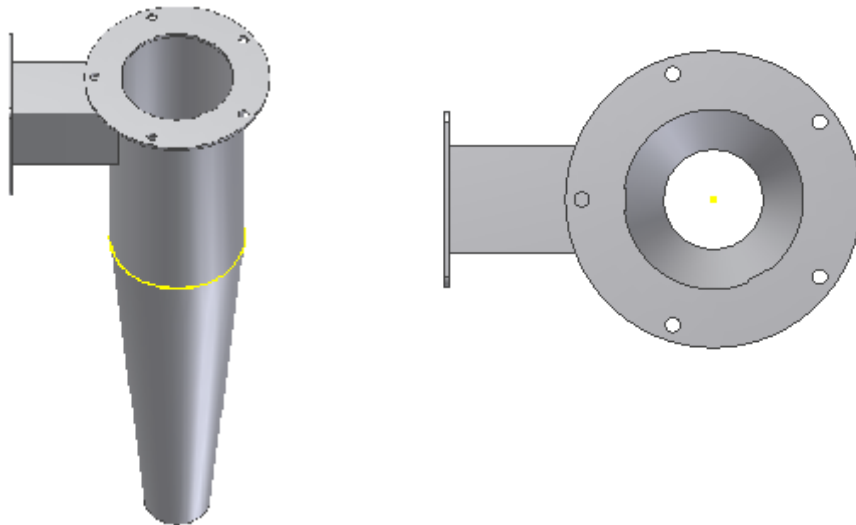


### **C. Coloque el anillo de brida en el tubo superior del ciclón**

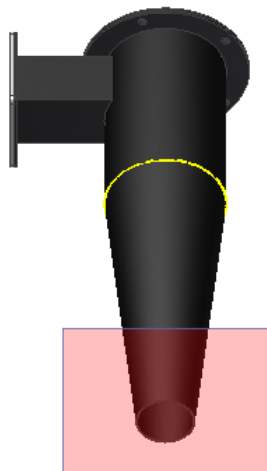
Asegúrese de que la costura vertical del tubo del ciclón este hacia la izquierda, fuera del tubo de entrada de gas. Esto asegura una superficie lisa en el interior del ciclón.

El anillo de brida superior se colocara sobre la parte superior del tubo del ciclón para calzar los tornillos en el lugar correcto.

Puntee el anillo de la brida en su lugar. Tire de los bordes del tubo firmemente a los bordes interiores de la brida. Puede que tenga que apretar el tubo un poco para que se adapten correctamente a las lengüetas y ranuras.



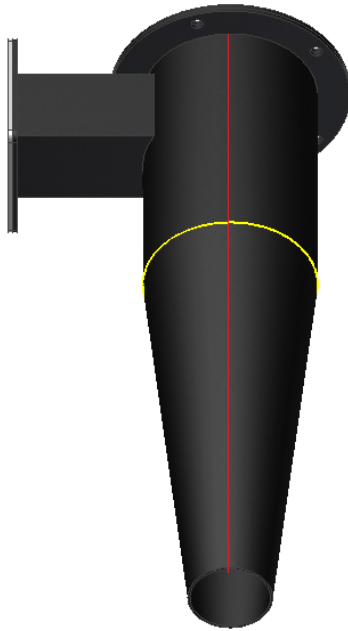
### **5. De la vuelta al tubo para insertar la placa inferior**



## **6. Soldadura del neplo en el centro del agujero de la placa inferior**

Asegúrese de que el neplo este a 90 grados de la placa. Puntee y luego suelde todo el rededor.

## **7. Puntee el lado de la costura**



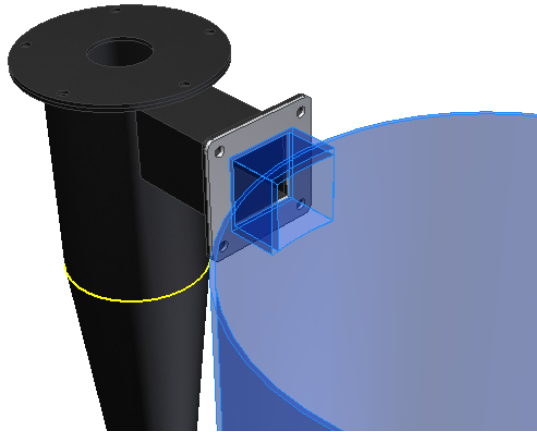
## **8. Ajustar el ciclón punteado en la cubierta de gas.**

Paree las placas cuadradas, y ajuste con tornillos de  $5 / 16$  " y tuercas de mariposa.

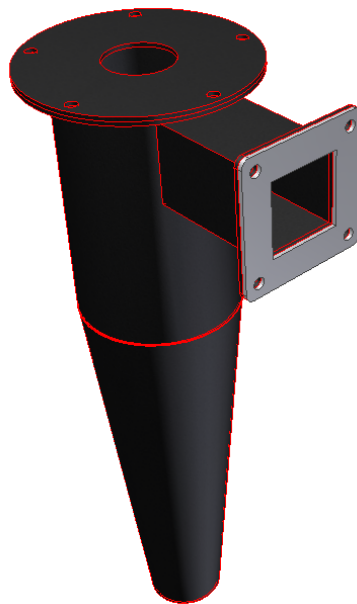
Use un micrómetro u otro dispositivo para levantar y mover el ciclón hasta que quede perpendicular a la cubierta.

Sosténgalo en su lugar o ajústelo con una pinza para obtener la alineación apropiada.





### **9. Soldadura por todas las costuras en el Ciclón**



### **II) Construir el ciclón**

Ajuste la tubería interna del Ciclón sobre el agujero de la placa.

Mantenga a 90 grados de la placa, puntee y haga una soldadura completa a su alrededor.

Orientación: Esto se ajustara en el interior del ciclón con la cara hacia abajo, no lo suelde.



## **CONSTRUCCION DEL QUEMADOR**

### **I) Lista de piezas**

- Tubo del quemador
- Fondo de la placa
- Tubo de rosca de entrada de gas

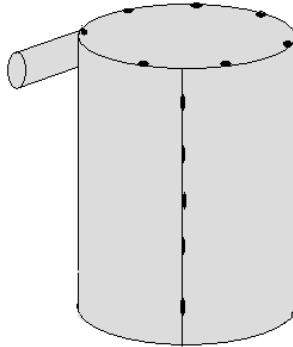
### **II) Ensamblaje del quemador**

Colocar la placa inferior en su lugar, usando de pestañas para encajar en las ranuras en el borde del tubo. Haga puntos de soldadura a medida que avanza en todo el borde del tubo, cuidando que las piezas encajen apretadamente.

Mantenga la costura lateral a 90 grados en el extremo inferior.

Dé la vuelta y coloque el tubo de entrada de gas con cuidado sobre el agujero del quemador. Puntee, manteniendo el nivel de entrada con la parte inferior de la hornilla a una orientación de 90 grados .

Suelde en todos los sentidos de la placa inferior, hasta la costura lateral y en todos los sentidos de la entrada de gas,



## **CONSTRUCCION DE LA TOLVA**

### **I) Lista de piezas:**

- Tambor de combustible de 30 galones
- Tuercas de 5/16 " (10 piezas)
- Pernos de 5/16 "X 5 / 8" y Tuercas de mariposa de 5 / 16 "
- Dos anillos (uno horizontal y otro vertical)
- Tornillos de 5/16"X 2"3/8 (2 piezas)
- Anillo de la tapa de 6 3/8"de diámetro con 6 huecos
- Tapa
- Muelles (2 piezas)

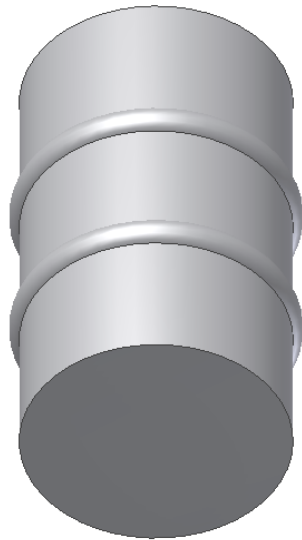
### **II) Fabricar barril**

#### **A. Anillo Monorador**

Suelde (10) las tuercas 5/16 a un lado del anillo monorador. Use tornillos 5/16 para fijar las tuercas a la brida para asegurar una alineación correcta.

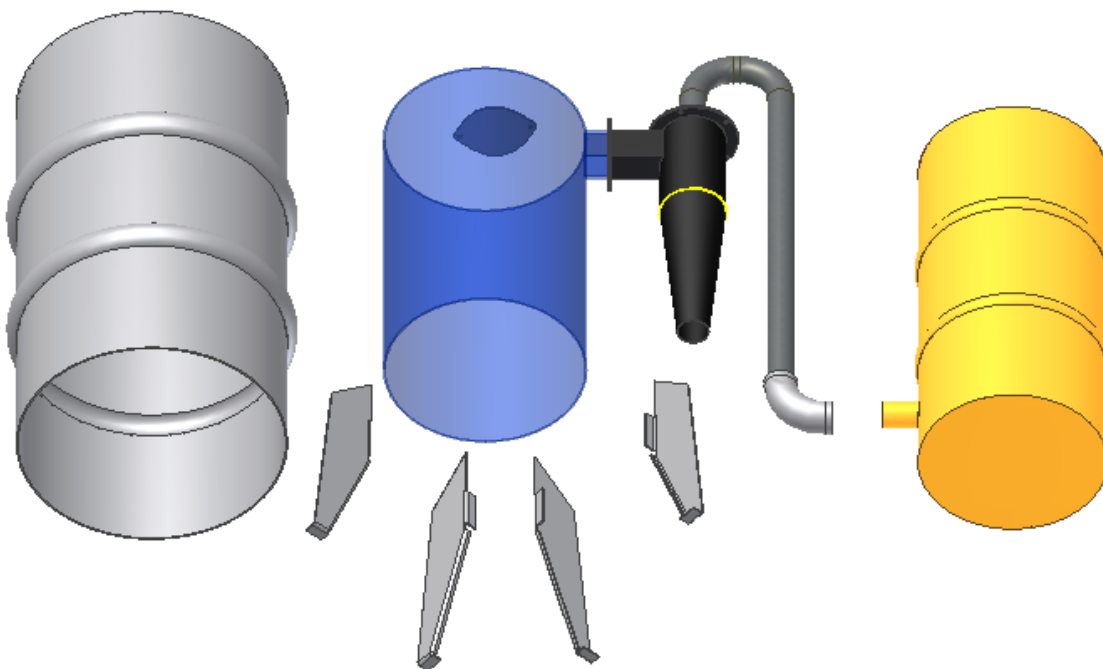
Orientación: El lado de la brida del monorador con las tuercas soldadas deberá quedar en la parte superior del monorador.

Puntee el labio vertical del monorador en la parte superior del anillo de la brida.



#### PINTURA DEL GASIFICADOR

La pintura del gasificador tiene que ser resistente a la intemperie.



### **Lista de piezas:**

-Pintura de alta temperatura ~ 500F o más alta. (No utilice pintura que no puede soportar el calor)

-Todas las piezas fabricadas deben ir pintadas.

Pintura de los lugares que necesitan pintura, NO pintar los lugares que no necesita pintura.

A continuación se muestra una lista de las piezas que deben ir pintadas y prestar atención a los lugares que no deben ir pintadas.

Pintura por todo el cuerpo exterior del Gasificador ya montado incluyendo accesorios de tubería. No pintar los lugares que están dentro del sistema, alrededor de las bridas, y en los lugares expuestos a temperaturas más altas, ya que la pintura quemada crearía gases tóxicos.

### **Las piezas deben ir pintadas de la siguiente manera:**

-**Cubierta** (Todo el exterior)

-**Reactor** (solo el cuello de aire)

-Tapa inferior (sólo por afuera, dos tapas de 1,5")

-Tapa de la cubierta (de un solo lado)

-Tapa del reactor (sólo exterior)

-Placa de la cubierta de ceniza (una sola cara)

-Tapa y mango de la parrilla

-Todos los accesorios de tubería (EXCEPTO: accesorios de llamarada )

-Ciclón (a excepción de la brida cuadrada)

-Placa tubular del Ciclón (sólo por afuera, el lado con el tubo más corto)

-Largo de la línea de gas para filtrado 1/5"

-Filtro de 1,5", accesorios (90, neplo, la tapa) accesorios .5 (dos tapas, un reductor)

-Filtro de la tapa

-En el interior del filtro (opcional: la pintura será proteger el filtro de la acumulación de alquitrán)

**Las piezas que no se deben pintar:**

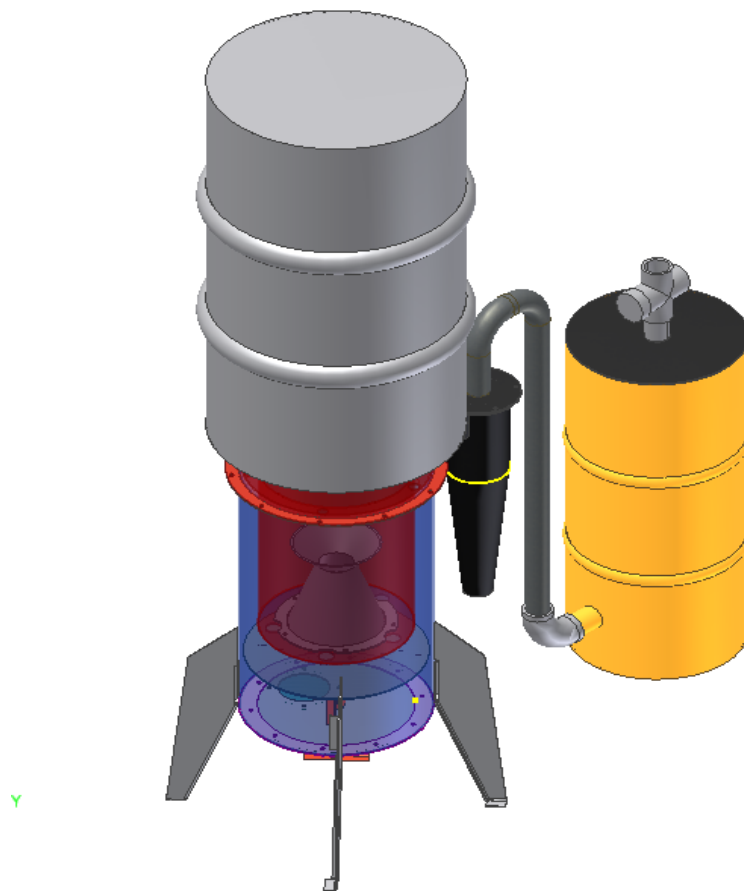
-Parrilla del reactor

-Interior de la tapa del filtro y el filtro de rejilla.

-Accesorios de ignición de la tubería

-Accesorios de tubería de la llamarada

-Bridas



## Capítulo 4 – Ingeniería básica y de detalle

### 4.1 Diseño Térmico

#### 4.1.1 Parámetros del diseño térmico

Para la construcción del gasificador se usara como materia sólida los residuos forestales por lo tanto se necesitan todos los datos relevantes y se los detalla a continuación:

#### Información General

#### Composicion del Material

Sample information	
Group	treated wood
Subgroup	demolition wood
Material	wood, demolition wood, chipped
ID-number	676 <input type="button" value="v"/>
Reference:	ECN laboratories.
Remarks:	

Biochemical composition (wt.% dry)		Glossary
Method of analysis	Not Determined	<b>daf</b> dry ash free
<i>Total Ash + Biochemical</i>	7.2	<b>ar</b> as received
Cellulose	- ND	<b>Msr</b> Measured
Hemicellulose	- ND	<b>Lim</b> detection Limit
Lignin	- ND	<b>Cal</b> Calculated
Lignin acid insoluble (AIL)	- ND	<b>ND</b> Not Determined
Lignin acid soluble (ASL)	- ND	<b>Unk</b> Unknown
Lipids	- ND	<b>Avg</b> Average
Protein	- ND	<b>Sst</b> van Soest
Extractives EtOH/toluene	- ND	<b>Sgr</b> Sugar Analysis
Extractives 95% EtOH	- ND	
Extractives hot water	- ND	
Starch	- ND	
Pectin	- ND	
<i>SUM C5</i>	0	
Arabinan	-	
Xylan	-	
<i>SUM C6</i>	0	
Mannan	-	
Galactan	-	
Glucan	-	
Rhamnan	-	
Total non-structural carbo-hydrates (TNC)	- ND	

Proximate analysis (wt. %)				Ultimate analysis (wt. %)				Elemental analysis (mg/kg sample (dry))						
	dry	daf	ar		dry	daf	ar							
Ash	7.2		4.1	C	47.2	50.9	27	Msr	Al	- ND	Fe	- ND	Pb	- ND
Water			42.9	H	5.26	5.7	3	Msr	As	- ND	Hg	- ND	Sb	- ND
Volatiles	74.2	80	42.4	O	39.7	42.8	22.7	Cal	B	- ND	K	- ND	Se	- ND
<b>Calorific value (kJ/kg)</b>				N	0.42	0.45	0.24	Msr	Ba	- ND	Mg	- ND	Si	- ND
	dry	daf	ar	S	0.12	0.12	0.07	Msr	Ca	- ND	Mn	- ND	Sn	- ND
HHV	18940	20414	10815	Cl	0.06	0.065	0.034	Msr	Cd	- ND	Mo	- ND	Sr	- ND
LHV	17792	19177	9112	F	0.004	0.005	0.002	Msr	Co	- ND	Na	- ND	Te	- ND
HHV <sub>Milne</sub>	18147	19559	10362	Br	-	-	-	ND	Cr	- ND	Ni	- ND	Ti	- ND
				Total:	100	100	100		Cu	- ND	P	- ND	V	- ND
													Zn	- ND

### Composición del material quemado (cenizas)

Ash production method
ISO 1171 (815 degC)

Bulk density (kg ar/m3)
180

Ash composition (wt.% (ash))	Ash composition (mg/kg (ash))
CO <sub>2</sub> - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Na <sub>2</sub> O -	Pb - Hg -
SO <sub>3</sub> - SiO <sub>2</sub> - CaO - K <sub>2</sub> O -	Cd - Mn -
Cl - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - MgO - TiO <sub>2</sub> -	Cu - Cr -

Tablas sacadas de un software que contiene todos los datos del material.



## 4.2 Diseño Mecánico

### 4.2.1 Parámetros del diseño mecánico

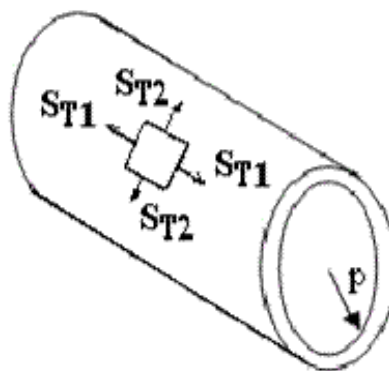
En todo el gasificador el componente más crítico al ser analizado es la parte del reactor donde se produce la gasificación entonces realizamos un cálculo para escoger el material para su construcción.

Puesto que la presión dentro del recipiente tiende a "inflarlo", aparecen esfuerzos de tensión en las paredes del mismo.

Para el cálculo y diseño de los recipientes a presión, y selección de los materiales que se utilizarán, tendremos que calcular dichos esfuerzos de tensión, que reciben el nombre de: "esfuerzo en el aro", que denotaremos por  $ST_1$  y "esfuerzo longitudinal", que denotaremos por  $ST_2$ ; así como el esfuerzo cortante máximo en las paredes del recipiente, que denominaremos  $SS$  máx.

Dichos esfuerzos están mostrados en la siguiente figura, actuando sobre un prisma elemental localizado en la pared del recipiente, los cuales como dijimos están causados por la presión " $p$ " dentro del recipiente, la cual tiende a inflarlo.

En nuestro estudio encontraremos que el esfuerzo  $ST_1$  o esfuerzo en el aro, tiene una magnitud del doble del esfuerzo  $ST_2$  o esfuerzo longitudinal.



**$p$  = presión del fluido, perpendicular a las paredes del recipiente**

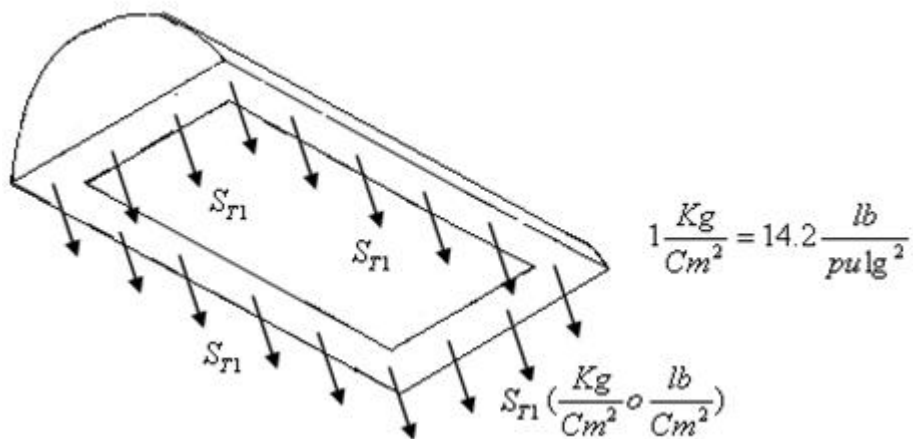
Si nosotros giráramos el prisma un cierto ángulo, veríamos que los esfuerzos  $ST_1$  y  $ST_2$ , disminuyen de su máximo mostrado y empiezan a aparecer

esfuerzos cortantes en las caras del mismo, hasta tener un valor máximo:

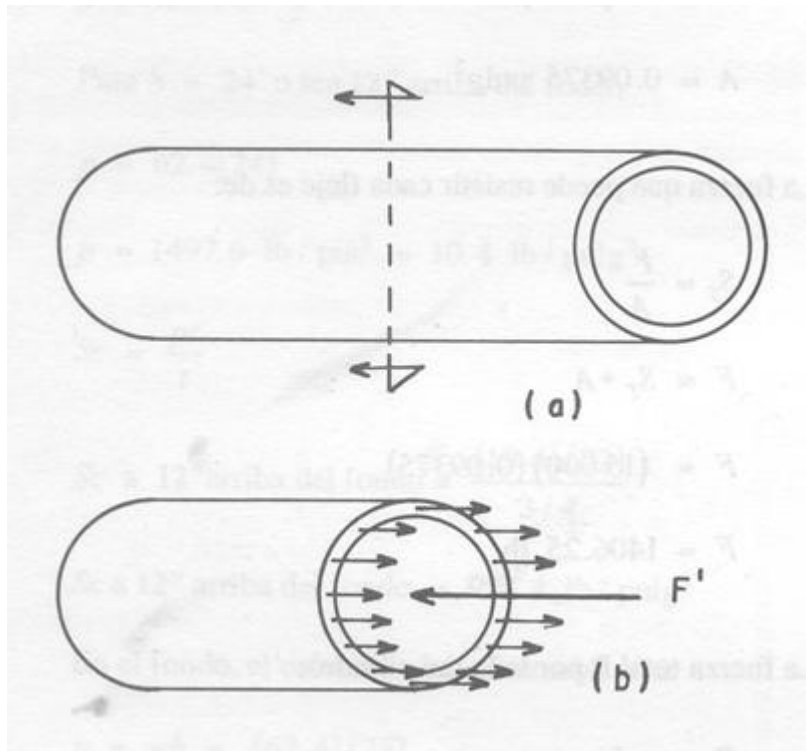
$S_{sm\acute{a}x.} = \frac{S_{T1}}{2}$  cuando el giro del prisma sea de  $45^\circ$ , por lo que podríamos decir que la relación de magnitudes de dichos esfuerzos es:  $ST1 = 2ST2 = 2SSm\acute{a}x.$

El cálculo de estos esfuerzos nos permitirá ir a las tablas de los fabricantes de aceros, para seleccionar el más adecuado

Los nombres de "esfuerzo en el aro" y esfuerzo longitudinal se pueden concluir de las siguientes figuras



ESFUERZO EN EL ARO (aro rectangular)  
PERPENDICULAR AL EJE DEL RECIPIENTE



### ESFUERZO LONGITUDINAL O A LO LARGO DEL EJE DEL RECIPIENTE

Para la deducción de las ecuaciones que permiten evaluar estos esfuerzos, utilizaremos las leyes básicas de la estática, y la definición de esfuerzo unitario.

Este ítem está enfocado únicamente en las propiedades del material utilizado para la construcción del gasificador.

Hay más de 70 tipos diferentes de aceros inoxidables y muchas aleaciones especiales. Estos aceros se producen como acero forjado (tipo AISI, American Iron and Steel Institute) o como acero fundido (tipo ACI).

Debido a las diferentes condiciones de operación que se dan en el gasificador, cabe destacar la utilización de aceros inoxidables y resistentes al calor pero por su obtención en el mercado y su costo no son viables para su uso.

En las partes en las que el proceso se desarrolle a temperaturas elevadas, como es el caso del reactor de gasificación y del ciclón, se utilizará un acero A 36 que es el más común en el mercado capaz de soportarlas además recubriéndolo de pintura anticorrosiva resistente al calor y en aquellas zonas de temperaturas

moderadas o incluso frías, utilizaremos el mismo acero A 36 con pintura anticorrosiva.

El **acero A36** es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente.

La denominación A36 fue establecida por la ASTM (American Society for Testing and Materials).

### **Propiedades**

El acero A36, tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 plg (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 plg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi), y el mismo límite de rotura pero de todos modos se rompe

### **Formas**

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen:

- Planchas
- Perfiles estructurales
- Tubos
- Barras
- Láminas

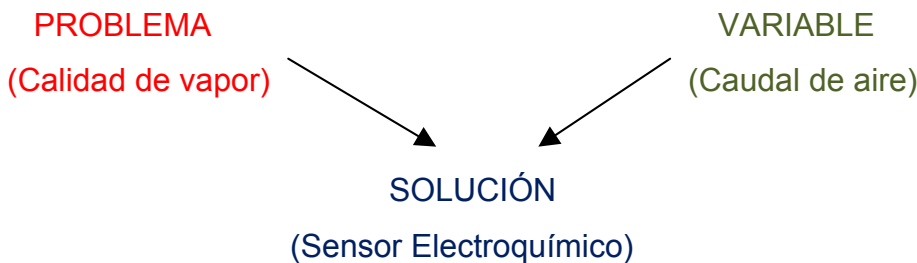
## Capítulo 5 – Parámetros de Automatización

### 5.1 Sistema de control

Durante el funcionamiento del equipo, está sujeto a perturbaciones o influencias externas inevitables tales como cambios en la composición de las materias primas, cambios en la calidad del producto, cambios en la calidad del vapor suministrado, etc.

Estas perturbaciones obligan a ejercer una vigilancia continua sobre nuestro proceso y a actuar constantemente sobre el mismo con la intención de corregir las desviaciones que se detecten.

Entonces para la elección de los sensores realizamos el siguiente procedimiento:  
Ejemplo.



El diseño del sistema de control para el equipo con elevado grado de integración es una tarea compleja que debe incluir las siguientes etapas:

#### 1.- Definir los objetivos de control

- Asegurar la estabilidad de nuestro proceso, acercándonos al óptimo.

#### 2.- Identificar las variables que pueden ser medidas y las que pueden ser manipuladas.

- Medidas: temperatura, nivel, velocidad, presión.
- Manipuladas: caudal de aire y de alimentación.

#### 3.- Especificar la instrumentación

#### 4.- Diseño del sistema de control

DQA	MODULO DE ADQUISICION
DQA	MODULO DE ADQUISICION DE DATOS

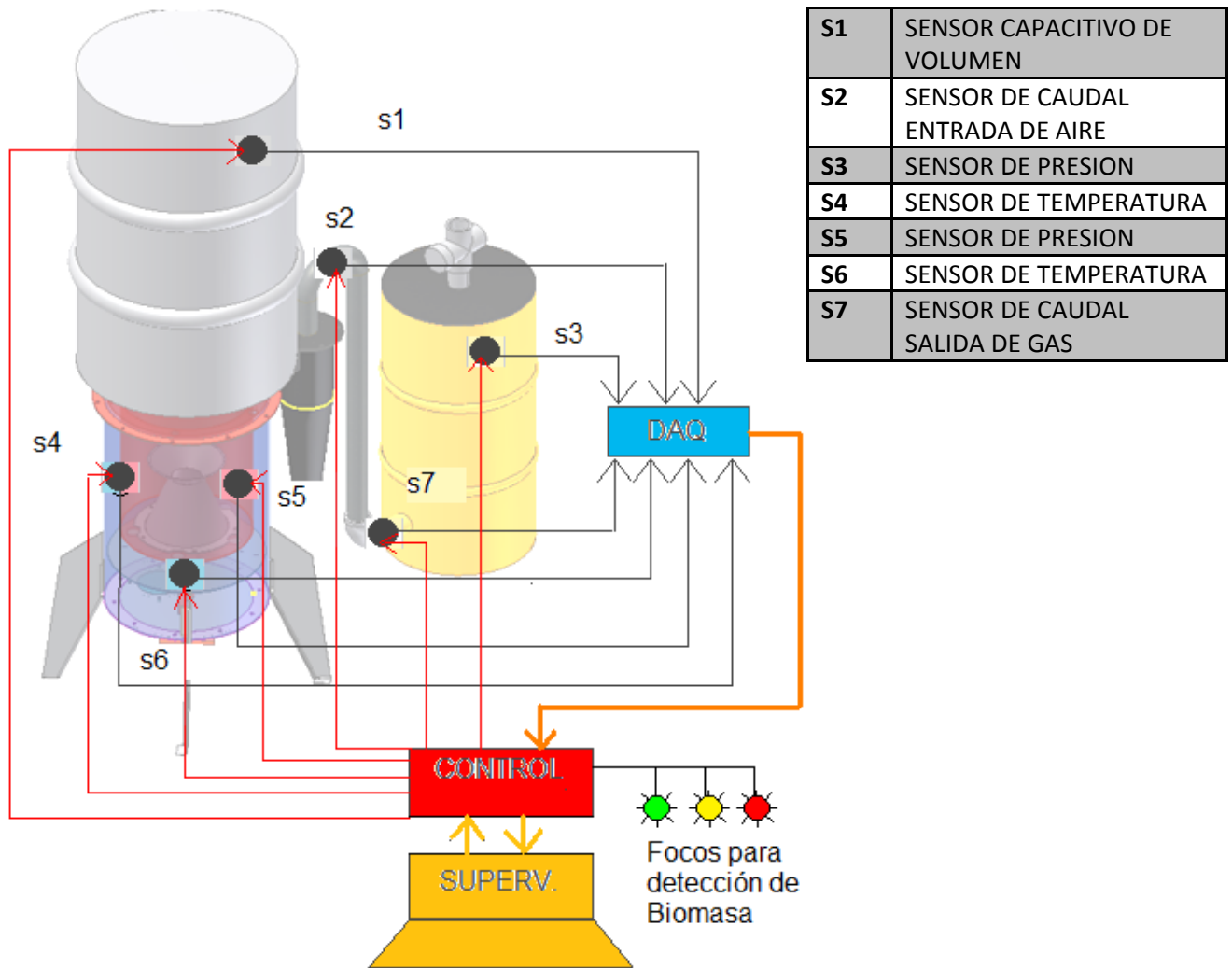


Figura 5.1. Esquema del sistema de control.

## 5.2 Instrumentación

Sea cual sea la estrategia de control seleccionada, para implementar físicamente el sistema de control habrá que medir variables del proceso, calcular las acciones de control y manipular determinadas variables de entrada. La instrumentación requerida para llevar a cabo estas funciones, puede ser de cuatro tipos: instrumentos de medida, actuadores, transmisores y controladores.

## 5.2.1 Medidores de temperatura

La temperatura, y el caudal, es la variable que más se va a medir a lo largo del proceso, aunque también mediremos la presión en diferentes puntos.

Los instrumentos que utilizaremos para medir la temperatura de nuestro proceso son los termopares. Son los sensores más utilizados en la industria química. El principio físico de un termopar consiste en que cuando dos metales diferentes se unen, se genera un punto de unión una fuerza electromotriz que es función de la temperatura. De este modo, hay parejas de materiales metálicos que presentan una relación entre la fuerza y la temperatura prácticamente lineal y estable, para ellos puede escribirse:

$$E \approx kT$$

Siendo k un coeficiente dependiendo del tipo de termopar de que se trate.

Rango de medida para el gasificador es: **0°C – 820°C**

La pareja de materiales metálicos a utilizar será utilizaremos un termopar Cromel/Alumel, que tiene un rango de utilización de -270°C hasta 1.370°C, con una precisión 0.75% y adecuación a las condiciones del proceso. Siendo un termopar de aislamiento mineral, que permite diferentes terminaciones (cabezal, conector, cable, convertidor...), diferentes tipos de materiales de vaina y fácil adaptación de ésta a cualquier aplicación sin que afecte a su funcionamiento.



Fig. 5.2 Termopar de aislamiento mineral.

Los termopares están colocados estratégicamente para controlar la evolución de la temperatura en el gasificador:

T1 y T2: temperatura sobre el distribuidor de agente gasificante (aire primario),

T1-T2 permite controlar el caudal de aire primario.

T3: temperatura del lecho previa a la inyección de aire secundario.

T4: temperatura del lecho posterior a la inyección de aire secundario.

T5: temperatura previa a la salida de los gases del gasificador.

T6: temperatura del aire primario a la entrada del gasificador.

T7: temperatura de descarga de cenizas.

T8: temperatura del vapor inyectado como agente gasificante.

## 5.2.2 Medidores de caudal

El rango para el caudal de ingreso de aire es: **0 - 0,6464 Nm<sup>3</sup> /h**

En el gasificador se debe medir caudales volumétricos y másicos.

Desafortunadamente no existe un medidor universal capaz de afrontar las diferentes aplicaciones que requerimos con suficiente precisión, sin problemas de mantenimiento, para cualquier rango de caudal y sin grandes pérdidas de carga. Por ello tenemos que utilizar diferentes medidores de caudal existentes en el mercado, con los que cubrir las diferentes aplicaciones de forma satisfactoria.

	<b>Vortex / Swirl</b>
	<a href="#">&gt;&gt;más info</a>
<b>Información Técnica</b>	
Temperatura media	-55°C...+400°C
Temperatura ambiental	-55°C...+70°C
Precisión (mejor)	0,5% o. r.
Tuberías parcialmente rellenas	
Tamaño medidor	DN 15 - 400
Tramos rectos de entrada/salida	Swirl 3D/2D Vortex 15D/5D
Ratios de presión	PN10-64, 150-300lb
Certificado de aplicación higiénica	no
Conmutación seguridad	no
Certificado Ex	ATEX, FM, CSA
Protocolo de comunicación	FF, HART, PA

Tabla: características del sensor de caudal



### **5.2.3 Medidores de presión y volumen**

En el caso de los recipientes como es el reservorio y el reactor donde existe presión de los gases usaremos los sensores de presión.

Y en el caso de la tolva de alimentación debemos cuantificar la biomasa al ser una medición de sólidos no podemos usar un sensor de nivel en este caso nos toca agregar un sensor capacitivo que mida la altura de la carga y se la debe ubicar en la parte superior de la tolva, y además se podría agregar un agitador para que equilibre la carga y no se produzca una acumulación en un solo lado de la tolva sino que equilibre la biomasa y así conseguir una medida adecuada.

Los medidores de presión presentan diferentes mecanismos de obtención de la medición. El utilizado será un transmisor de presión Cerabar M con membrana de cerámica optimizada para gran variedad de industrias, entre ellas, nuestro caso.

En el caso de la tolva, aún siendo parecido, tenemos que tener en cuenta que la superficie libre de sólido no es horizontal, sino que forma un ángulo llamado ángulo de talud. A medida que la tolva se va vaciando se crea un cono de vacío. Por lo tanto el medidor escogido, por dispositivo de plomada, ha de ser dispuesto a una distancia de la pared igual a  $1/6$  del diámetro, ya que el valor medido a esta distancia resulta similar al que alcanzaría con la misma cantidad de producto y ángulo de reposo nulo.

Debido a que las propiedades del sólido sabrían de una zona a otra del depósito, ya que las partículas más finas tienden a desplazarse a la zona central y las más gruesas hacia las paredes del depósito.

Se podría producir incluso compactación de los sólidos presentes en la zona inferior del depósito debido al peso soportado. Para mantener las propiedades homogéneas se dispone un agitador

### 5.3 Análisis del gas

La determinación de la composición del gas del proceso de gasificación se realiza a la salida del contador de gas se determina en continuo (a intervalos de 30 segundos) la concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> mediante un analizador equipado con sensores infrarrojo (CO<sub>2</sub>) y electroquímico (O<sub>2</sub>). Simultáneamente en el mismo punto de control, se dispone de la conexión en línea de un cromatógrafo de gases equipado con detector de conductividad térmica para la determinación de la concentración de H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO con un tiempo de respuesta de 90 segundos.

Las características de los equipos utilizados son las siguientes:

Analizador en continuo:

Análisis simultaneo de la concentración de los siguientes gases:

<b>GAS</b>	<b>% LECTURA</b>	<b>TIPO SENSOR</b>
CO <sub>2</sub>	0,1-100	ELECTROQUÍMICO
O <sub>2</sub>	0,1-21	ELECTROQUÍMICO
CO	0,1-40	ELECTROQUÍMICO
NO	0,1-6	ELECTROQUÍMICO
NO <sub>2</sub>	0,1-1	ELECTROQUÍMICO
SO <sub>2</sub>	0,1-10	ELECTROQUÍMICO

Tabla5.1 Características de los sensores

La calibración de gases se realiza en fábrica mediante gases patrón

Los tres focos en el sistema de control son para calificar el tipo de biomasa el foco verde es una biomasa buena, amarillo es una biomasa aceptable y rojo es una biomasa mala.

## **Capítulo 6 – Análisis económico y Financiero.**

El presupuesto necesario para la realización del proyecto se desglosa en:

- Costo de la ingeniería.
- Costo de inversión.

### **6.1 Análisis Económico**

#### **6.1.1 Costo de realización del proyecto.**

El presupuesto necesario para la realización del estudio de ingeniería es:

<b>COSTE INGENIERIA</b>	
<i>Tarifa Ingeniera Industrial Júnior (1ª fase)</i>	4 dólares
<i>Nº meses</i>	7 meses
<i>Días/mes</i>	20 días/mes
<i>Horas/Día</i>	6 h/día
<i>Total horas dedicadas</i>	840 h
<i>Honorarios Ingeniería básica</i>	3360 dólares

<i>Tarifa Ingeniera Industrial Júnior (1ª fase)</i>	4 dólares
<i>Nº meses</i>	7 meses
<i>Días/mes</i>	20 días/mes
<i>Horas/Día</i>	6 h/día
<i>Total horas dedicadas</i>	840 h
<i>Honorarios Ingeniería de detalle</i>	3360 dólares

Adicionalmente a los honorarios profesionales, en concepto de gastos e imprevistos se cargará un 10%. Esto supondrá 672 dólares adicionales.

PRESUPUESTO TOTAL: 7392 dólares.

## 6.2 Análisis Financiero

### 6.2.1 Valor futuro a la construcción del gasificador

Los costos de inversión fueron calculados en las fases del proyecto, con un valor de inversión de 7.000 dólares

<b>Pruebas realizadas</b>		
<i>Análisis elemental</i>	150 dólares x 2	300 dólares
<i>Análisis inmediato</i>	130 dólares x 2	260 dólares
<i>Cinética a la pirólisis</i>	130 dólares x 2	260 dólares
<i>Determinación del poder calorífico</i>	160 dólares x 2	320 dólares
<i>Estudio hidrodinámico</i>	140 dólares x 2	240 dólares
<i>Total pruebas</i>	1380 dólares	

Por cuanto a la instrumentación necesaria para el óptimo desempeño del gasificador se calcula un costo de 1500 dólares

Costo total del gasificador = 9880

Adicionalmente a los costos de construcción, en concepto de gastos e imprevistos se cargará un 20%. Esto supondrá 2376 dólares adicionales.

Costo Total = 14256 dólares

**NOTA.**

Todo dependerá del presupuesto que se tenga en el momento de la construcción del gasificador.

## **Capítulo 7 – Conclusiones y Recomendaciones.**

### **7.1 Conclusiones**

1. Al ser un gasificador simple puede ser construido en talleres metal mecánicos convencionales
2. La construcción del gasificador tendrá múltiples ventajas como menor contaminación ambiental, gas producido fácil de almacenar, menor emisión de particulados y necesidad de menor cantidad de aire.
3. El diseño de la construcción de este gasificador garantiza que los sistemas estarán suficientemente sellados para evitar fugas de gas tóxicas por contener monóxido de carbono.
4. La construcción del gasificador se mantiene sobre la base de instalaciones experimentales por los altos costos en las pruebas y en la fabricación final.
5. El gasificador podrá operar a partir de biomasa de madera, que resulta ideal en el contexto donde la naturaleza estacional de los desechos requiere de esta alternativa para optimizar costos a largo plazo.
6. El uso del gasificador de biomasa podrá incentivar las economías rurales, creando trabajo y reduciendo los costos sobre la producción agropecuaria y forestal.
7. El potencial calórico del gasificador de biomasa es dependiente de las variaciones en el clima, humedad y de la densidad de la materia prima.

8. El gasificador tiene como propiedad que requiere de gran volumen para producir potencia por lo que se deberá ubicar el proceso de conversión cerca de fuentes de producción de biomasa para facilitar el transporte y manejo de los desechos.

## **7.2 Recomendaciones**

1. La instalación de un secador podría bajar los costos de producción y solucionar el problema de los desechos acumulados.
2. El montaje de la instrumentación del gasificador se debe realizar en el momento que se hagan pruebas de los valores que entrega la maquina, ya que el diseño propuesto en este proyecto puede tener algunas variantes ya que los valores se tomaron en condiciones ideales tanto en la biomasa como en el ambiente.
3. Se recomienda en la construcción trabajar con las medidas en pulgadas ya que en el mercado son más comunes.

## **Bibliografía**

Arauzo, J.; D. Radlein, J. Piskorz, y D. S. Scott. (1997). «Catalytic Pyrogasification of Biomass. Evaluation of Modified Nickel Catalyst». *Ind. Eng. Chem. Res.*, 36, 1997.

Aznar, M.P.; J. Corella, J. Delgado y J. Lahoz. «Improved Steam Gasification of Lignocellulosic Residues in a Fluidized Bed with Commercial Steam Reforming Catalysts». *Ind. Eng. Chem. Res.*, 32, 1993.

Alzueta, M.U.; R. Bilbao, A. Millera, P. Glarborg, M. Ostberg y K. Dam-Johansen. «Modelling Low Temperature Gas Reburning. NO<sub>x</sub> Reduction Potential and Effects of Mixing». *Energy & Fuels*, 12, 1998 (2).

Bridgwater, A. V. «The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification of Power Generation». *Fuel*, 74, 1995.

García, P.; R. Bilbao, J. Arauzo y M. L. Salvador. «Scale-up of Downdraft Moving Bed Gasifiers (25-300 kg/h)-Design Experimental Aspects and results». *Bioresource Technology*, 1994.

García, L. « Pirólisis y gasificación con vapor de agua de biomasa a bajas temperaturas en lecho fluidizado con catalizadores Ni/Al». Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, 1997.

García, L.; M. L. Salvador, J. Arauzo y R. Bilbao. «Catalytic Steam Gasification of Pine Sawdust. Effect of Catalyst Weight/Biomass Flow Rate and Steam/Biomass Ratios on Gas Production and Composition». *Energy & Fuels*, 13, 1999.

García, L.; M. L. Salvador, J. Arauzo y R. Bilbao. «CO<sub>2</sub> as a gasifying agent for gas production from pine sawdust at low temperatures using Ni/Al coprecipitated catalyst». *Fuel Process. Technol.*, 69, 2001.

Herguido, J.; J. Corella y J. González. «Steam Gasification of Lignocellulosic Residues in a Fluidized Bed at a Small Pilot Scale. Effect of the Type of Feedstock». *Ind. Eng. Chem. Res.*, 31, 1992.

Kunii, D. Fluidization energuillering. 1991. Parkinson, G. y K. Fouhy. «Gasification: New Life for an Old Technology». *Chem. Eng*, 1996.

Narváez, I.; A. Orío, M. P. Aznar y J Corella. «Biomass Gasification with Air in an Atmospheric Bubbling Fluidized Bed». Effect of Six Operational, 1996.

[http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E\\_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp](http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp)

<http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/biomasa.htm>



# ANEXOS