

**PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO**

**CONSTRUCCIÓN DE GASIFICADOR DE LECHO FIJO ENEQUICORRIENTE  
DE 20 kW PARA OPERACIÓN EN CONTINUÓ USANDO CASCARILLA DE  
ARROZ**

**SEBASTIAN DIAZ ORTIZ**

**[s.diaz1134@pascualbraavo.edu.co](mailto:s.diaz1134@pascualbraavo.edu.co)**

**Asesor:**

**PhD. YUHAN ARLEY LENIS RODAS**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Mecánica**

**Tecnología en Mecánica Industrial**

**junio de 2022**



SC 7134-1



Institución Universitaria - Vigilada Mineducación  
PBX (+57 4) 448 0520 / FAX: (+57 4) 493 6363  
Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador  
Línea gratuita: 01 8000 510944  
[www.pascualbraavo.edu.co](http://www.pascualbraavo.edu.co)



**Alcaldía de Medellín**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Introducción y estado del arte.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Identificación y descripción del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Objetivos del trabajo de grado.....</b>	<b>6</b>
4.1. Objetivo general.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
<b>5. Metodología .....</b>	<b>7</b>
5.1. Diseño del reactor .....	7
5.2. Construcción del prototipo .....	8
<b>6. Resultados .....</b>	<b>9</b>
6.1. Diseño del reactor de gasificación .....	9
6.2. Modelado CAD del gasificador .....	13
6.3. Fabricación y ensamble del gasificador.....	15
<b>Conclusiones.....</b>	<b>18</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>18</b>

## 1. Introducción y estado del arte

La gasificación es un proceso termoquímico mediante el cual se produce un gas combustible de baja densidad energética empleado principalmente para generación de electricidad en motores de combustión interna acoplados a generadores [1–3]. Este proceso se divide en las etapas de secado, desvolatilización, oxidación y reducción, mediante las cuales se llega a un gas compuesto por CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, trazas de hidrocarburos e impurezas. Cuando se utiliza aire como agente gasificante, la concentración de inertes, principalmente nitrógeno, suele alcanzar valores cercanos al 60%, lo que conduce a un gas con PCI entre 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup>, lo cual es considerablemente bajo comparado con el gas natural ( $PCI_{GN} \approx 39 \text{ MJ/Nm}^3$ ). Esta característica ha llevado a que el gas sea denominado “gas pobre”.

El proceso de gasificación inicia cuando se suministra al reactor la biomasa, el agente gasificante y energía suficiente que permita iniciar la reacción. Luego de alcanzar estado estable se pueden identificar varias zonas de acuerdo con la temperatura alcanzada y los elementos presentes en la reacción. El secado se da a temperaturas superiores a los 100°C y ocurre en una zona cercana a donde se da el ingreso de la biomasa. Durante la desvolatilización gracias a las altas temperaturas (~500°C) y la cantidad restringida de oxidante, la biomasa se piroliza formando CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, vapor de agua, alquitranes y carbón. Siendo los dos últimos, parte fundamental para subproceso de reducción, donde sufren una descomposición térmica en atmósferas de vapor de agua, CO<sub>2</sub>, y H<sub>2</sub> dando lugar a la mayor fracción de gases combustibles del proceso. Del subproceso de oxidación se alcanzan temperaturas entre 600 y 1200 °C y se libera energía principalmente por radiación y convección, energía que es utilizada por los demás subprocesos. La gasificación convencional con aire u oxígeno es auto térmica gracias al calor liberado en el subproceso de combustión, sin embargo, cuando no se suministra ninguno de estos oxidantes o se restringe su uso, se debe suplir la demanda energética mediante el suministro de calor externo.

Actualmente se dispone de diferentes configuraciones de gasificadores, los cuales se dividen en dos tres grandes grupos: lecho fijo, lecho fluidizado y lecho arrastrado. Información detallada de cada tecnología puede ser consultada en [4–6].

Por otro lado, Colombia dispone de una gran producción de cascarilla de arroz proveniente del proceso agroindustrial del procesamiento de este grano, alimento que típicamente hace parte de la canasta alimenticia básica de los hogares. De acuerdo con el Atlas de biomasa residual, a 2010 se contabilizaba la producción de más de 6’282.407 toneladas al año [7]. Considerando la alta demanda de este cereal, a falta de información actualizada, se presume que a la fecha la producción de residuos haya permanecido casi invariante. El uso de este residuo se ha documentado como material aislante en proyectos de construcción, en obtención de etanol por vía fermentativa, para la fabricación de concreto, cemento y cerámicas, entre otros, sin que se haya generalizado su uso debido a las características propias

del material, que dispone de un alto contenido de sílice y a una baja velocidad de degradación.

Considerando lo anterior, en el presente proyecto, se ha considerado el uso de cascarilla de arroz, como energético del proceso de gasificación, dado que cuenta con una densidad energética cercana de 13 MJ/kg y ya ha sido probado bajo este proceso de conversión [8]. En este proceso se requieren pocos pretratamientos del material y se pueden alcanzar eficiencias de conversión cercanas al 60%. Concretamente, se diseña y construye un reactor de lecho fijo con garganta para el aprovechamiento de la cascarilla.

Frecuentemente, cuando el procesamiento de arroz se realiza en molinos arroceros compactos, el secado se da en hornos que operan convencionalmente con gas natural o propano, por lo que su adaptación al uso de gas de gasificación requiere de un mínimo de modificaciones, permitiendo de esta manera su aprovechamiento *In Situ*. Se hace entonces evidente el doble beneficio que se tendría para la industria al incorporar sistemas de gasificación a la cadena de valor del procesamiento de arroz. Los beneficios se obtendrían tanto en costos de producción como en disposición final del residuo. De forma general las características que hacen llamativa esta iniciativa son: bajo costo de implementación, oportunidad de mejora del proceso productivo, y contribución en la baja emisión de gases a la atmosfera.

## **2. Identificación y descripción del problema**

En general, el tratamiento de los desechos sólidos que producen contaminación del ambiente es uno de los temas de mayor relevancia en la actualidad. De manera particular, el manejo de la cascarilla de arroz se ha visto relacionado con problemas asociados a su disposición final. Es así como se han explorado diferentes alternativas de aprovechamiento, entre las que se destacan la fabricación de materiales aislantes, productos alimenticios, licores, combustibles, entre otros. Sin embargo, los costos asociados a estas aplicaciones usando cascarilla, en comparación con las materias primas tradicionales, no han permitido la estandarización de su uso en un proceso particular. Por otro lado, dada la baja densidad del residuo, la cual es cercana a 120 kg/m<sup>3</sup> [9], su transporte a otros centros de transformación se ve limitado por los altos costos, haciendo que las aplicaciones de mayor potencial, sean las que consideran su aplicación *In situ*.

Ante este panorama, se evidencia la necesidad de un aprovechamiento integral del residuo que busque contribuir al medio ambiente a la vez que alcancen precios competitivos en comparación con otros sistemas de transformación. Entre las alternativas, uno de los sistemas de mayor potencial es la gasificación en lecho fijo, sin embargo, frecuentemente los costos de adquisición de estos equipos, no están al alcance de los pequeños procesadores del cereal.

Vale la pena destacar que los gasificadores de pequeña escala que operan con cascarilla de arroz han sido desarrollados hace ya varios años y se encuentran disponibles a nivel comercial, siendo ofertados por empresas de alto reconocimiento en el sector de transformación de la biomasa, sin embargo, la implementación de dichos reactores se ve limitada por su alto costo de adquisición el cual se puede contabilizar alrededor de 3000 USD/kWe [2]. Si se considera solo la generación del gas, dicho costo podría reducir, sin embargo, sigue siendo inalcanzable para pequeños productores de arroz.

Los altos costos asociados a los sistemas de gasificación de cascarilla, se deben principalmente a que dicha tecnología no se fabrica a nivel nacional. Sin embargo, se presume que, de diseñar y construir los reactores a nivel local, se pueden alcanzar costos competitivos que además mejoren las condiciones económicas de quienes se dedican al trillado y secado del arroz en sistemas de baja escala.

En este sentido y partiendo del diseño previo de este tipo de equipos, el presente proyecto de investigación busca dar respuesta a la pregunta ¿Qué características constructivas debe tener un gasificador para que se adapte a la producción de gas a partir de la cascarilla de arroz, con miras a su aprovechamiento energético en hornos de secado típicos de la industria arrocería de pequeña escala?

### **3. Justificación**

Al considerar la problemática de alta producción de residuos y alto costo de adquisición de las tecnologías de aprovechamiento energético de la cascarilla, se hace evidente la necesidad del desarrollo de este tipo de equipos a nivel local. Por otro lado, es bien conocida la trayectoria de la IU Pascual Bravo en el sector metalmecánico, por lo tanto, se hace evidente que desde la institución se puede liderar el proceso de desarrollo de la tecnología considerando las características particulares del sector de materiales y su transformación en Colombia. Vale la pena precisar que el diseño preliminar del equipo ha sido presentado dentro de los resultados parciales del proyecto de investigación en curso “Desarrollo de un prototipo de gasificación de 20 kWth para el aprovechamiento energético de cascarilla de arroz”. Sin embargo, dicho diseño no considera limitaciones constructivas asociadas a la disponibilidad de equipos en la parte metalmecánica, porque se deben considerar algunas adecuaciones conducentes a la disminución de costos de fabricación.

Con el presente trabajo, se busca además de aportar a la solución de la problemática del cambio climático, apoyar las empresas colombianas de pequeña escala dedicadas a la transformación del cereal mediante la disminución de costos asociados a la producción y por tanto al aumento de su competitividad.

## **4. Objetivos del trabajo de grado**

Considerando la problemática asociada al costo de adquisición de los equipos y al beneficio que podría tener el desarrollo de los mismos a nivel local, en el presente proyecto se plantean los siguientes objetivos

### **4.1. Objetivo general**

Construir un gasificador de lecho fijo en equicorriente estratificado de una potencia de 20kWth para su operación en continuo con cascarilla de arroz como combustible.

### **4.2. Objetivos específicos**

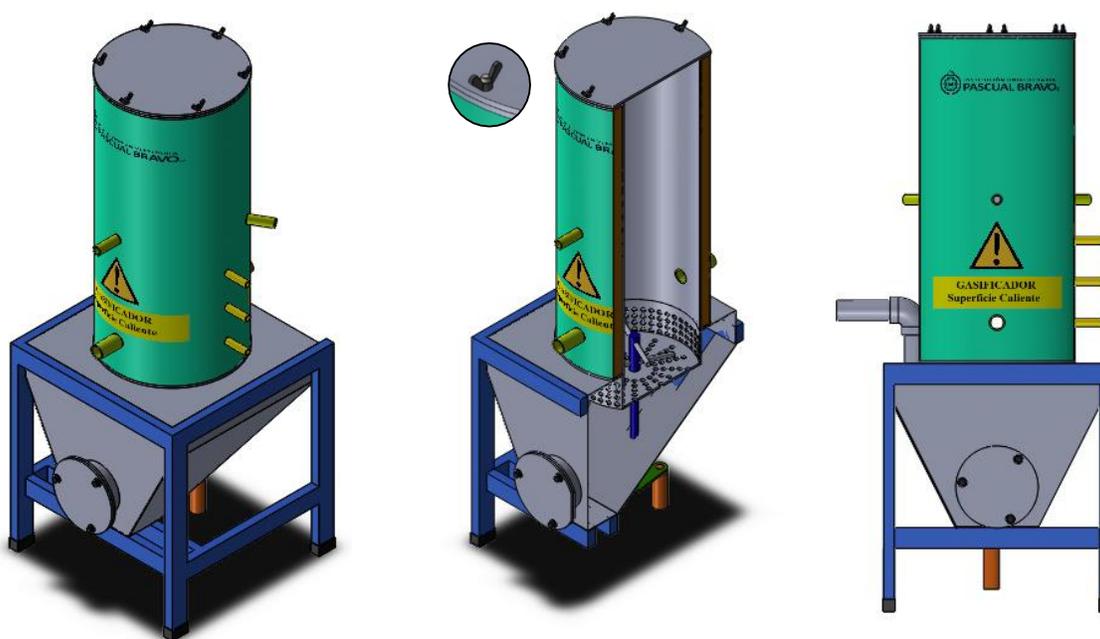
- Proyectar el diseño en 3D del equipo, considerando sistemas y subsistemas requeridos para su operación en continuo considerando las limitaciones de la industria metalmeccánica local.
- Definir materiales y procesos de mecanizado y soldadura requeridos para la fabricación del sistema buscando emplear elementos de bajo costo.
- Construir un gasificador para la operación en continuo y que permita el uso de cascarilla de arroz como combustible

## 5. Metodología

A continuación, se detalla la metodología llevada a cabo para dar cumplimiento a los objetivos del presente proyecto.

### 5.1. Diseño del reactor

Como punto de partida, se consideró el diseño mostrado en la Figura 1, el cual fue presentado como resultado parcial del proyecto de investigación “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE GASIFICACIÓN DE 20 KW<sub>TH</sub> PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE CASCARILLA DE ARROZ”. Sin embargo, debido a la disponibilidad de materiales y equipos, se consideraron algunos cambios mecánicos y estructurales. Estos además buscaban un mejor rendimiento en el proceso de gasificación y en el movimiento de la biomasa a través de lecho.



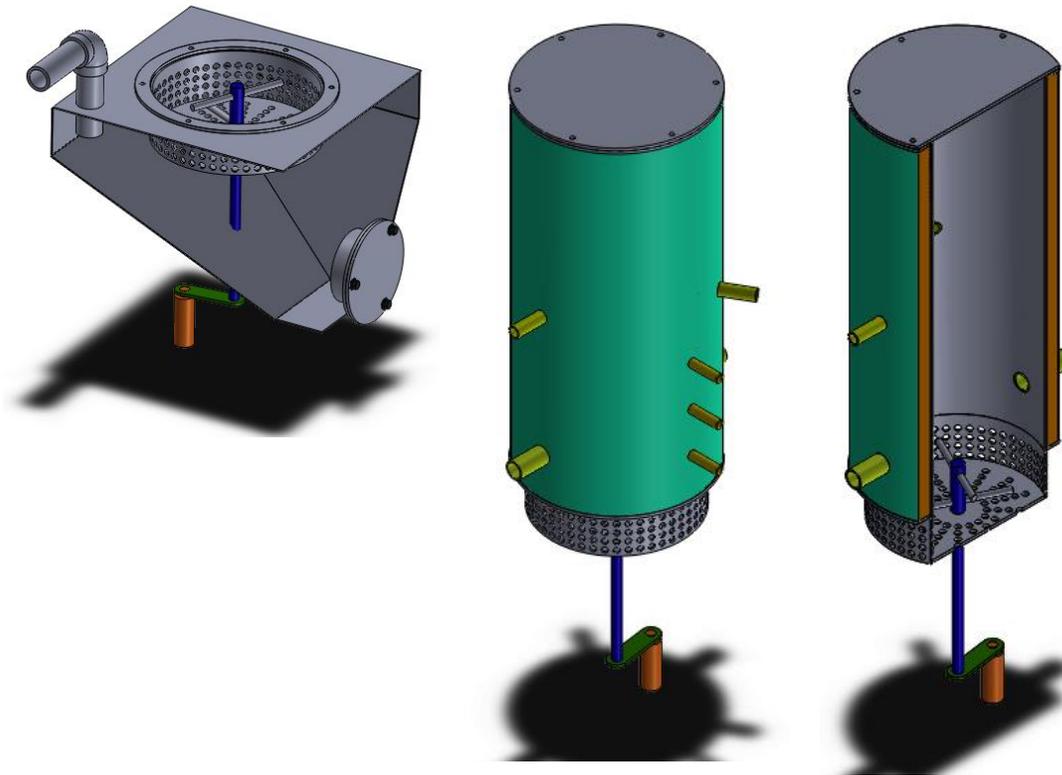


Figura 1. Diseño preliminar del gasificador

Luego de las modificaciones, se proyectó el diseño en 3D del prototipo, usando para ello, el programa SolidWorks. Las modificaciones principales se dieron en el cenicero (parte baja del gasificador) y en la parrilla, la cual facilita el movimiento de la biomasa a través del lecho.

## 5.2. Construcción del prototipo

Una vez se dispuso de los materiales, el diseño final listo, y los procesos a implementar claros, se procedió con el ensamble de las diferentes partes. Para la construcción del reactor se hizo uso de los laboratorios DIPMA y CIDES de la I.U. Pascual Bravo. Se emplearon procesos como: mecanizado, soldadura, preparación de compuestos y ajustes de ensambles en general. Se usaron diversidad de máquinas y herramientas, entre las que se destacan tornos, fresadoras, soldadura por electrodo, TIG, entre otros.

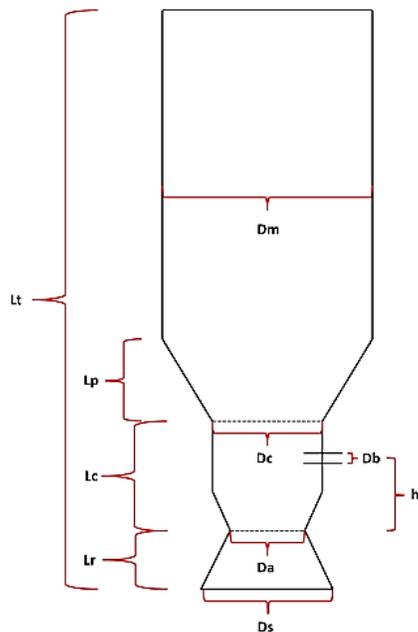
Las pruebas de desempeño del sistema no hacen parte del presente proyecto debido a las limitaciones de tiempo, sin embargo, estas serán realizadas en el marco del proyecto de investigación del cual hace parte la presente propuesta.

## 6. Resultados

A continuación, se presentan los resultados organizados de acuerdo con los objetivos específicos planteados. De esta manera, primero realizando los cálculos de las dimensiones para el reactor, creando luego un diseño acorde a tales cálculos, teniendo en cuenta los materiales para la fabricación para finalizar con el proceso de manufactura del gasificador

### 6.1. Diseño del reactor de gasificación

Existen diversas metodologías para el dimensionamiento de sistemas de gasificación en lecho fijo equicorriente, muchas de las cuales emplean relaciones empíricas para el dimensionamiento del sistema. En estas se parte bien sea del flujo requerido de gas o de la cantidad de biomasa a procesar, información que puede provenir de modelos o de la suposición de parámetros de desempeño y su relación con la potencia de diseño [10]. Estas metodologías han sido empleadas con éxito en el dimensionamiento de gasificadores de cono invertido (o de garganta), empleados en el procesamiento de materiales sólidos con densidades aparentes superiores a los  $200 \text{ kg/m}^3$ . En la figura 2 se presenta un ejemplo del dimensionamiento de este tipo de reactores partiendo del flujo de gas pobre requerido ( $F_{gp}$  en  $\text{m}^3/\text{h}$ ) [11], siguiendo parte de la metodología descrita en Reed [12]. Vale la pena destacar que la existencia de un cono invertido facilita la operación en estado estable del sistema, ya que favorece que el frente de llama se mantenga en cercanías a los puertos de entrada del aire [10–12].



$$0.4 \leq \frac{F_{gp}}{\pi * \left(\frac{D_a}{2}\right)^2} \leq 0.9$$

$$1.8 \leq \frac{D_c}{D_a} \leq 2.1$$

$$2.0 \leq \frac{D_s}{D_a} \leq 2.6$$

$$3.4 \leq \frac{D_m}{D_a} \leq 7.7$$

$$0.03 \leq \frac{n \pi \frac{D_b^2}{4}}{\pi \frac{D_a^2}{4}} \leq 0.08$$

$$0.7 \leq \frac{h}{D_a} \leq 1.2$$

$$0.65 \leq \frac{2 L_r}{D_a + D_s} \leq 1$$

$$1.4 \leq \frac{L_c}{L_r} \leq 1.6$$

$$0.2 \leq \frac{L_r + L_c}{L_t} \leq 0.35$$

$$L_p = L_t - L_c - L_r$$

Figura 2. Dimensionamiento de gasificador de lecho fijo equicorriente con garganta.  
Adaptado de [11].

Pese a las bondades que supone el uso de la garganta para la operación en continuo, en el presente proyecto se ha optado por un gasificador sin garganta (similar a los conocidos como stratified, open-top o topless), en el que no se considera ningún estrechamiento a lo largo del reactor. Lo anterior debido a que, por la baja densidad de la biomasa, se podrían formar atascamientos que conducirían a la eventual extinción del frente de llama. Adicionalmente este tipo de reactor es de más fácil de construir, tal como se detalla en Reed [12]. Reactores de este tipo, han diseñados en [13], y en [8,14] para la gasificación de cascarilla arroz. En estos últimos trabajos se, demostró el adecuado funcionamiento del sistema, aunque solo se ha documentado su operación en estado transitorio.

De esta manera, el reactor diseñado en este trabajo está constituido en esencia por una sección tubular recta, al final de la cual se encuentra una parrilla. El sistema, además, en una etapa posterior del proyecto, estará dotado de medidores de temperatura, entradas y salidas para los flujos de aire, gas, biomasa y la ceniza. En la figura 3 se muestra esquemáticamente la configuración del gasificador. Las dimensiones para ajustar de acuerdo con la biomasa usada son: diámetro de las entradas de aire (d), diámetro del reactor (D) y altura del reactor (H). Inicialmente se considera la metodología empleada por Htet [13], donde se parte de la potencia de diseño  $P_d = 20 \text{ kW}$  y se requiere suponer el PCI del gas y la eficiencia en frío, para los cuales se han seleccionado  $PCI_{gas} = 3000 \text{ kJ/Nm}^3$  y  $CGE=60\%$ , de acuerdo con el desempeño esperado del sistema. De esta manera el caudal de gas a generar se estima como se muestra en la Ecuación .

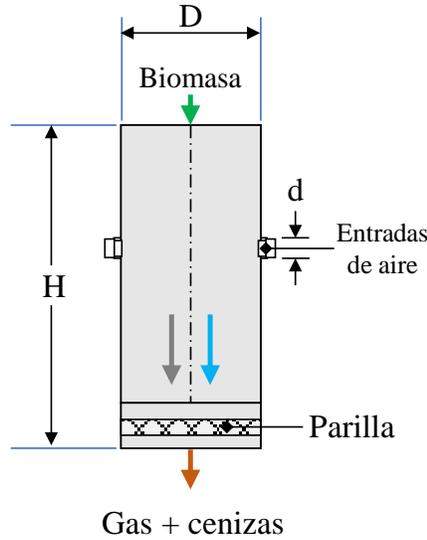


Figura 3. Esquema del sistema de gasificación a diseñar y construir

$$Q_{gas} = \frac{P_d}{PCI_{gas}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Obteniéndose de esta manera un  $Q_{gas} = 0.0067 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ahora bien, si la potencia de diseño es 20 kW y la eficiencia del gasificador es del 60%, la potencia que debe entrar al sistema con la biomasa sería  $P_{bms} = 33.4 \text{ kW}$ . Tomando el PCI de la biomasa de  $13000 \text{ kJ/kg}$ , se estima la tasa de consumo de biomasa FCR haciendo uso de la Ecuación 2.

$$FCR = \frac{P_{bms}}{PCI_{bms}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Así, el sistema tendría una  $FCR = 9.23 \text{ kg/h}$ . También de la sección anterior, se conoce que biomasa se consume con una velocidad promedio  $42 \leq SGR \leq 163 \text{ kg/h m}^2$ . En Htet [13], se especifica que este valor para la cascarilla, puede estar entre 110 y  $210 \text{ kg/h m}^2$ . El valor superior del rango conduciría a un reactor más pequeño, por lo que se decide diseñar el sistema para un valor promedio de  $SGR = 110 \text{ kg/h m}^2$ , valor que cumple con lo determinado experimentalmente y con la recomendación de Htet [13]. Para calcular el diámetro del reactor se emplea la relación empírica mostrada en la Ecuación 3.

$$D = \frac{1130FCR}{SGR} \quad \text{Ecuación 1}$$

De esta forma, el diámetro del reactor sería  $D=95$  mm, la altura mínima del reactor sugerida es  $H=2.5D$ . Así, se tendría una altura  $H=237$  mm. En este trabajo no se especifica el área que debe cumplir las entradas de aire [13].

Por otro lado, en el diseño propuesto por Susastriawan et al [8], se considera el desempeño dinámico del lecho y un tiempo de operación en este modo,  $t = 1$  h. Tomando la densidad de la biomasa  $\rho_{bms} = 125$  kg/m<sup>3</sup> y usando la Ecuación 2, se determina la altura del reactor como  $H = 880$  mm, que sería la distancia que recorrería el frente de llama en 1 hora de operación.

$$H = \frac{SGR * t}{\rho_{bms}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Usando la misma tasa de consumo de biomasa,  $FCR = 9.23$  kg/h, se determina el diámetro del reactor usando la ecuación de continuidad (Ecuación 3).

$$FCR = SGR * \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

De esta manera, de acuerdo con la metodología presentada en [8], el diámetro del reactor sería  $D = 326.8$  mm, considerablemente mayor que el propuesto por Htet [13]. Ahora bien, si se considera que el sistema operará con relaciones de equivalencia ER, cercanas a 0.2, lo cual es típico en estos procesos y se toma la relación aire combustible estequiométrica como  $[A/F]_{stq} = 5.15$  [8], se puede determinar la demanda de aire del proceso AFR, tal como se muestra en la Ecuación 4.

$$AFR = \frac{ER * FCR * [A/F]_{stq}}{\rho_{air}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Así, el flujo de aire para la ciudad de Medellín sería  $AFR = 9.5$  m<sup>3</sup>/h. Usando tres entradas de aire ( $n = 3$ ) y procurando no superar una velocidad superficial de 8 m/s, se determina el diámetro de la tubería a emplear como  $d = 11.2$  mm, para cada una de las entradas. (ver Ecuación 5).

$$d = \left( \frac{1.27 * AFR}{n * vel} \right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 5}$$

De acuerdo con lo anterior, las dimensiones principales del gasificador estarían en los

siguientes rangos  $95\text{ mm} < D < 348\text{ mm}$ ,  $237\text{ mm} < H < 880\text{ mm}$  y  $d = 14\text{ mm}$ . Buscando un diseño moderado y el uso de materiales comerciales, las dimensiones seleccionadas son **D=304 mm**, **H= 1000 mm**, y tres entradas de aire cada una con un diámetro **d = 25.4 mm**.

## 6.2. Modelado CAD del gasificador

Partiendo de las dimensiones determinadas en el apartado anterior, se procede con el diseño completo del sistema con ayuda de un programa de dibujo mecánico, en este caso el programa empleado fue SolidWorks. El sistema fue diseñado de manera modular buscando que a futuro se pueda probar el efecto de la variación dimensional en componentes del lecho y la parrilla principalmente. Además, se tuvo en consideración que el sistema permitiera fácil acceso a la zona de reducción y a la parrilla, lo anterior con el fin de facilitar las labores de mantenimiento de estos componentes. En la figura 4, se presenta el diseño general del sistema, en él se pueden diferenciar tres grandes componentes: i) el sistema de soporte, ii) el lecho del reactor y iii) el cenicero. Los planos, tanto del ensamble como de cada una de las piezas se presentan en el Anexo 1.

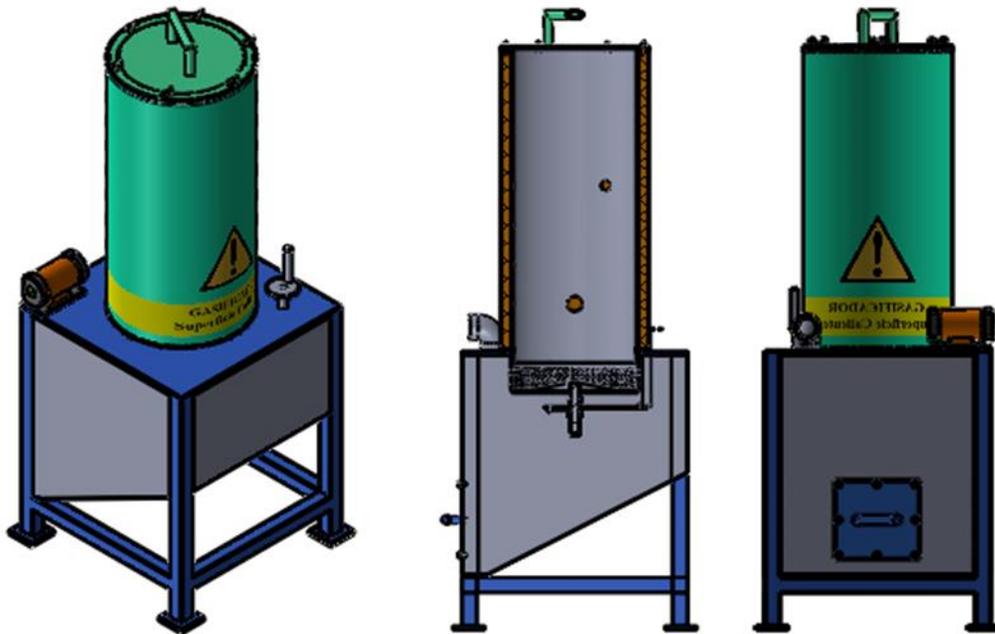


Figura 4. Gasificador de lecho fijo en equicorriente con capacidad de 20 kWth

El cenicero que comprende la parte inferior del gasificador, es fabricado en lámina de acero galvanizado liza, de 2.5 mm de espesor. Que a su exterior tendrá unido la mesa la cual funcionara de base para el lecho, la cual será elaborada en tubería cuadrada ASTM A36 de

40 x 40 mm de 2 mm de espesor, y en la parte superior va estar unida a una placa de 3/8 in también de ASTM A3. Su diseño facilitará la remoción de la ceniza producida en el proceso. En la Figura 5 se presenta dicho componente.

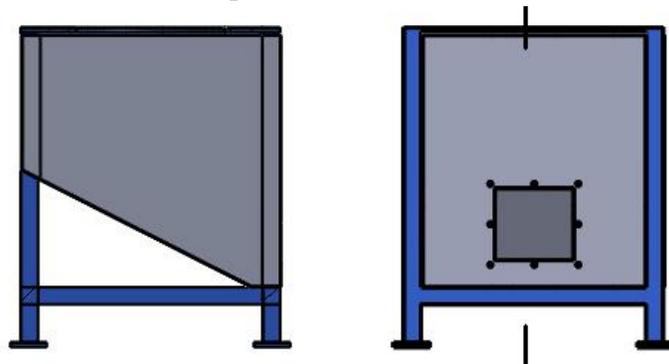


Figura 5. Cenicero del gasificador - base

El lecho por su parte, será fabricado en tubería de 12 in calibre 10 en acero inoxidable AISI 304, estará recubierto por fibra mineral y cobertura en lámina de acero inoxidable AISI 304.

El sistema tendrá dispuestas tres perforaciones para medidores de temperatura, tres entradas de aire y dos puertos dispuestos en la parte inferior del reactor para facilitar la ignición de la biomasa. Sobre la parte superior, el sistema de apertura empleará tuercas en mariposa, para facilitar el proceso de carga y descarga de biomasa, las cuales estarán sujetando una placa que funcionara como tapa del reactor, la cual esta echa de AISI 304, en la parte inferior podemos ver un sistema conformado por flejes de ASTM A36 y un mango con un rodamiento y además un plato de Acero Galvanizado el cual esta introducido en una lámina rolada de AISI 304, tal sistema tiene como objetivo evitar atascamientos de biomasa durante el proceso de gasificación. Figura 6

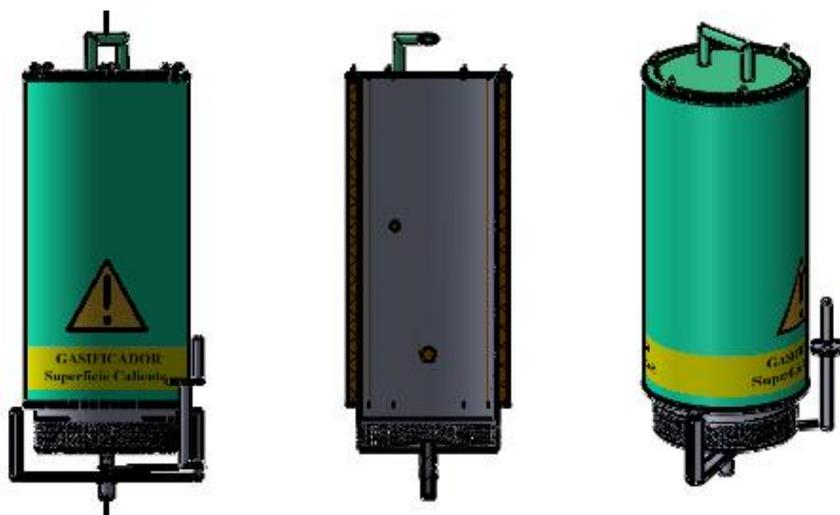


Figura 6. Lecho del gasificador

### 6.3. Fabricación y ensamble del gasificador.

Luego de adquiridos los materiales requeridos para la fabricación del sistema, se inició la fase de construcción y ensamble de componentes, para ello se hizo uso de los laboratorios de máquinas herramientas y CIDES de la IU. Pascual Bravo.

**Fase 1. Lecho del gasificador.** En esta primera fase de construcción, se realizaron los procesos de fabricación de la parte superior del gasificador. Inicialmente se cortó el tubo de AISI 304, para llevarlo a la altura requerida, luego se realizaron las perforaciones de las entradas de aire del lecho, y además las perforaciones para iniciar la llama en el proceso figura 7 y 8. Se ensambló el lecho sobre el cenicero, posteriormente se realizó la instalación del aislamiento térmico, y se realizaron la uniones de los aros que van soldados al lecho, los cuales son la base para la tapa del lecho y el inferior es el sistema de ajuste del lecho con el cenicero, para terminar con el lecho se realizó el recubrimiento con lámina AISI 304, a la cual se le copiaron la perforaciones realizadas al lecho, luego se rolo y por ultimo de soldó al lecho para así dar por terminado la realización de la parte superior del gasificador.



Figura 7. Procesos de fabricación y ensamble llevados a cabo en la IU Pascual Bravo



Figura 8. Proceso de ensamble de componentes

**Fase 2. Cenicero y base.** La segunda fase el proceso se centró en la fabricación del cenicero, y del sistema de la parrilla la cual es la parte inferior del lecho, cuyo objetivo es ayudar a desatascar el gasificador durante el proceso de gasificación, primero se cortó un perfil de 1" de espesor de 1/8 de ASTM A-36, a su vez también se cortó fleje de 1" de espesor 1/8, para luego soldar con soldadura GMAW para la fabricación del soporte de la parrilla y de la biela, también se realizó la fabricación de la parrilla, la cual se realizó con lámina de acero galvanizado liza, de 2.5 mm de espesor, cortando esta con pulidora, y dando un acabado final en torno, y al final se realizó la perforación al centro para luego con un eje darle concetricidad con el lecho. Figura 9 y 10



Figura 9. Proceso de perforado y torneado de piezas

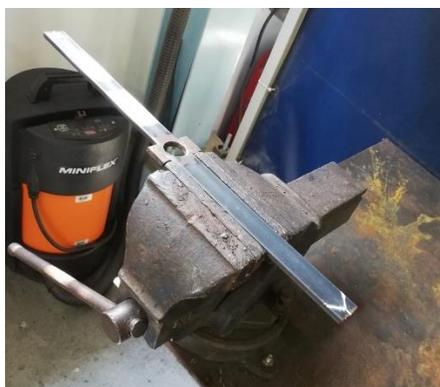


Figura 10. Proceso de fabricación de la base

Finalmente, la figura 11, presenta una imagen del gasificador completamente terminado en cuanto a su estructura física, como se mencionó anteriormente, los planos se presentan en el ANEXO 1. Actualmente se encuentra ubicado en el laboratorio CIDES a la espera de la instalación de los componentes eléctricos y de control. Además, también se espera el desarrollo de las pruebas preliminares.



Figura 11. Gasificador desarrollado.

## Conclusiones

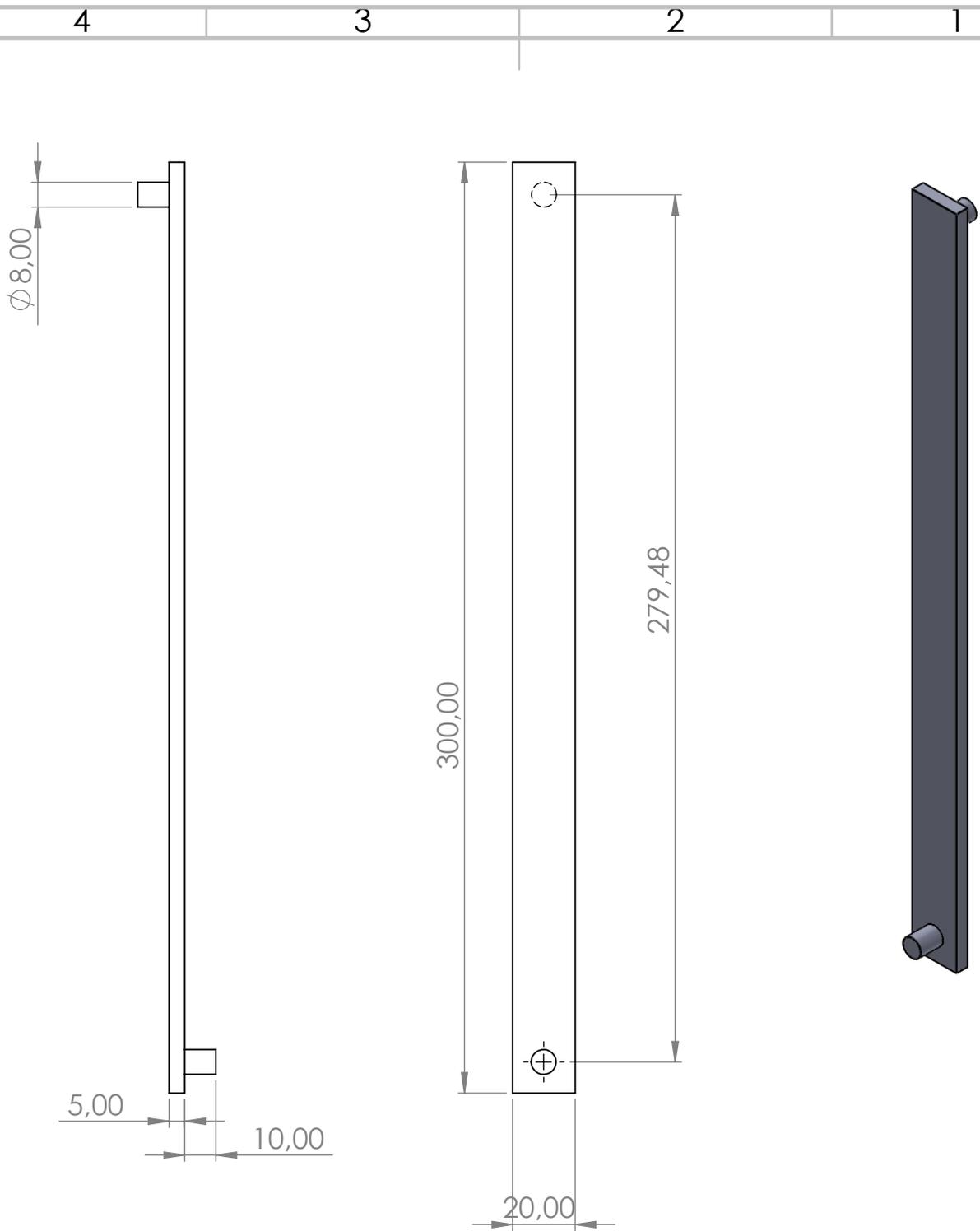
Luego de desarrollar tanto el diseño CAD, como la fabricación del gasificador se obtuvieron algunas conclusiones, las cuales aportan al aprovechamiento energético y a la fabricación del gasificador buscando un bajo costo:

- La producción del gasificador se puede llevar a cabo por medio de herramientas convencionales como: Torno, Taladro (manual o de banco), Equipo soldador y pulidora, con estas herramientas se pudo concluir con el proyecto, teniendo un resultado esperado, acorde a los planos planteados.
- Los materiales elegidos son de bajo costo, ya que la mayoría de las piezas fueron realizadas con aceros comunes, como lo es el acero Galvanizado y el acero estructural ASTM A-36.
- De acuerdo con los procesos de fabricación y materiales usados en el proyecto, se identificó que el gasificador se puede desarrollar con un relativo bajo costo. Debido a que no se requieren procesos avanzados de manufactura, e incluso se pueden reciclar y reutilizar materiales.

## Bibliografía

- [1] Bridgwater, A. V. V., 1995, "The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation," *Fuel*, **74**(5), pp. 631–653.
- [2] Perez, J. F., Lenis, Y., Rojas, S., and León, C., 2012, "Decentralized Power Generation through Biomass Gasification: A Technical-Economic Analysis and Implications by Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions | Generación Distribuida Mediante Gasificación de Biomasa: Un Análisis Técnico - Económico e Implicaciones Por Reduc," *Rev. Fac. Ing.*, (62).
- [3] Raman, P., Ram, N. K., and Gupta, R., 2013, "A Dual Fired Downdraft Gasifier System to Produce Cleaner Gas for Power Generation: Design, Development and Performance Analysis," *Energy*, **54**, pp. 302–314.
- [4] The International Bank, 1999, *Energy from Biomass a Review of Combustion and Gasification Technologies*, Washington.
- [5] Ruiz, J. A. A., Juárez, M. C. C., Morales, M. P. P., Muñoz, P., and Mendivil, M. A. A., 2013, "Biomass Gasification for Electricity Generation: Review of Current Technology Barriers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **18**(0), pp. 174–183.
- [6] Harting, J., Frijters, S., Ramaioli, M., Robinson, M., Wolf, D. E., and Luding, S., 2014, "Recent Advances in the Simulation of Particle-Laden Flows," *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, **223**(11), pp. 2253–2267.
- [7] Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M. C., and Duarte, M., 2010, *Atlas Del Potencial Energético de La Biomasa Residual En Colombia*.

- [8] Susastriawan, A. A. P., Saptoadi, H., and Purnomo, 2018, “Design and Experimental Study of Pilot Scale Throat-Less Downdraft Gasifier Fed by Rice Husk and Wood Sawdust,” *Int. J. Sustain. Energy*, **37**(9), pp. 873–885.
- [9] Susastriawan, A. A. P., and Saptoadi, H., 2017, “Small-Scale Downdraft Gasifiers for Biomass Gasification: A Review,” **76**(March), pp. 989–1003.
- [10] Pérez, J. F., Díaz, O. H., Obando, R. C., and Molina, A., 2008, “Diseño Conceptual de Un Gasificador de Biomasa de Lecho Fijo En Equicorriente a Escala Piloto,” *Tecnológicas Segunda Época*, **22**, pp. 121–140.
- [11] Castello, A., 2014, “Diseño de Un Reactor Continuo de Gasificación de Biomasa,” *Univ. Chile*.
- [12] Reed, T. B., and Golden, A., 1988, “Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems,” *SERI . U.S. Dep. Energy*, (March), p. 148.
- [13] Htet, M. T., 2018, “Design and Performance for 14kW Downdraft Open Core Gasifier,” *Int. J. Sci. Res. Publ.*, **8**(7), pp. 290–294.
- [14] Susastriawan, A. A. P., Saptoadi, H., and Purnomo, 2019, “Effect of Tuyen Distance above Grate on Propagation Front and Performance of Downdraft Gasifier with the Feedstock of Rice Husk,” *Renew. Energy*, **134**, pp. 1034–1041.



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Pulidora Y lijadora

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:

ASTM A-36

N.º DE DIBUJO

**Biela (14)**

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

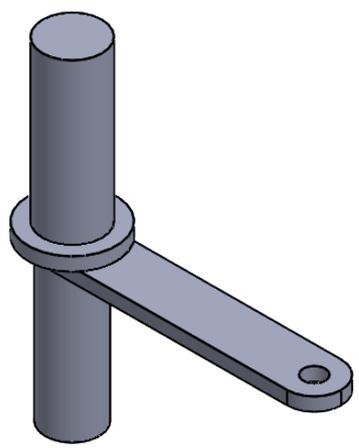
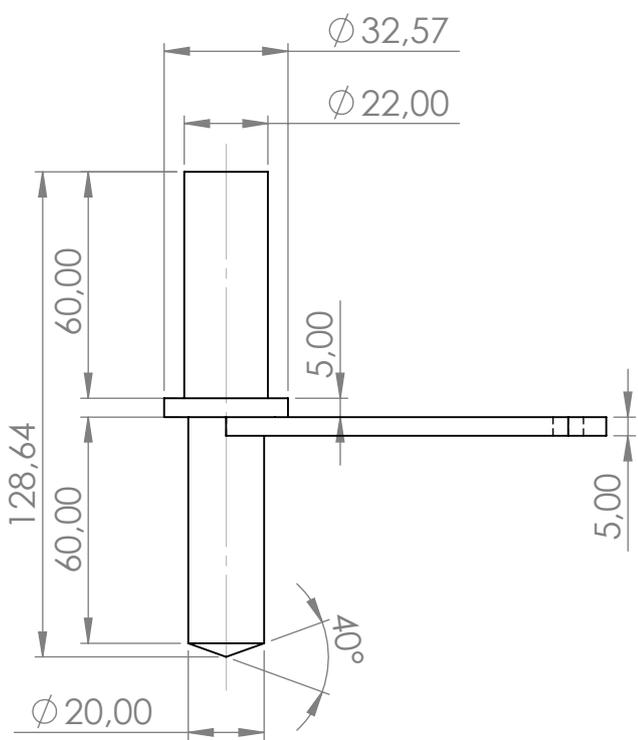
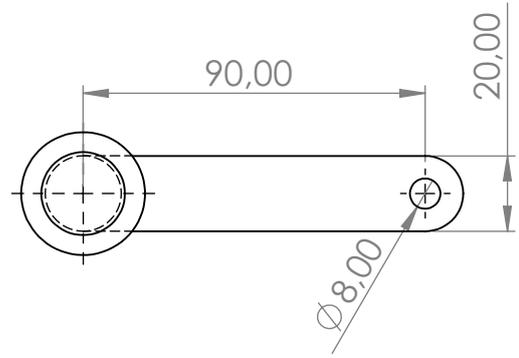
C

B

B

A

A



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en torno

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
AISI / SAE 1020

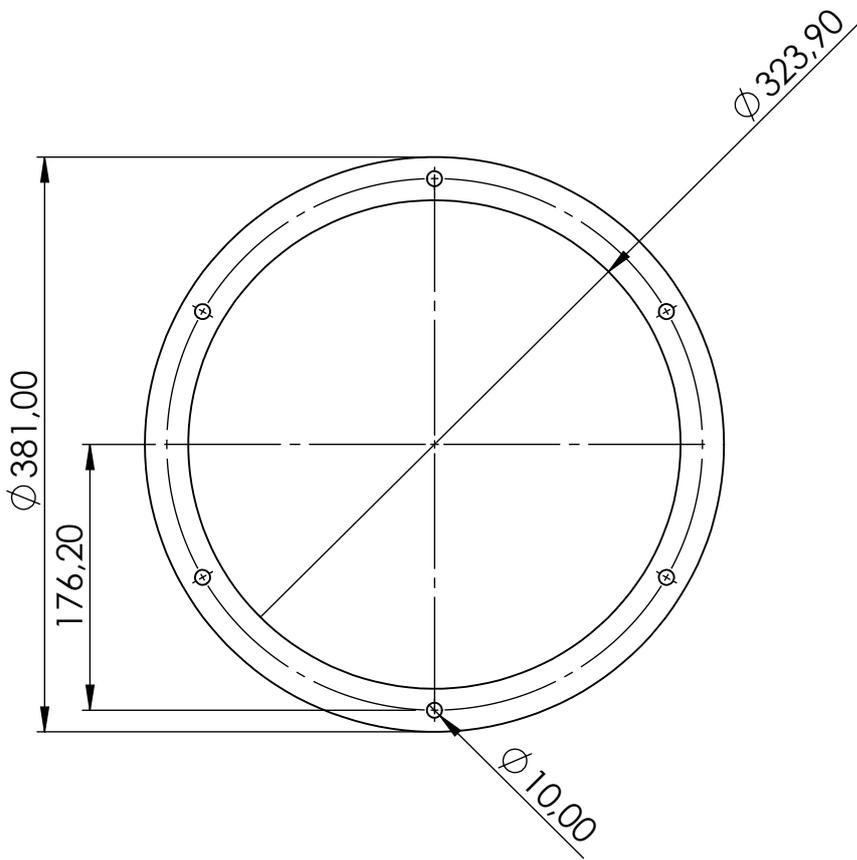
N.º DE DIBUJO  
**Eje parrilla (11)**

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
por corte laser

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
Acero inox serie 304

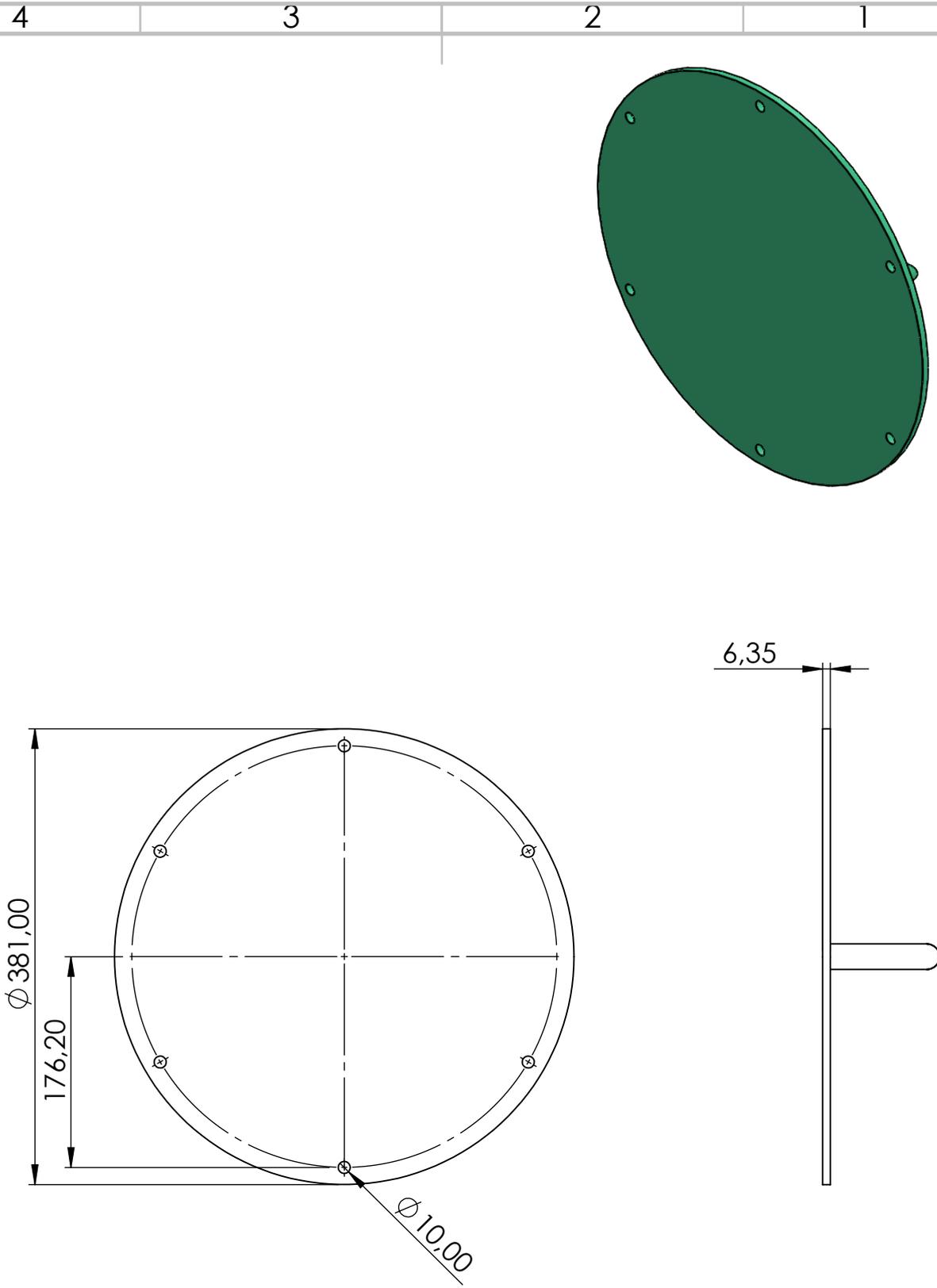
N.º DE DIBUJO

Flanche(3)

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en corte laser

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

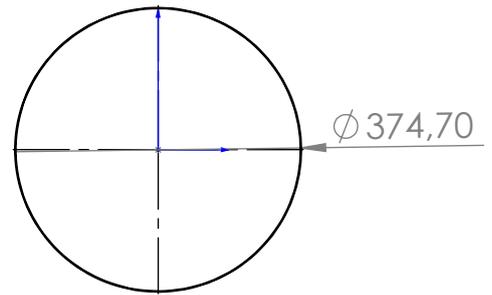
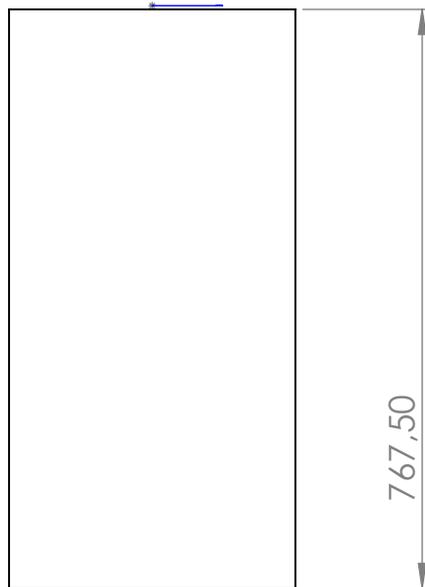
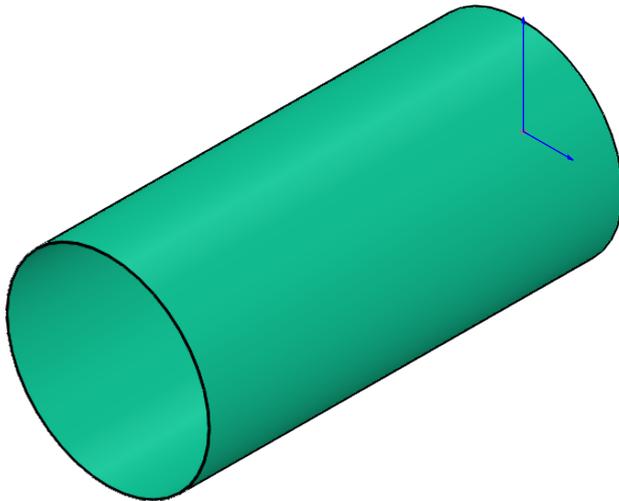
MATERIAL:  
Acero inox serie 304

N.º DE DIBUJO  
**FlciegSup(4)**

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en corte por cizalla

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
Acero inox serie 304

N.º DE DIBUJO  
Lamina de recubrimiento (5)

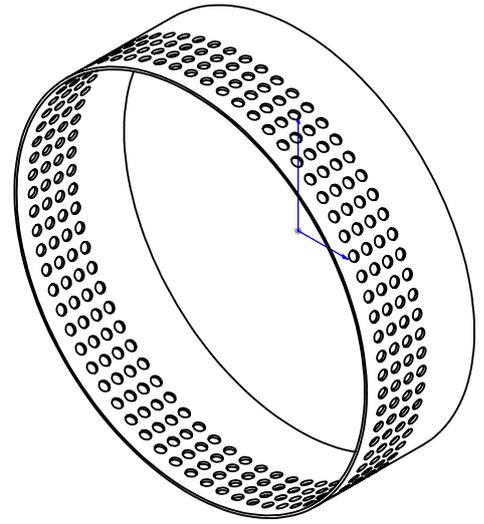
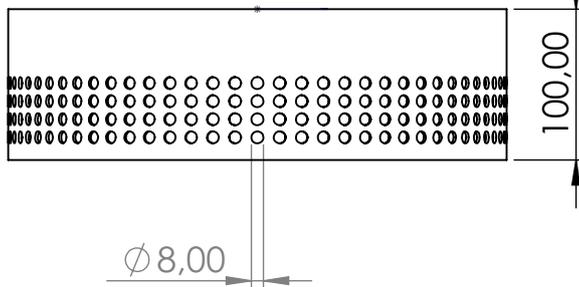
A4

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

2,00

Ø 323,90



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en roladora

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:

Acero inox serie 304

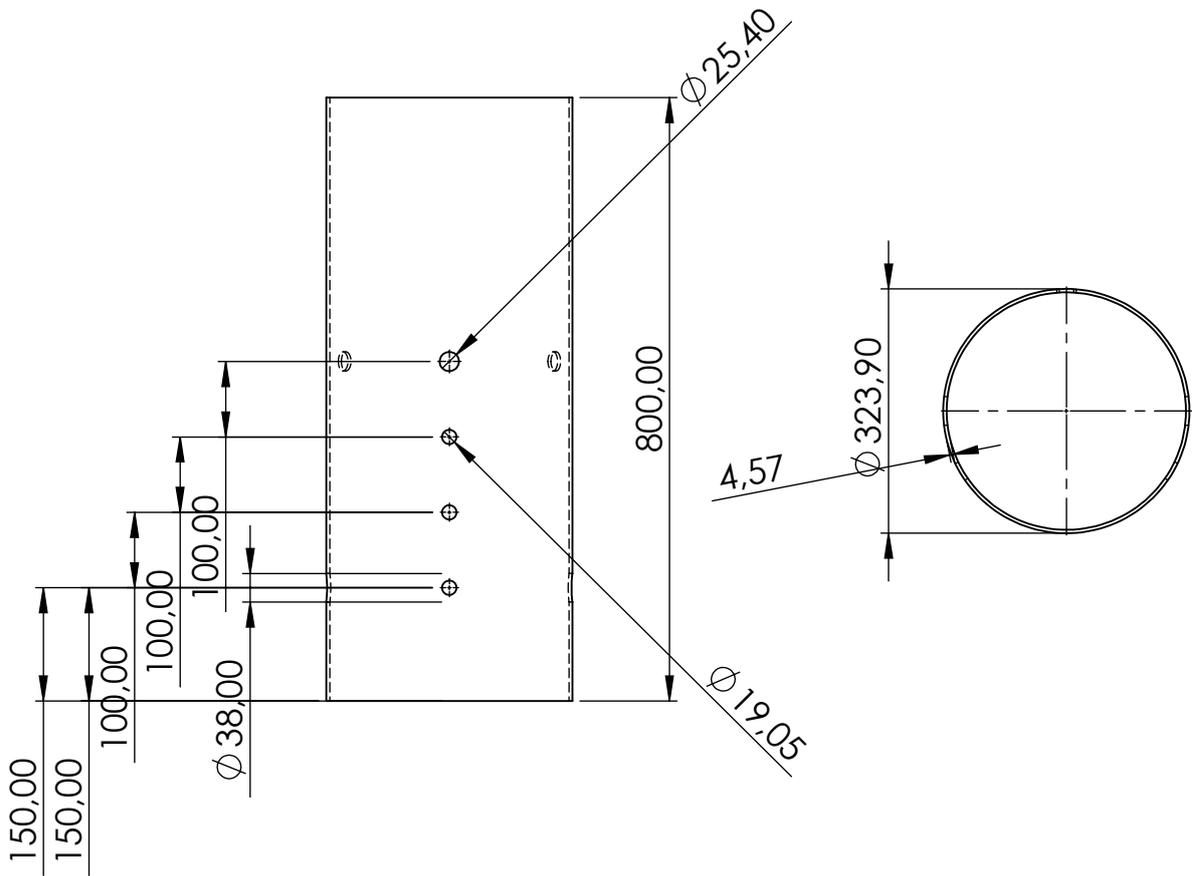
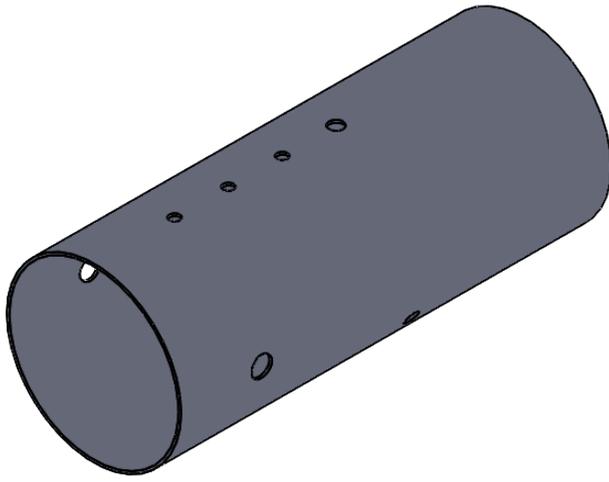
N.º DE DIBUJO

Lecho cenizero(7)

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
con soldadura

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:

Acero inox serie 304

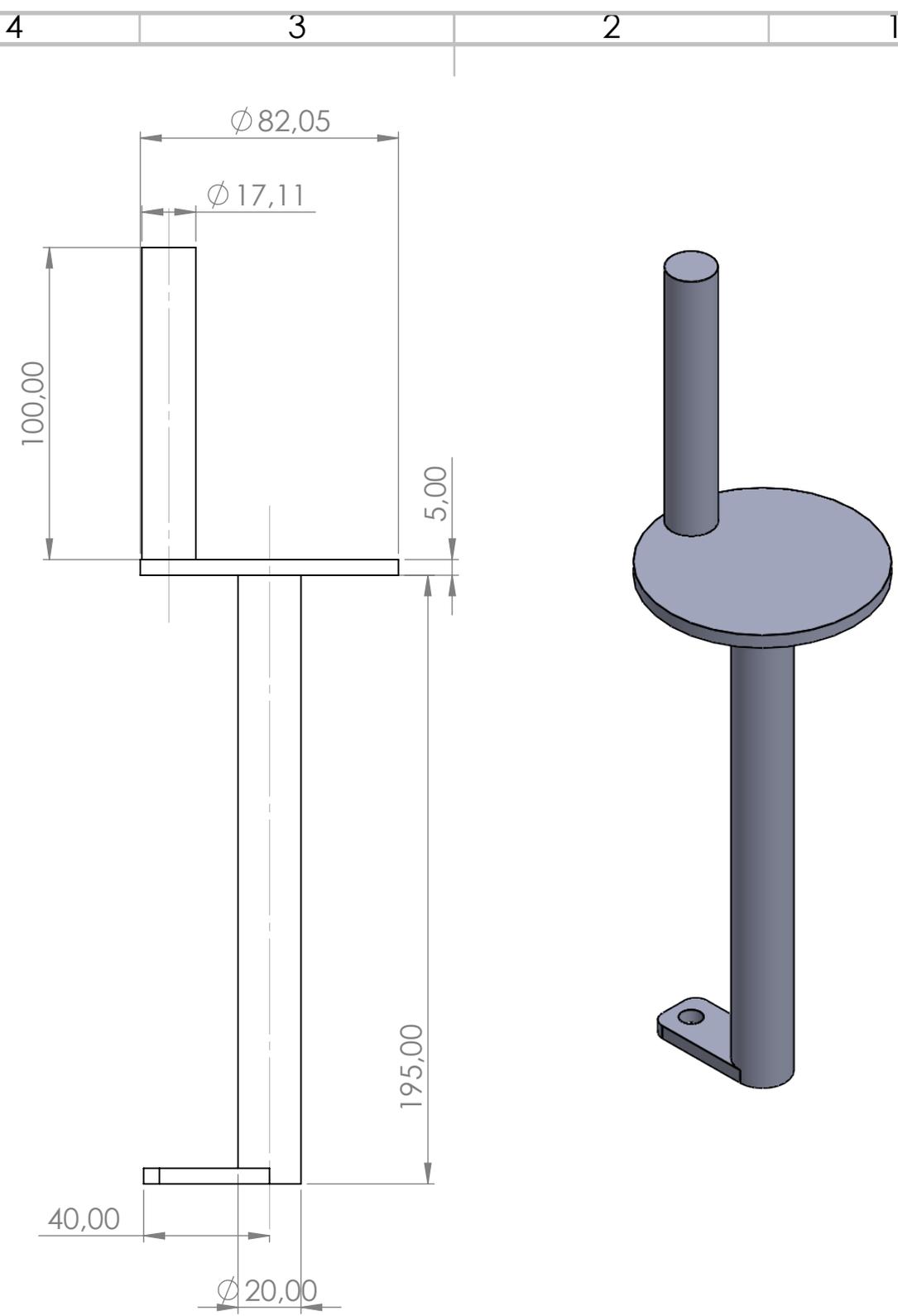
N.º DE DIBUJO

Lecho1 (2)

A4

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en torno

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
AISI / SAE 1020

N.º DE DIBUJO  
**Mano(13)**

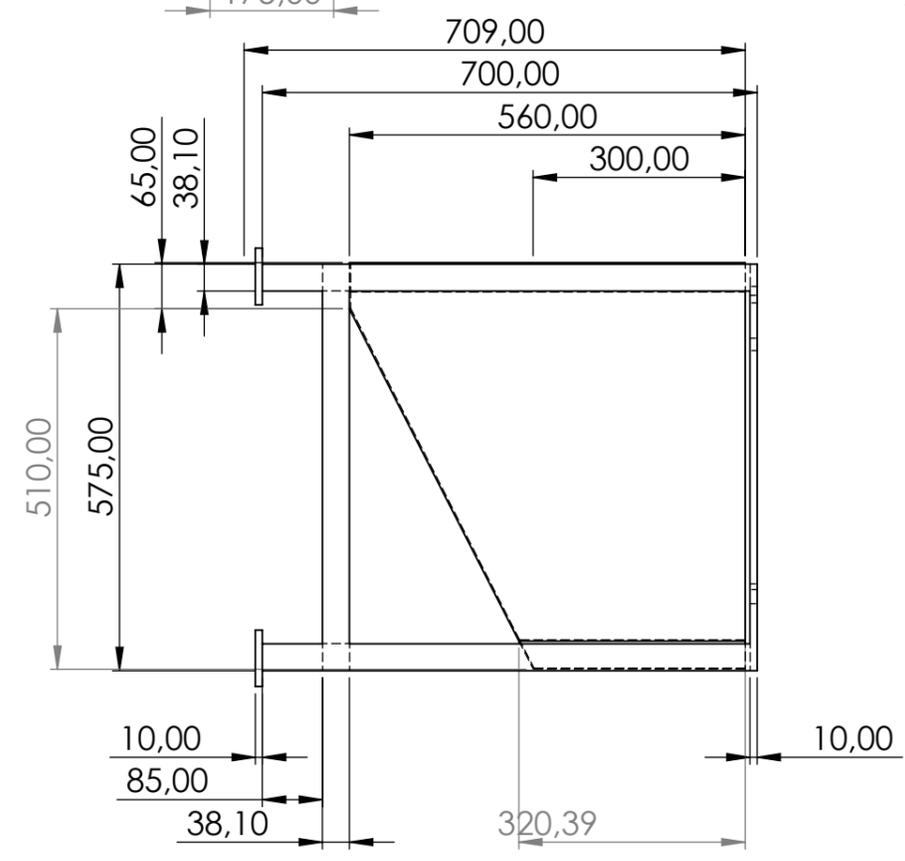
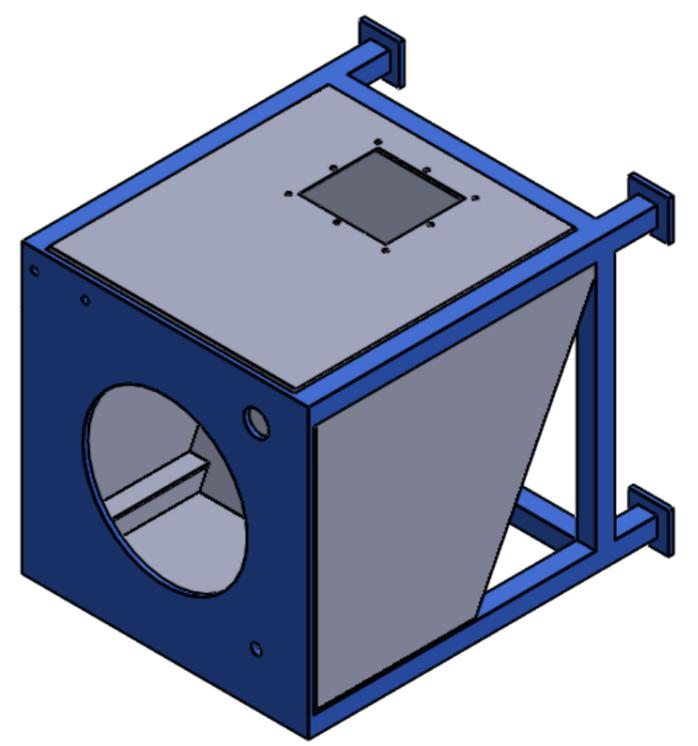
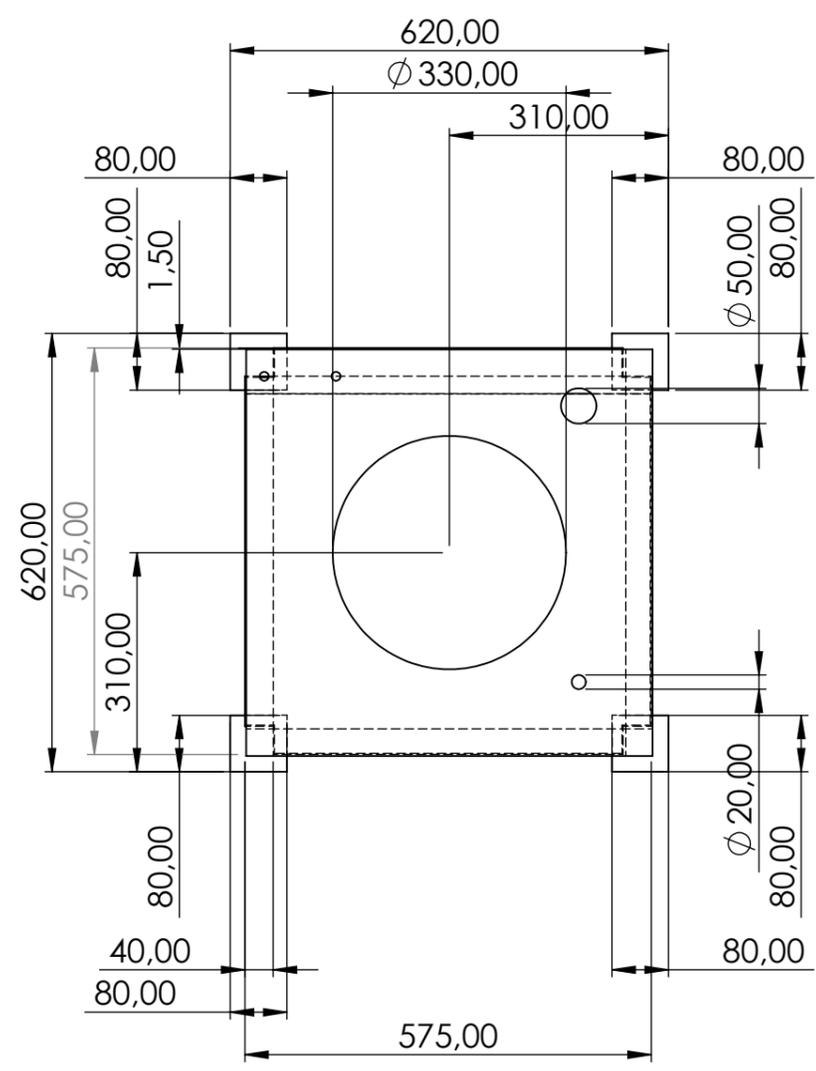
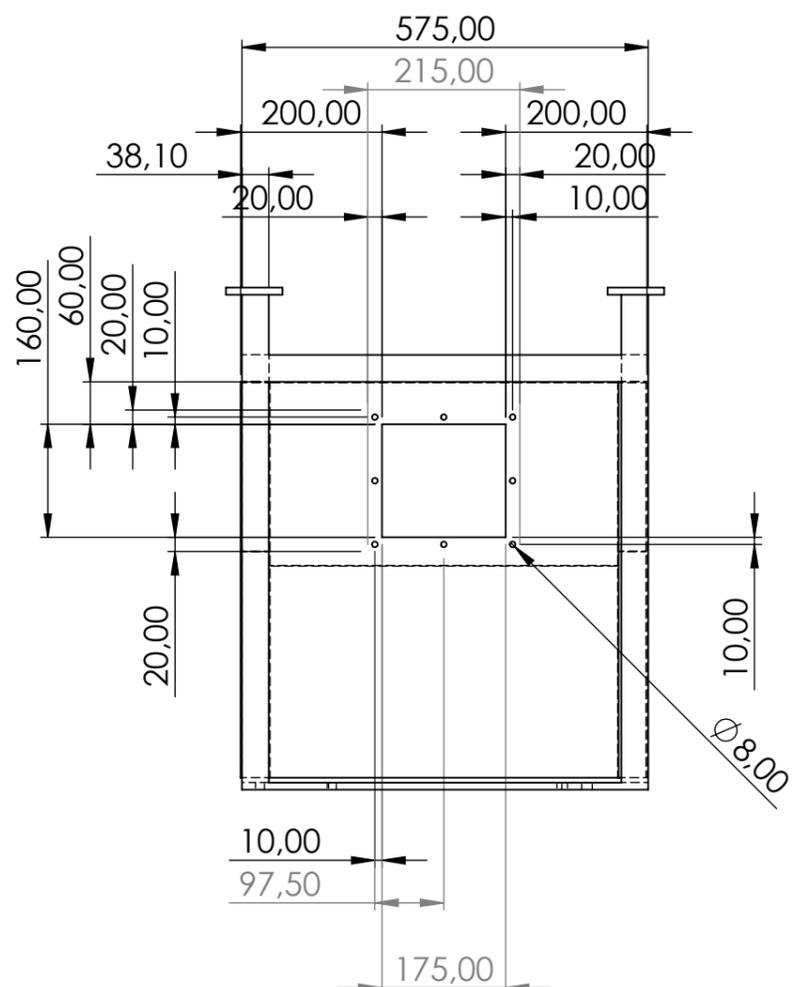
A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO : Proceso terminado con pulidora y pintura		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: gasificador de lecho fijo en equicorriente de núcleo abierto para operar con cascarilla de arroz	
VERIF.					N.º DE DIBUJO	A3
APROB.					Mesa soporte (1)	
FABR.				MATERIAL: ASTM A-36	ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1
CALID.				PESO:		

8 7 6 5 4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

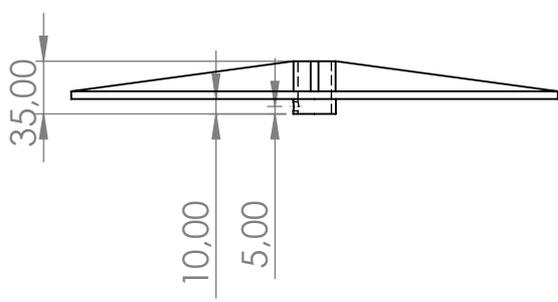
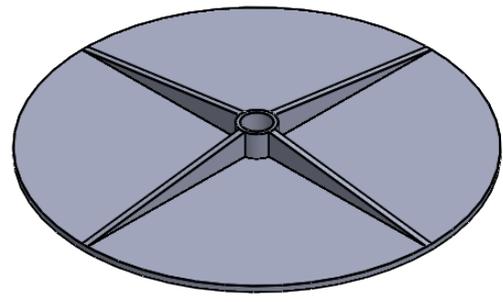
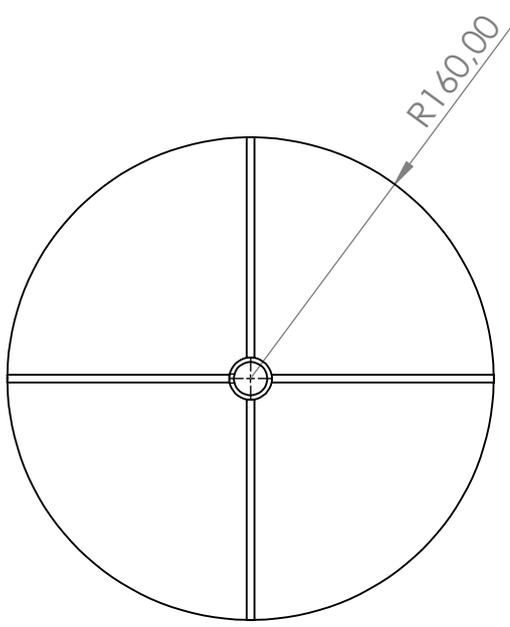
C

B

B

A

A



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
en torno

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
Acero Galvanizado

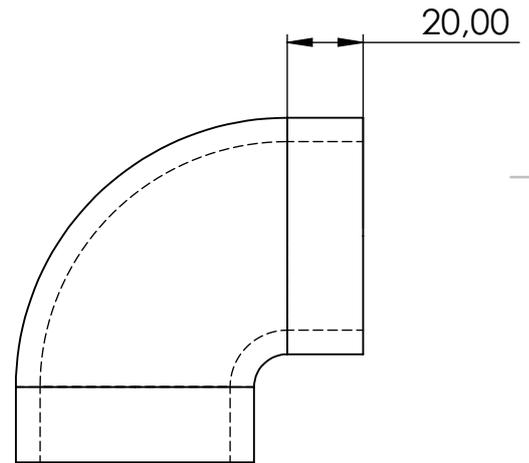
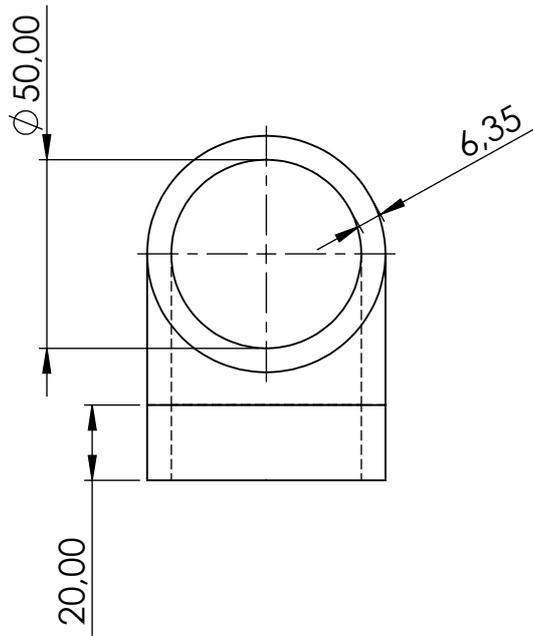
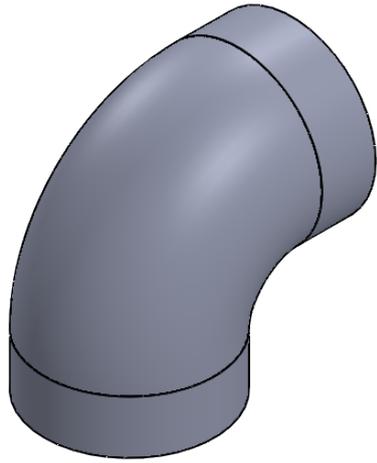
N.º DE DIBUJO  
**Parrilac(12)**

A4

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:

tubo galvanizado

N.º DE DIBUJO

S2gas(17)

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

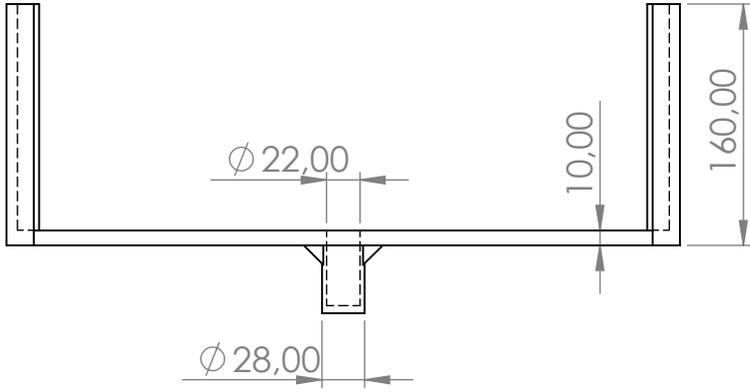
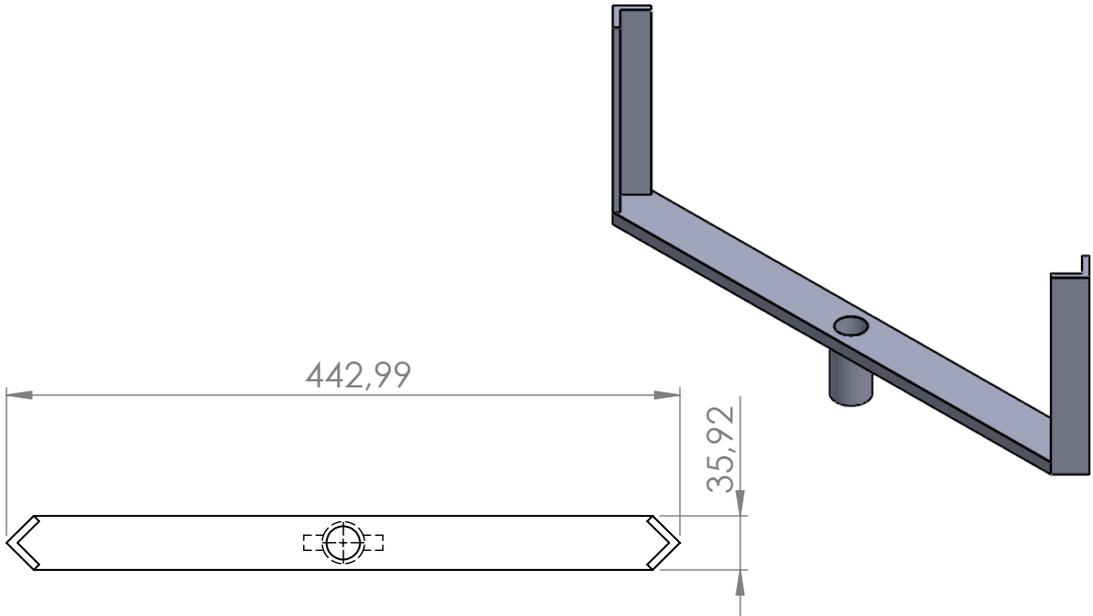
C

B

B

A

A



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
con pulidora y  
lijadora

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:  
ASTM A-36

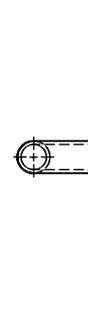
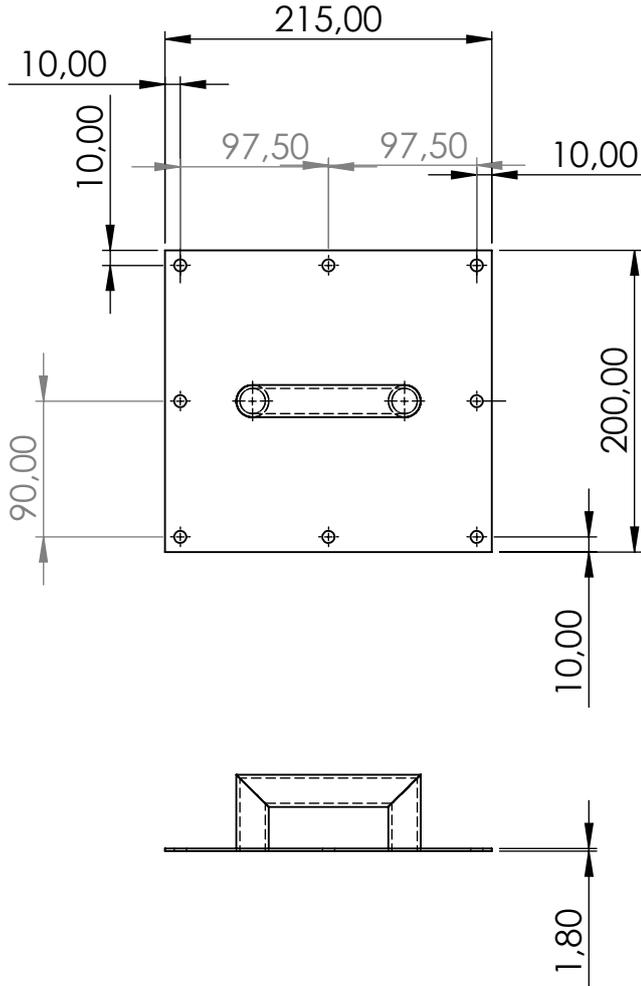
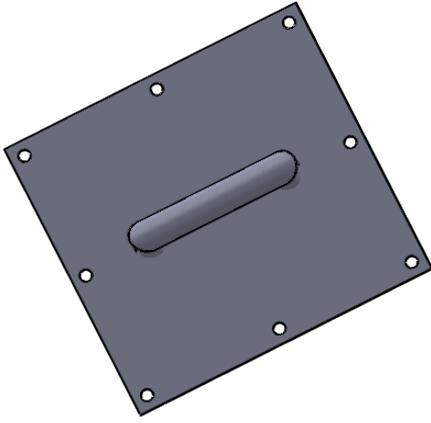
N.º DE DIBUJO  
soporte parrilla (10)

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:  
Proceso terminado  
con lijadora y  
pintura

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

gasificador de lecho fijo en  
equicorriente de  
núcleo abierto para operar con  
cascarilla de arroz

MATERIAL:

Acero galvanizado

N.º DE DIBUJO

Tapa Cenizero (16)

A4

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1