

Relatorio Final de Trabalho de Graduação I

Reingeniería de reactor de lecho fluidizado

Autora: Amanda Pe López

Orientador: Prof. Dr. Caio Glauco Sánchez

Campinas, Febrero 2013

Índice

Capítulo 1 Motivación y objetivos del trabajo

Capítulo 2 Fundamentos teóricos

2.1.-Proceso de gasificación

2.2.-Termodinámica del proceso de gasificación

2.3.-Elementos principales de la gasificación

2.4.-Tipos de gasificadores

Capítulo 3 Estudio del reactor

3.1.-Partes del reactor y funciones de ellas

3.2.-Detallamiento del reactor

Capítulo 4 Planos y diseños constructivos del reactor

Capítulo 1: Motivación y objetivos del trabajo:

Este trabajo se trata de rediseñar un reactor de laboratorio que fue construido sin planos unos años atrás, consiguiendo todos los diseños constructivos y las modificaciones teniendo en cuenta el paso de los años.

Este tipo de trabajos es conocido hoy como proyecto de reingeniería. La reingeniería de un producto consiste en realizar estudios sobre productos o diseños preexistentes con el fin de optimizar una o varias de sus características. Como en cualquier problema de optimización, se busca mejorar prestaciones como:

- Reducir el peso.
- Aumentar la vida útil del producto
- Disminuir el coste de producción.
- Aumentar el rendimiento general del producto.

Para ello, hay que tener en cuenta otro tipo de parámetros, como pueden ser los materiales, geometrías o tecnologías de fabricación.

Para llevar a cabo un proyecto de reingeniería, hay que seguir cuatro fases:

- 1.Rediseño conceptual.
- 2.Ingeniería de detalle.
- 3.Prototipado de la solución propuesta.
- 4.Ensayos y certificaciones de la solución adoptada.

Capítulo 2: Fundamentos teóricos

2.1.-PROCESO DE GASIFICACIÓN:

La gasificación es un proceso termoquímico en el que se realiza la conversión de un combustible sólido como la biomasa en un gas energético, mediante la oxidación parcial a temperaturas elevadas (800-1000°C). El gas obtenido se puede utilizar en turbinas de gas o en motores de combustión interna, para la utilización de éstos, hay que controlar las impurezas que contienen.



Es necesario resaltar que una instalación de gasificación está constituida por:

- Sistema de preprocesamiento del combustible: stock, transporte, reducción de biomasa al tamaño adecuado y disminución de humedad en algunos casos.
- Gasificador, dotado de sección de alimentación apropiada para no haber escape de gas.
- Sistema de tratamiento de gas, con enfriamiento y limpieza.
- Sistema de control del proceso de gasificación.
- Sistema de tratamiento de los residuos, con disposición adecuada.

A continuación se detallan los subprocesos que comprenden la gasificación y los factores que la determinan.

2.2.-TERMOQUÍMICA DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN:

El proceso de gasificación de biomasa tiene varias reacciones cuyo orden e importancia depende de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado. Pero pueden agruparse en tres etapas principales:

***SECADO:** Es la primera etapa de la gasificación, donde la materia vegetal se somete a un proceso donde se le extrae la humedad de ella. Se puede llevar a cabo por medios mecánicos o simplemente dejar secar al sol.

***PIRÓLISIS O DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA:** Esta etapa se da cuando la biomasa es sometida a la elevación de temperaturas que junto a la nula o baja aportación de oxígeno en el momento de la reacción, libera o produce sustancias que son volátiles a

determinadas temperaturas.

El secado y la pirólisis de la biomasa, con la liberación del agua, de los volátiles y del alquitrán, ocurren en tres fases:

- Evaporación del agua,
- descomposición de los hidratos de carbono (hemicelulosa, celulosa, lignina) (250-300°C)
- producción de alquitrán y ácidos leves (350-430°C)

Productos:

- Gases no condensables (CO, CO₂, H₂, CH₄, O₂)
- Carbón vegetal
- Condensado: alquitrán y ácidos.

Las reacciones químicas que ocurren en la zona de combustión son, en general, la combinación de oxígeno del aire con el carbono y el hidrógeno.

Un esquema simplificado de pirólisis del sólido puede ser descrita como:

Madera + calor--> Coque + gases + alquitrán + condensables.

***OXIDACIÓN O COMBUSTIÓN:** Se da cuando el agente gasificante es un oxidante, como el oxígeno o el aire. Implica el conjunto de reacciones, tanto homogéneas como heterogéneas, fundamentalmente exotérmicas, mediante las que se genera el calor necesario para que el proceso se mantenga.

***REDUCCIÓN O GASIFICACIÓN:** En esta etapa, el sólido remanente se convierte en gas, constituida por las reacciones sólido-gas o en fase gas. Se trata de reacciones fundamentalmente endotérmicas.

Las etapas de reducción y oxidación pueden ser consideradas como una sola etapa de gasificación donde se dan todas las reacciones entre el alquitrán y la mezcla gaseosa presente.

2.3.-ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GASIFICACIÓN:

-Agente gasificante:

Dependiendo del agente gasificante que se utilice en el proceso de gasificación, el producto final puede variar e su composición y poder calorífico.

Existen varios agentes gasificantes a ser utilizados, entre los que están, aire, oxígeno, vapor de agua e hidrógeno.

Al producirse la gasificación con aire, parte de la biomasa se quema con el oxígeno y el resto de biomasa que queda, sufre reducción. El 50% del producto final es nitrógeno, el gas ronda los 5,5 MJ/Nm³. La utilización de este tipo de gas es apropiado para motores de combustión interna convencionales.

Por otra parte, la gasificación mediante vapor de agua u oxígeno, aumenta la proporción de hidrógeno en el syngas y mejoran el rendimiento en general. Si el objetivo es la utilización para producir metanol o gasolina sintética, es el sistema más adecuado. El oxígeno tiene un coste económico a la vez que energético a tener en cuenta, siendo el aire gratuito y el vapor de agua producido a partir del calor que contiene el gas de síntesis.

El hidrógeno como agente gasificante permite la obtención de un syngas que puede alcanzar un poder calorífico de 30MJ/kg, pudiendo sustituir al gas natural.

AGENTE GASIFICANTE	PCS (MJ/M3)							USO
		H2	CO	CO2	CH4	N2	C2	
AIRE	<6	16	20	12	2	50	-	Combustible
OXÍGENO	10 – 20	32	48	15	2	3	-	Combustible de gas síntesis
VAPOR DE AGUA	10 – 20	50	20	22	6	-	2	Combustible de gas síntesis
HIDRÓGENO	>30							Sustituto del gas natural

-Biomasa:

Es una energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente, o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA BIOMASA:

La única restricción que existe para los combustibles sometidos a la gasificación es su densidad mínima, con una limitación de 200 a 250 kg/m³.

Con la utilización de densidades menores aparecen algunos problemas con el manejo de la biomasa en los conductos verticales. Además, se generan complicaciones en la gasificación en lecho fluidizado, debido a que la biomasa es arrastrada por el gas de síntesis, perdiendo eficiencia.

Otra de las propiedades físicas de importancia que tiene que tener la biomasa es el de su tamaño, debe ser homogéneo y suficientemente pequeño como para que las reacciones sean producidas a una velocidad concreta y un volumen pequeño. Con un tamaño de partícula pequeño, puede aumentar la calidad del syngas, aumentar el tiempo de permanencia para el craqueo de alquitranes o reducir el tamaño del reactor.

Por otra parte hay que prestar atención pues un tamaño demasiado pequeño de la biomasa puede hacer que ésta se atasque en los conductos o que sea arrastrada junto con las cenizas volantes al exterior del reactor antes de lo previsto.

En definitiva, el tamaño pequeño de partícula generalmente favorece la gasificación no siendo menor, en la mayoría de los casos de unos 2-3 mm. Cada gasificador necesita de un tamaño de partícula específico.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BIOMASA:

La humedad de la biomasa es otro de los puntos a tener en cuenta. Nunca se deja con humedad inferior del 10 al 15% pues presenta algunas desventajas.

Uno de ellos es que la biomasa secada sobrepasando su punto de equilibrio recupera humedad al entrar en contacto con el aire del ambiente, por tanto, nunca se deja con humedad inferior al 10 o 15%.

El otro de los inconvenientes se trata de que a medida que se va secando más la biomasa, aumenta económica y energéticamente.

Generalmente, la humedad facilita la formación de hidrógeno, pero reduce la eficiencia térmica.

Mediante un análisis elemental de la biomasa daría para conocer la cantidad de aire u oxígeno que es necesario introducir, como primera estimación.

Sin embargo, con un análisis inmediato de la biomasa podemos obtener datos sobre carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas. Esta información es fundamental para elegir la tecnología de gasificación y el tiempo de resistencia en el reactor, para reducir al máximo el poder calorífico inferior de la biomasa.

Mediante el poder calorífico del combustible se puede obtener una aproximación del poder calorífico del syngas. Éste se calcula mediante el análisis elemental.

También es de carácter importante que las cenizas entrantes sean lo más reducidas posible. Éstas absorben calor, erosionan los conductos y ensucian los filtros.

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida en el combustible por kilogramo de material. En los procesos donde se incluye la combustión de biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de cenizas, así como su composición, en algunos casos puede ser utilizada.

RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y MANEJO DE LA BIOMASA:

Las condiciones de recolección, el transporte y el manejo de la biomasa, son factores determinantes a estudiar. Una eficiencia de los anteriores supone un menor coste de inversión y operación del 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 deben ser analizados detalladamente para lograr un máximo rendimiento.

-VENTAJAS DE LA BIOMASA:

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

-Disminuye la contaminación ambiental reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero:

Aunque utilicemos la combustión en el aprovechamiento energético de esta fuente renovable siendo el resultando de ésta agua y CO₂, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, puede considerarse que es la misma que las plantas utilizan en su crecimiento. Suponiendo así, que no se produce incremento de este gas a la atmósfera.

- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas:

Con la utilización de residuos de otras actividades como biomasa, se realiza un reciclaje, disminuyendo los residuos.

- Flexibilidad y bajos costos en el uso de combustible primario.

- Utiliza combustibles disponibles localmente.

- INCONVENIENTES DE LA BIOMASA:

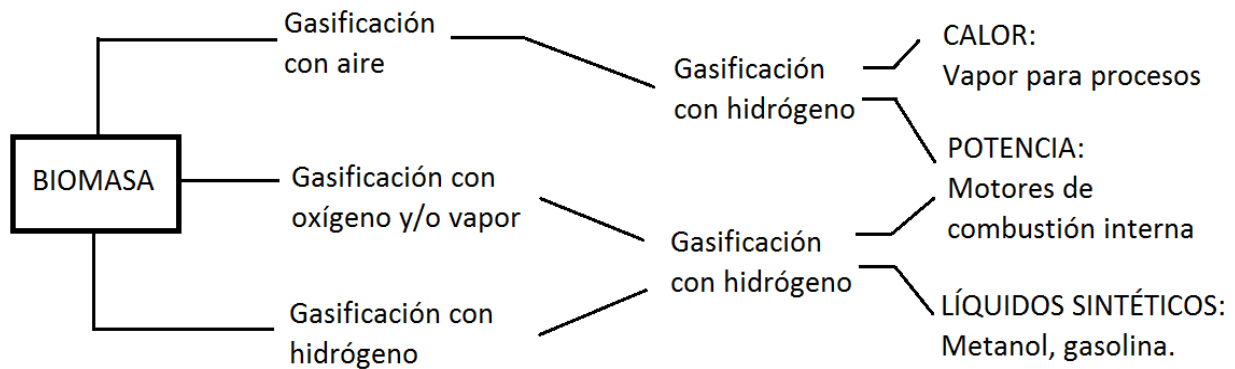
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.

- 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

2.4.-TIPOS DE GASIFICADORES:

El gasificador de biomasa transforma los desechos orgánicos (generalmente de procedencia agrícola) en un gas limpio y de alta calidad con unas propiedades específicas para emplearse en motores de combustión interna o en calderas. Puede llegar a reemplazar a los combustibles fósiles y proveer de energía eléctrica y calor.

El siguiente esquema muestra la relación entre el agente gasificante, los productos de los respectivos procesos y su posible aplicación.



Existen varios tipos de gasificadores, pudiendo ser clasificados de diferentes maneras:

-Según el poder calorífico del gas producido: -bajo (hasta 5MJ/Nm^3)

-medio (de 5 a 10MJ/Nm^3)

-alto (mayor de 10MJ/Nm^3)

- Presión de trabajo: - Baja

- Presión atmosférica y hasta una presión de 200KPa

- Tipo de agente gasificante: -Aire

-Vapor de agua

- Oxígeno

- Hidrógeno

-Tipo de biomasa utilizada: -Residuos agrícolas

-Residuos industriales

-Residuos sólidos humanos

- Biomasa de la naturaleza

- Biomasa pulverizada

-El tipo de clasificación más utilizadas para los gasificadores es la dirección del movimiento relativo de la biomasa y del agente de gasificación, siendo los siguientes:

- Contraflujo o contracorriente

- Flujo directo o paralelo.
- Flujo cruzado o lecho fluidizado.

Cada uno de ellos tienen las siguientes características y el siguiente esquema de funcionamiento:

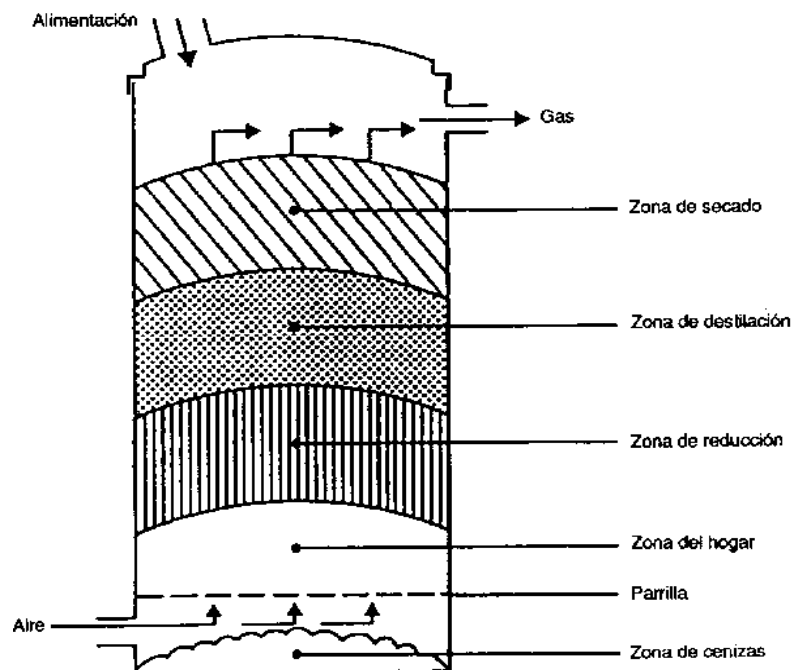
GASIFICADORES DE FLUJO ASCIDENTE:

Ventajas:

- Eficiencia térmica alta
- Simplicidad alta

Desventajas:

-Producir un gas con mucho vapor de agua e alquitranes. (Alquitranes y otros productos producen incrustaciones en los conductos).



GASIFICADORES DE CORRIENTE PARALELA:

- Más difundidos para la generación de potencia mecánica.
- Disposición de la zona de combustión, conocida como garganta, es el elemento crítico, hecha de un material de cerámica.



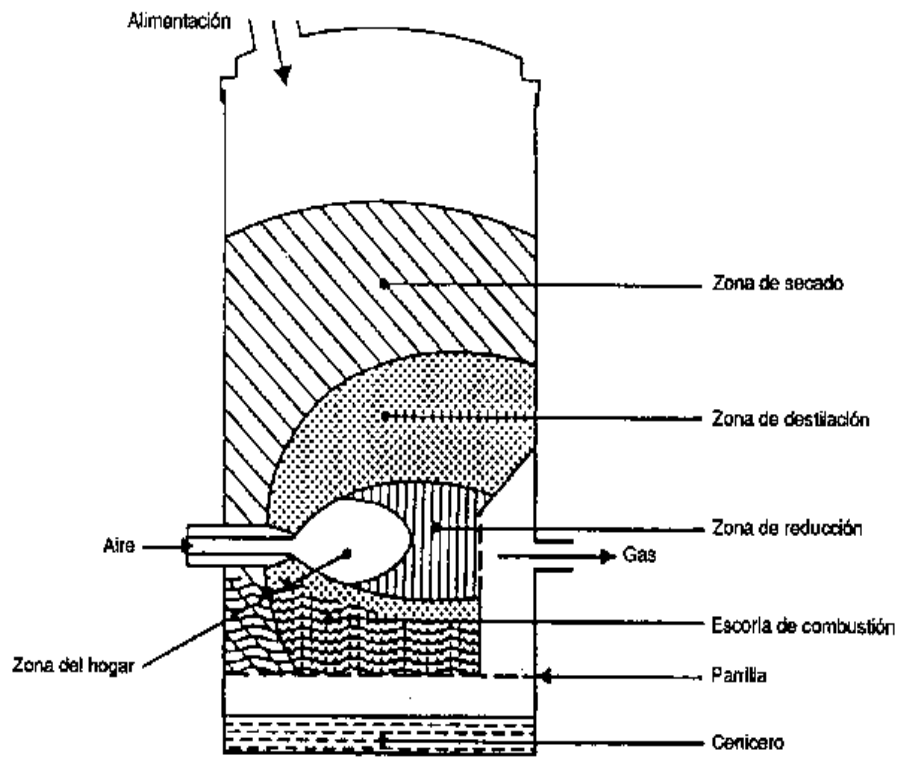
GASIFICADORES DE FLUJO CRUZADO:

Produce un gas combustible con propiedades intermedias entre los dos anteriores gasificadores. Su zona de combustión tiene una temperatura extremadamente alta.

VENTAJAS:

- Rápida respuesta a variaciones de carga.
- Simplicidad de construcción
- Peso reducido.

Utilización para fines prácticos, uso de carbón vegetal limpio y seco.



GASIFICADORES DE LECHO FLUIDIZADO:

Los problemas que se dan en los gasificadores anteriores son la formación de escoria, la falta de tiro en el depósito, y la excesiva caída de presión en el gasificador.

El gasificador de lecho fluidizado pretende solucionar tales dificultades.

VENTAJAS:

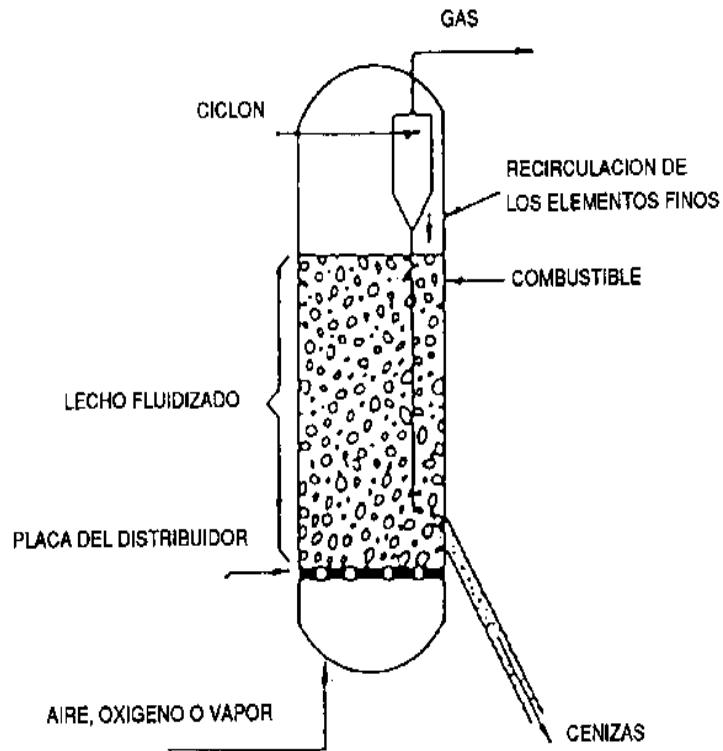
-Flexibilidad del material de alimentación debida a la facilidad de control de la temperatura, pudiendo mantenerse debajo del punto de fusión de las cenizas y a su capacidad de funcionar con materiales blandos y de grano fino sin necesidad de proceso previo alguno.

INCONVENIENTES:

-Contenido alto de alquitrán del gas producido (hasta 500mg/m³).

- combustión incompleta del carbono.
- Mala respuesta a los cambios de cargas.

Debido al equipo de control necesario para hacer frente a éste último inconveniente especialmente, no se prevén gasificadores de lecho fluidizado muy pequeños, debiéndose establecer su campo de aplicación por encima de 500KW de potencia en el eje.



Capítulo 3: Estudio del reactor

En este trabajo se ha realizado el estudio de un reactor de lecho fluidizado que se encuentra en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNICAMP.

Este reactor fue construido sin planos previos, unos años atrás. Con este proyecto se pretende rediseñarlo atendiendo a las modificaciones y mejoras que supone el paso de los años.

La metodología llevada a cabo ha sido el cálculo preliminar y dimensionamiento preliminar del reactor ya existente con su posterior confección de los diseños constructivos.

3.1.-PARTES DEL REACTOR Y FUNCIONES DE ELLAS:

Cámara de combustión:

A través de la quema de GLP en aire, generando un gas inerte, se obtiene un gas fluidizado dentro de ella, apropiado para la pirólisis de biomasa.

Reactor de Lecho Fluido:

Sistema donde es introducido el gas de la combustión. Entorno al reactor estudiado en este proyecto, se encuentran dos resistencias eléctricas, una entorno al lecho y otra entorno al freeboard. Operando con la potencia correcta, la resistencia minimiza la pérdida de calor del lecho para el medio e inhibe la formación de un gradiente térmico.

Placa distribuidora:

Es un dispositivo con el fin de asegurar que el gas fluidizante siempre sea distribuido de manera uniforme por la sección transversal del lecho.

La placa fue construida utilizando los inyectores con orificios radiales. La pérdida

de carga de los inyectores está concentrada en el orificio radial, lo que uniformiza la salida por orificio y no por inyector.

El número de orificios por inyector varía dependiendo de su localización siendo su objetivo producir una distribución de aire lo más uniforme posible al mismo tiempo de proteger la integridad de la pared del reactor.

Sistema de alimentación:

Es el responsable de introducir los materiales para la reacción de pirólisis. Existen diversos dispositivos disponibles para alimentar los sólidos en el lecho fluido. La elección de uno u otro dispositivo depende en gran parte por la naturaleza de los sólidos alimentados.

El sistema de alimentación esta constituido por dos esteras y un mezclador para evitar que se forme un arco mecánico. Está constituido por un moto-reductor de 0,25 cv de potencia y una reducción de 1:10.

La rosca transformadora posee un sistema de refrigeración para evitar la degradación térmica del material al ser alimentado antes de ser introducido en el reactor.

El sistema consiste en tubos coaxiales donde el tubo interno inyecta agua a temperatura ambiente hasta la extremidad de la rosca, introducida en el lecho, y el tubo externo refrigera el dispositivo cuando el agua retorna al punto de inyección.

Separadores del ciclón:

Son frecuentemente usados en lechos fluidos para separar los sólidos arrastrados del flujo de gas.

Los ciclones instalados dentro del lecho fluido deben ser dispuestos con una pierna inmersa en la columna de fluidización y lacrados para prevenir la entrada de gas en la salida de sólidos. Los sistemas fluidizados pueden tener dos o más ciclones en serie para mejorar la eficiencia de separación. Los ciclones también están sujetos a erosión y deben estar proyectados para convivir con esto.

Mezclador del sistema de alimentación:

Un dispositivo de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema de alimentación situado dentro del silo de alimentación, para evitar la formación de arcos.

Sistema de suministro del gas de fluidización:

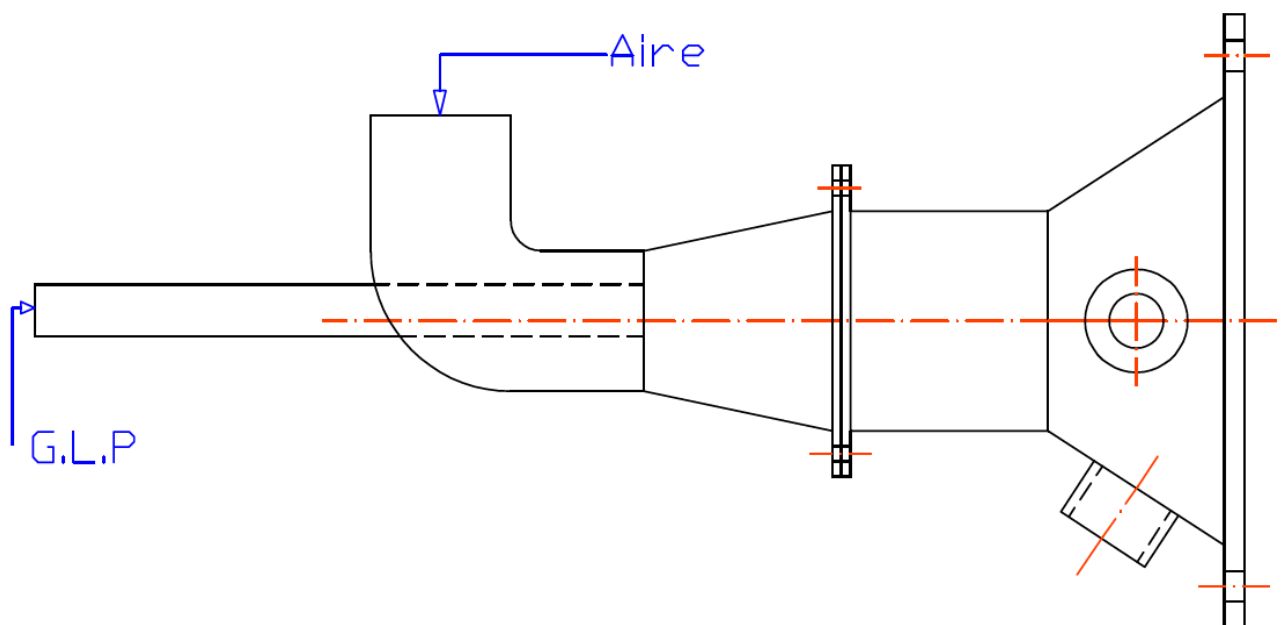
Es el responsable del suministro del gas que fluidizará el lecho. La pérdida del gas fluidizante conducirá al desmoronamiento del lecho fluidizado. El buen dimensionamiento de estos dispositivos debe ser considerado en la fase inicial del proyecto.

3.2.-DISEÑOS CONSTRUCTIVOS DEL REACTOR:

- **QUEMADOR:**

El quemador del reactor estudiado esta subdividido en varias piezas, una brida mayor, un cono donde están la entrada de ignición y de inspección, un cilindro, dos bridas menores del mismo tamaño, un cono menor, un codo, un tubo para la entrada de GLP y un adaptador comercial siendo la entrada del aire.

El quemador es el mostrado en el siguiente plano:



El espesor del cuerpo del quemador es de tres milímetros desde el primer cono hasta el final del codo. Es el espesor mínimo requerido para el soporte mecánico, fue hecho con el mínimo por economizar.

La primera brida de espesor de 6,5 mm, está soldada al cono de mayor tamaño. En ella se encuentran 8 agujeros de 10 mm de diámetro cada uno de ellos para un amarre con tornillos.

En el primer cono se encuentran la entrada de ignición y la de inspección. La altura de la primera es de 44mm y de la segunda de 20mm. Ambas, como mínimo deberían ser de 25 mm para traspasar el aislamiento térmico. Por tanto, en el nuevo diseño del reactor la altura de ignición se mantendrá con 44 mm y la de inspección será de 30 mm.

Unidas al cono menor y al cilindro por soldadura, se encuentran dos bridas de igual tamaño. Con un espesor de 3 mm cada una de ellas y con cuatro agujeros de 5 mm cada uno de ellos para el amarre entre ambas mediante 4 tornillos.

Tras el cono y también unido por soldadura tenemos el codo, el cuál hace un ángulo de 90°. Unido a él, hay un adaptador comercial siendo la entrada de aire.

Entre el codo y el cilindro, unidos mediante soldadura, tenemos 12 aspas, que sirven para dirigir el aire.

El tubo de entrada de GLP (gas licuado de petróleo) tiene una longitud hasta el final del codo. Tiene un diámetro de 17mm, siendo abierto por el inicio y tapado al final de éste. Con cuatro agujeros de 2 mm de diámetro prácticamente al final de él.

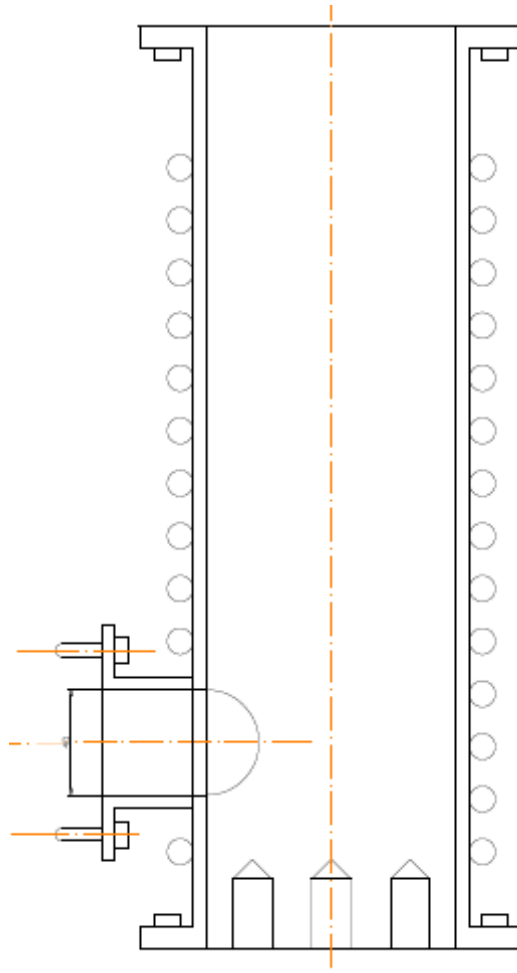
- LECHO:

Todo el cuerpo del lecho, construido con acero inoxidable 310, tiene un espesor de 5 mm, aumentando éste en las bridas superiores e inferiores por 8 mm.

El reactor fue aislado externamente con una fibra de cerámica (Fiberfrax),

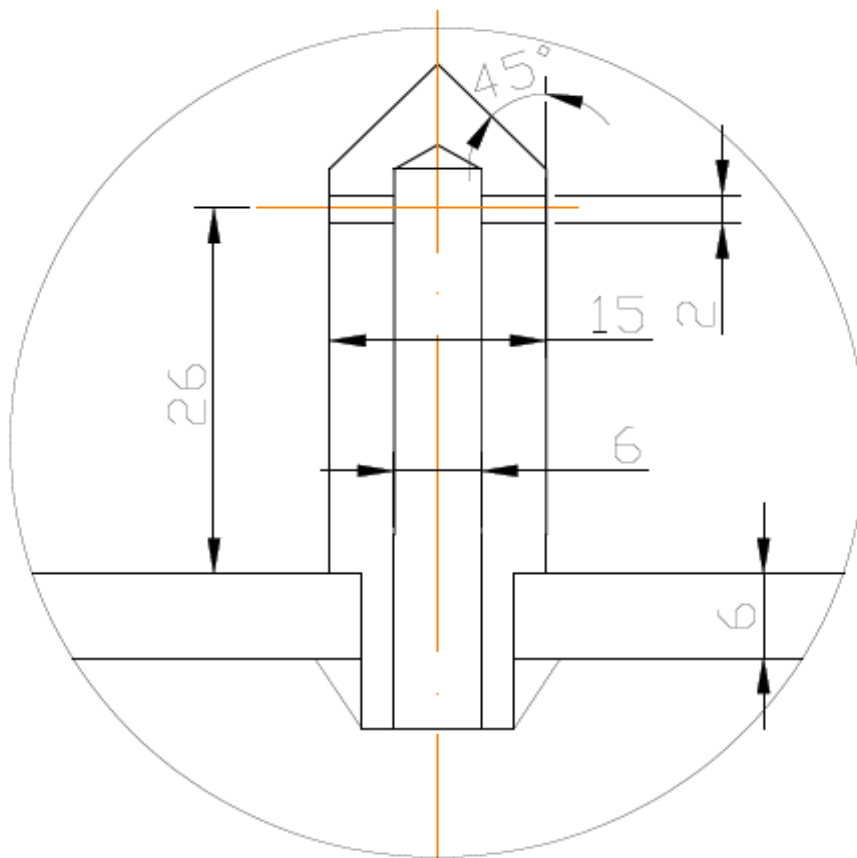
con 25 mm de espesor. Para asegurar la uniformidad radial de la temperatura en el interior del lecho, entorno a todo él se encuentra una resistencia eléctrica.

El lecho es el siguiente:



En cuanto a la placa distribuidora, la descripción es la siguiente, utilización de 7 inyectores con 5 o 6 agujeros de acuerdo a la localización en el reactor, dando un resultado de 41 agujeros con 2 mm de diámetro, a 25 mm de la base de la placa. Los inyectores fueron contruidos de acero inoxidable 310, mecanizados dejando forma de cono en la parte superior evitando así el cúmulo de material en este punto.

El detallamiento de ésta es:

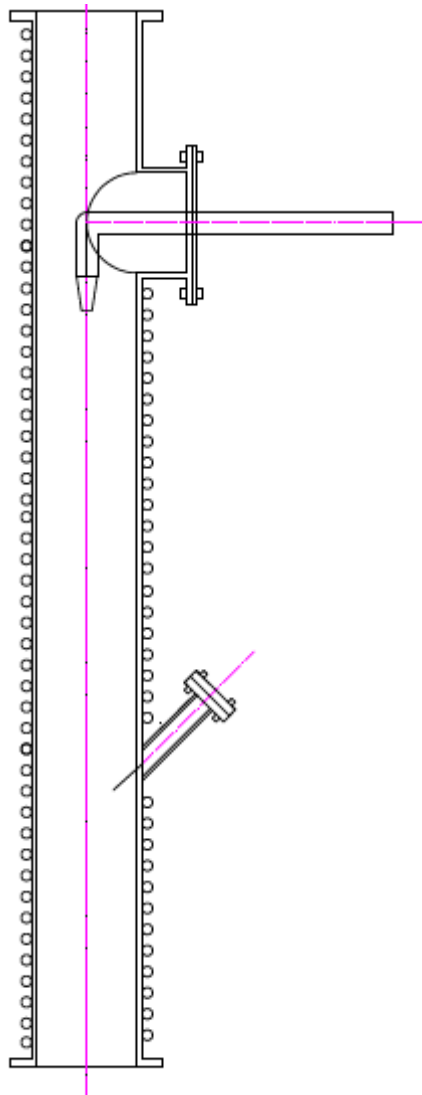


- FREEBOARD:

Todo el cuerpo del freeboard, al igual que el del lecho, tiene un espesor de 5mm, exceptuando en las bridas, que el espesor aumenta a 8mm. El material de todo él es acero inoxidable 310.

De la misma manera que en el lecho, el freeboard está rodeado por otra resistencia eléctrica, diferente de la anterior pero con la misma funcionalidad.

El freeboard es el siguiente,

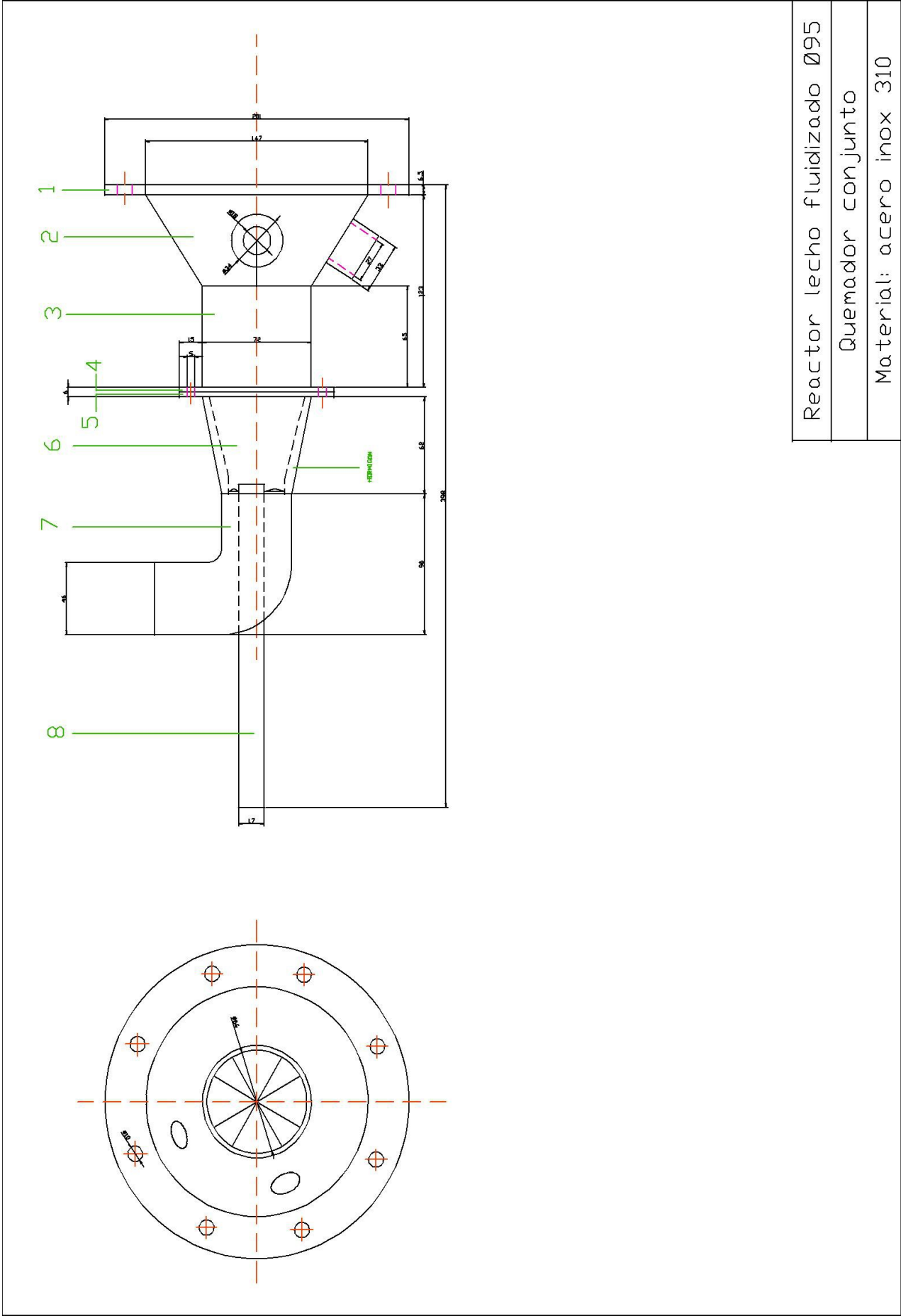


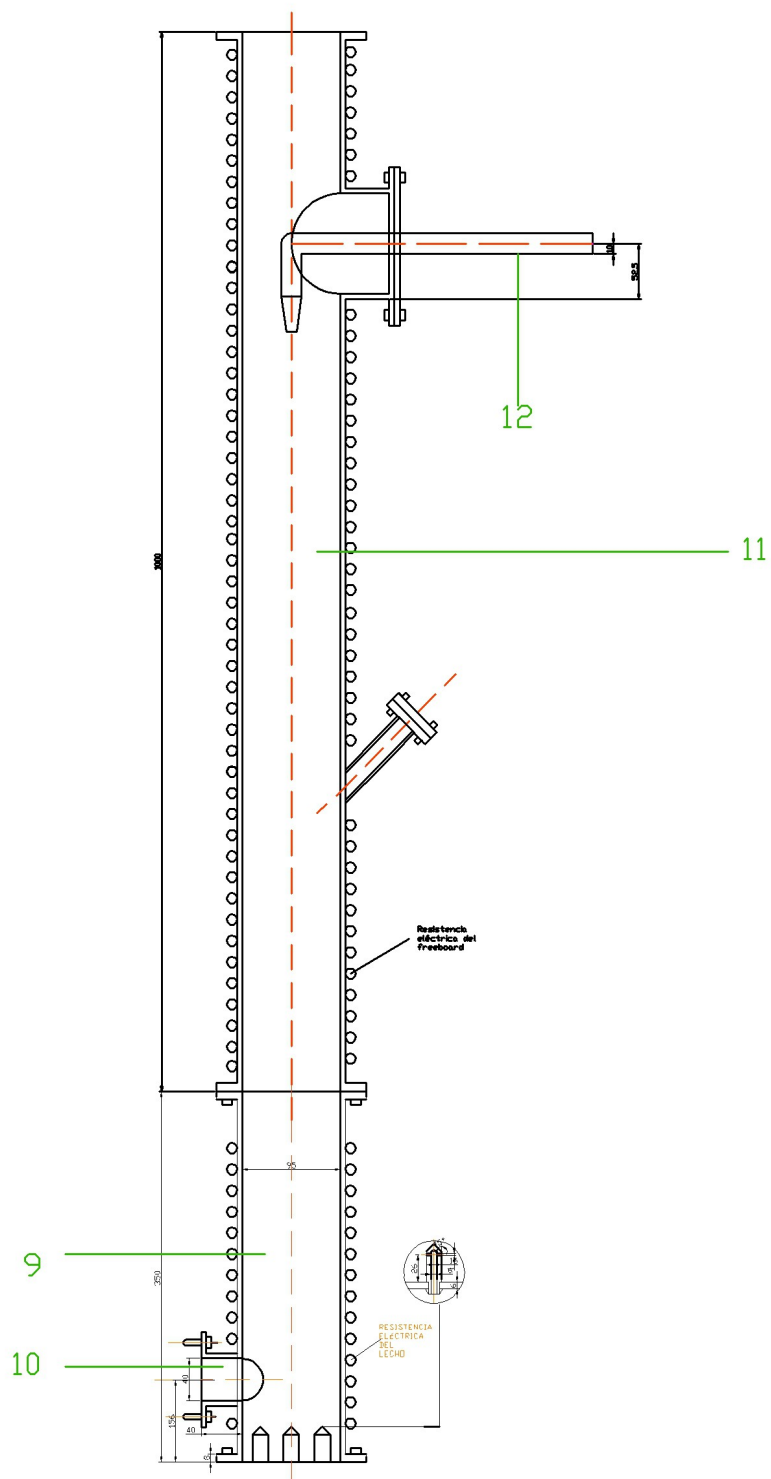
La sonda tiene una largura tal, que vaya desde el centro del freeboard hasta una distancia que permita una buena manejabilidad.

La boca de ella, tiene que ser de un espesor final igual al de una lámina, para evitar así, turbulencias en el flujo.

El tubo situado a la derecha con una inclinación de 45° es simplemente para realizar una inspección, visualizar el interior del reactor.

Capítulo 4: Planos y diseños constructivos del reactor



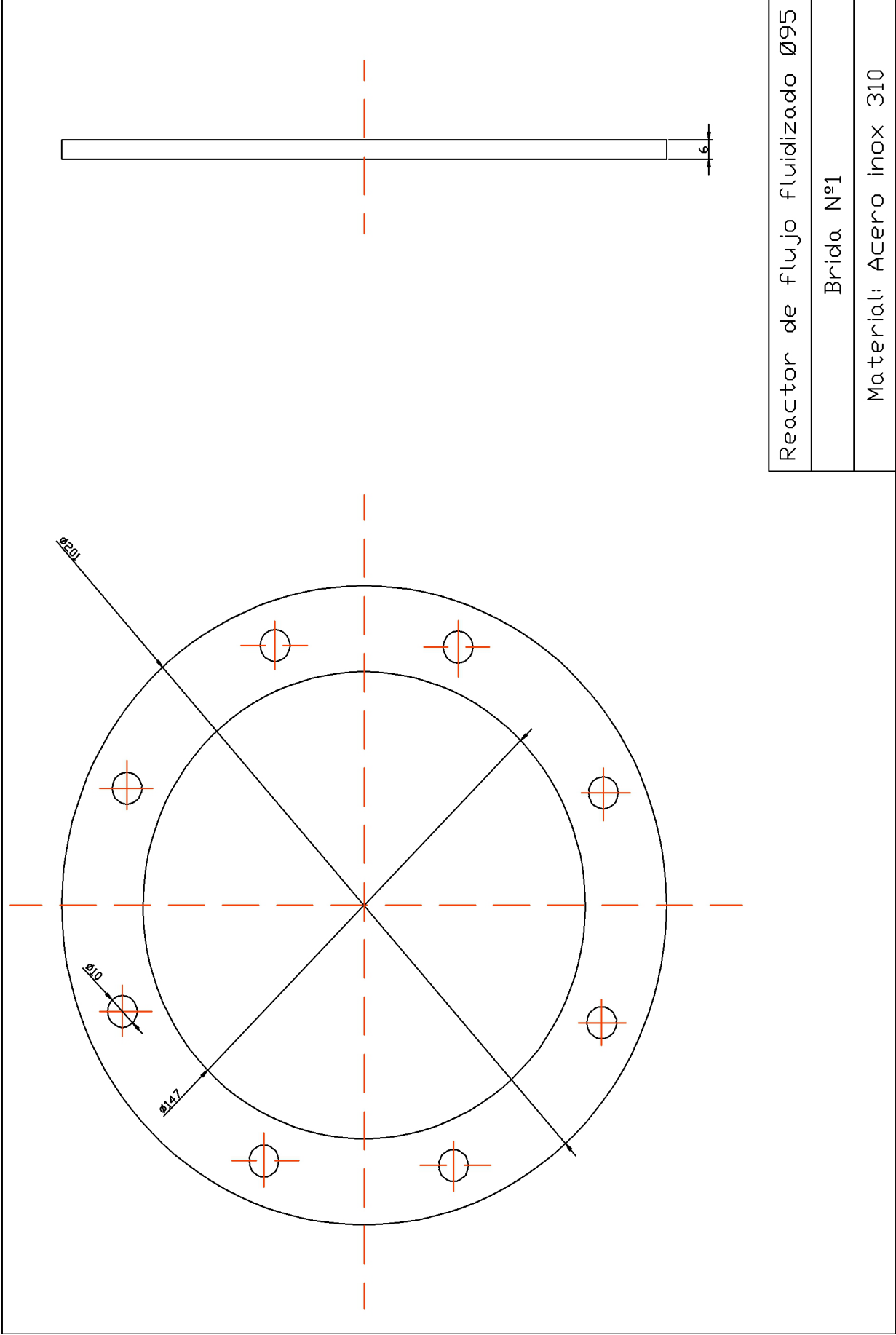


Reactor lecho fluidizado Ø95

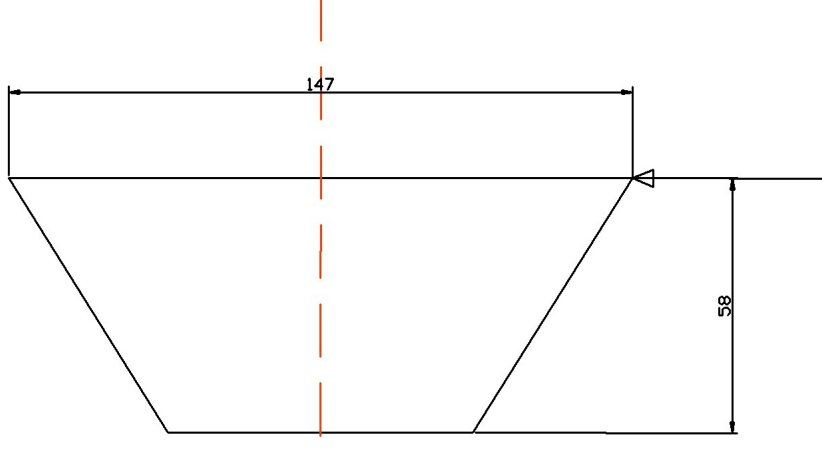
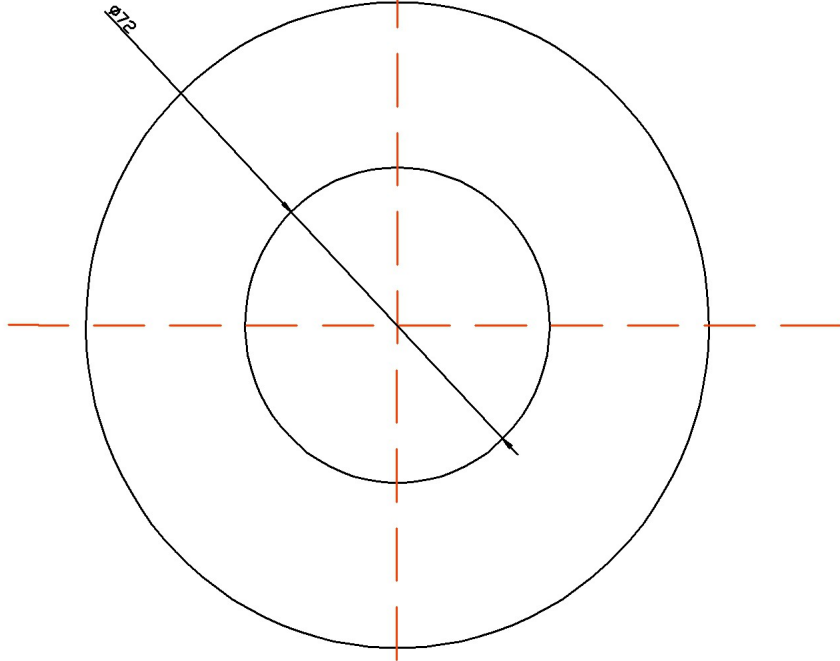
Reactor conjunto

Material: acero inox 310

Nº pieza	Nombre de la pieza	Material
1	Brida Nº1	Acero inox 310
2	Codo Nº1	Acero inox 310
3	Cilindro	Acero inox 310
4	Brida Nº2	Acero inox 310
5	Brida Nº2	Acero inox 310
6	Cono Nº2	Acero inox 310
7	Codo	Acero inox 310
8	Tubo	Acero inox 310
9	Cuerpo del lecho	Acero inox 310
10	Boca de alimentación	Acero inox 310
11	Cuerpo del freeboard	Acero inox 310
12	Sonda	Acero inox 310

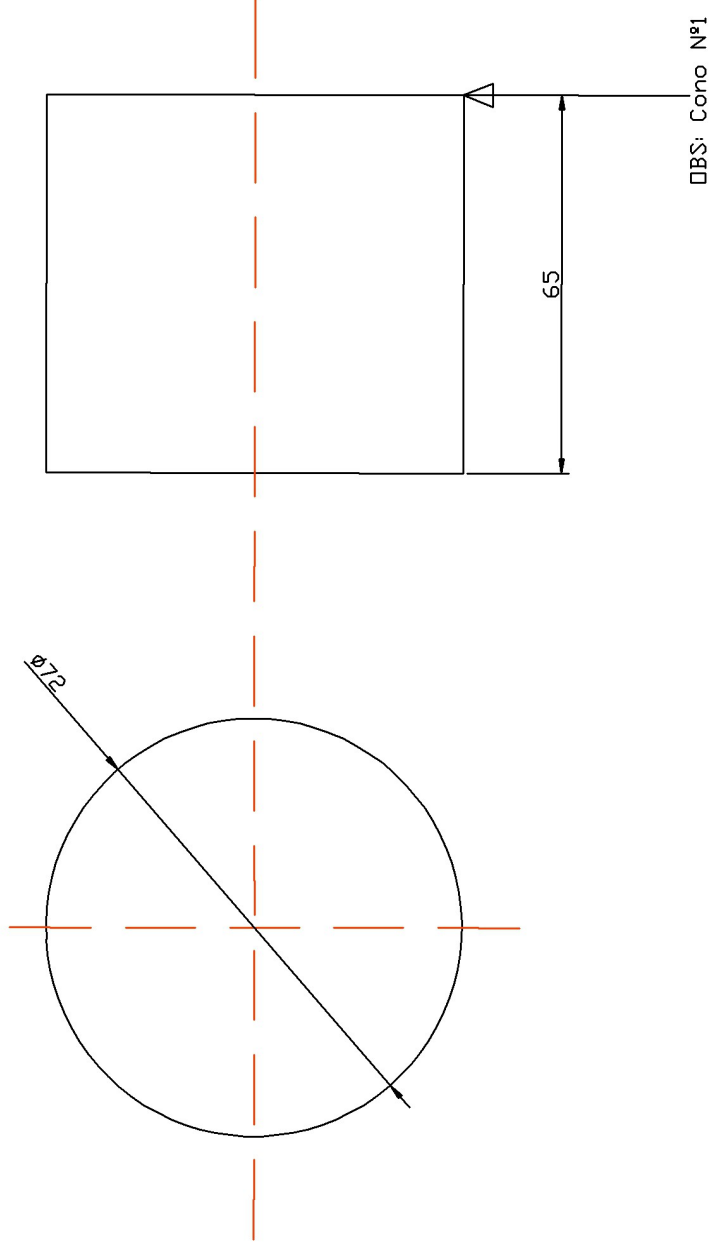


Reactor de flujo fluidizado $\varnothing 95$
Brida N°1
Material: Acero inox 310



DBS: Flange N°1

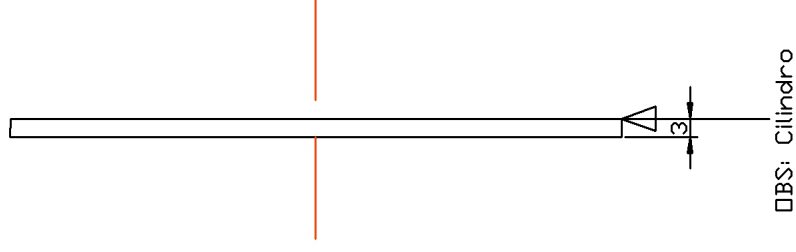
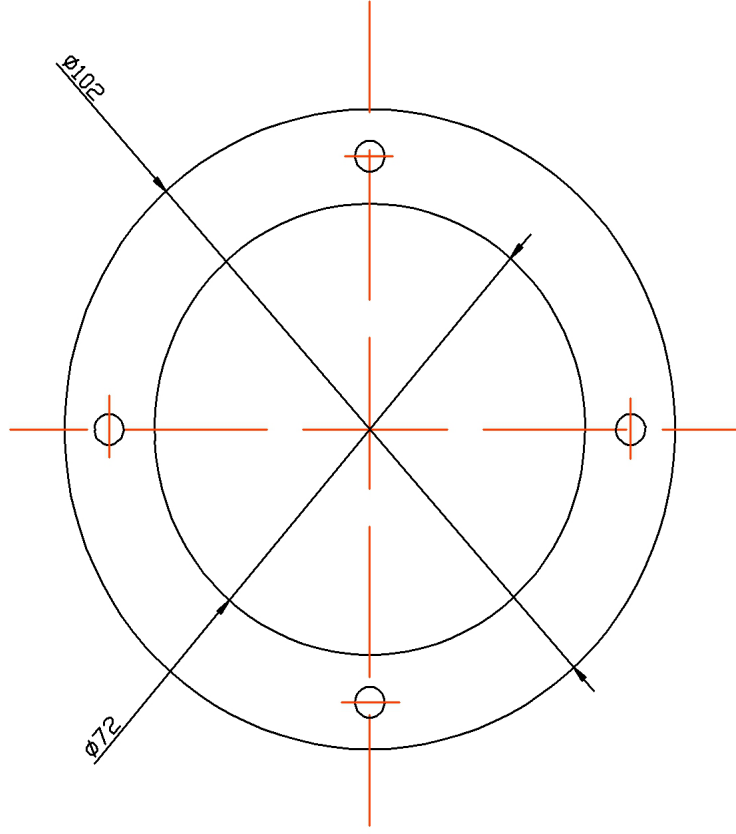
Reactor de flujo fluidizado Ø95
Cono N°1
Material: Acero inox 310



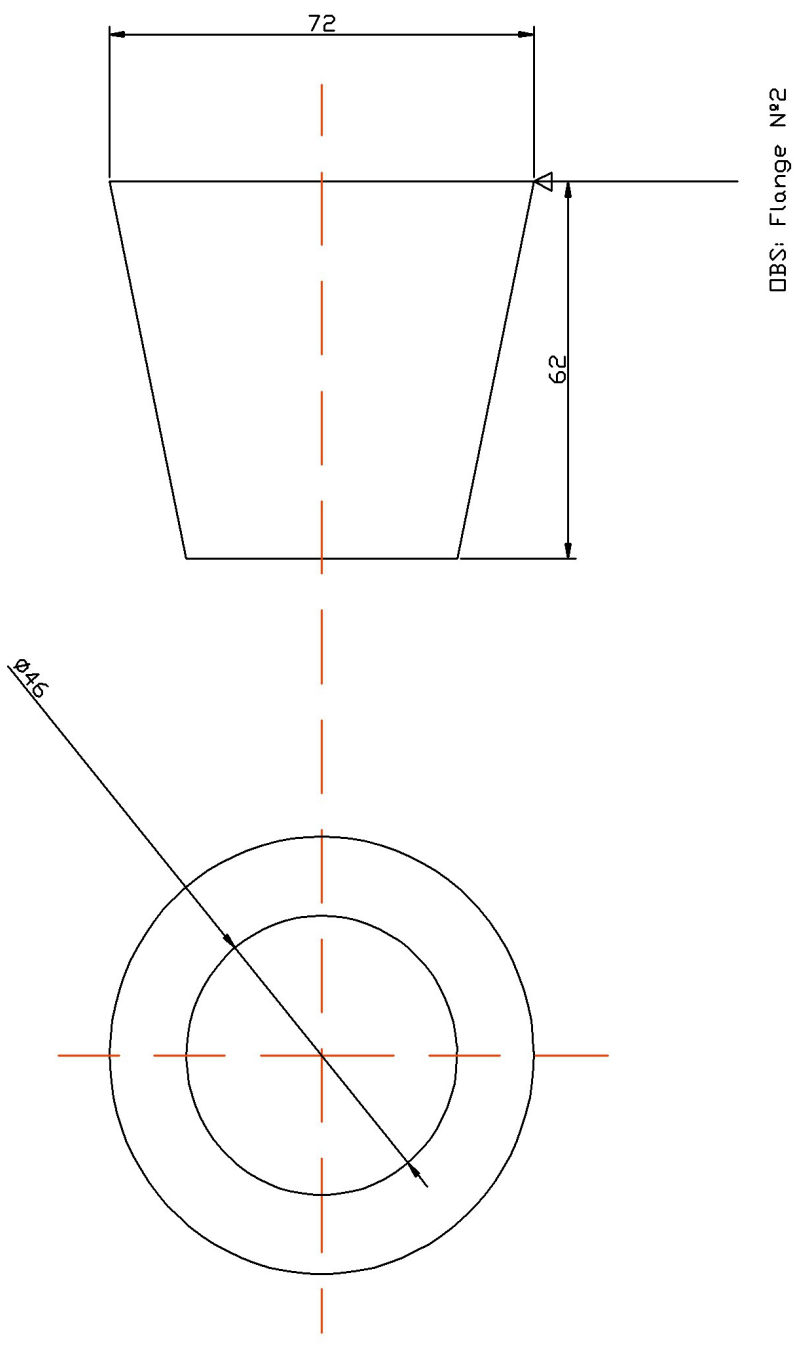
Reactor de flujo fluidizado Ø95

Cilindro

Material: Acero inox 310



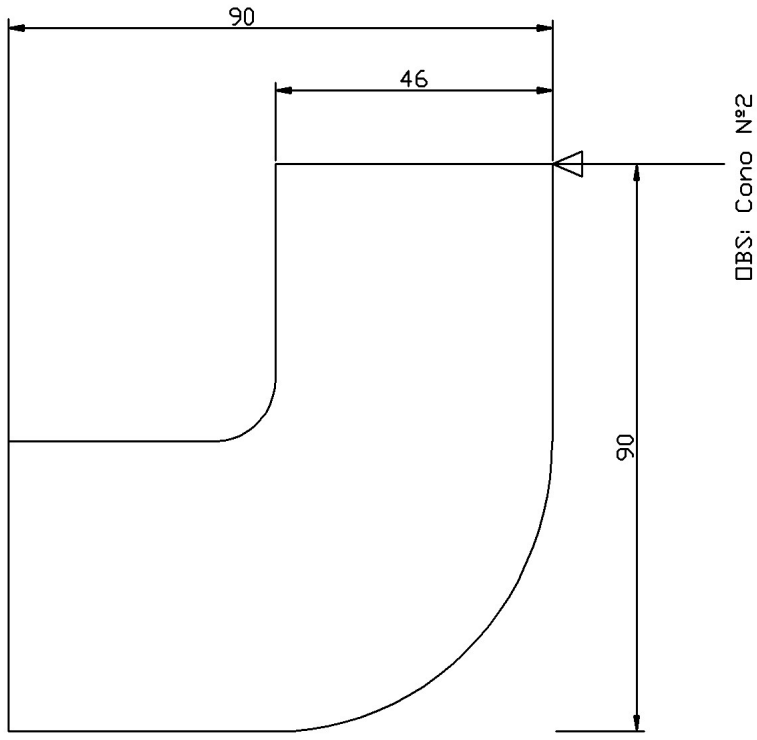
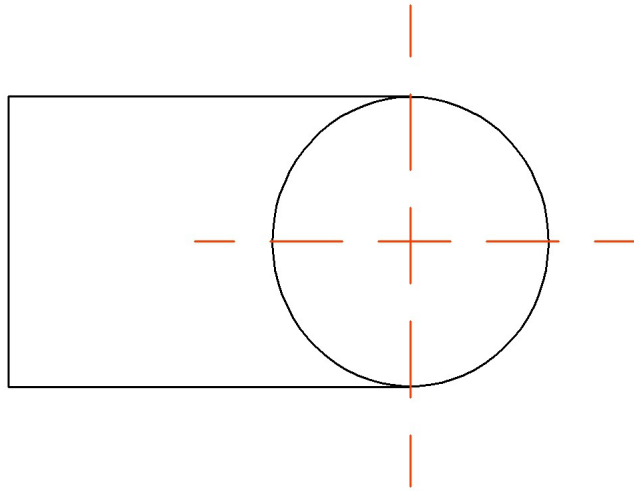
Reactor de flujo fluidizado Ø95
Flange Nº2
Materia: Acero inox 310; Nº piezas: 2



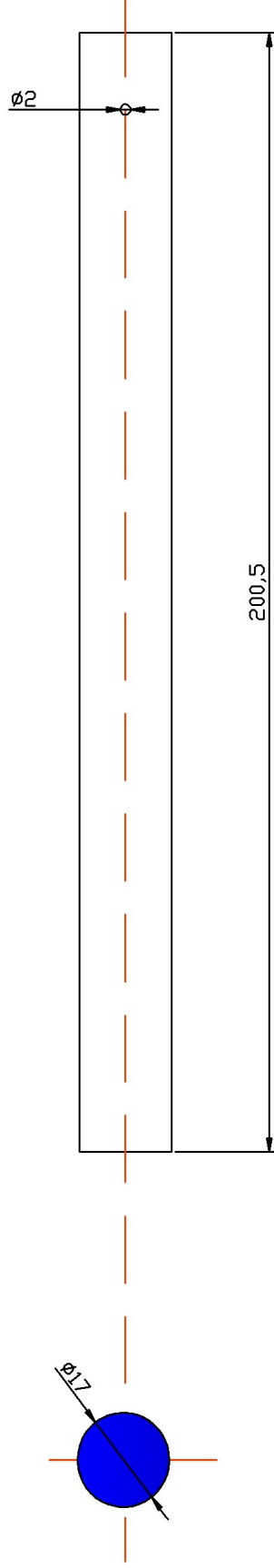
Reactor de flujo fluidizado Ø95

Cono N°2

Material: Acero Inox 310



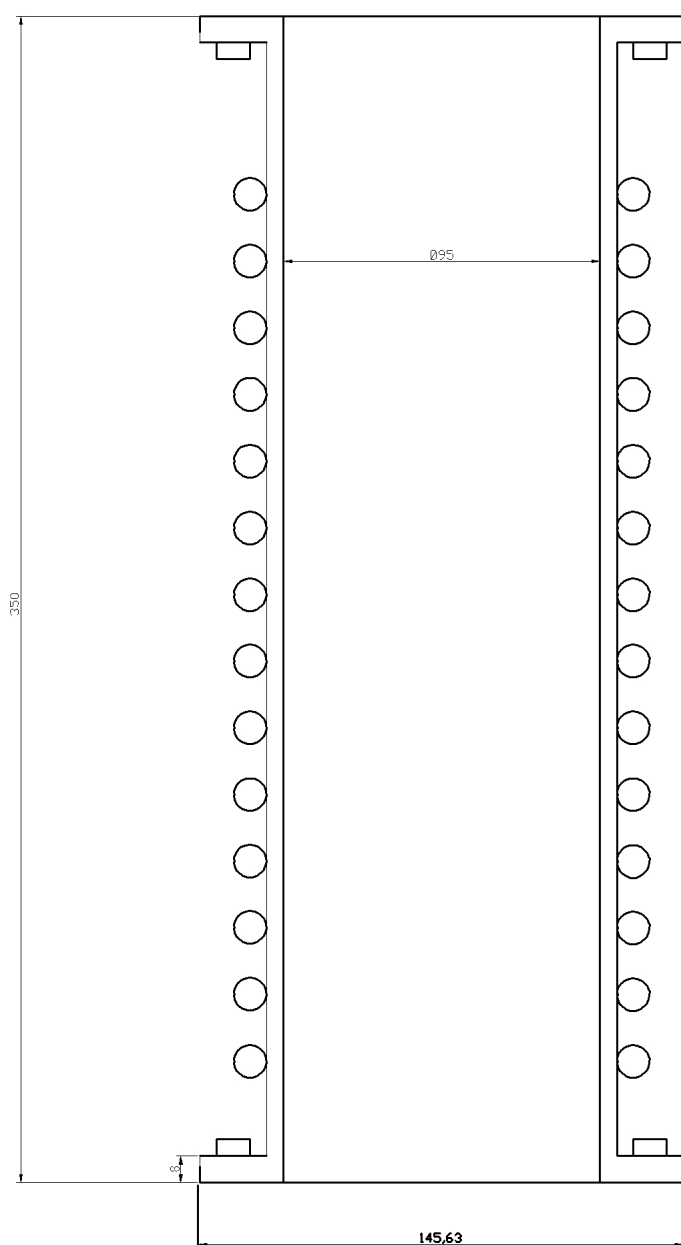
Reactor de flujo fluidizado Ø95
Codo
Materia: Acero Inox 310



Reactor de flujo fluidizado Ø95

Tubo entrada de GLP

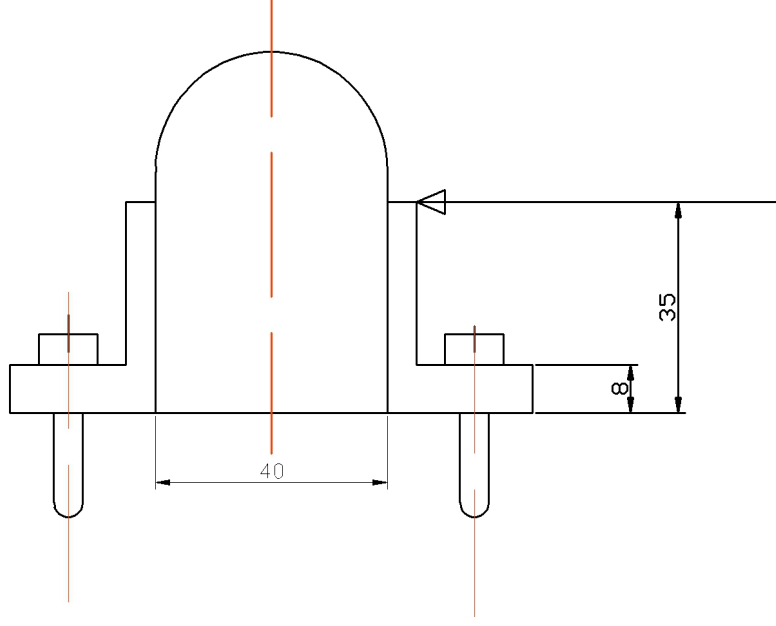
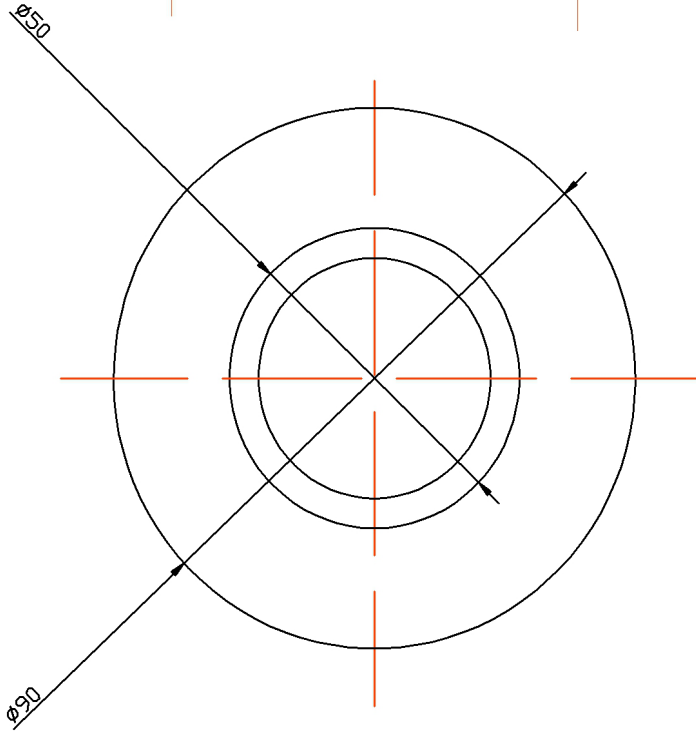
Material: Acero Inox 310



Reactor de flujo fluidizado Ø95

Cuerpo del lecho

Material: acero inox 310

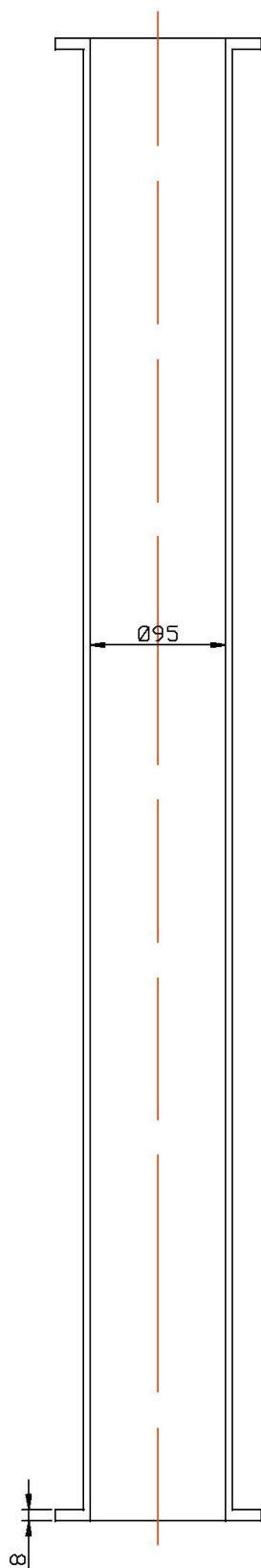


DBS: Cuerpo del lecho

Reactor de flujo fluidizado $\varnothing 95$

Boca de alimentación

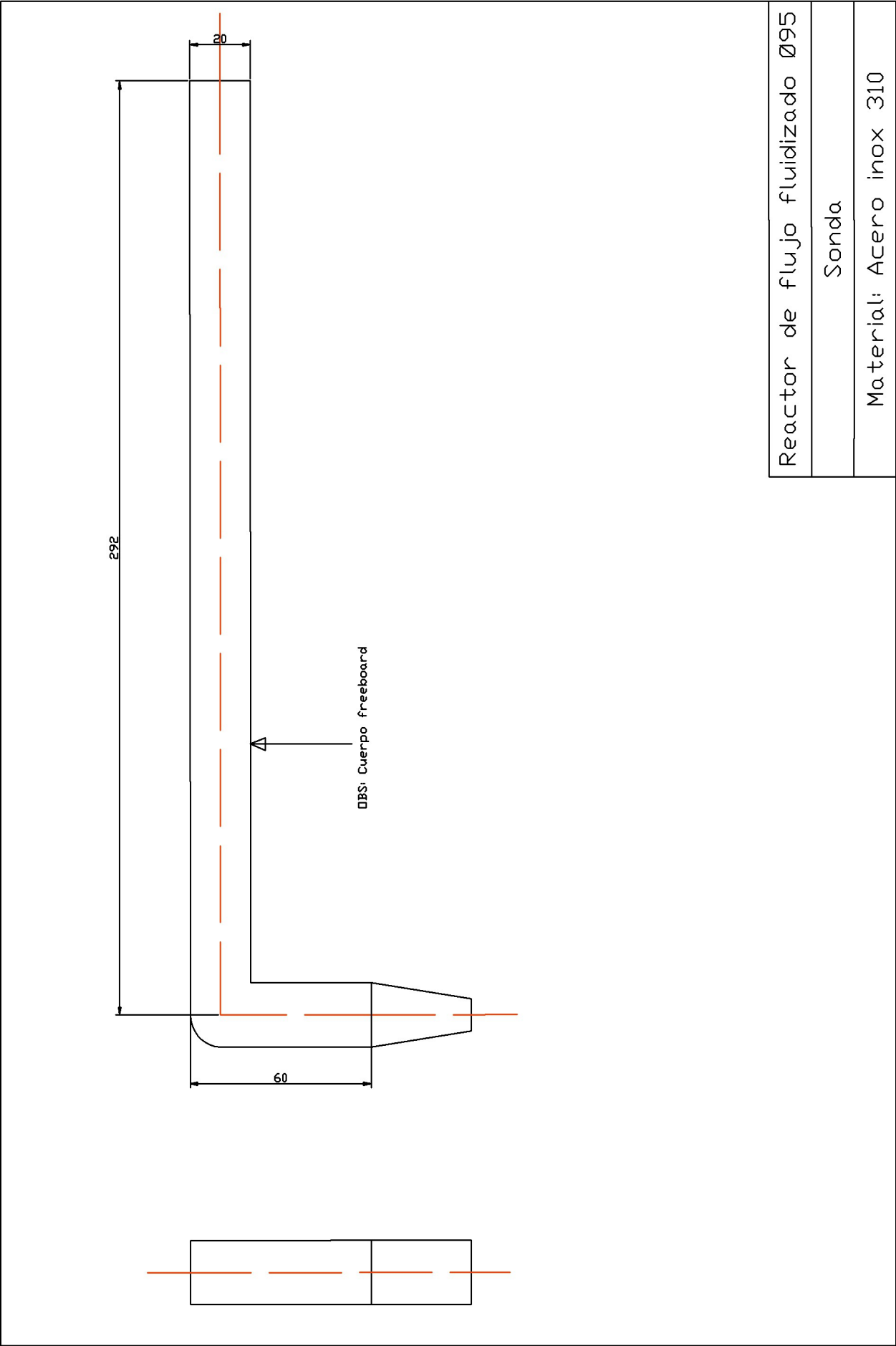
Material: Acero Inox 310



Reactor de flujo fluidizado Ø95

Cuerpo freeboard

Material: Acero inox 310



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Tecnologia da Gaseificação de Biomassa, Caio Glauco Sánchez.

Estudo da pirólise rápida de bagaço de cana em reator de leito fluidizado borbulhante.
Camargo, Fernando de Lima (tesis de doctorado)

Biomasa: Gasificación. Besel, S.A (Departamento de energía)

Pirólise e gaseificação de casca de castanha de cajú: Avaliação da produção de gas, líquidos y sólidos. Flávio Augusto Bueno Figueiredo. (Tesis de doctorado)

Procesos de pirólisis y gasificación, de los residuos sólidos de toronja, Yanet Guerra Reyes.

[Http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia21/HTML/articulo04.html](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia21/HTML/articulo04.html)

Jesús Revuelta Pereiro

.

<http://www.fao.org/docrep/T0512S/t0512s03.htm>