

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
PANELA PULVERIZADA

**Trabajo presentado por:**

Jonatan Fernando Castellanos Hernández

**Directora de Proyecto:**

Msc. Jessica Gissella Maradey Lázaro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
PROYECTO DE GRADO  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2019

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
PANELA PULVERIZADA

**Trabajo presentado por:**

Jonatan Fernando Castellanos Hernández

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico

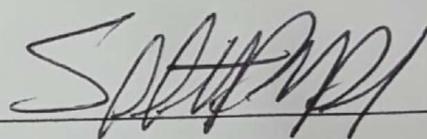
**Directora de Proyecto:**

Msc. Jessica Gissella Maradey Lázaro

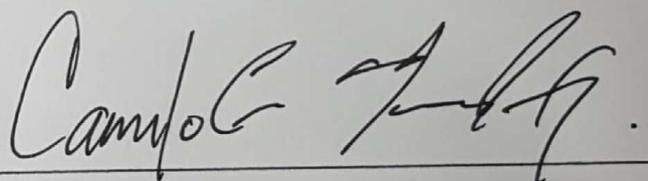
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
PROYECTO DE GRADO  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2019

Nota de aprobación

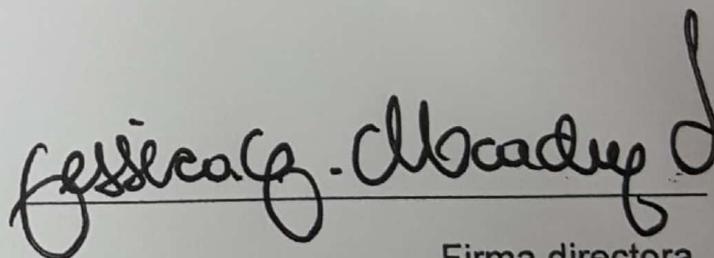
Trabajo de grado titulado "Diseño y construcción de máquina para la producción de panela pulverizada", presentado por el estudiante Jonatan Fernando Castellanos Hernández para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico.



Firma Jurado



Firma Jurado



Firma directora

Bucaramanga, Santander. 2019

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a mi madre por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera profesional para mi futuro y por creer en mi capacidad, aunque hubo momentos difíciles estuvo ahí para brindarme su comprensión y amor.

## AGRADECIMIENTOS

Dios, tu amor y bondad no tienen fin, permites que sonrío ante este logro que es resultado de tu ayuda, gracias por enseñarme a mejorar como persona y a crecer de diferentes maneras.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí con las más altas expectativas, gracias a mi madre por acompañarme en la distancia, cada momento difícil, con la llegada de sus consejos que fueron como agua en el desierto, gracias a mi padre por desear y anhelar lo mejor para mí, gracias por sus aportes y palabras que me guían día a día.

A mis compañeros de la universidad, Álvaro Julián González, Juan Sebastián Rivera quienes fueron un apoyo incondicional en este proceso de aprendizaje.

A mi directora de proyecto Jessica Gissella Maradey por su guía, consejos y seguimiento durante este proceso, a todos los docentes que me dictaron clases y enseñaron a subir cada día un peldaño para ser profesional.

Y a todos aquellos que de alguna manera pusieron su granito de arena para que esto fuese posible.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>15</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	15
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>4. MARCO TEÓRICO.</b> .....	<b>18</b>
4.1 ANTECEDENTES .....	18
4.1.1 ANÁLISIS DEL SECTOR .....	19
4.1.1.1 <i>Datos Básicos.</i> .....	19
4.1.1.2 <i>Cobertura.</i> .....	19
4.1.1.3 <i>Empleo.</i> .....	19
4.1.1.4 <i>Ventajas sobre otros sectores.</i> .....	20
4.1.1.5 <i>Consumo.</i> .....	20
4.1.1.6 <i>Factores de demanda.</i> .....	20
4.1.1.7 <i>Perspectivas del Mercado de la panela.</i> .....	21
4.1.1.8 <i>Consumo de panela tradicional y pulverizada en Colombia.</i> .....	22
4.2 ASPECTOS NORMATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN COLOMBIA .....	24
4.2.1 <i>Leyes y decretos.</i> .....	24
4.2.2 <i>Resoluciones</i> .....	24
4.2.3 <i>Partidas arancelarias.</i> .....	25
4.2.4 <i>Adecuación de áreas productivas según normas.</i> .....	26
4.2.5 <i>Normas de Calidad.</i> .....	27
4.2.6 <i>Ensayos.</i> .....	28
4.3 ASPECTOS OPERATIVOS GENERALES DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN COLOMBIA.....	29
4.3.1 <i>Descripción.</i> .....	29
4.3.2 <i>Etapas.</i> .....	29
4.3.3 <i>Diagrama de flujo. Transferencia de Masa y temperatura</i> .....	39
<b>5. VARIABLES OPERATIVAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b> .....	<b>40</b>
5.1 <i>BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA</i> .....	40
5.1.1 <i>Balance de Masa</i> .....	41
5.1.2 <i>Balance de azúcares</i> .....	42
5.1.3 <i>Balance de Energía.</i> .....	43

5.1.4 El balance térmico de la hornilla.....	44
5.2 ACTIVIDADES POR TIEMPO Y POR TIPO DE OPERACIÓN.....	45
5.3 VARIABLES DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.....	49
5.3.1 Microcontrolador (Arduino).....	49
5.3.4 HMI (Human Machine Interface).....	49
5.3.5 Sensores de temperatura.....	50
5.3.6 Sensores de Humedad.....	50
5.3.7 Consumo de potencia.....	50
5.4 ACTUADORES.....	50
5.4.1 Actuador Rotatorio.....	51
<b>6. VARIABLES DE DISEÑO PARA UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE</b>	
<b>PANELA.....</b>	<b>52</b>
6.1 PARÁMETROS DE CONTROL PARA LAS ETAPAS DE BATIDO,	
PULVERIZACIÓN Y CERNIDO.....	52
6.1.1 Determinación de la velocidad del batido.....	52
6.1.2 Determinación de los tiempos de batido para llegar al punto de panela.	
.....	54
6.1.3 Análisis de la influencia de la aceleración del cambio de temperatura del	
batidillo.....	57
6.1.4 Determinación de las características de operación para la etapa de Batido	
(motor, batidor, ventilador).....	59
6.1.4.1 Determinación de las características del Motor.....	59
6.1.4.3 Cálculo de la potencia del motor.....	61
6.1.4.4 Cálculo del eje.....	63
6.1.4.5 Dilatación Térmica.....	71
6.1.4.6 Sistema De Secado.....	72
6.1.4.7 Deshumidificador:.....	73
6.1.5 Determinación del tamaño de grano.....	74
6.1.7 Determinación de la Humedad.....	78
6.1.8 Determinación de la Densidad.....	81
6.1.9 Determinación de la superficie de tamiz y la cantidad de material a	
tamizar.....	82
6.1.10 Análisis del mejor método para moler el grumo.....	82
6.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	
.....	83
6.2.1 Descripción de los componentes del sistema mecánico.....	84
6.2.4 Descripción del sistema SCADA para automatizar el sistema.....	95
6.2.5 Escalado.....	100
<b>7. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MAQUINA PULVERIZADORA DE</b>	
<b>PANELA.....</b>	<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>115</b>

**BIBLIOGRAFÍA.....116**

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Certificaciones y aprobaciones .....	26
Tabla 2. Especificaciones técnicas de infraestructura .....	27
Tabla 3. Características físico-químicas de productos a elaborar.....	28
Tabla 4. Requisitos microbiológicos.....	28
Tabla 5. Técnicas empleadas para la determinación de los parámetros de calidad de la panela .....	29
Tabla 6. Variables para el cálculo de balances de materia y energía.....	40
Tabla 7. Actividades y Responsabilidades por proceso.....	46
Tabla 8. Pareto de tiempos por procesos .....	47
Tabla 9. Diagrama de Flujos de tiempos por actividad. ....	48
Tabla 10. Determinación de la velocidad del batido.....	53
Tabla 11. Determinación de los tiempos de batido .....	55
Tabla 12. Relación Temperatura de punteo – Velocidad de Batido – Tiempo de Batido.....	56
Tabla 13. Determinación del tamaño de grano .....	76
Tabla 14. Análisis Granulométrico promedio de la panela en las tres regiones de Colombia.....	77
Tabla 15. Valores promedio de Humedad. Regiones Productoras de panela en Colombia.....	81
Tabla 16. Valores densidad aparente. Regiones Productoras de panela en Colombia.....	82
Tabla 17. Valores de °Brix obtenidos de las diferentes mieles de panela a temperatura ambiente.....	106
Tabla 18. Valores de °Brix obtenidos de las diferentes mieles de panela a temperaturas superiores a los 120°C.....	106
Tabla 19. Depuración de las mieles a usar en las pruebas experimentales .....	107
Tabla 20. Datos obtenidos de las pruebas experimentales .....	108

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Corte de caña de azúcar.....	30
Figura 2. Apronte .....	30
Figura 3. Extracción del jugo de caña de azúcar .....	31
Figura 4. Jugo de caña de azúcar extraído.....	31
Figura 5. Pre-limpieza del jugo de caña de azúcar. ....	32
Figura 6. Clarificación del jugo de caña de azúcar .....	33
Figura 7. Evaporación y concentración del jugo de caña de azúcar. ....	34
Figura 8. Batido y punteo del jugo de caña de azúcar deshidratado .....	35
Figura 9. Vertimiento de las mieles y batido. ....	35
Figura 10. Separación de granos gruesos de los más finos y triturado de grano grueso.....	37
Figura 11. Diagrama de flujo de panela pulverizada.....	38
Figura 12. Diagrama de flujo de panela en bloque y pulverizada .....	39
Figura 13. Arduino Uno.....	49
Figura 14. Registro fotográfico.....	56
Figura 15. Cambio en el batidillo por agitación mecánica.....	57
Figura 16. Comparación influencia mecánica en el cambio de temperatura del batidillo.....	58
Figura 17. Cálculo de la potencia del motor.....	62
Figura 18. Eje sugerido.....	65
Figura 19. Momento flector plano X-Y .....	67
Figura 20. Momento flector plano X-Z.....	68
Figura 21. Esquema deshumidificador.....	73
Figura 22. Tamaño de grano panela pulverizada.....	75
Figura 23. Componentes del sistema mecánico. ....	84
Figura 24 Recipiente utilizado.....	85
Figura 25 Plano de las aspas superiores.....	85
Figura 26 Aspas superiores y bujes previo a soldadura .....	86
Figura 27 plano del eje .....	87
Figura 28 Eje maquinado.....	87
Figura 29 eje con aspas.....	87
Figura 30 acople flexible .....	88
Figura 31 Motor utilizado .....	89
Figura 32 Lámina motor.....	89
Figura 33 estructura.....	90
Figura 34 camisa exterior .....	91
Figura 35 Chumacera de pared .....	92
Figura 36 Circuito eléctrico-electrónico.....	94
Figura 37 Maquina terminada .....	95
Figura 38 Modo de operación .....	96

Figura 39 Velocidad del motor modo manual .....	96
Figura 40 Lectura de velocidad del motor .....	96
Figura 41 Tiempo de operación .....	97
Figura 42 Variables graficadas .....	98
Figura 43 Indicador de etapas de operación.....	98
Figura 44 Pantalla grafica HMI.....	99
Figura 45 Estructura de ejecución .....	99
Figura 46 Vista de las mieles a más de 120°C .....	107
Figura 47 Ingreso de la miel de panela a 135°C y 91,2 °Brix a la maquina .....	108
Figura 48 Proceso de batido y aireado en la maquina pulverizadora de panela..	109
Figura 49 Variación de la temperatura en la maquina durante el proceso de batido y aireado.....	109
Figura 50 Etapa de Tamizado de la maquina pulverizadora de panela .....	110
Figura 51 Variación de la temperatura en la etapa de tamizado.....	110
Figura 52 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 5 y la muestra 6.....	111
Figura 53 tamices de 3mm y 5 mm.....	111
Figura 54 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 5.....	112
Figura 55 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 6.....	112

## **RESUMEN**

El presente proyecto muestra los resultados de la investigación titulada " Diseño y Construcción de Máquina para la Producción de Panela Pulverizada", desarrollado con el fin de automatizar el proceso de pulverización de la panela de las empresas productoras ubicadas en el área geográfica de la Hoya del Río Suárez, una zona acotada por los departamentos Boyacá y Santander, en donde el cultivo de caña de azúcar abarca 45,000 hectáreas aproximadamente, lo que la convierte en la principal región productora de Colombia.

Con el proceso de automatización se propone optimizar la producción empírica actual, avanzando en variables como la eficiencia, el rendimiento mediante la implementación de mecanismos y herramientas tecnológicas que permitan tener un mayor control de cada una de las etapas con el fin de brindar mayores ventajas competitivas y garantizar una mejor calidad del producto final.

### **Palabras Claves**

Automatización, Diseño, Máquina Pulverizadora, Etapas, proceso, calidad

## **ABSTRACT**

The present project shows the results of the qualified investigation " Design and Construction of Machine for Panela Pulverizada's Production ", developed in order to automate the process of pulverization of the panela of the producing companies located in the geographical area of the Pit of the Rio Suárez, a zone annotated by the departments Boyacá and Santander, where the culture of sugar cane includes 45,000 hectares approximately, which turns her into the principal producing region of Colombia.

With the process of automation, it proposes to optimize the empirical current production, advancing in variables as the efficiency, the performance by means of the implementation of mechanisms and technological tools that allow to have a major control of each one of the stages in order to offer major competitive advantages and to guarantee a better quality of the final product.

## **KEY WORDS**

Automation, Design, Schemes Pulverizadora, Stages, process, quality

## INTRODUCCIÓN

Según cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 25 países en el mundo producen panela. Colombia es el segundo productor después de la India, con una producción de 1.674.733 Ton/año<sup>1</sup>.

El sector panelero constituye la segunda actividad agroindustrial de mayor desarrollo en el país, contribuyendo con el 3.02% del producto interno bruto (PIB) <sup>2</sup>, El área de desarrollo de la Hoya del Río Suarez presenta el mayor grado de tecnificación en los cultivos, encontrándose un rendimiento medio de 120 toneladas de caña por hectárea y en algunos casos se alcanza hasta 200 t/ha está conformada por 13 municipios: Barbosa, Chipatá, Guavatá, Güepesa, Puente Nacional, San Benito, Suaita y Vélez en el departamento de Santander y Chitaraque, Monquirá, San José de Pare, Santana y Toguí en el departamento de Boyacá.

La presente investigación tiene como principal objetivo el diseño y construcción de una máquina que permita la automatización de los procesos de batido, pulverizado y cernido para producirla en panela en un trapiche ubicado en inmediaciones de los departamentos de Santander y Boyacá. Actualmente la capacidad máxima de producción es de 660 Ton/día de caña en etapa plena, pero hoy en día se procesan 40,8 Ton/día (1700kg/h) de caña de azúcar en donde el 20% es dedicado a la producción de panela, logrando una eficiencia del 40%. Con el proceso de automatización se pretende lograr una mejora en el rendimiento día pasando al 60%kg de panela a producir, disminuyendo los tiempos de producción que actualmente se manejan.

---

<sup>1</sup> Federación Nacional de Productores de Panela (FEDEPANELA). 2016. Informe anual. FEDEPANELA, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) 2016. Informe anual del Programa Nacional de Maquinaria Agrícola y Postcosecha. Centro de Investigación Tibaitatá. Bogotá, Colombia, CORPOICA

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad, los procesos para la obtención de panela pulverizada se realizan de forma artesanal (manual), empírico y arraigado a las costumbres ambiguas de las regiones donde se produce, lo cual teniendo en cuenta la actual demanda de productos sustitutos de azúcar hace que el sector sea poco competitivo y mantenga un proceso prolongado, deficiente y costoso.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace indispensable la utilización de un equipo apropiado para la pulverización de panela para los pequeños y grandes trapiches, con el fin de agilizar las actividades, de homogenizar el producto y disminuir las pérdidas de tiempo (eficiencia) y de materia prima.

La incorporación de tecnología, permite que las principales variables del proceso sean monitoreadas y controladas, logrando mejorar la eficiencia y el rendimiento en cada una de las etapas requeridas para la producción de panela.

### **1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Se podría mejorar la productividad en términos de eficiencia y rendimiento de materia prima con el diseño y construcción de una máquina para la pulverización de la panela?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge en el marco de la solicitud expresada por la empresa MIELES S.A.S, ubicada en la vereda San Isidro Bajo del municipio San José de Pare en Boyacá, Colombia, dedicada a la producción de los diferentes derivados del jugo de caña de azúcar; quienes manifestaron la necesidad de obtener una mayor productividad en el proceso de pulverización de la panela, considerando que, actualmente, este se realiza de manera artesanal implicando el aumento de personal a contratar y su bajo rendimiento respecto a la capacidad requerida para ser viable económicamente en determinado tiempo ya que el costo de los derivados de jugo de caña de azúcar está en constante variación.

En relación con lo anterior, el equipo de MIELES S.A.S, manifestaron su apoyo al proyecto poniendo a disposición sus instalaciones para determinar los alcances de ingeniería conceptual y de detalle en el diseño, la construcción y la puesta en marcha de la máquina.

Por otro lado, la panela en el mercado nacional y, aún más, en el internacional, incursiona como un producto de alto valor agregado, en donde se destacan sus bondades nutritivas. A pesar de estas bondades, su principal desventaja se relaciona con la dificultad de manipulación. Por tal razón, el consumo masivo de panela se difundirá masivamente cuando su presentación facilite su uso (pulverizada). En relación con lo anterior, la industria panelera requiere de nuevos equipos que le permitan ser más eficiente en el proceso productivo, disminuyan costos de producción y mejoren y estandaricen la calidad del producto y de su presentación. En la actualidad, estos elementos se constituyen en la principal problemática y limitante de la panela frente al consumidor.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo funcional para la automatización del proceso de pulverización de panela.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una máquina pulverizadora de panela, teniendo en cuenta las etapas de batido, cernido y secado respectivamente.
- Seleccionar componentes mecánicos y electrónicos necesarios para la implementación de la máquina pulverizadora de panela diseñada.
- Construir un prototipo funcional escalado de la máquina pulverizadora de panela desarrollada.
- Automatizar los procesos de batido, pulverización y cernido que comprenden la máquina pulverizadora de panela.
- Validar experimentalmente el prototipo construido e instrumentado de acuerdo a las especificaciones establecidas para el proyecto.

## 4. MARCO TEÓRICO.

### 4.1 ANTECEDENTES

En Colombia la agroindustria panelera es una de las principales actividades económicas en las regiones de los Andes como estrategia de generación de ingresos para más de 70 000 familias campesinas, que responden a una significativa demanda nacional y a un consumo arraigado en los sectores urbanos y rurales del país. Algunos indicadores de su importancia son los siguientes<sup>3</sup>:

- Colombia es el segundo productor de panela, después de la India, y contribuye con cerca del 10 por ciento a la producción mundial (13 millones t/año)
- Vincula 350 000 personas entre productores, trabajadores, comerciantes y otros actores.
- Genera el equivalente a 120 000 empleos permanentes
- Ocupa 226 000 hectáreas en el cultivo de la caña
- Existen 20 000 trapiches como infraestructura para el procesamiento
- Contribuye con el 6,7 por ciento a la formación del PIB agrícola
- Participa con el 2,18 por ciento del gasto en alimentos de la población

---

<sup>3</sup> RODRÍGUEZ BORRAY, Gonzalo. La Agroindustria rural de la panela en Colombia, roles, problemática y nuevos retos. [en línea]. Bogotá, 2000. [consultado el 15 de septiembre de 2017]. Disponible en internet:<URL: <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/la-agroindustria-rural-de-la-panela-en-colombia-roles-problematica-y-nuevos-retos.pdf>>

- Colombia tiene el mayor consumo per cápita a nivel mundial con cerca de 32 kg/año.

#### **4.1.1 Análisis del Sector**

##### **4.1.1.1 Datos Básicos.**

El gremio panelero en Colombia lo conforman más de 20.000 trapiches, 19.050 censados por el INVIMA y el gremio, que producen 1.300.000 toneladas por año, valoradas en US\$1.000 millones las cuales representan el 7 % del PIB agrícola con una participación del 1,06% en el gasto nacional de alimentos<sup>4</sup>.

##### **4.1.1.2 Cobertura.**

Hay sembradas 240.000 hectáreas de caña panelera, en 350 municipios de 27 departamentos paneleros tradicionalmente productores (los departamentos con café son únicamente 20)<sup>5</sup>.

##### **4.1.1.3 Empleo.**

En 70.000 fincas (unidades productivas) existe un promedio de tenencia de la tierra de 3,42 hectáreas. Hoy es el primer renglón generador de empleo rural lícito en el sector agrícola colombiano. Con unos 1.750.000 puestos de trabajo entre directos e indirectos en 27 departamentos y 49 millones de jornales anuales. Ha sido durante

---

<sup>4</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA - FUNDACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Evaluación de la producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Bogotá, Corpoica- FAO (informe final de proyecto) en proceso de publicación). 2016.

<sup>5</sup> CASTELLANOS D., Oscar Fernando; TORRES P., Luz Marina y FLOREZ M., Diego Fernando. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria. [en línea]. Bogotá, 2009 [consultado el 8 de septiembre de 2019]. Disponible en internet:<URL: [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena\\_productiva\\_panela.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena_productiva_panela.pdf)>

toda la historia del país, la panela, una locomotora generadora de empleo muy importante<sup>6</sup>.

#### **4.1.1.4 Ventajas sobre otros sectores.**

Desde el punto de vista económico y social resulta muy ventajoso que el cultivo de la caña panelera esté más esparcido que el café, porque los beneficios que reporta no se circunscriben a unos pocos privilegiados, sino que se distribuyen entre la población campesina.

#### **4.1.1.5 Consumo.**

El mercado de la panela está regido por los sectores de bajos ingresos, así mismo este público consumidor está subsanado por los trapiches de pequeña producción. Es por eso que ante la necesidad de incrementar y posicionar el consumo de panela en los estratos altos de la población y en los jóvenes, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural conjuntamente con el Fondo de Fomento Panelero, estructuró el Programa de Promoción al Consumo, el cual se adelanta mediante una campaña en radio y televisión a nivel nacional y regional enfocada a cambiar la percepción del consumidor frente a la panela<sup>7</sup>.

#### **4.1.1.6 Factores de demanda.**

La panela es un bien “inferior”, esto es, que el consumo se disminuye a medida que se incrementan los niveles de ingresos reales del consumidor. La elasticidad ingreso de la demanda ha sido calculada en  $-0,5\%$  por un estudio de Ramos, 2015<sup>8</sup>; es decir, que ante un aumento del 1% en el ingreso de los consumidores, su demanda disminuye en 0,5%. Además, las deficiencias en la calidad de la panela y

---

<sup>6</sup> DANE. MADR. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, IICA. Observatorio Agrocadenas Colombia. Estadísticas Industria Manufacturera. Composición de la producción. Demanda de materias primas y Producción industrial. DANE – Encuesta Anual Manufacturera. 2015.

<sup>7</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agro cadenas Colombia. Exportaciones, importaciones, balanza comercial. 2012 – 2015.

<sup>8</sup> RAMOS, Aurelio. Disponibilidad de los consumidores a la compra de productos ecológicos y sensibilidad de precios en Colombia. Centro Nacional de Consultoría, 2002

la falta de control efectivo sobre el peso y sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la misma, limitan la expansión del mercado interno y la incursión en mercados internacionales. En el mismo sentido, un estudio realizado por Agrocadenas indica que la elasticidad en el precio de la demanda de panela es  $-0,2\%$ , lo cual indica que un incremento en  $10\%$  del precio relativo de la panela con respecto al azúcar, reduce el consumo de panela en  $2\%$ .

#### **4.1.1.7 Perspectivas del Mercado de la panela.**

La agroindustria de la panela ofrece ventajas competitivas frente a otros sectores, debido a las protecciones legales, exenciones tributarias, alto grado de reconocimiento del producto en la población nacional, porque gracias a ser el primer país consumidor de panela en el mundo, prácticamente la totalidad de la producción se consume internamente en el país. Para ello se requiere adaptar y aplicar las nuevas normas que exige que los trapiches se certifiquen a través del INVIMA, y que la panela sea empacada por unidad producida, lo cual tendrá una ventaja de exigir un precio desde un  $30\%$  más por su producto certificado, al compararlo con el precio de la panela producida en trapiches no certificados. Ya que los comercializadores minoristas (Locales, Supermercados, Hipermercados) cada día exigen a sus proveedores de panela, que el producto sea elaborado en trapiches certificados y de diferentes presentaciones cómodas para el cliente, lo que genera otra ventaja para quienes si cumplen con las exigencias normativas<sup>9</sup>.

Actualmente las empresas han incursionado en el desarrollo de nuevos productos, sabores y presentaciones, ejemplo de estos son la panela pulverizada, las aromáticas de panela en Sachet y los nuevos sabores de los cubos como frutos frescos, naranja, canela, maracuyá, limón, cedrón y yerbabuena. Panela pulverizada natural y de sabores como limón, canela, maracuyá, brindan un

---

<sup>9</sup> MORENO, Juan. Producción y comercialización de panela certificada para el consumo humano. Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de posgrado en Gerencia Estratégica, 2012.

portafolio de productos autóctono y tradicionales, que mediante diferentes procesos de automatización brindan la posibilidad de incursionar en nuevos mercados a la altura de productos endulzantes y edulcorantes sintéticos<sup>10</sup>.

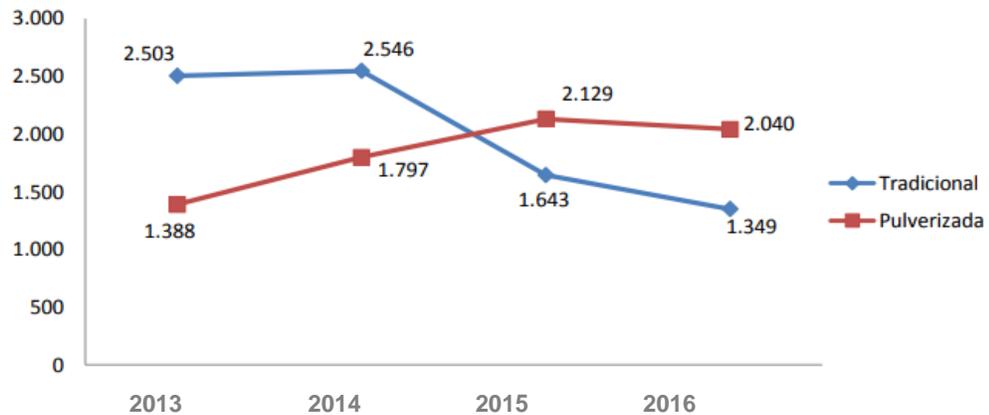
#### **4.1.1.8 Consumo de panela tradicional y pulverizada en Colombia.**

El consumo de panela cumple dos funciones principales: la primera consiste en que sirve como un alimento con características nutritivas especiales. La segunda función consiste en que actúa como un ingrediente edulcorante o endulzador de otros alimentos. El consumo de panela en los hogares está siendo desplazado por otros productos sustitutos directos como el azúcar y los edulcorantes sintéticos, e indirectos como las bebidas gaseosas y los refrescos artificiales de bajo valor nutritivo. La panela ha perdido gradualmente su participación en la canasta de alimentos de los colombianos, especialmente en la de hogares urbanos de ingresos medios y altos. De acuerdo a FEDEPANELA, en el año 2015 y trascurso del 2016 ha tenido un incremento en el consumo de panela en los colombianos gracias a los incentivos a través de la publicidad

---

<sup>10</sup> García M. Gabriel A. Proyecto de prefactibilidad para un plan de negocios en la diversificación de productos de la panela en una finca productora de caña de azúcar. Tesis. Colegio mayor de nuestra señora del rosario. Facultad de economía. Especialización en evaluación y desarrollo de proyectos. Bogotá 2015.

Figura 1. Consumo de panela tradicional y pulverizada.



Fuente. DANE 2016

En la figura 1, se observa el consumo de la panela tradicional (bloque, redonda y pastilla) y de la panela pulverizada, donde se determina que la panela tradicional hasta el año 2014 tuvo un consumo significativo, casi del 70% aproximadamente más con respecto al consumo de la panela pulverizada; también se resalta el crecimiento continuo de consumo que ha tenido la panela pulverizada dentro del periodo 2014 al 2016 que aproximadamente ha sido de un 68%, pero no se puede decir lo mismo de la panela tradicional ya que ha tenido una disminución del 52% aproximadamente. Esto se debe al cambio de cultura con respecto a la forma de adquirir y consumir el producto gracias al impulso y enfoque que le dio los entes competentes al producto<sup>11</sup>.

Teniendo en cuenta las tendencias actuales y las constantes variaciones en las condiciones del mercado, sumado a los adelantos que en términos tecnológicos han venido implementando todos los sectores de la economía, el sector panelero no se puede quedar relegado a sus tradicionales formas de producción, si quiere ser

<sup>11</sup> DANE. (2016). Departamento Nacional de Estadística. Producción de panela tradicional y pulverizada en Colombia. Bogotá.

<sup>12</sup> CONGRESO DE COLOMBIA (1990). LEY 40 DE 1990. "Por la cual se dictan normas para la protección y desarrollo de la producción de la panela y se establece la cuota de fomento panelero". FEDEPANELA. Diario Oficial. Bogotá, D.E., 4 de diciembre de 1990.

competente, requiere actualizarse a los actuales desafíos, incursionando en el desarrollo de nuevos productos que hagan peso a la competencia y se conviertan en productos de valor agregado para el consumidor.

## **4.2 ASPECTOS NORMATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN COLOMBIA**

### **4.2.1 Leyes y decretos.**

**Ley 40 de 1990**<sup>12</sup>. Por la cual se dictan normas para la protección y desarrollo de la producción de la panela y se establece la cuota de fomento panelero.

**Ley 788 de 2002**<sup>13</sup>. Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal de orden nacional y territorial, gravó la panela con un IVA de 7%, a partir del 1º de enero de 2003.

**Decreto número 1774 de 2004**<sup>14</sup>. Del ministerio de agricultura y desarrollo rural: (junio 2) Por el cual se crea la Comisión Nacional Intersectorial para la Vigilancia de la Calidad de la Panela.

### **4.2.2 Resoluciones**

**Resolución número 2546 de 2004 del ministerio de salud.** Por la cual se establece el reglamento técnico de emergencia a través del cual se señala los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para el consumo humano y se dictan otras disposiciones.

---

<sup>13</sup> CONGRESO DE COLOMBIA (2001). Ley 788 de 2002. "Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal de orden nacional y territorial ". Diario Oficial. Bogotá, D.E., 27 de diciembre de 2002.

<sup>14</sup> MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2004). Decreto número 1774 de 2004. "Por el cual se crea la Comisión Nacional Intersectorial para la Vigilancia de la Calidad de la Panela". FEDEPANELA. Diario Oficial No. 45.568, de 3 de junio de 2004.

**Resolución número 779 de 2006 del ministerio de protección social**<sup>15</sup>. Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano y se citan otras disposiciones.

**Resolución número 3462 de 2008 del ministerio de protección social.** Por la cual se modifica el párrafo del artículo 9° y el artículo 15 de la Resolución 779 de 2006 y se dictan otras disposiciones.

**Resolución 2008029671 de 2008 del Invima.** Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos Por la cual se establece el procedimiento para la Inscripción de los Trapiches Paneleros y las Centrales de Acopio de Mieles Vírgenes procedentes de Trapiches Paneleros.

**Resolución número 0432 de la superintendencia de industria y comercio:** “Por la cual se elimina la obligatoriedad de algunas Normas Técnicas Colombianas Oficiales Obligatorias”.

#### **4.2.3 Partidas arancelarias.**

**Partidas arancelarias de la panela 17.01.11.10.00.** Para facilitar el comercio internacional de la panela, disminuir costos en las operaciones y hacer más ágil la comparación y el análisis de las estadísticas, el Comité del Sistema Armonizado de la Organización Mundial de Aduanas (OMA), adoptó una enmienda para la partida 17.01, que permitirá que la panela cuente con su propia sub partida arancelaria.

#### **4.2.4 Normas sanitarias para la producción de panela.**

En la industria panelera se requiere de la implementación de normas requeridas para la calidad e inocuidad del producto final<sup>16</sup>. Existen en la actualidad

---

<sup>15</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (2006). Resolución número 779 de 2006. “Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela”. FEDEPANELA. Diario Oficial No. 46.223, de 17 de marzo de 2006.

<sup>16</sup> MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (2004). Resolución No. 0002546 de 2004. “Por la cual se señalan los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano”. Bogotá, D. C., 6 de agosto de 2004.

certificaciones y aprobaciones que deben tramitarse y solicitarse a los entes competentes encargados de su expedición:

Tabla 1. Certificaciones y aprobaciones

Nombre	Descripción
Buenas prácticas de manufactura “BPM”	Son todas las acciones tendientes a reducir los riesgos microbiológicos, físicos y químicos en la producción y beneficio de la caña panelera
Resolución 779 de 2006 del ministerio de protección social	“Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano y se dictan otras disposiciones”
Aprobación de INVIMA “Instituto nacional de Vigilancia de medicamentos y alimentos	Solicitud de visita para la emisión del concepto sanitario que avala (infraestructura y procesos según 779)

Fuente. El Autor

#### 4.2.4 Adecuación de áreas productivas según normas.

Para dar cumplimiento a los requerimientos de las Aprobaciones y Certificaciones es necesario invertir en la mejora o reemplazo de elementos y estructuras que no cumplen las condiciones.

**Infraestructura.** En este grupo se da a conocer las recomendaciones que debe cumplir el sitio donde se encuentra ubicado el trapiche panelero. Las modificaciones quedan adaptadas para cualquier otra línea de producción a base de caña de azúcar.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de infraestructura

NOMBRE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
Modificación de las instalaciones sanitarias	De acuerdo a la resolución 779 de 2006
Modificaciones para las condiciones de saneamiento	De acuerdo a la resolución 779 de 2006
Reconstrucción de disposición de residuos sólidos	De acuerdo a la resolución 779 de 2006
Modificación de la sala de moldeo, empaque y almacenamiento	De acuerdo a la resolución 779 de 2006

Fuente. El Autor

#### **4.2.5 Normas de Calidad.**

El Ministerio de Salud en la resolución número 2284 y la norma Icontec NTC 1311 de Productos Agrícolas y el ministerio de protección social exigen que la producción panelera cumpla con los requisitos de calidad mostrados en la tabla 3 y tabla 4.

Tabla 3. Características físico-químicas de productos a elaborar

REQUISITO	MÍNIMO	MÁXIMO
Azúcares reductores expresados en glucosa (%)	5,5	12,0
Azúcares no reductores expresados en sacarosa (%)	73,0	83,0
Proteínas, en % (Nx6,25) N : Nitrógeno	0,2	-
Humedad (%)	-	Bloques 9 y Pulverizada 2
Cenizas (%)	0,8	1,9
Plomo ( <sup>mg</sup> /kg.)	-	0,2
Arsénico ( <sup>mg</sup> /kg.)	-	0,1
Colorantes	Negativo	
SO <sub>2</sub>	Negativo	
Color	Diferentes tonos de amarillo, pardo o pardo oscuro	

Fuente: Resolución 2284 del Ministerio de la Salud y Norma ICONTEC NTC 1311

Tabla 4. Requisitos microbiológicos

REQUERIMIENTO	N	M	M	c
Recuento de hongos y levaduras por gramos de panela	3	200	500	2
<b>N:</b> número de muestras		<b>M:</b> valor máximo permitido		
<b>m:</b> parámetro normal		<b>c:</b> número de muestras aceptadas con el valor M		

Fuente: Resolución 2284 del Ministerio de la Salud y Norma ICONTEC NTC 1311

#### 4.2.6 Ensayos.

La norma de calidad de la panela<sup>17</sup>, especifica que se deben utilizar ciertas técnicas de laboratorio para la determinación de los parámetros de calidad de la panela, las cuales se muestran en la tabla 5.

<sup>17</sup> NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. ICONTEC NTC 1311. PRODUCTOS AGRÍCOLAS PANELA. Normas para la elaboración y comercialización de panela. 19 de agosto de 2009.

Tabla 5. Técnicas empleadas para la determinación de los parámetros de calidad de la panela

PARÁMETRO	TÉCNICA
Humedad	Secado en estufa normal a 102 °C durante tres horas
Cenizas	Calcinación a 550 °C durante seis horas
Proteína	Método Kjeldahl (semi-micro análisis), sistema Kjeltec
Azúcares	Método volumétrico Lane-Eynon con hidrólisis enzimática de la sacarosa previa a la titulación
Arsénico	Espectrofotometría de Absorción Atómica mediante generación de hidruros LD 2 µg/L
Plomo	Espectrofotometría de Absorción Atómica LD 0.05 mg/L
Colorantes	Extracción acuosa y separación por Cromatografía de Capa Delgada en silicagel con estándares de Tartrazina No. 6, Amarillo Queso No. 6 y Amarillo Huevo

Fuente: Proexport Colombia, 1998

### 4.3 ASPECTOS OPERATIVOS GENERALES DE LA PRODUCCIÓN DE PANELA EN COLOMBIA

#### 4.3.1 Descripción.

El proceso completo se compone por las etapas de Corte, Apronte, Extracción, Pre-limpieza, Clarificación, Evaporación y concentración, Batido y punteo, Vertimiento del batido, molde y empaque<sup>18</sup>.

#### 4.3.2 Etapas

**CORTE DE LA CAÑA.** Se debe realizar cuando la caña alcanza el mayor contenido de sólidos solubles, y el nivel de sacarosa es máximo entre 12 y 30 meses. Esto se determina por el índice de madurez, el cual se calcula con el uso del refractómetro de campo, tomando muestras de jugo en el sexto o séptimo entrenudo del tercio superior (Brix terminal) y del tercio inferior (Brix basal), luego se divide el Brix terminal con el Brix basal, para determinar el estado de madurez de la caña así: °B terminal/°B basal, si esta relación se encuentra entre 0.85 – 1, la caña tiene una madurez óptima para la molienda (MADR, 2002).

<sup>18</sup> Superintendencia de Industria y Comercio. (2015). Estudio de mercadeo. Cadena productiva de la panela en Colombia. Recuperado el 11 de septiembre de 2014, de <http://www.sic.gov.co/documents/10157/1600658/Panela2012.pdf/e33f1254-ef41-4359-9e64-46efde033871>

Figura 1. Corte de caña de azúcar



**APRONTE.** Según CIMPA<sup>19</sup>.; el apronte se refiere a las acciones de recolección de caña cortada, la cual se transporta desde el sitio de cultivo hasta el trapiche y se almacena en el depósito, el tiempo entre el corte y extracción de los jugos en el molino no debe ser superior de tres a 5 días; puesto que al sobrepasar este tiempo se presenta el incremento en el contenido de azúcares reductores, lo cual afecta la eficacia del proceso de limpieza y se obtendrá una panela de consistencia excesivamente blanda (melcochosa).

Figura 2. Apronte



---

<sup>19</sup> CIMPA (2012), Convenio ICA-HOLANDA de Investigación y Divulgación para el mejoramiento de la Industria Panelera. Manual para la selección, montaje y operación de los equipos de molienda para la producción de panela. Barbosa. Santander.

**MOLIENDA.** Es el paso de la caña a través del molino Amaga 10½ en el cual se procesará 1.700 kg de caña/h, con esta operación se obtiene un jugo o guarapo crudo como producto principal y bagazo húmedo verde (40% humedad) que se emplea como combustible para la hornilla.

Figura 3. Extracción del jugo de caña de azúcar.



Figura 4. Jugo de caña de azúcar extraído.



**Pre-limpieza.** Consiste en eliminar por medios físicos y a temperatura ambiente (22°C) el material grueso con el que sale el jugo de la caña del molino y parte de las impurezas menores dispersas en el jugo. El principio de separación que se utiliza en el pre limpiador es la diferencia de densidades existentes entre las impurezas y el jugo. Las impurezas más pesadas como las partículas de tierra, bagazo, lodo y arena se precipitan hacia el fondo del pre limpiador, y las livianas, como el bagacillo, hojas, insectos, etc., se separan simultáneamente por flotación (CORPOICA, 2007)

Figura 5. Pre-limpieza del jugo de caña de azúcar.



**Clarificación.** Este proceso se realiza mediante la adición de cortezas vegetales floculantes como balso, cadillo, entre otras. En esta parte del proceso se realiza el ajuste de pH, que debe fluctuar entre 5.6 y 5.8, para ello se adiciona cal grado alimentario, que evita la hidrólisis de la sacarosa y mejora la eficiencia del proceso, porque desnaturaliza impurezas y material coloidal, las cuales pasan a hacer parte de la cachaza, subproducto que se aprovecha en alimentación animal.

Según Prada (2002) en la primera etapa se agrega una solución mucilaginoso preparada disolviendo en agua la corteza del balso previamente macerada (8 L de agua tibia por 1 kg corteza). La cantidad de la solución utilizada es de 2.5% del volumen del jugo a limpiar. Cuando el jugo alcanza una temperatura de 45 °C, se agrega las 3/4 partes de la solución total, se agita fuertemente para lograr una buena mezcla con el jugo, dejando reposar y se retirando la cachaza negra. Posteriormente cuando se alcanza una temperatura de 60 °C se agrega el 1/4 faltante y se comienza a formar una segunda capa conocida como cachaza blanca, más liviana que la anterior, que se debe remover en el menor tiempo posible, ya que

si los jugos alcanzan la ebullición es difícil retirarla y se diluye en el jugo, volviendo a la panela susceptible al crecimiento de hongos y levaduras.

El grado de acidez de los jugos es un factor importante a monitorear en el proceso de elaboración de la panela, siendo el pH el indicativo de ese grado de acidez.

Con el fin de controlar este parámetro se utiliza cal grado alimentario en forma de lechada, es decir una suspensión de cal apagada en agua, en concentraciones de 100 a 150 gr de cal/L de agua.

Figura 6. Clarificación del jugo de caña de azúcar



**Evaporación y concentración.** En esta etapa se realiza la evaporación del agua aumentando la concentración de azúcares en los jugos. Cuando éstos alcanzan un contenido de sólidos solubles cercano a los 70 °Brix (104 °C) (Max 120°C) adquieren consistencia de mieles que pueden ser utilizadas para consumo humano o continuar concentrándolas hasta el punto de panela. Durante esta etapa se elimina cerca del 90% del agua presente, y los jugos permanecen a la temperatura de ebullición del agua. Aprovechando el cambio de fase del agua (líquido a vapor) así pasando los jugos mencionados en miel de panela; La fase final del proceso se hace en la paila punteadora para que la miel tome color.

Figura 7. Evaporación y concentración del jugo de caña de azúcar.



**Batido y punteo.** El punteo para la panela en bloque se realiza de 118 a 125 °C donde se alcanza una concentración de sólidos solubles de 90 – 94 °Brix. Mientras que en la panela pulverizada se debe alcanzar una temperatura entre 124 – 126 °C con una concentración de 95 a 98 °Brix<sup>20</sup>. (Quezada, 2007) Para evitar que las mieles se peguen a las pailas se adiciona cera de laurel como agente antiadherente. Esta es una etapa determinante para la finalización del proceso ya que se agitan las mieles una vez alcanzado el “punto de panela” se sacan de las hornillas con el objetivo de hacerles perder su capacidad de adherencia y cambiarles su textura.

---

<sup>20</sup> QUEZADA, W., (2009), “Determinación de parámetros de proceso para la producción y aromatización de miel hidrolizada, panela soluble y azúcar”. Universidad Técnica del Norte. Ecuador 2009.

Figura 8. Batido y punteo del jugo de caña de azúcar deshidratado



**Vertimiento del batido.** Una vez las mieles alcanzan el punto de panela y han sido trasladadas de la hormilla a una batea de acero inoxidable con el objetivo de quitarles la capacidad de adherencia. Al suministrarle aire a las mieles, batiéndolas con un remellón (Mezclador) de madera o acero inoxidable, los niveles de sacarosa crecen y empieza su formación de grano a medida que su la temperatura va disminuyendo<sup>21</sup>.

Figura 9. Vertimiento de las mieles y batido.



---

<sup>21</sup> MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LA PANELA Y OTROS DERIVADOS DE LA CAÑA. Centro de investigación y divulgación para el mejoramiento de la industria panelera en Colombia. CIMPA. Barbosa. Santander 2012.

El batido se realiza constantemente hasta conseguir la textura adecuada para posteriormente hacer el moldeo de la panela, esta etapa se hace bajo la experiencia del operario. En el caso de la panela pulverizada esta operación se realiza hasta obtener gránulos grandes de panela para su posterior reducción de tamaño en el molino de martillos.

**Moldeo.** Esta etapa tiene lugar en el cuarto de moldeo, donde se encuentran las gaveras o conjunto de moldes para la panela en bloque, aquí la panela terminará solidificándose hasta alcanzar la forma definitiva. Cuando la panela alcanza la dureza necesaria se desarman las gaveras y se llevan a un depósito con agua para lavarlas y así puedan ser utilizadas en el próximo lote

**Reducción de tamaño (Pulverización).** Este proceso se llevará a cabo en un pulverizador de panela, con el fin de obtener partículas de panela más uniformes. La reducción de tamaño se hará cuando los gránulos grandes hayan sido enfriados.

**Tamizaje.** Es el método físico para separar los granos más gruesos de los más finos el cual consiste en pasar una mezcla de granos obtenidos en el proceso anterior por medio de un tamiz o colador. El grano más fino pasa por la malla del tamiz y el grueso se queda para otro proceso.

**Rodillo moledor.** Se toma el grano grueso que quedó en el proceso anterior y se pasa por un rodillo giratorio que hace contacto directamente con una base rotatoria en sentido opuesto al rodillo por donde se trituran los granos más gruesos para ser tamizados.

Figura 10. Separación de granos gruesos de los más finos y triturado de grano grueso.

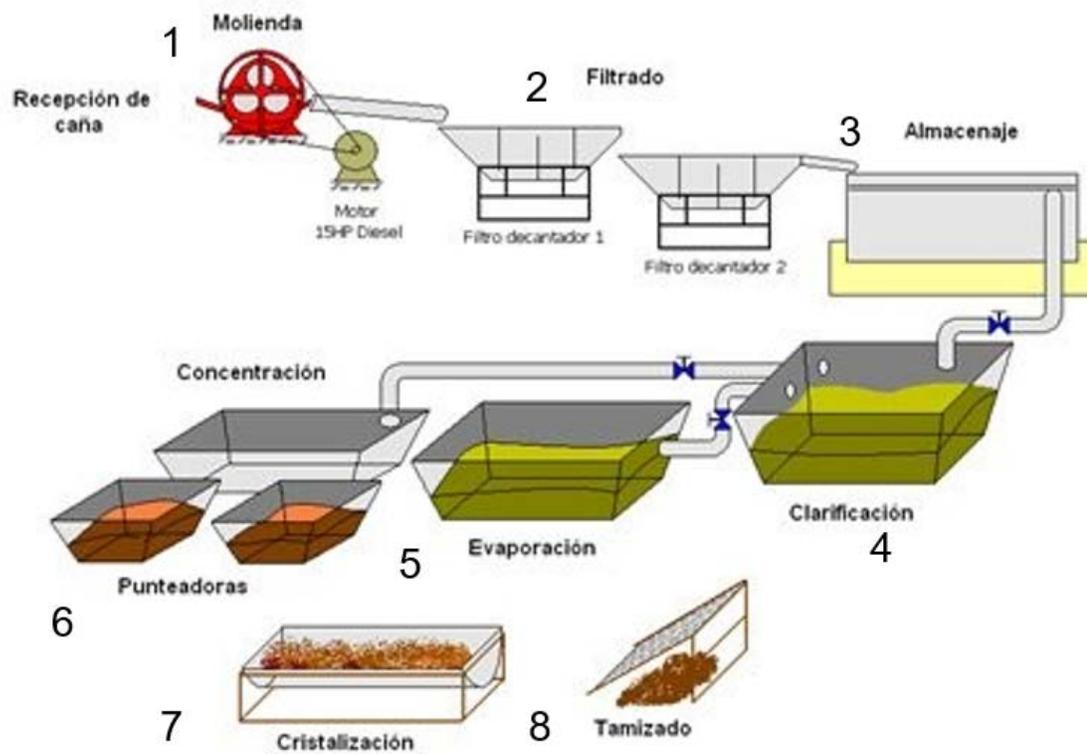


**Secado.** Luego de obtenerse el grano más fino proveniente del proceso de tamizado este ingresa a un cilindro rotatorio en el cual circula aire del medio para secar la panela pulverizada dejando la lista para su empaque

**Empaque.** La panela en bloque se empacará en bolsas de poli olefina termoencogible, la cual toma la forma del producto por acción del calor. Posteriormente se realizará su embalaje en bolsas de papel Kraft en presentaciones de 25 unidades.

En el caso de la panela pulverizada el empaque se realizará en bolsas de polietileno en presentaciones de 500 g y un embalaje en bultos de polipropileno de 50 kg.

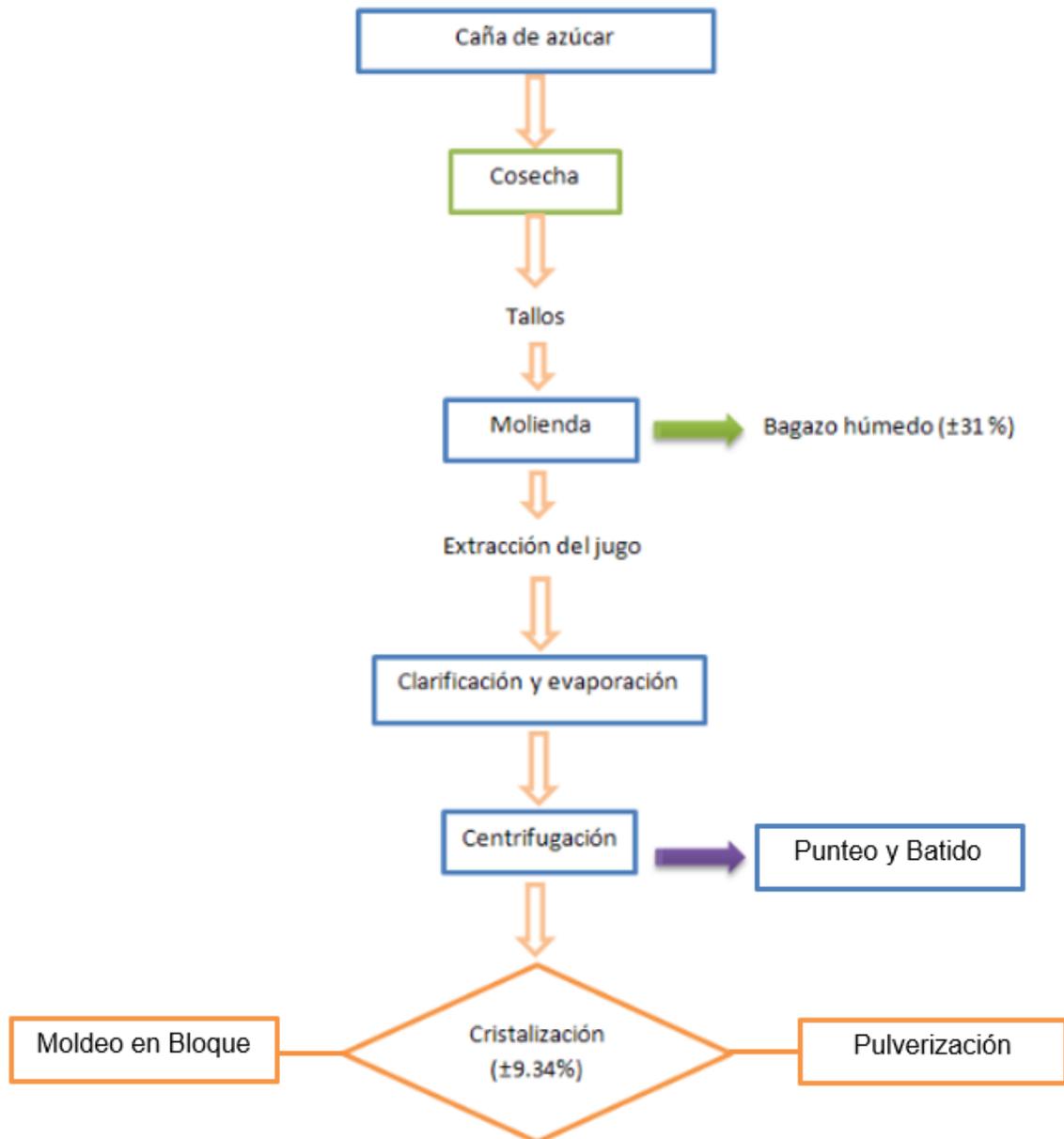
Figura 11. Diagrama de flujo de panela pulverizada



1. Molienda de Caña
2. Filtrado
3. Almacenaje
4. Clarificación
5. Evaporación
6. Punteadoras
7. Cristalización
8. Tamizado

### 4.3.3 Diagrama de flujo. Transferencia de Masa y temperatura

Figura 12. Diagrama de flujo de panela en bloque y pulverizada



## 5. VARIABLES OPERATIVAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

### 5.1 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

A continuación, se indican las variables necesarias para los cálculos de balance de materia y energía. Las fórmulas y metodología de aplicación son las establecidas por CORPOICA<sup>22</sup>.

Tabla 6. Variables para el cálculo de balances de materia y energía

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
<b>C</b>	Cantidad caña molida	<b>Q<sub>sen</sub></b>	Calor sensible
<b>J</b>	Jugo crudo	<b>Q<sub>evp1</sub></b>	Calor latente en la evaporización
<b>B</b>	Bagazo	<b>Q<sub>evp</sub></b>	Calor requerido en la evaporización
<b>Ch</b>	Cachaza	<b>Q<sub>con1</sub></b>	Calor latente requerido en la concentración
<b>JC</b>	Jugo clarificado	<b>Q<sub>con</sub></b>	Calor requerido en la concentración
<b>Bg</b>	Bagacillo	<b>Q<sub>apv</sub></b>	Calor aprovechado
<b>P</b>	Panela	<b>Q<sub>sum</sub></b>	Calor suministrado
<b>Pb</b>	Panela en bloque	<b>Q<sub>req</sub></b>	Calor total requerido
<b>Pp</b>	Panela pulverizada	<b>Q<sub>per</sub></b>	Calor perdido
<b>A</b>	Agua evaporada	<b>m<sub>bs</sub></b>	Masa del bagazo seco
<b>M</b>	Melote	<b>m<sub>bv</sub></b>	Masa del bagazo húmedo
<b>Cp</b>	Capacidad calorífica	<b>m<sub>bh</sub></b>	Masa del bagazo requerido por la hornilla
<b>Q<sub>clr</sub></b>	Calor requerido en la clarificación	<b>H<sub>bv</sub></b>	% de humedad del bagazo verde
<b>M</b>	Masa	<b>H<sub>bs</sub></b>	% de humedad del bagazo seco
<b>Te</b>	Temperatura de ebullición	<b>VCN</b>	Valor calorífico neto del bagazo
<b>Ta</b>	Temperatura ambiente	<b>Aut</b>	Autosuficiencia de la hornilla

**Fuente:** Elaboración propia con base a las cantidades del presente proyecto

<sup>22</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Artículos técnicos sobre el cultivo de la caña y la elaboración de panela. Santander: CORPOICA, 2006.

### 5.1.1 Balance de Masa

Para realizar el balance de materia se toma la siguiente base de cálculo:

- Capacidad de la molienda: 1700 Kg caña/h
- Capacidad de extracción del molino: 60%

Y se realizan los siguientes cálculos:

1. Determinar el jugo obtenido

$$\begin{aligned} \text{Extraccion} &= \frac{J}{C} & J &= C * 60\% & J &= 1700 \frac{\text{Kg}}{h} * 0.6 \\ & & & & J &= 1020 \frac{\text{Kg jugo crudo}}{h} \end{aligned}$$

2. Determinar el bagazo obtenido

$$\begin{aligned} C &= B + J & B &= C - J \\ B &= 1700 \frac{\text{kg caña}}{h} - 1020 \frac{\text{Kg jugo}}{h} \end{aligned}$$

3. Determinar la cantidad de cachaza

$$\begin{aligned} Ch &= C * 4\% & Ch &= 1700 * 0.04 & Ch &= 68 \frac{\text{kg de cachaza}}{h} \end{aligned}$$

4. Determinar Cantidad de jugo clarificado

$$\begin{aligned} JC &= J - Ch & JC &= 1020 \frac{\text{Kg jugo crudo}}{h} - 68 \frac{\text{kg de cachaza}}{h} \\ & & JC &= 952 \frac{\text{Kg jugo clarificado}}{h} \end{aligned}$$

5. Determinar la cantidad de bagacillo

$$\begin{aligned} Bg &= B * 3\% & Bg &= 680 \frac{\text{kg de bagacillo}}{h} * 0.03 \\ & & Bg &= 20.4 \frac{\text{kg de bagacillo}}{h} \end{aligned}$$

6. Determinar la cantidad de melaza

$$M = (Ch - Bg) - ((Ch - Bg) * \left(\frac{^{\circ}BrixCh}{^{\circ}BrixM}\right))$$

$$M = \left(68 \frac{kg}{h} - 20.4 \frac{kg}{h}\right) - \left(\left(68 \frac{kg}{h} - 20.4 \frac{kg}{h}\right) * \left(\frac{21^{\circ}Brix}{41^{\circ}Brix}\right)\right)$$

$$M = 23.22 \frac{kg \text{ de melcocha}}{h}$$

### 5.1.2 Balance de azúcares

#### Cantidad de panela a obtener en el proceso

$$JC = A + P$$

$$P = JC - A$$

$$Pb(93^{\circ} Brix) = 952 \frac{kg}{h} (21^{\circ}Brix) - A(0^{\circ}Brix)$$

$$Pb = \frac{19.9992 \frac{Kg}{h}}{93}$$

$$Pb = 214 \frac{Kg \text{ panela en bloque}}{h}$$

$$Pp(97^{\circ} Brix) = 952 \frac{kg}{h} (21^{\circ}Brix) - A(0^{\circ} Brix)$$

$$Pp = \frac{19.992 \frac{kg}{h}}{93}$$

$$Pp = 206 \frac{kg \text{ panela pulverizada}}{h}$$

#### Cantidad de agua evaporada en el proceso

$$JC = A + P$$

$$A = JC - P$$

$$A = JC - Pb$$

$$A = 952 \frac{Kg}{h} - 214 \frac{kg}{h}$$

$$A = 738 \frac{Kg \text{ Agua}}{h}$$

$$A = JC - P$$

$$A = 952 \frac{Kg}{h} - 206 \frac{Kg}{h}$$

$$A = 746 \frac{Kg \text{ agua}}{h}$$

De acuerdo a los cálculos anteriores de 1.700 kg/h de caña suministrada al molino se obtiene 214 kg de panela en bloque/hora. El rendimiento de panela pulverizada es de 206 kg de panela/hora proveniente de 1.700 kg/h de caña molida.

La producción en la planta se programará de forma intercalada, donde dos días se procesará panela en bloque y 1 día panela en polvo. Este cronograma de trabajo podrá variar de acuerdo a los pedidos realizados por los clientes.

### **5.1.3 Balance de Energía.**

La energía térmica requerida para el funcionamiento de la hornilla en los trapiches paneleros se obtiene a partir de la combustión de bagazo. Según FEDEPANELA<sup>23</sup>. En el proceso se presentan pérdidas de energía debido a tres causas fundamentales:

**Combustión incompleta.** Esta se presenta cuando en la combustión gran parte del carbono contenido en el bagazo al reaccionar con el oxígeno forma monóxido de carbono, el porcentaje de formación de CO es de aproximadamente del 10%.

**Calor sensible de los gases en la chimenea.** Esta pérdida es causada por el exceso de aire en la combustión y por el porcentaje de humedad elevado en el bagazo utilizado en la hornilla, se estima que las pérdidas de calor en la chimenea son del 30%.

**Disipación a través de las paredes y el ducto.** Las pérdidas de calor a través de las paredes son bajas, con un valor aproximado del 7% porque las hornillas se construyen incrustados en la tierra lo cual sirve como aislante, además las paredes son construidas en doble hilada de ladrillo refractario ayudando al aislamiento del calor.

---

<sup>23</sup> FEDERACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE PANELA. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga: CORPOICA.

A continuación, se presentan los cálculos necesarios para obtener el calor requerido en la elaboración de la panela.

#### 5.1.4 El balance térmico de la hornilla.

Puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q_{sum} = Q_{req} + Q_{per} = Q_{apv} + Q_{per}$$

Capacidad calorífica del jugo de caña

$$Cp_j = 4.18 (1 - 0.006Brix_j)$$

$$Cp_j = 4.18 (1 - 0.006 * 21)$$

$$Cp_j = 3.6533 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}$$

Calor requerido en la clarificación

$$Q_{clr} = \frac{m_{jc} Cp_j (T_e - T_a)}{Kg^{\circ}C}$$

$$m_{jc} = \frac{m_p Brix_p}{Brix_j} \quad m_{jc} = \frac{206Kg(97^{\circ}Brix)}{21^{\circ}Brix} = 952 \frac{Kg}{h}$$

$$Q_{clr} = \frac{952 \frac{Kg}{h} (3.6533 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}) (75^{\circ}C - 22^{\circ}C)}{3600}$$

$$Q_{clr} = 51.2 Kw$$

Calor requerido en la Evaporación

$$\Delta H_{v_{89.5^{\circ}C}} = 2284.11 \frac{Kj}{Kg}$$

$$m_{evp} = \frac{m_{clr} Brix_{cj}}{Brix_{evp}}$$

$$m_{evp} = \frac{952 \frac{Kg}{h} (21^{\circ}Brix)}{70^{\circ}Brix}$$

$$m_{evp} = 285.6 \frac{Kg}{h}$$

$$Q_{evp1} = \frac{\Delta H_v (m_{clr} - m_{evp})}{3600}$$

$$Q_{evp1} = \frac{2284.11 \frac{Kj}{Kg} \left( 952 \frac{Kg}{h} - \frac{285.6Kg}{h} \right)}{3600}$$

$$Q_{evp1} = 422.81 Kw$$

Calor requerido en la concentración

$$\Delta Hv_{115^{\circ}C} = 2216.2 \frac{Kj}{Kg}$$

$$Q_{con1} = \frac{\Delta Hv (Kj(m_{evp} - m_p))}{3600}$$

$$Q_{con1} = \frac{2216.2 \frac{Kj}{Kg} \left( 285.6 \frac{Kg}{h} - 206 \frac{Kg}{h} \right)}{3600}$$

$$Q_{con1} = 49 Kw$$

Calor aprovechado

$$Q_{apv} = Q_{clr} + Q_{evp} + Q_{con}$$

$$Q_{apv} = (51.2 + 427.71 + 50.69) Kw$$

$$Q_{apv} = 529.6 Kw$$

Calor suministrado

$$E_{ff} = 40\%$$

$$E_{ff} = \frac{Q_{apv}}{Q_{sum}} 100\%$$

$$Q_{sum} = \frac{Q_{apv}}{E_{ff}} 100\% \quad Q_{sum} = 1.324 K$$

## 5.2 ACTIVIDADES POR TIEMPO Y POR TIPO DE OPERACIÓN

Mediante la observación directa se pudo identificar cuáles son las actividades de cada uno de los actores en el ingenio panelero, identificando cual es la entrada a su proceso y como debe entregar al finalizar su proceso para el siguiente proceso como se identifica en la Tabla 7; de igual manera se identifica los tiempos de los procesos y su frecuencia durante el periodo de visita a uno de los ingenios paneleros ubicados en el área de la Hoya del rio Suarez como se observa en la

Tabla 8, se relaciona el proceso observado tomando los tiempos promediados en la actividad al igual que la frecuencia en la que realizaron la actividad.

Tabla 7. Actividades y Responsabilidades por proceso.

ACTIVIDAD	ENTRADAS	PROCESO	ENTREGA	RESPONSABLE
corteros	caña de azúcar in hoja	Corte caña de azúcar	caña de azúcar cortada	corteros
corteros	caña de azúcar cortada	Alce de caña de azúcar	caña de azúcar en el centro de acopio del potrero	corteros
corteros	caña de azúcar en el centro de acopio del potrero	Transporte caña de azúcar	caña de azúcar transportada	corteros
corteros	caña de azúcar transportada	Recepción y acopio caña de azúcar	caña de azúcar en el centro de acopio del trapiche	presero
presero	caña de azúcar en el centro de acopio del trapiche	Transporte caña de azúcar	caña de azúcar en el molino	presero
presero	caña de azúcar en el molino	Extracción	jugo de caña de azúcar	presero
presero	jugo de caña de azúcar	Pre limpieza	jugo de caña de azúcar limpio	presero
presero	jugo de caña de azúcar limpio	Transporte	jugo de caña de azúcar en las pailas	hornillero
hornillero	jugo de caña de azúcar en las pailas	Clarificación y enalado	jugo de caña de azúcar con minerales y vitaminas	hornillero
hornillero	jugo de caña de azúcar con minerales y vitaminas	Evaporación y concentración	miel de caña de azúcar	panelero
panelero	miel de caña de azúcar	Punto y batido	miel de caña de azúcar en mesas en punto	panelero
panelero	miel de caña de azúcar en punto	Transporte caña de azúcar	miel de caña de azúcar en mesas de moldeo	panelero
panelero	miel de caña de azúcar en mesas de moldeo	Moldeo	miel de caña de azúcar en graveras	panelero
panelero	miel de caña de azúcar en graveras	Enfriamiento	panela	panelero
Punero	Batido de la miel de caña hasta punto de panela	Enfriamiento	panela	panelero
panelero	Cristalización	Enfriamiento	panela	panelero
panelero	Palado o trituración	Enfriamiento	panela	panelero
panelero	Tamizado	Tamizado de panela en polvo	panela en centro de empaque	panelero
	Desecado y Empaque	Empaque	panela empacada	panelero

Fuente. El Autor. Observación Directa

Tabla 8. Pareto de tiempos por procesos

PROCESO	TIEMPO (MINUTOS)	FRECUENCIA RELATIVA (%)	FRECUENCIA ABSOLUTA (%)
Transporte caña de azúcar	118,59	61	61
Enfriamiento	17,33	9	69,9
Alce de caña de azúcar	9,17	5	74,6
Extracción	8,33	4	78,9
Clarificación y encalado	7,1	4	82,6
Punteo y batido	5,99	3	85,7
Tamizado	4,88	3	88,2
evaporación y concentración	4,51	2	90,5
recepción y acopio caña de azúcar	4,17	2	92,6
pre limpieza	3,02	2	94,2
Transporte	2,98	2	95,7
transporte caña de azúcar	2,46	1	97
transporte	1,87	1	97,9
Empaque	1,77	1	98,9
corte caña de azúcar	1,69	1	99,7
Transporte	0,53	0	100

Fuente: El Autor. Observación Directa.

Tabla 9. Diagrama de Flujos de tiempos por actividad.

No	ACTIVIDAD	●	□	▽	⇒	D	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	
1	corte caña de azucar	●	□	▽	⇒	D	1,7	0	
2	alce de caña de azucar	●	□	▽	⇒	D	9,2	0	
3	transporte caña de azucar	○	□	▽	⇒	D	32	52	
4	recepcion y acopio caña de azucar	○	□	▽	⇒	D	4,2	0	
5	transporte caña de azucar	○	□	▽	⇒	D	2,5	22	
6	extraccion	●	□	▽	⇒	D	8,3	0,9	
7	pre limpieza	●	□	▽	⇒	D	3	0	
8	transporte	○	□	▽	⇒	D	0,5	9,4	
9	clasificacion y encalado	●	□	▽	⇒	D	1,9	1	
10	evaporacion y concentracion	●	□	▽	⇒	D	1,2	1,5	
11	punteo y batido	●	■	▽	⇒	D	1,6	0	
12	transporte	○	□	▽	⇒	D	3	2,7	
13	moldeo	●	□	▽	⇒	D	4,9	0	
14	enfriamiento	●	□	▽	⇒	D	17,3	0	
15	transporte	○	□	▽	⇒	D	1,9	10,3	
16	empaque	●	□	▽	⇒	D	1,8	0	
	TOTAL		49	0	1	5	0	94,953	99,726

Fuente: Elaboración propia. Observación Directa.

## 5.3 VARIABLES DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

### 5.3.1 Microcontrolador (Arduino)

Figura 13. Arduino Uno.



Placa de desarrollo, compuesta por un microcontrolador, puertos digitales, análogos de entrada y salida, elementos pasivos y activos. Capaz realizar procesamiento de datos digitales, de comunicación y control<sup>24</sup>.

Enfocado en facilitar el uso de la electrónica y de la programación de sistemas embebidos. Posee una memoria donde se guarda el programa que ejecuta. Los Arduino más populares son:

- Arduino uno
- Arduino mega
- Arduino Leonard
- Arduino Galileo

### 5.3.4 HMI (Human Machine Interface).

Es una interfaz hombre- máquina donde se hace la interacción entre los humanos las maquinas usualmente aplicado a los procesos de automatización.

---

<sup>24</sup> DOOLITTLE J. SEYMOUR. El laboratorio del ingeniero mecánico. Hispano americana - buenos aires. 1962

Los paneles SIMATIC ofrecen diversas funcionalidades para optimizar los procesos con pantalla de buena resolución estable y robusta con el objetivo de crear interfaces que permiten la integración en los sistemas de automatización.

### **5.3.5 Sensores de temperatura.**

**Resistivos.** Están basados en como depende la resistividad de un conductor con la temperatura caracterizadas por un coeficiente térmico positivo, también hay NTC basados en coeficientes térmicos negativos

### **5.3.6 Sensores de Humedad.**

**DTH1.** Sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

### **5.3.7 Consumo de potencia.**

Establece la potencia necesaria para accionar el molino. Normalmente se expresa en caballos de fuerza [hp] y técnicamente en kilovatios [kW]. De acuerdo con la capacidad del molino y el nivel de extracción la potencia del motor puede estimarse en 8 kW por cada tonelada de caña por hora, para una extracción en peso de 60 kg de jugo por cada 100 kg de caña<sup>25</sup>.

## **5.4 ACTUADORES**

**Dirección del movimiento (Giratorio, Oscilante, Rotativo).** Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza

---

<sup>25</sup> GARCÍA H., Abarca A., y Moreno F. Establecimiento de los parámetros que determinan el comportamiento de los molinos paneleros. Revista ICA. 1977.

motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

#### **5.4.1 Actuador Rotatorio.**

El objetivo final del actuador rotatorio es generar un movimiento giratorio. El movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o  $90^\circ$ ; fracción de vuelta para ángulos diferentes a  $90^\circ$ , por ejemplo  $180^\circ$ ; y de actuadores multivuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados.

La variable básica a tomar en cuenta en un actuador rotatorio es el torque o par; también llamado momento. Y es expresado en lb-in, lb-pie, N-m, etc.

## **6. VARIABLES DE DISEÑO PARA UNA MÁQUINA PULVERIZADORA DE PANELA.**

### **6.1 PARÁMETROS DE CONTROL PARA LAS ETAPAS DE BATIDO, PULVERIZACIÓN Y CERNIDO.**

Para la determinación de los parámetros relacionados con las etapas de batido, pulverización y cernido, se consultaron fuentes bibliográficas para analizar los diferentes métodos y equipos utilizados para el cálculo de las variables asociadas a cada uno de los procesos<sup>26</sup>. Teniendo en cuenta que en algunas referencias los métodos aplicados requerían del uso de tecnología avanzada o no disponible de manera asequible, se concluye que es necesario realizar pruebas de campo para corroborar técnica y matemáticamente los datos aportados por los encargados de la supervisión de los procesos. De esta manera se utilizaron los elementos tecnológicos y materiales que estuvieron a la medida de las variables que se deseaban obtener llegando a los resultados que se describen en los numerales siguientes.

#### **6.1.1 Determinación de la velocidad del batido.**

##### **Equipos utilizados**

- Recipiente cilíndrico de acero inoxidable
- Espátula plástica
- Estufa a gas

**Insumos:** Batidillo y polvo de Laurel

---

<sup>26</sup> Moreno, J., Orozco, E. (2001). Etapas de la Producción de Panela. El proceso de Clarificación de la Panela. Pág: 2-14.

**Método utilizado.** Experimental y Observación Directa. Datos iniciales obtenidos con la descripción del supervisor de procesos en planta.

**Procedimiento.**

1. Se vierte el batidillo en el recipiente de acero inoxidable.
2. Iniciar a revolver con la espátula plástica contabilizando la cantidad de vueltas (revoluciones) que se realizan en un minuto.
3. Registrar en la tabla de control la cantidad de vueltas por minuto en diferentes tiempos.

**Resultados.** Los resultados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 10. Determinación de la velocidad del batido.

Prueba	Velocidad 1[rpm]	Velocidad 2[rpm]	Velocidad 3[rpm]	Velocidad 4[rpm]	Velocidad 5[rpm]	Promedio [rpm]
1	75	80	72	77	78	76,0
2	73	69	80	75	74	74,3
3	78	73	73	77	76	75,3
4	74	76	76	74	74	75,0
						75,1

Fuente. El Autor.

Se realizaron un total de 5 pruebas; registrando en promedio una velocidad o revoluciones por minuto de 75 [rpm]. Se pudo corroborar que factores como la temperatura del batidillo pueden ejercer influencia en la velocidad de batido manual ya que mientras la temperatura es mayor la velocidad de batido manual también y la velocidad de batido disminuye cuando el batidillo comienza a disminuir temperatura,

ya que la consistencia del mismo es de mayor densidad. Teniendo en cuenta lo anterior y considerando un factor de seguridad del 30% se concluye que la velocidad promedio de rotación sería de 100 [rpm].

### **6.1.2 Determinación de los tiempos de batido para llegar al punto de panela.**

#### **Equipos utilizados**

- Recipiente cilíndrico de acero inoxidable
- Espátula plástica
- Estufa a gas
- Protoboard
- Termómetro digital LM35
- Arduino 1.
- Computador Portátil

**Insumos:** 3000 ml de Batidillo y polvo de Laurel

**Método utilizado:** Experimental y Observación Directa. Datos iniciales obtenidos con la descripción del supervisor de procesos en planta.

#### **Procedimiento.**

1. Se conecta el Arduino y el sensor a la Protoboard.
2. La conexión realizada y el Arduino se conecta al computador y se programa para medición.
3. Se vierte el batidillo en el recipiente de acero inoxidable.
4. Medir temperatura inicial del batidillo
5. Iniciar a revolver con la espátula plástica contabilizando el tiempo que demora el batidillo para llegar al punto de panela.

6. Registrar en la tabla de control el tiempo demorado para llegar al punto de panela.
7. Realizar el procedimiento de toma de datos a 5 pruebas diferentes y estimar promedio.

**Resultados.** Los resultados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 11. Determinación de los tiempos de batido

Parámetro	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio
Temperatura Inicial (°C)	135	130	129	132	135	135
Temperatura Final [°C]	66	67	68	64	66,25	66,25
Punto de panela (Tiempo [min])	17	18	18	17	17,50	17,50

Se realizaron un total de 5 pruebas; registrando en promedio un tiempo de 17,5[*min*] para llegar al punto de panela.

Inicialmente el supervisor de planta indicó que para llegar al punto de panela se requiere de un tiempo de batido que oscila entre los 15 y 25 minutos.

Mediante las pruebas realizadas se determinó que el tiempo para llegar a la velocidad de batido se encuentra en el intervalo de estimación empírica del supervisor de planta.

Figura 14. Registro fotográfico.



1. Inicio del Batido (0 min)

2. Etapa media (8 min)

3. Punto de Panela (17,5 min)

Datos observación directa en Planta se tienen los siguientes datos:

Tabla 12. Relación Temperatura de punteo – Velocidad de Batido – Tiempo de Batido

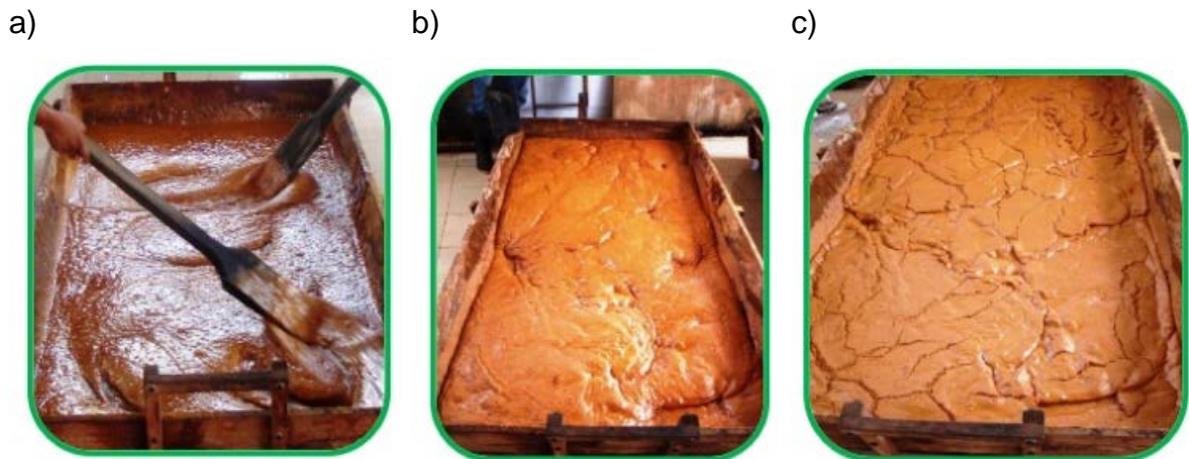
REPETICIONES	Temperatura de punteo (°C)	**Velocidad de batido (rpm)	Tiempo de batido (min)		
			B	R	B-E
I	124 -125-126	95 - 125	1:15	1:15	2:30 - 3:30
II	124 -125-126	95 - 125	1:15	1:15	2:30 - 3:30
III	124 -125-126	95 - 125	1:15	1:15	2:30 - 3:30

Fuente: Procesos Trapiche Hoya del Rio Suarez.

Los datos obtenidos experimentalmente están en el intervalo de tiempos desarrollados operativamente en planta.

### 6.1.3 Análisis de la influencia de la aceleración del cambio de temperatura del batidillo

Figura 15. Cambio en el batidillo por agitación mecánica.



Fuente: Fotografías del proceso. Influencia de la aceleración del cambio de la temperatura.

Para determinar la influencia de la aceleración del cambio de temperatura, se realizó experimentalmente mediante el batido con una herramienta contrastando con el enfriamiento natural sin aplicar esfuerzo mecánico<sup>27</sup>. El experimento se realizó dejando reposar el batidillo en el recipiente hasta que se alcanzara la temperatura recomendada para el inicio del punto de panela (cristalización).

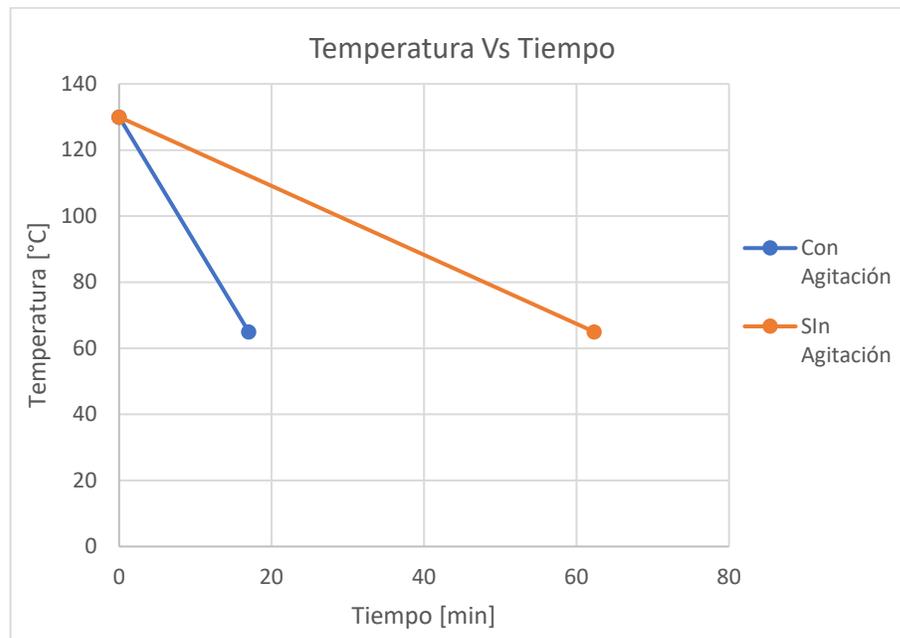
Con el experimento realizado se concluyó que efectuando agitación del batidillo se aumenta la transferencia de calor y por lo tanto, se reduce el tiempo para que el batidillo alcance el punto de panela

---

<sup>27</sup> López, F. (1948). Manual práctico de fabricación de azúcar de caña, mieles y siropes invertidos con su control técnico – químico. Cultural S.A. Habana, Cuba.

A continuación, se grafican los datos obtenidos teniendo en cuenta las dos observaciones realizadas: Tiempo para alcanzar el punto de panela sin intervención mecánica y tiempo para alcanzar el punto de panela con intervención mecánica.

Figura 16. Comparación influencia mecánica en el cambio de temperatura del batidillo



Fuente: Autor.

La agitación o intervención mecánica reduce el tiempo en el cual el batidillo llega al punto de cristalización. Se pudo corroborar que, en el caso de la panela sólida, en el cual no existe intervención mecánica, el batidillo se solidifica por la humedad que contiene este tipo de panela y la temperatura para el secado es la temperatura ambiente<sup>28</sup>.

Con la intervención mecánica, en el caso del batidillo para producir panela pulverizada, en este proceso se retira humedad mediante la transferencia de calor del medio batido con el ambiente, lo cual produce que los granos del batidillo pierdan consolidación mediante la ausencia o mínima humedad. Esto genera que

<sup>28</sup> Cardoza, K. (2014). Propuesta de norma técnica para la panela granulada y proceso para su elaboración y aprobación. Universidad de Piura. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Repositorio institucional PIRHUA.

los granos se solidifiquen de manera independiente y no conglomerada como en el caso de la panela sólida, en el cual el agua y la humedad permiten que se desarrolle una estructura entrelazada de los enlaces de las mieles de la caña y del agua.

#### **6.1.4 Determinación de las características de operación para la etapa de Batido (motor, batidor, ventilador).**

##### **6.1.4.1 Determinación de las características del Motor.**

Para dimensionar las características funcionales del motor y el consumo de potencia requerida por el agitador mecánico se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- Tipo de Fluido
- Dimensiones principales del tanque y de las paletas: Diámetro del tanque ( $D_t$ ), Diámetro de las paletas ( $D_a$ ), altura del líquido ( $H$ , distancia del fondo del tanque hasta las paletas ( $E$ ) y dimensiones de las paletas.
- Viscosidad y densidad del fluido.
- Velocidad de giro del batidor ( $N$ ).
- Diámetro del batidor.

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y si se proyectaron placas deflectoras en el diseño inicial.

**Tipo de Fluido.** En mecánica de fluidos<sup>29</sup>, se describen dos tipos de fluidos: newtonianos y no newtonianos. Al respecto de los fluidos newtonianos se tipifican aquellos cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo. En contraposición un fluido No Newtoniano es aquel cuya viscosidad varía con la

---

<sup>29</sup> BARRERO RIPOLL, A., PÉREZ-SABORID SÁNCHEZ-PASTOR, M. "Fundamentos y aplicaciones de la Mecánica de Fluidos" Ed. McGraw Hill ( 2005 )

temperatura y la tensión cortante que se le aplica, es decir que no tiene un valor de viscosidad definido y constante.

En el caso de los fluidos que se manejan en el proceso de la panela, dependiendo del proceso se esté realizando y la etapa en que se encuentre se podría hablar de un fluido con propiedades multivariantes, ya que la temperatura inicialmente se aumenta para posteriormente disminuirse.

En el caso del batidillo se podría considerar un fluido newtoniano si se considera el efecto de la temperatura sobre la viscosidad y el efecto combinado de la concentración de sólidos de la caña solubles en el agua contenida en cada etapa del proceso.

**6.1.4.2 Dimensiones principales del tanque y de las paletas.** Calcular en primera instancia las dimensiones básicas del recipiente de altura y tiene por objeto determinar las dimensiones básicas del recipiente donde se realiza el batido.

Se inicia el cálculo a partir de la densidad y masa contenidas en el recipiente.

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} = \frac{2[kg]}{540 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V_m = 0,003794[m^3]; 3,794[Lt]$$

Donde  $V_m$  es el volumen ocupado por el material a batir,  $m_m$  es la masa del material y  $\rho_m$  es la densidad del mismo. Habiendo realizado este cálculo se procede a realizar el cálculo de las dimensiones partiendo de la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

Y tomamos que:

$$D = 2H$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$D = 20 [cm] \text{ y } H = 10[cm]$$

El dimensionamiento funcional tiene por objeto determinar las dimensiones básicas del recipiente donde se realiza el batido.

Se inicia el cálculo a partir de la densidad y masa contenidas en el recipiente.

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} = \frac{2[kg]}{540 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V_m = 0,003794[m^3] ; 3,794[Lt]$$

Donde  $V_m$  es el volumen ocupado por el material a batir,  $m_m$  es la masa del material y  $\rho_m$  es la densidad del mismo. Habiendo realizado este cálculo se procede a realizar el cálculo de las dimensiones partiendo de la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

Y tomamos que:

$$D = 2H$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$D = 20 [cm] \text{ y } H = 10[cm]$$

#### **6.1.4.3 Cálculo de la potencia del motor.**

Para realizar el cálculo de la potencia del motor se requiere determinar qué tipo de fluido, se encontró que el batidillo exhibe un comportamiento de fluido newtoniano<sup>[1]</sup>. Basados en información existente de las propiedades viscosas del fluido <sup>[1]</sup>, se procede a realizar los cálculos.

En primera instancia se calcula el Reynolds con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu}$$

Datos iniciales:

Densidad:  $1220 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

Viscosidad:  $0,0017 [Pa * s]$

Velocidad angular:  $100[rpm]$

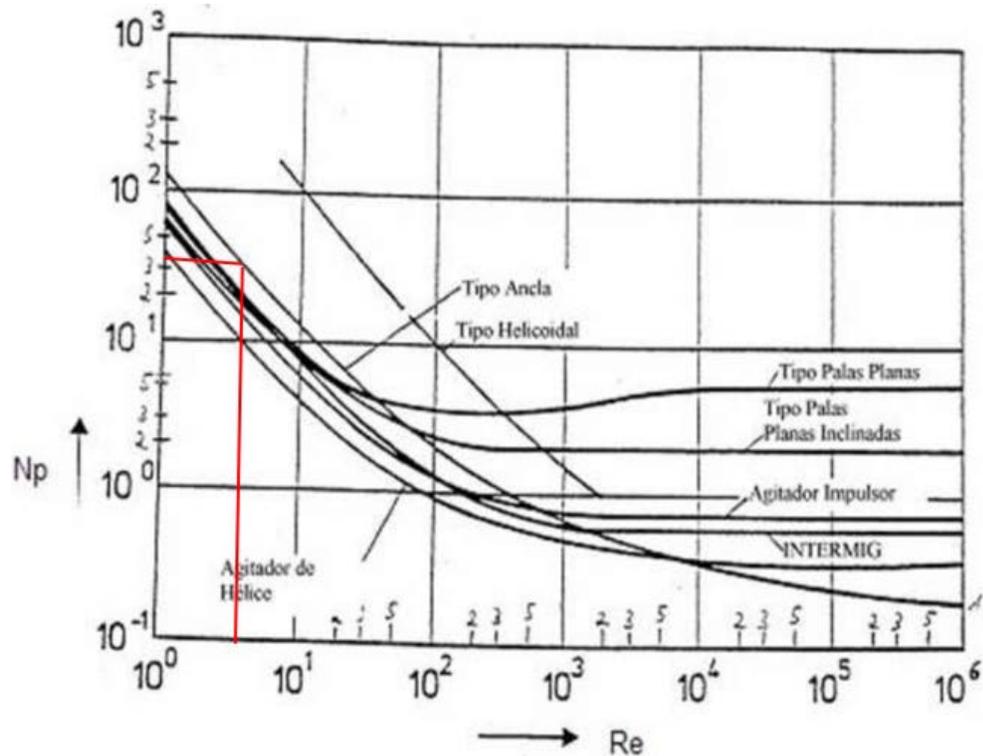
Diámetro del agitador:  $0,1964[m]$

Reemplazando:

$$Re = \frac{100 * (0,1964)^2 * 1220}{60 * 0,0018} = 43573$$

Para determinar el número de potencia se utiliza el siguiente gráfico.

Figura 17. Cálculo de la potencia del motor



Para palas planas se obtiene que el valor del número de potencia es  $N_p = 5$

Hallando la potencia con la siguiente expresión.

$$P = N_p * N^3 * d^5 * \rho$$

Reemplazando:

$$P = 35 * (1,667^3) * (0,1964^5) * 540$$

$$P = 25,6 [W] = 0,034 [HP]$$

Se asume que las aspas inferiores acopladas al eje consumen la misma cantidad de potencia que las aspas superiores. Aplicando un factor de seguridad de 1.5 por ineficiencias en el motor y la contextura que el batidillo va adquiriendo con el batido.

$$P = 25,6 * 2 * 1,5$$

$$P = 76,8[W]$$

Basado en estos resultados se selecciona un motor de 100 [W] a 100[rpm].

#### 6.1.4.4 Cálculo del eje.

Para calcular el diámetro del eje se inicia con el diagrama de cuerpo libre, los esfuerzos se concentran en 2 lugares en particular, donde están situadas las aspas del batidor<sup>30</sup>. Se asume que la potencia consumida por cada grupo de aspas es la misma basado en el hecho que la panela pulverizada cuenta con propiedades similares en cada proceso.

Para calcular la potencia se utilizan las siguientes correlaciones:

$$P = \tau * \omega$$

Donde  $\tau$  es el torque y  $\omega$  es la velocidad angular, despejando el torque y reemplazando los datos:

$$\tau_m = \frac{100[W]}{10,43 \left[ \frac{rad}{s} \right]} = 9,58[Nm]$$

---

<sup>30</sup> BEER F. Mecánica de Materiales. Quinta Edición, McGraw Hill. México. 2010

Es el torque que debe entregar el motor.

Se procede a calcular el diámetro del eje con las siguientes ecuaciones:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{\tau_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

En este caso, no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto,  $M_a = 0$ , y la ecuación se reduce a:

$$d = \left\{ \frac{16\sqrt{3}N_f}{\pi} \left( \frac{\tau_m}{S_y} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Dónde,

$N_f$ : Factor de seguridad

$P$ : Potencia consumida por el agitador

$\omega$ : Velocidad angular

$T_m$ : Torque medio

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material

Se escogió usar acero de AISI 304 y un factor de seguridad de 2.5.

$$S_y = 205 \text{ [MPa]}$$

$$d = \left\{ \frac{16\sqrt{3} * 2,5}{\pi} \left( \frac{9,58}{205 \times 10^6} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 10,1 \text{ [mm]}$$

Para facilitar la manufactura el diámetro será de 12 [mm]

**Diámetro interior del buje que se encuentra soldado en las aspas superiores**

$$d_{as} = 20 \text{ mm}$$

**Diámetro interior del buje que se encuentra soldado en las aspas Inferiores**

$$d_{ai} = 20 \text{ mm}$$

### Velocidad del eje

$$n = 90 \text{ rpm} \text{ a } n = 130 \text{ rpm}$$

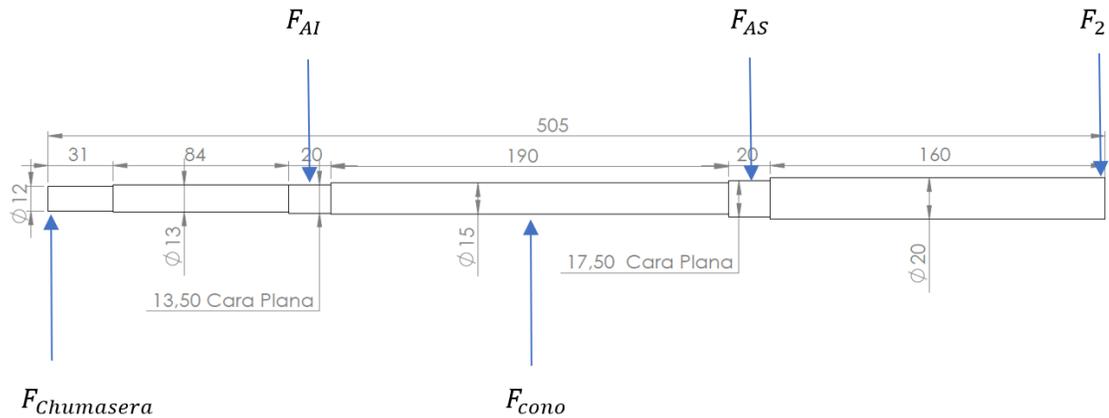
### Espesor del Buje

$$e = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Acople} = F_a$$

Cono = Rodamiento

Figura 18. Eje sugerido



$F_{AI}$  = Fuerza aspa inferior

$F_{AS}$  = Fuerza aspa Superior

$F_2$  = Fuerza en el acople con el motor

### Densidad de las Aspas (Acero 304)

$$\rho_a = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Volumen de las aspas

$V_A$  = Volumen de aspas

$A_A$  = Area de aspas

$$A_A = \pi \frac{d_a^2}{4}$$

$$A_A = \pi \frac{0.02^2}{4} = 0.0003116 \text{ m}^2$$

$$V_A = A_A * e$$

$$V_A = 0.0003116 \text{ m}^2 * 0.005 \text{ m} = 1.5708 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

### Masa de las aspas

$$m_A = \rho_a * V_A$$
$$m_A = 8000 \frac{kg}{m^3} * 1.5708 \times 10^{-6} m^3 = 0.0126 kg$$
$$m_A = 12.6 gr$$

### Fuerza ejercida por las aspas

$$F_A = m_A * g$$
$$F_A = 0.0126 kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 0.1236 N$$

### Fuerza ejercida por el acople

$$m_{acople} = masa acople = 0.25kg \text{ (Dato tomado por catálogo)}$$
$$F_{acople} = fuerza acople flexible$$
$$F_{acople} = m_A * g$$
$$F_{acople} = 0.25kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 2.4528 N$$

### Análisis estático plano X-Y

$$\sum F_y = 0$$
$$F_{chumacera Y} + F_{cono} = F_{AI} + F_{AS} + F_{acople}$$
$$F_{chumacera Y} = F_{AI} + F_{AS} + F_{acople} - F_{cono}$$
$$F_{chumacera Y} = 0.1236 * 2 + 2.4525 - 5.63939 N$$
$$F_{chumacera Y} = -2.9312 N \downarrow$$
$$\sum M_{chumacera} = 0$$
$$-0.125F_{AI} + 0.23F_{cono} - 0.335 F_{AS} - 0.505F_A = 0$$
$$F_{cono} = \frac{0.125(0.1236) + 0.335(0.1236) + 0.505(2.452)}{0.23}$$
$$F_{cono} = 5.6309 N$$

### Análisis estático plano X-Z

$$\sum F_z = 0$$
$$F_{chumacera z} + F_{cono} = 2 * F_A$$
$$F_{chumacera z} = 2(0.1236) - 0.2466n$$
$$F_{chumacera z} = 0.0006478 N$$
$$\sum M_{chumacera} = 0$$
$$-0.125F_{AI} + 0.23F_{cono} - 0.335 F_{AS} = 0$$
$$F_{cono} = \frac{0.125(0.1236) + 0.335(0.1236)}{0.23}$$
$$F_{cono} = 0.2466 N$$

### TORQUE DEL SISTEMA

Potencia del motor

$$HP_{max} = 0.5 hp$$

$$RPM_{min} = 90 \text{ rpm}$$

$$Pot_{kw} = 0.5 \text{ hp} \frac{1}{1.34} = 0.559 \text{ kw}$$

$$T_{max} = \frac{Pot_{kw} * 9950}{RPM_{min}}$$

$$T_{max} = \frac{0.559 * 9950}{90} = 39.59 \text{ Nm}$$

Figura 19. Momento flector plano X-Y

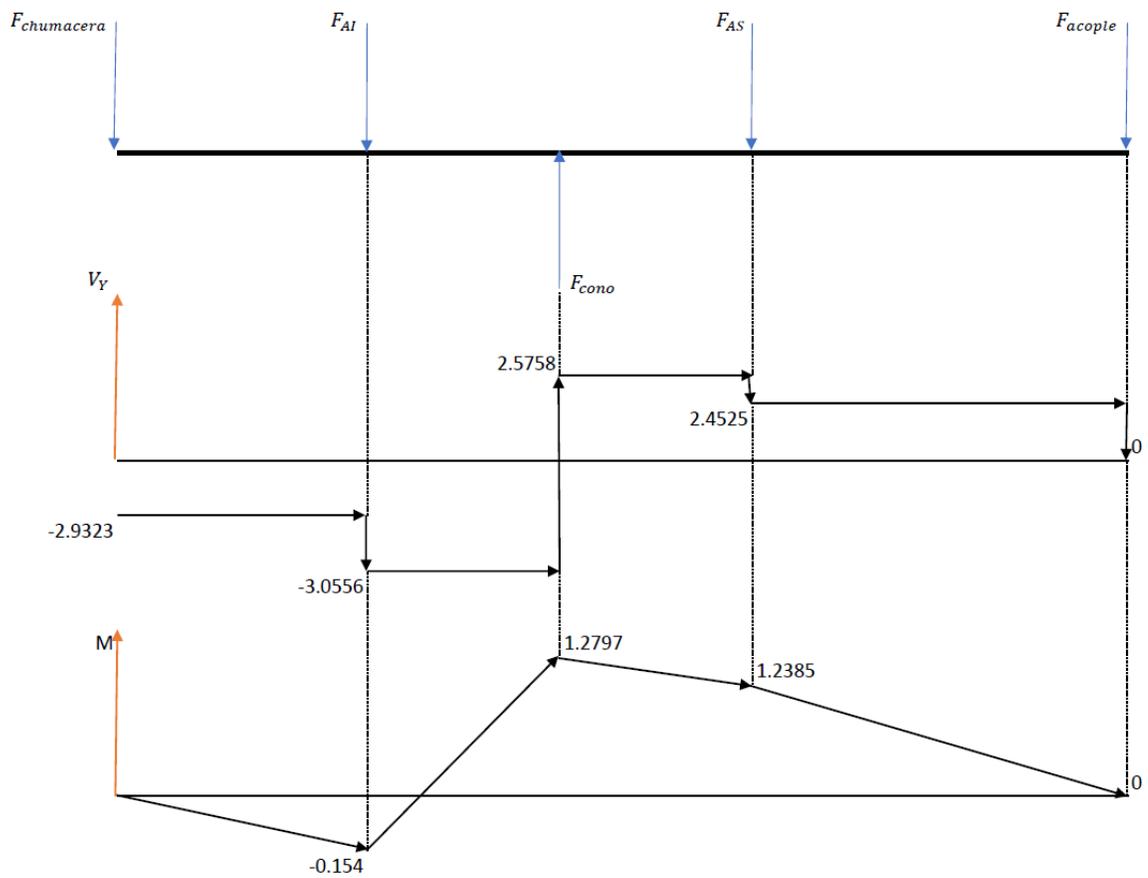
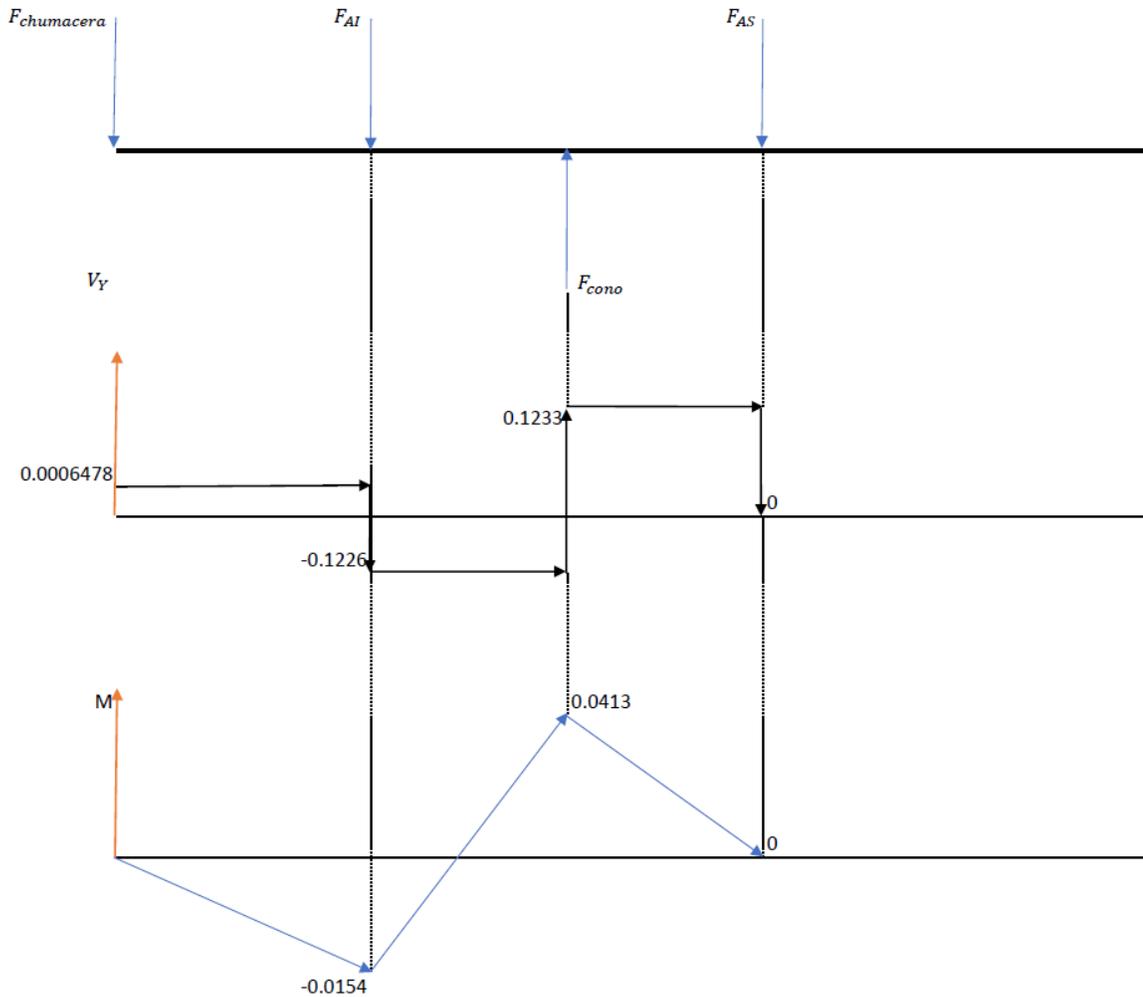


Figura 20. Momento flector plano X-Z



Criterio de energía de distorsión

Resistencia de fluencia acero1020

$$S_Y = 370 \times 10^6 \text{ Mpa}$$

$$S_u = 440 \times 10^6 \text{ Mpa}$$

$N = 2.5 \rightarrow$  factor de seguridad

Momentos flectores principales

$$M_y = 1.2797 \text{ N.m}$$

$$M_z = 0.0413 \text{ N.m}$$

$d_1 = 15 \text{ mm}$  Medida tomada del plano sugerido

Factor de Producción

$K_F, K_a, K_b, K_{car}, K_d, K_e, K_c$

$$d_2 = \left[ \left( \left( \frac{32 N}{\pi} \right) \left( K_F \frac{M}{S_n} \right)^2 + \frac{3 T_{max}^2}{4 S_u} \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$d_2 = 12.6 \text{ mm}$  Medida mínima según condiciones de trabajo

Criterio de Misses Goodman

Según rodamiento comercial comprado

$d = 15 \text{ mm}$

$D = 32 \text{ mm}$

Factores

$q, kt, kf, \sigma, \tau_{xy}$

$$N = \left[ \frac{1}{\left( \frac{kf * \tau_{xy}}{S_n} \right)^2 + 3 \left( \frac{\tau_{xy}}{S_u} \right)^2} \right]^{1/2} = 4.206 \rightarrow \text{Sobre dimensionado}$$

**6.1.4.5 Determinación de los Esfuerzos en el recipiente.** El recipiente está sometido al peso del batidillo (2 Kg), para determinar el material y el espesor de la lámina se tiene en cuenta factores como:

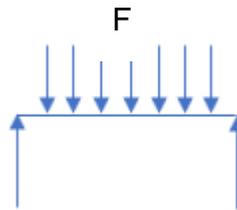
- Materia prima del proceso: el batidillo es producto alimenticio, por tanto, el acero debe ser inoxidable.
- La comercialización del acero: el acero se encuentra con facilidad en el mercado.

Por estas razones, se selecciona el Acero AISI 304 para todas aquellas partes que

entren en contacto con el producto. Basado en el esfuerzo de fluencia del material y la carga a la que está sometido, se realiza el cálculo para determinar el espesor.

Para el cálculo inicial se selecciona calibre 24 que cuenta con un espesor de 0,61 mm.

Diagrama estático del recipiente:



Fuerza:

$$F = m * g = 2 * 9,81$$

$$F = 19,62[N]$$

Momento:

$$M = F * d = 19,62 * 0,1$$

$$M = 1,962[Nm]$$

Inercia:

$$I = \frac{1}{12} * 0,00061 * 0,2^3 = 4,067 \times 10^{-7}$$

Esfuerzo

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

$$\sigma = \frac{1,962 * 0,000305}{4,067 \times 10^{-7}}$$

Comparación de los esfuerzos:

$$\sigma = 1471[Pa]$$

$$\sigma_{inox} = 241316[KPa]$$

#### 6.1.4.5 Dilatación Térmica

La dilatación térmica es el proceso por el cual los cuerpos aumentan su volumen debido a su temperatura. Afecta a todos los estados de agregación de la materia. El recipiente estará sometido a cambios bruscos de temperatura, por tanto, se debe tener en cuenta su dilatación superficial y ésta se produce cuando predominan dos dimensiones (una superficie) frente a una tercera.

La dilatación superficial de un cuerpo viene dada por la expresión:

$$S = S_0(1 + \sigma * \Delta T)$$

Donde:

S, S<sub>0</sub>: Área final e inicial respectivamente del cuerpo. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro al cuadrado (m<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Coeficiente de dilatación superficial. Es específico de cada material y representa el aumento de superficie de un sólido de área unidad, cuando su temperatura se eleva 1 K. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el K<sup>-1</sup>, aunque también se usa el °C<sup>-1</sup>

$\Delta T$ : Incremento de temperatura que experimenta el cuerpo. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el kelvin (K), aunque también se usa el °C

Para el acero inoxidable AISI 304 el coeficiente de dilatación superficial es:

$$\sigma = 1.2 \times 10^{-5} [^{\circ}\text{C}^{-1}]$$

El área del recipiente viene dada por:

$$S_0 = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Reemplazando:

$$S_0 = \frac{\pi}{4} * 20^2$$

$$S_0 = 314,16 [cm^2]$$

Se tomará una temperatura inicial de 25 °C correspondiente a la ambiental.

Reemplazando los datos se obtiene lo siguiente:

$$S = 0,031416(1 + 1.2 \times 10^{-5} * (135 - 25))$$

$$S = 314.57 [cm^2]$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4}{\pi} * 314.57}$$

$$D_f = 20,013 [cm]$$

La dilatación térmica producida en el recipiente es de 0,13 [mm], lo cual no es significativo para alterar el funcionamiento del equipo.

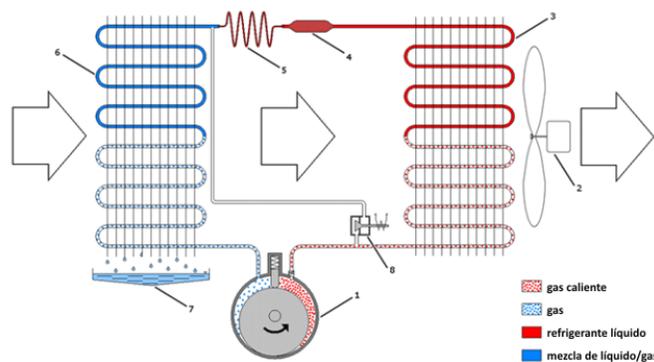
#### **6.1.4.6 Sistema De Secado**

Para el sistema de secado se podrá usar un deshumidificador que cumple la función de retirar la humedad del aire y posteriormente introducirlo en el sistema de batido para retirar la humedad presente en el batidillo logrando obtener la calidad del producto esperada, sin embargo, en la versión prototipo no será utilizado ya que sin este se cumplirá con los tiempos estimados

#### 6.1.4.7 Deshumidificador:

“El sistema de refrigeración del compresor constituye la parte principal de los deshumidificadores por condensación. Permite condensar el vapor y disminuir el agua contenida en el aire. El elemento fundamental del sistema de refrigeración es un compresor que comprime y bombea el refrigerante para forzar su circulación alrededor de todo el sistema. Cuanto mayor es la presión, más aumenta la temperatura. El refrigerante comprimido (en estado gaseoso) es llevado mediante un tubo al condensador donde es enfriado”<sup>31</sup>.

Figura 21. Esquema deshumidificador.



Fuente: MasterHeaters.

Para la selección del deshumidificador se debe calcular el calor necesario para retirar la humedad presente en la panela.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = m * L$$

31

<http://www.masterheaters.es/%C2%BFcomo-funciona-el-principio-de-funcionamiento-de-los-deshumidificadores-por-condensacion,173.html>

Donde Q es el calor necesario para retirar la humedad, m es la masa de la cantidad de fluido y L es el calor latente de vaporización.

Basado en el cálculo de la humedad, se determina que la cantidad de agua en 1 kg de panela es de 28 gramos

El calor latente de vaporización del agua es de  $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

$$Q = 0.028 \text{ gr} * 2.26 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$Q = 63280 \text{ J}$$

Iterando se determina que ese calor se retire en 30 segundos, dando como resultado

$$\dot{Q} = 2109 \text{ W}$$

Este valor equivale a 7196 BTU/hr y el deshumidificador comercial más cercano es de 8000 BTU/hr.

### **6.1.5 Determinación del tamaño de grano.**

El cálculo del tamaño de grano se realizó por el método de granulometría o tamizado, el cual todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de las partículas.

Figura 22. Tamaño de grano panela pulverizada



Fuente: Método de Separación: Tamizado (2015)

### **Materiales y equipos utilizados**

- Columna de Tamices vibratorio
- Mallas de calibre de 1mm; 3 mm y 5 mm.
- Recipiente de contenido de cernido.
- Balanza de precisión.

**Insumos:** 3000 gramos de batidillo en grumos

**Método utilizado:** Experimental y Observación Directa.

### **Procedimiento.**

1. Se disponen las mallas en los diferentes tamices de mayos a menor calibre.
2. Se vierten los 3000 gramos de batidillo en grumo.
3. Por gravedad empiezan a caer en cada una de las mallas preestablecidas.
4. Se pesan los gramos de batidillo que quedaron contenidos en el recipiente dispuesto para los gramos que logren pasar la malla de calibre de 1mm.
5. Se pesan los grumos que quedaron contenidos en las mallas de 3 y 5 mm.
6. Registrar en la tabla de control el tiempo demorado para llegar al punto de panela.

7. Realizar el procedimiento de toma de datos a 5 pruebas diferentes y estimar promedio.

**Resultados.** Luego de haber realizado las pruebas granulométricas se logró determinar que el juego de tamices escogido es el adecuado, pues si bien el producto con una humedad alta no es retenido en gran proporción en los últimos tamices (0,25 y 0,16 mm), sí pasa a través de todas cuando la humedad es baja. Como se aprecia en la Tabla 13, a una humedad > 5% el mayor porcentaje del producto se concentra en los tamices con orificios de 3mm y 1mm.

Tabla 13. Determinación del tamaño de grano

Parámetro	Humedad inicial	Cantidad a tamizar (gr)	Cantidad. Retenida en el Tamiz 5 mm (gr)	Cantidad. Retenida en el Tamiz 3 mm (gr)	Cantidad. Retenida en el Tamiz 1 mm (gr)
Prueba 1	30%	3000	2000	800	200
Prueba 2	25%	3000	1500	800	700
Prueba 3	20%	3000	1000	1000	1000
Prueba 4	10%	3000	800	600	1800
Prueba 5	< 5%	3000	300	400	2300

Se realizaron un total de 5 pruebas con grados de humedad diferentes; registrando en cada una la cantidad retenida por cada malla (tamiz).

Se determinó que, a valores mínimos de humedad, la cantidad retenida en el contenido de la malla de calibre de 1mm es mayor y viceversa. El rango predominante del tamaño de partículas se encuentra entre menores o iguales a 1000[ $\mu\text{m}$ ] a partículas mayores a 600[ $\mu\text{m}$ ]; es decir de 0,6mm – 1 mm.

De esta manera se determina que el tamaño de grano se encuentra entre los 0,99mm y 0,001 mm. Este tamaño de grano coincide con el estudio realizado por Blanca L. Fajardo y otros, denominado: “*Determinación de Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de la Panela Granulada*”<sup>32</sup>; en donde se realizó granulometría a las panelas producidas en las tres regiones productoras de Colombia, para la panela de la Hoya del Rio Suarez, este estudio determinó que el tamaño de grano se encuentra entre 2,5 y 1 mm.

Tabla 14. Análisis Granulométrico promedio de la panela en las tres regiones de Colombia

Región	H. río Suárez	Antioquia	Gualivá	Mezcla
At (mm)	% Retención	% Retención	% Retención	% Retención
2,5	38,9	47,4	26,9	40,4
1	25,7	24,7	22,5	28
0,63	18,6	13	47,6	22,4
0,5	8,7	4,5	0,5	5,9
0,4	3,7	2,4	1,6	2,3
0,25	3,7	5,2		0,4
0,16	0,3	2,3		0,09
Fondo		0,4		

Fuente. FAJARDO N., B. Y MOLINA D

La malla de calibre de 1mm es la que se utilizará para el diseño del prototipo con una humedad >5%.

<sup>32</sup> FAJARDO N., B. Y MOLINA D., D. P. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la panela granulada. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola. Santa Fe de Bogotá. 1992

### **6.1.7 Determinación de la Humedad.**

La determinación de humedad es un paso obligado en el análisis de alimentos. Es la base de referencia que permite: comparar valores; convertir a valores de humedad tipo; expresar en base seca y expresar en base tal como se recibió<sup>33</sup>.

La panela es un producto higroscópico, o sea que al exponerse al ambiente puede absorber o perder humedad, dependiendo de las condiciones climáticas del medio<sup>34</sup>. Para determinar la humedad se usó el método universal de la estufa, con las siguientes condiciones (consideradas las más apropiadas para evitar el deterioro de los azúcares)<sup>35</sup>: una temperatura de 60°C, durante 24 horas.

Este método es aplicable a alimentos sólidos, líquidos o pastosos (batidillo de panela) no susceptibles a degradación al ser sometidos a temperaturas superiores a 105 °C<sup>36</sup>

### **Materiales y equipos utilizados**

- Balanza
- Cápsulas de vidrio, porcelana o metálica, con tapa
- Desecador con deshidratante adecuado
- Estufa regulada a 103±2 °C
- Guante de Carnaza.

---

<sup>33</sup> MASSAN Lilia. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Métodos analíticos para la determinación de humedad, alcohol, energía, materia grasa y colesterol en alimentos. Departamento de Agricultura. FAO. 2010.

<sup>34</sup> PINTO, R. Almacenamiento y empaque de la panela. En: Revista ICA Informa XXII. Bogotá. 1988

<sup>35</sup> GARCÍA B, H. R. "Elaboración de la panela granulada". En: Artículos técnicos sobre el cultivo de la caña y la elaboración y la elaboración de pane/a. CORPOICA, Tibaitatá. 1996.

<sup>36</sup> ESPARZA, M Bellsario et al. DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN PANELA. Agronomía Colombiana. 1999. Volumen 7: 70-75

**Insumos:** 500 gramos panela pulverizada.

**Método utilizado:** Método universal de la estufa.

**Procedimiento.**

1. Se coloca la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
2. Utilizando el guante de carnaza, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m1).
3. Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m2).
4. Se coloca la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C x 5 horas.
5. Se tapa la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
6. Se repite el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m3).

**Cálculo y Resultados.** La humedad del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

Donde:

- **m1:** masa de la capsula Vacía y de su tapa en gramos
- **m2:** masa de la capsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos
- **m3:** masa de la capsula con tapa más la muestra desecada, en gramos.

$$\begin{aligned} & 15 \text{ gr} - 14,86 \text{ gr} \\ \% \text{ Humedad} = & \frac{\text{-----}}{15\text{gr} - 10\text{gr}} \times 100 \\ & = 2,6\% \end{aligned}$$

Este porcentaje de humedad es similar con el resultado obtenido en el estudio realizado por Blanca L. Fajardo y otros, denominado: “*Determinación de Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de la Panela Granulada*”<sup>37</sup>; en el cual se tomaron muestras para calcular la humedad en las tres regiones productoras de panela en Colombia.

Este estudio determinó que no hay grandes variaciones ni diferencias significativas en el valor del contenido de humedad para la panela de las tres regiones. Como no se realiza ningún tipo de secado, la humedad presentada es la que se puede llegar en las condiciones normales del proceso de elaboración de panela, afectada posiblemente por la humedad relativa de la región.

Los datos también concuerdan con los obtenidos en el estudio en donde cuales el contenido de humedad generalmente no supera el 3%. En la tabla 15 se describen los resultados de dicho estudio:

---

<sup>37</sup> FAJARDO N., B. Y MOLINA D., D. P. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la panela granulada. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola. Santa Fe de Bogotá. 1992

Tabla 15. Valores promedio de Humedad. Regiones Productoras de panela en Colombia.

Región	C.H. promedio (%) bh	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (dec.)	Angulo de reposo (grados)
Hoya del río Suárez	2,8	0,6	1,4	0,5	51
Antioquia	2,1	0,7	1,5	0,5	39
Gualivá	1,9	0,7	1,5	0,6	49
Mezcla	2,5	0,7	1,5	0,5	44

Fuente. FAJARDO N., B. Y MOLINA D

### 6.1.8 Determinación de la Densidad.

En la determinación de la densidad aparente, se utiliza el procedimiento estipulado por la norma NTC 852 Parte 1<sup>38</sup>, que hace uso de la balanza volumétrica. Este método está basado en la ecuación  $\rho = \frac{m}{v}$  donde  $\rho$  es la densidad,  $m$  es la masa y  $v$  es el volumen. Tomando una probeta con medición de volumen y colocando dentro una cantidad de 25 [cm<sup>3</sup>] y pesando esa cantidad en una balanza se obtiene una masa de 13,5 [gr].

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$\rho = \frac{13,5[gr]}{25 [cm^3]} = 0,54 \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$$

Según el estudio realizado por Blanca L. Fajardo y otros, denominado: “Determinación de Algunas Propiedades Físicas y Mecánicas de la Panela Granulada” y de acuerdo con el análisis de varianza desarrollado, se encontraron diferencias significativas en cuanto a la densidad aparente de la panela de la hoya del río Suárez respecto a las otras regiones estudiadas, la cual posiblemente puede estar relacionada con el contenido de humedad de la muestra.

<sup>38</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS y CERTIFICACIÓN. Norma para la Determinación de densidad aparente para café instantáneo. NTC 852, Parte I. ICONTEC, Santa Fe de Bogotá. 1992.

Tabla 16. Valores densidad aparente. Regiones Productoras de panela en Colombia.

Región	C.H. promedio (%) bh	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (dec.)	Angulo de reposo (grados)
Hoya del río Suárez	2,8	0,6	1,4	0,5	51
Antioquia	2,1	0,7	1,5	0,5	39
Gualivá	1,9	0,7	1,5	0,6	49
Mezcla	2,5	0,7	1,5	0,5	44

Fuente. FAJARDO N., B. Y MOLINA D

Teniendo en cuenta el dato de densidad calculado, 0,54[gr/cm<sup>3</sup>; se puede inferir que los valores promedio hallados se encuentran en el intervalo establecido para otros materiales granulares, y que éstos dependen en gran medida del tipo de muestra estudiada.

#### 6.1.9 Determinación de la superficie de tamiz y la cantidad de material a tamizar.

El tamizado se realiza en un medio oscilante junto a un sistema rotatorio, donde un mismo eje proporciona la potencia para realizar las dos tareas, mediante espas para el rotatorio y una leva para el sistema oscilante. El tamiz seleccionado para el prototipo es de 1mm. Se estima que la cantidad a tamizar es del 95% del material inicial debido a que se presenta una evaporación del agua contenida en el batidillo y otra parte que puede quedar impregnada en las paredes del recipiente.

#### 6.1.10 Análisis del mejor método para moler el grumo.

Los grumos se producen por la humedad retenida en la panela granulada, ocasionando una alta cohesión entre las partículas, se estimó que el mejor método es una combinación de un sistema oscilante para garantizar el paso de las partículas más finos y movimiento rotativo para eliminar las acumulaciones que queden retenidos por la humedad (grumos).

## **6.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

Una vez definidas las variables y los parámetros requeridos para el diseño mecánico, se inicia la fase del diseño del prototipo de la maquina pulverizadora de panela. Para lo cual se utilizó como apoyo el software SolidWorks®. En esta herramienta se indican cada una de las variables que inciden en el diseño de los componentes mecánicos de la máquina.

Con los planos ya realizado se procede a la búsqueda de un taller metalmecánico para la fabricación de las diferentes piezas contenidas en los planos ya que estas requieren de procesos como el torneado, fresado y soldadura el cual lo realiza una persona con la experiencia, equipos adecuados y los elementos de protección personal necesarios.

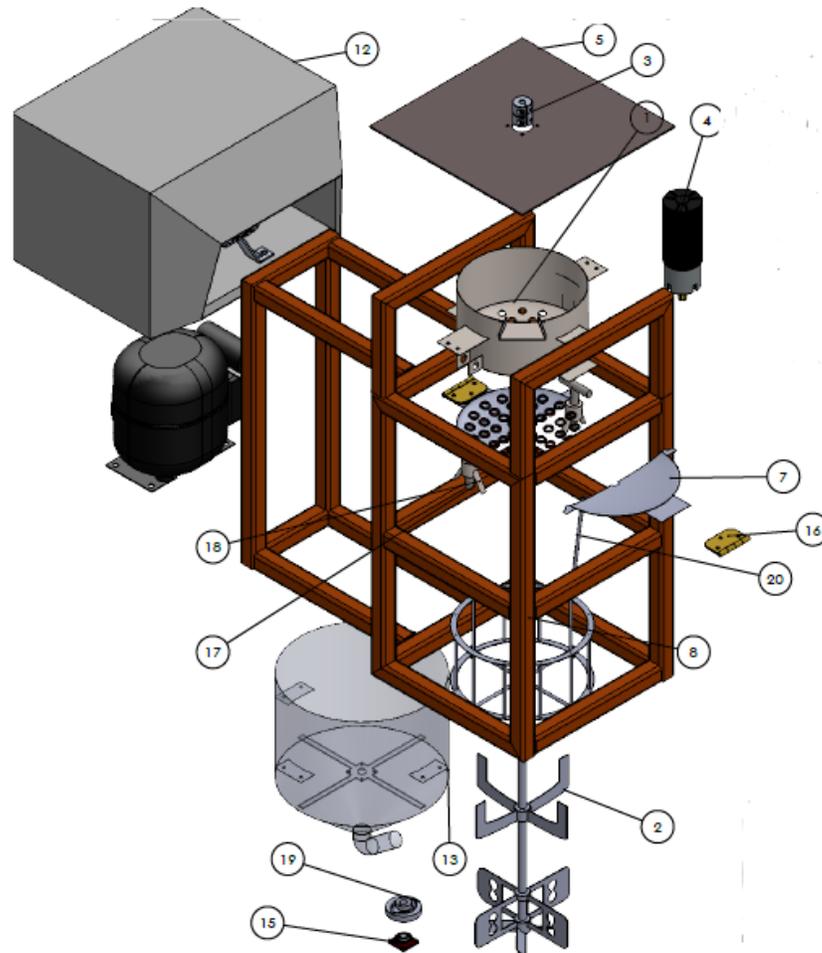
Algunas de las piezas se compran en el mercado ya que son de producción estándar como son los rodamientos y el recipiente cilíndrico

Los componentes eléctricos y electrónicos son comprados de manera genérica cumpliendo con las especificaciones que requiere el diseño propuesto para el acople con la tarjeta de desarrollo libre y su programación e integración con la interfaz humano máquina.

### 6.2.1 Descripción de los componentes del sistema mecánico

La máquina es compuesta principalmente por

Figura 23. Componentes del sistema mecánico.



1. **Recipiente:** Cilindro fabricado de acero inoxidable AISI 304 de calibre 24, cuenta con soportes para sujetarse de la estructura. Su función es recibir el batidillo, batir esta miel hasta alcanzar el punto de cristalización y dejar pasar la panela pulverizada a través de la variación de niveles en el componente interno que este tiene en la mitad.

Figura 24 Recipiente utilizado



2. **Eje con Aspas:** Fabricado con acero inoxidable AISI 304. Cuenta con aletas superiores encargadas de batir hasta alcanzar la cristalización y ayudar a retirar la humedad después de la cristalización, además de ser la fuente motriz para que los gránulos de panela pases a través de los agujeros del recipiente. En la parte inferior tiene situadas tipos de aspas, la primera es para ayudar al tamizado y lograr que las partículas atravesen el tamiz, y la segunda son cuchillas para eliminar los posibles cúmulos que se formen.

Figura 25 Plano de las aspas superiores

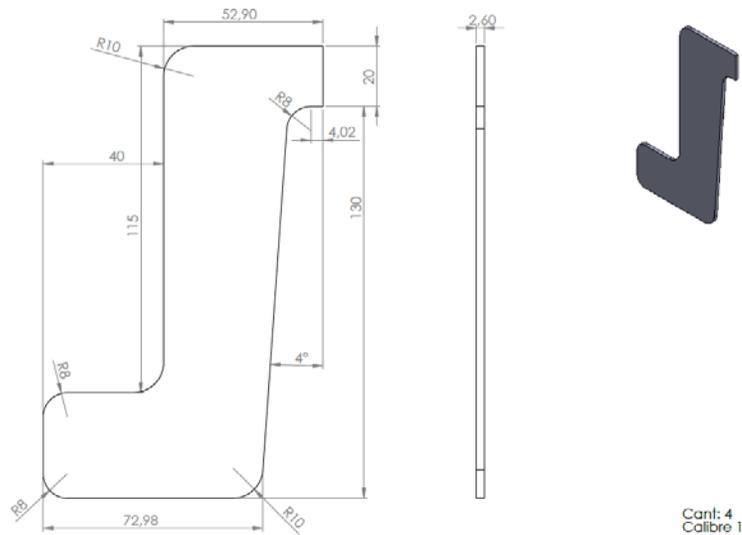


Figura 26 Aspas superiores y bujes previo a soldadura

Figura 27 plano del eje

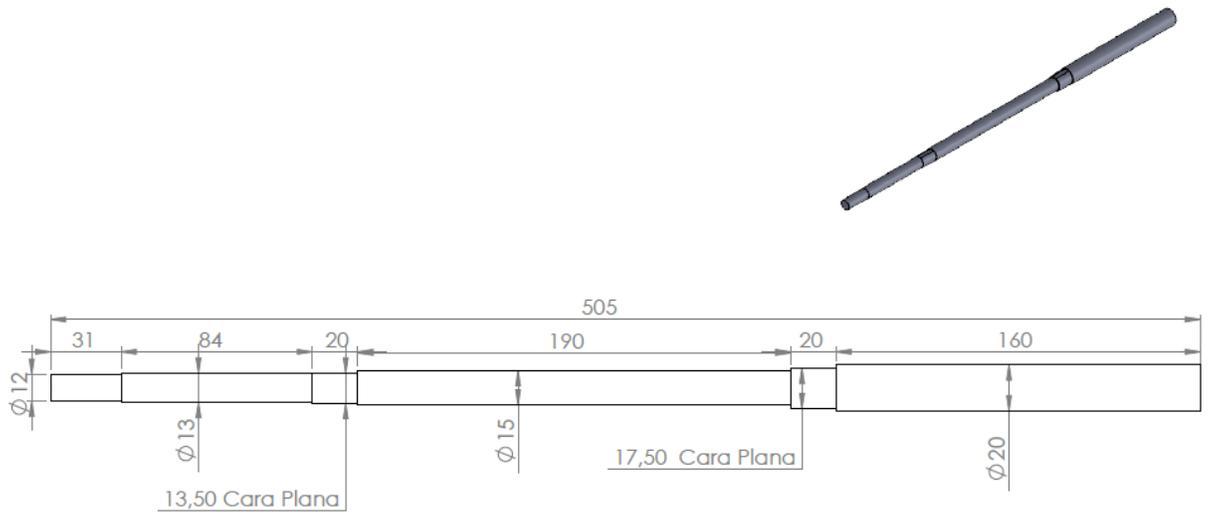
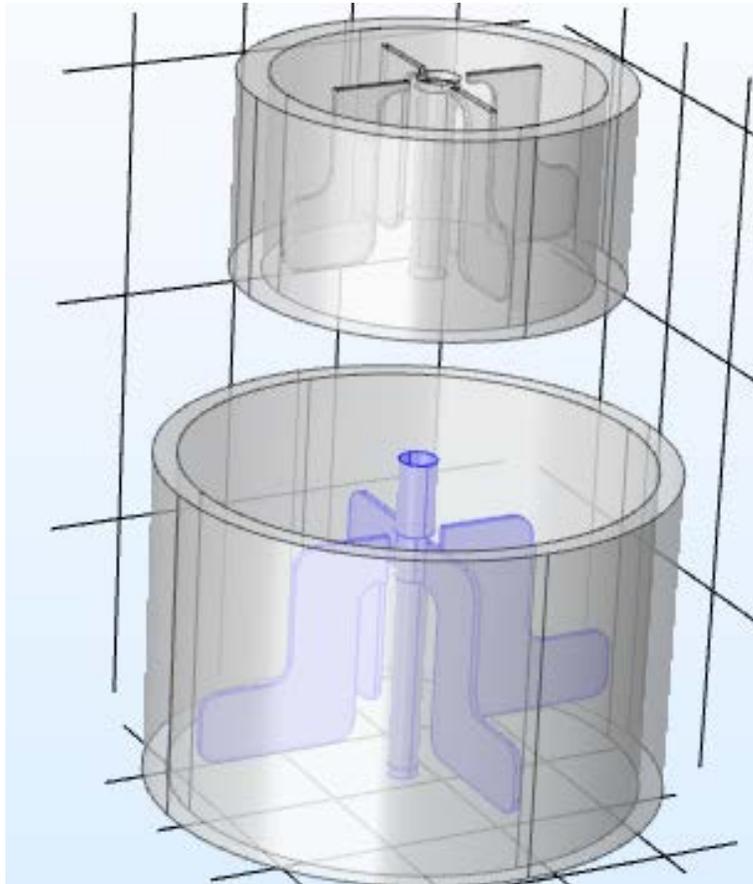


Figura 28 Eje maquinado

Figura 29 eje con aspas



3. **Acople Flexible:** Acople de 12 mm de diámetro, encargado de transmitir la potencia del motor al eje.

Figura 30 acople flexible

4. **Motor:** Parte sistemática que transforma la energía eléctrica en energía mecánica y ejerce la rotación sobre el eje.

Figura 31 Motor utilizado

5. **Perfil de estructura del motor:** Fabricado con perfiles cuadrados de acero estructural A36 de 1". Encargado de sujetar la plataforma del motor a la estructura.
6. **Lámina Motor:** Lámina de acero estructural encargada de sujetar con pernos el motor a la estructura.

Figura 32 Lámina motor

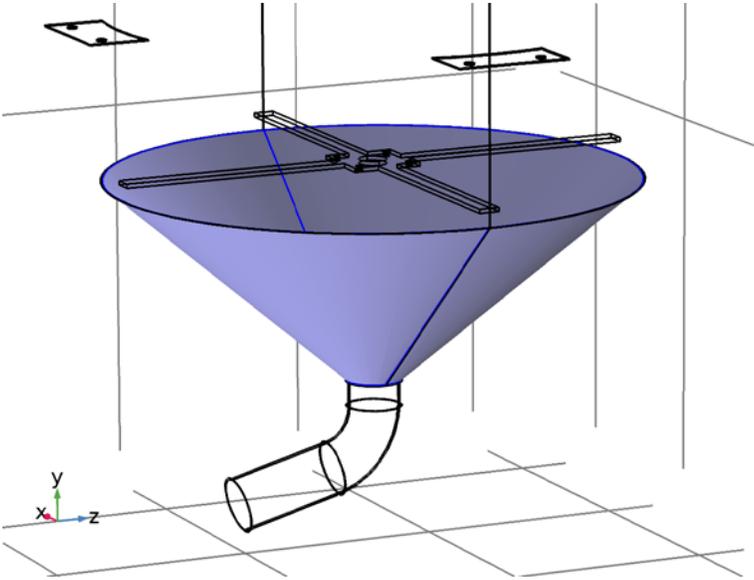
7. **Empaquetaduras:** Fabricadas de polímero, encargadas de evitar el paso del batidillo en estado líquido a las tapas y no permitir fugas.
8. **Tapa:** Fabricadas de acero inoxidable AISI 304, son las encargadas de ejercer presión en las empaquetaduras y evitar fugas de batidillo. Su operación es manual, se desacoplan mediante un sujetador roscado y se abren para permitir la caída de la panela pulverizada mediante bisagras.
9. **Estructura:** Fabricada con perfiles cuadrados de 3 cm de acero estructural A36. Mantiene unidas todas las piezas del equipo.

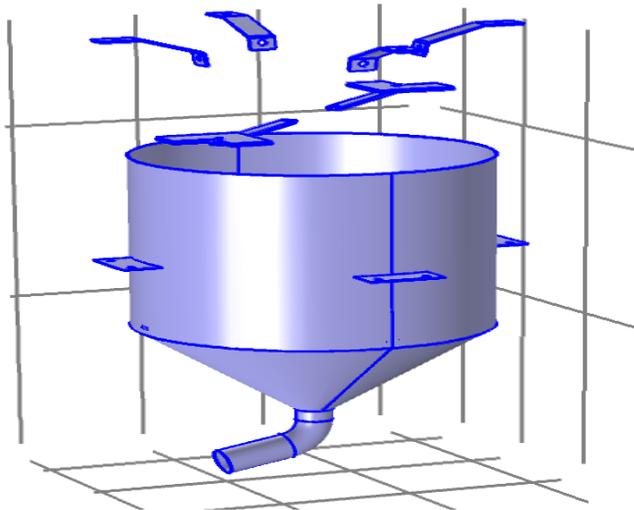
Figura 33 estructura



10. **Sistema de refrigeración:** sistema encargado de enfriar y principalmente retirar la humedad de la panela pulverizada a fin de garantizar la calidad del producto.
11. **Camisa Exterior:** Fabricada con Acero AISI 304. Evita que las partículas de panela escapen y permite recolectar para el empaclado del producto, además de sujetar el eje a la estructura mediante una chumacera de pared.

Figura 34 camisa exterior





12. **Tamizado cilíndrico:** Estructura de varillas que sostiene el tamiz y aloja la panela pulverizada hasta que, por acción de las aletas del eje y la oscilación de la leva, logran evacuar el material particulado.

13. **Chumacera de pared:** Chumacera de 12 mm de diámetro, encargada de sujetar el eje y permitir la libre rotación del mismo, además de proporcionar estabilidad.

Figura 35 Chumacera de pared



14. **Bisagra:** sistema mecánico que permite la rotación de las tapas que dejan pasar el panela pulverizada del recipiente hasta el tamiz.

15. **Sujetador roscado y tornillo manual:** elementos mecánicos que permiten ajustar la tapa al recipiente para ejercer presión sobre las empaquetaduras y evitar las fugas de batidillo.

16. **Leva:** Elementos mecánico fabricado de hierro fundido, su función es transformar el movimiento rotacional en oscilatorio y ayudar a tamizar las partículas de panela pulverizada.

**17. Cuerda plástica:** elemento elástico que permite la oscilación de la estructura del tamizado. Estas cuerdas están sujetas a la camisa exterior mediante ganchos.

### **6.2.2 Descripción de los componentes del sistema eléctrico, electrónico.**

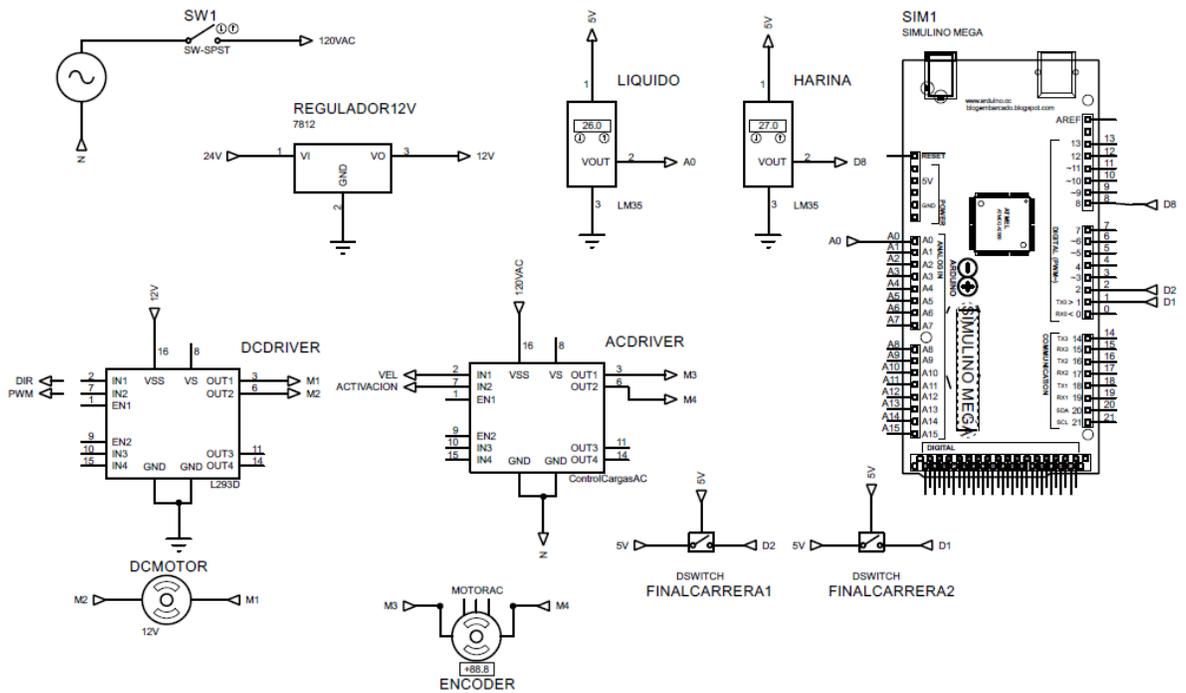
Para los componentes eléctricos del proyecto se realizó la selección de un módulo de cruce por cero (ac driver) con capacidad de 0,5 amp, basado en el pico de arranque del motor AC según pruebas experimentales realizadas en vacío y con perturbación.

En cuanto los componentes electrónicos se realizaron la selección de estos de acuerdo a las condiciones y rangos en operación del proceso así:

- LM35 Sensor de temperatura con precisión de 1°C y tiene un rango de medición de -55°C a 150°C, este sensor se dispuso en el tanque donde ingresa la miel de panela a 135°C.
- Sensor DHT11 para medir temperatura y humedad final de la panela pulverizada en un rango de temperatura de 0 a 50°C, esta temperatura es la máxima en la que sale ya la panela pulverizada, se utiliza el sensor de humedad relativa ya que este mide la cantidad de vapor de agua en el aire siendo este el más usado en este tipo de aplicaciones.
- Finales de carrera se usan como topes digitales para realizar el paro del motor DC en los cambios de posición del tanque cuando se esté haciendo la transición a la etapa de tamizado.
- DC driver (puente H) Se utiliza para el cambio de giro al motor DC para los cambios de posición del tanque al momento de realizar la transición a la etapa de tamizado
- Fuente de 25V a 5 amp DC utilizada para la alimentación de los componentes electrónicos usados en el proyecto.
- Regulador de 12V en su tensión de salida para alimentación de los componentes electrónicos y motor DC.

- Módulo Encoder rotativo usado en el presente proyecto para la medición de las RPM del motor AC.
- Tarjeta de desarrollo libre (arduino) para la automatización del proceso a realizar en la máquina.

Figura 36 Circuito eléctrico-electrónico



### 6.2.3 Construcción terminada

Figura 37 Maquina terminada



### 6.2.4 Descripción del sistema SCADA para automatizar el sistema

La automatización de la maquina se realiza bajo el software LABVIEW donde se proponen por dos modos de operación, manual-automático, en las cuales el usuario final podrá realizar cambios a los tiempos de las diferentes etapas dependiendo la ubicación geográfica en la que se desee poner en funcionamiento la máquina, recordemos que influye la altura sobre el nivel del mar para la óptima operación de la maquina

Figura 38 Modo de operación



En la operación manual se podrá variar la velocidad del motor en caso de que se requiera que la producción lo exija y se podrá evidenciar su respectiva lectura en tiempo real

Figura 39 Velocidad del motor modo manual

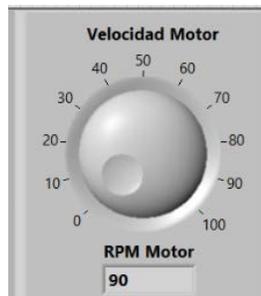
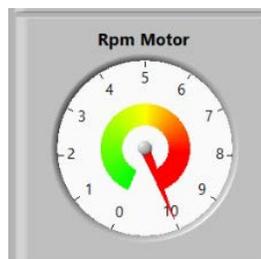
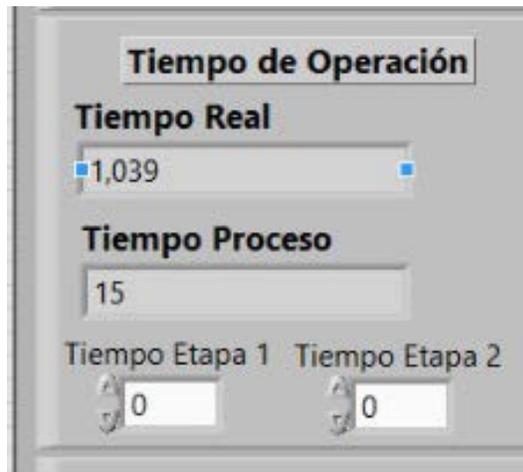


Figura 40 Lectura de velocidad del motor



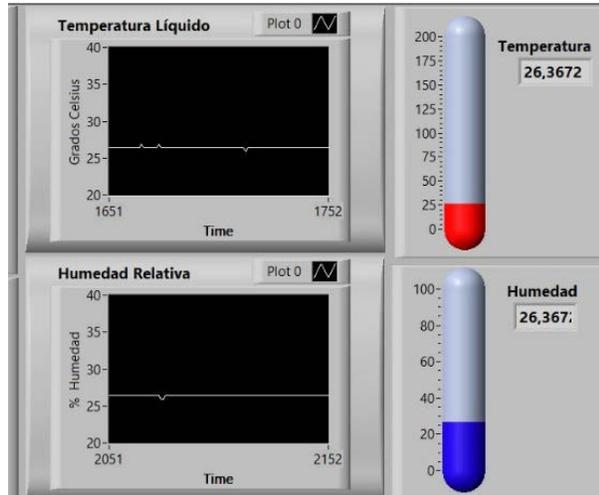
En este modo de operación se podrá definir los tiempos en cada uno de los procesos respectivamente, esta función en caso de que por razones climáticas y/o de altura en la que se encuentre el sistema requiera; cuando el jugo de la caña de azúcar es más óptimo se podrá disminuir los tiempos y tener una producción más eficiente, igualmente de manera visual se puede tener información en tiempo real y en qué etapa o proceso se encuentra.

Figura 41 Tiempo de operación



La máquina retroalimenta al operario las variables que presenta el producto en la etapa de batido de manera gráfica respecto al tiempo y en magnitud

Figura 42 Variables graficadas



Finalmente, el sistema tiene un indicador donde muestra al operario en qué etapa del proceso se encuentra

Figura 43 Indicador de etapas de operación



Figura 44 Pantalla grafica HMI

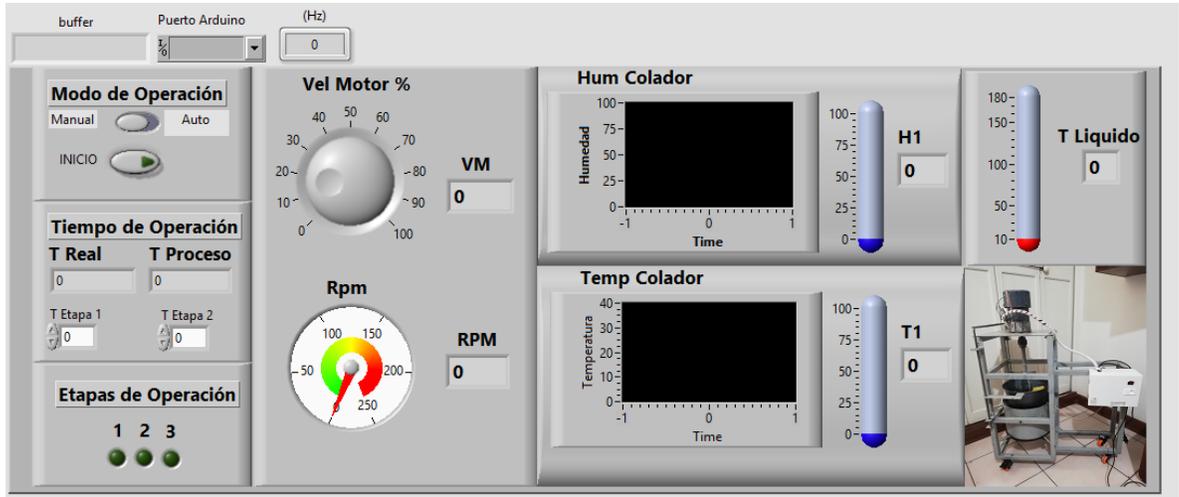
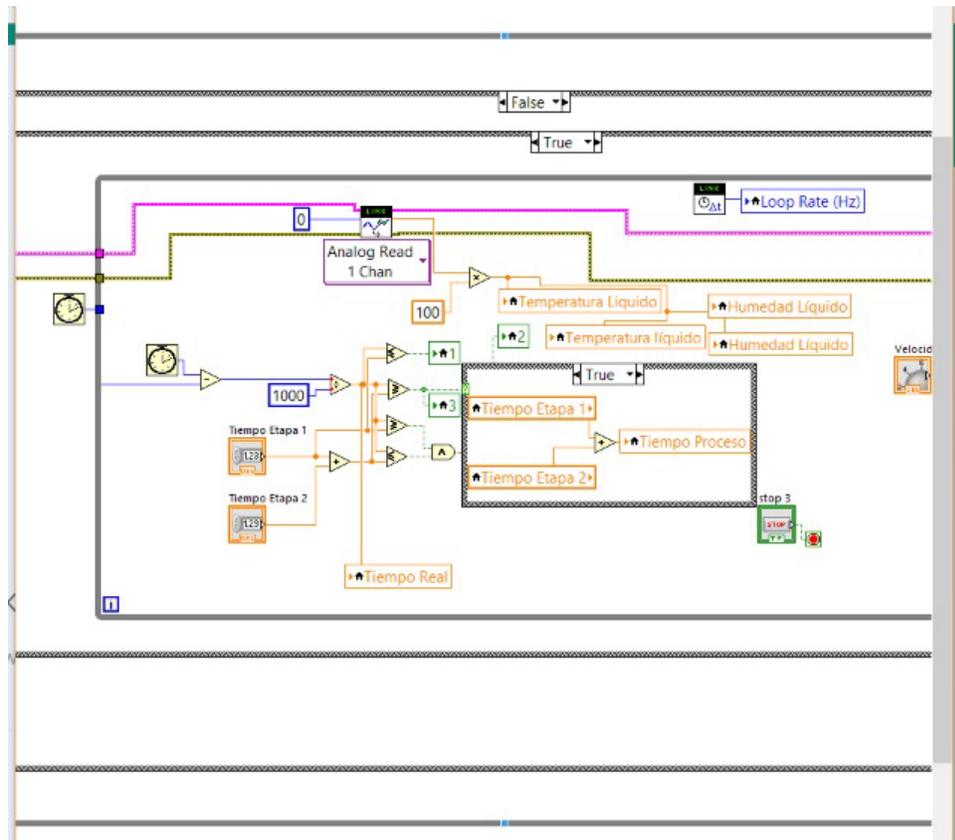


Figura 45 Estructura de ejecución



### 6.2.5 Escalado

Se pretende escalar el sistema para que logre procesar 40 kg, a continuación, se presentan los mismos cálculos que se realizaron al anterior sistema.

#### **Dimensiones principales del tanque y de las paletas para el sistema escalado.**

Calcular en primera instancia las dimensiones básicas del recipiente de altura y tiene por objeto determinar las dimensiones básicas del recipiente donde se realiza el batido.

Se inicia el cálculo a partir de la densidad y masa contenidas en el recipiente.

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} = \frac{40[kg]}{540 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V_m = 0,074[m^3]; 74,07[Lt]$$

Donde  $V_m$  es el volumen ocupado por el material a batir,  $m_m$  es la masa del material y  $\rho_m$  es la densidad del mismo. Habiendo realizado este cálculo se procede a realizar el cálculo de las dimensiones partiendo de la ecuación del volumen de un cilindro.

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

Y tomamos que:

$$D = 2H$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$D = 58 [cm] \text{ y } H = 28[cm]$$

El dimensionamiento funcional tiene por objeto determinar las dimensiones básicas del recipiente donde se realiza el batido.

- **Cálculo de la potencia del motor**

Para realizar el cálculo de la potencia del motor se requiere determinar qué tipo de fluido, se encontró que el batidillo exhibe un comportamiento de fluido newtoniano<sup>[1]</sup>. Basados en información existente de las propiedades viscosas del fluido<sup>[1]</sup>, se procede a realizar los cálculos<sup>[2]</sup>.

En primera instancia se calcula el Reynolds con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu}$$

Datos iniciales:

Densidad:  $540 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

Viscosidad:  $5 [Pa * s]$

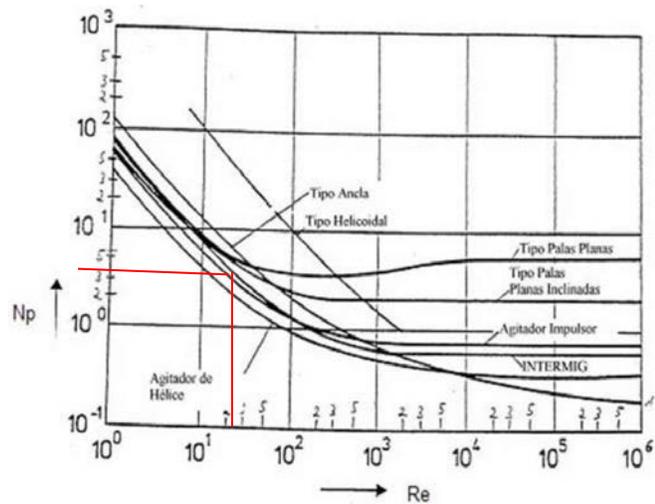
Velocidad angular:  $100[rpm]$

Diámetro del agitador:  $0,55[m]$

Reemplazando:

$$Re = \frac{100 * (0,55)^2 * 540}{60 * 5} = 54,45$$

Para determinar el número de potencia se utiliza el siguiente gráfico.



Para palas planas se obtiene que el valor del número de potencia es  $N_p = 4$

Hallando la potencia con la siguiente expresión.

$$P = N_p * N^3 * d^5 * \rho$$

Reemplazando:

$$P = 4 * (1,667^3) * (0,55^5) * 540$$

$$P = 503,6 [W] = 0,67 [HP]$$

Se asume que las aspas inferiores acopladas al eje consumen la misma cantidad de potencia que las aspas superiores. Aplicando un factor de seguridad de 1.5 por ineficiencias en el motor y la contextura que el batidillo va adquiriendo con el batido.

$$P = 503,6 * 2 * 1,5$$

$$P = 1510,8 [W]$$

Basado en estos resultados se selecciona un motor de 100 [W] a 100[rpm].

- **Cálculo del eje**

Para calcular el diámetro del eje<sup>39</sup> se inicia con el diagrama de cuerpo libre, los esfuerzos se concentran en 2 lugares en particular, donde están situadas las aspas del batidor. Se asume que la potencia consumida por cada grupo de aspas es la misma basado en el hecho que la panela pulverizada cuenta con propiedades similares en cada proceso.

Para calcular la potencia se utilizan las siguientes correlaciones:

$$P = \tau * \omega$$

Donde  $\tau$  es el torque y  $\omega$  es la velocidad angular, despejando el torque y reemplazando los datos:

$$\tau_m = \frac{1600[W]}{10,43 \left[ \frac{rad}{s} \right]} = 153,4[Nm]$$

Es el torque que debe entregar el motor.

Se procede a calcular el diámetro del eje con las siguientes ecuaciones:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{\tau_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

En este caso, no existen fuerzas transversales aplicadas que causen flexión, por lo tanto,  $M_a = 0$ , y la ecuación se reduce a:

$$d = \left\{ \frac{16\sqrt{3}N_f}{\pi} \left( \frac{\tau_m}{S_y} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Dónde,

$N_f$ : Factor de seguridad

$P$ : Potencia consumida por el agitador

$\omega$ : Velocidad angular

$T_m$ : Torque medio

---

<sup>39</sup> BEER F. Mecánica de Materiales. Quinta Edición, McGraw Hill. México. 2010

Sy: Resistencia a la fluencia del material

Se escogió usar acero de AISI 304 y un factor de seguridad de 2.5.

$$S_y = 205 \text{ [MPa]}$$

$$d = \left\{ \frac{16\sqrt{3} * 2,5}{\pi} \left( \frac{153,4}{205 \times 10^6} \right) \right\}^{\frac{1}{3}}$$

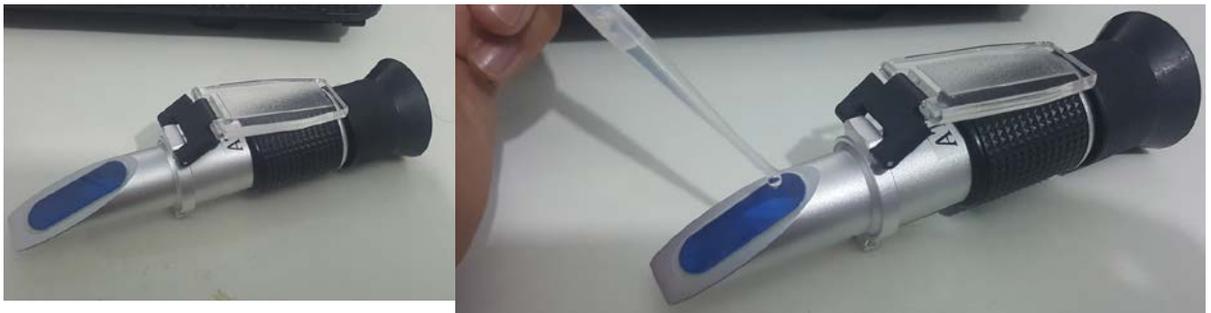
$$d = 28 \text{ [mm]}$$

## 7. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO DE LA MAQUINA PULVERIZADORA DE PANELA

Se cuenta con una estufa eléctrica la cual maneja 5 niveles de calentamiento, mediante una perilla se aumenta o disminuye la cantidad de calor a suministrar como simulación del ingenio panelero.

Las condiciones físicas del lugar en el que realiza la operación debe ser un lugar plano para la ubicación de la maquina pulverizadora de panela, esta es pertenece a una parte de las etapas del proceso completo de pulverización de panela, se cuenta con una olla con capacidad aproximada de 3 litros, para el inicio del calentamiento de la miel de panela, la cual se encuentra inicialmente a temperatura ambiente

Inicialmente se realiza la medición de las mieles de panela a utilizar con un refractómetro que es el instrumento que cuantifica los contenidos de sólidos solubles totales en el jugo o soluciones azucaradas cuya unidad de medida son los grados Brix, primero se colocó agua destilada en el prisma para la calibración del aparato, para realizar la calibración y dejar en cero grados brix, posterior a esto se disuelven unas gotas de las diferentes muestras de la miel de panela para tomar el registro del refractómetro como se muestra en la tabla 17.



Fuente. El autor

Tabla 17. Valores de °Brix obtenidos de las diferentes mieles de panela a temperatura ambiente.

Pruebas	°Brix Miel de panela (%)	Temp Miel de panela (°C)
1	19.80%	20 °C
2	20.30%	22 °C
3	21.00%	21 °C
4	21.50%	20 °C
5	21.80%	20 °C
6	19.80%	22 °C
7	21.40%	22 °C
8	19.00%	22 °C

Fuente. El autor

Posterior a la toma de datos de las condiciones iniciales de las mieles de panela a usar se procede al calentamiento a la temperatura apta para la producción de panela pulverizada; para la toma de los registros se disolvió una parte de la muestra en dos partes de agua destilada para lograr obtener un registro ya que al dejar la muestra pura en el refractómetro utilizado está se solidificará y la lectura no es la adecuada.

Tabla 18. Valores de °Brix obtenidos de las diferentes mieles de panela a temperaturas superiores a los 120°C.

Pruebas	Temp (°C)	°Brix Panela. Pulverizada
1	135 °C	88.80
2	130 °C	88.00
3	137 °C	90.80
4	128 °C	89.60
5	137 °C	91.20
6	137 °C	90.80
7	135 °C	90.80
8	128 °C	88.80

Fuente. El autor

En la tabla anterior se puede observar el porcentaje de °Brix obtenidos al calentar la miel de panela a una temperatura superior a 120 °C se logra identificar que las mieles de panela superiores al 90% son aptas para el proceso de pulverización.

Figura 46 Vista de las mieles a más de 120°C

Miel de panel a temperatura superior a 120 °C y menor a 90 °Brix

Miel de panel a temperatura superior a 120 °C y superior a 90 °Brix



Fuente: el autor

Para las pruebas de validación en la maquina pulverizadora se realizaron con las mieles que se obtuvieron a mayores a 90 °Brix

Tabla 19. Depuración de las mieles a usar en las pruebas experimentales

Pruebas	Temp (°C)	°Brix Panela. Pulverizada
3	137 °C	90.80
5	137 °C	91.20
6	137 °C	90.80
7	135 °C	90.80

Fuente. El autor

Para las pruebas se realizan la muestra 5 que obtuvo 91.2 °Brix y la muestra 6 que obtuvo 90.8 °Brix ya que las demás muestras obtuvieron similares °Brix;

Tabla 20. Datos obtenidos de las pruebas experimentales

Pruebas	°Brix Miel de panela	Temp (°C) Miel de panela	°Brix Panela. Pulverizada	Temp (°C)	Cantidad ingresada (gr)	Cantidad retenida en tamiz 1mm (gr)	Cantidad retenida en tamiz 3mm (gr)	Cantidad retenida en tamiz 5mm (gr)
5	21.80	20 °C	91.20	137 °C	1833	1283	366	183
6	19.80	22 °C	90.80	137 °C	1954	1367	390	195

Fuente. El autor

Se da inicio al proceso de pulverización ingresando la miel de panela que obtuvo 91.2°Brix a 135°C a la maquina como se muestra en la Figura 47.

Figura 47 Ingreso de la miel de panela a 135°C y 91,2 °Brix a la maquina



Fuente. El autor

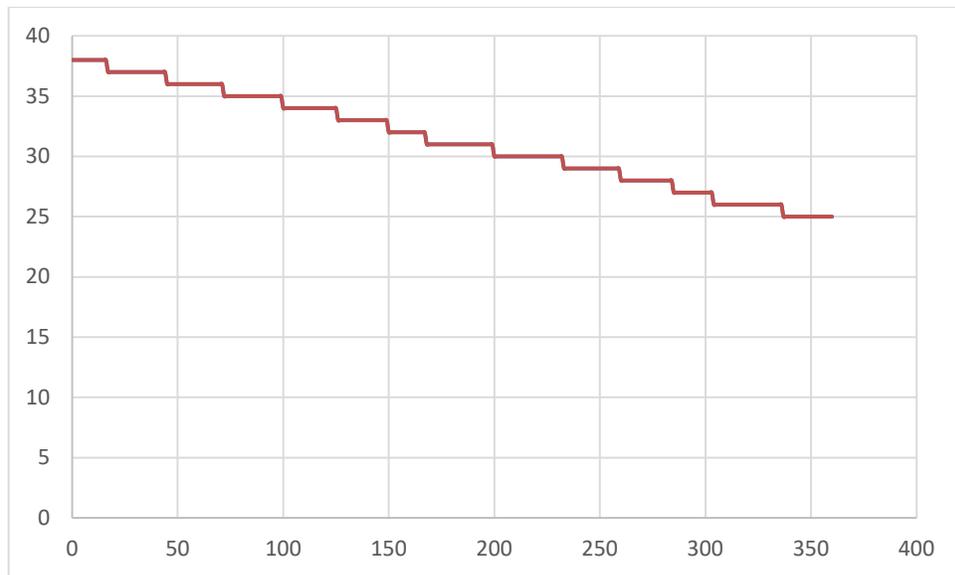
El proceso se tarda 360 segundos aproximadamente para la que la miel de panela se cristalice y cambie su estado de miel de panela a panela pulverizada esto debido a que durante el aireado se libera el calor de la miel de panela estando a 135 °C disminuyendo a temperatura a 38°C; en la Figura 49 se puede observar cómo varia la temperatura de la miel de panela hasta convertirse en panela pulverizada.

Figura 48 Proceso de batido y aireado en la maquina pulverizadora de panela



Fuente. El autor

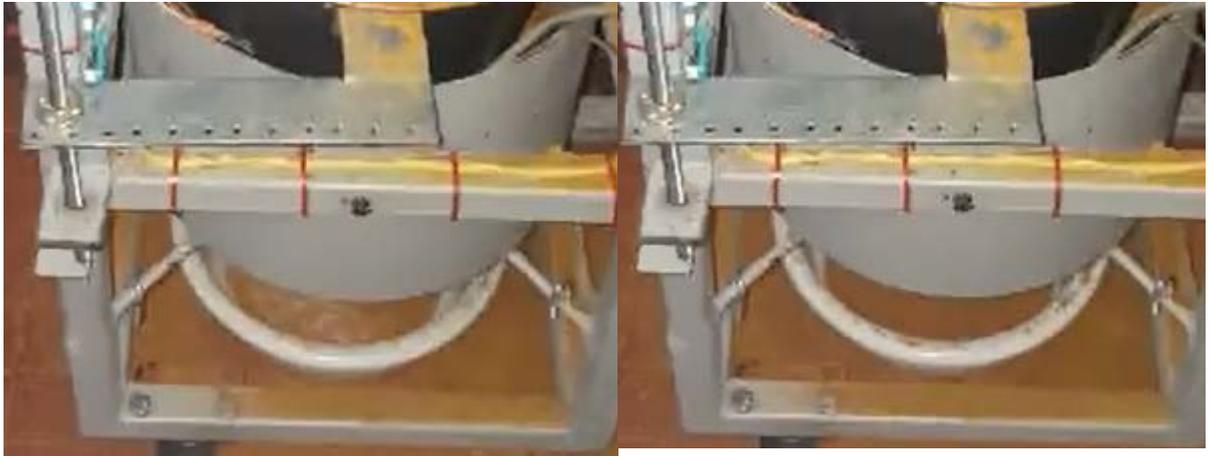
Figura 49 Variación de la temperatura en la maquina durante el proceso de batido y aireado



Fuente. El autor

Al finalizar la etapa de batido y aireado ya se ha cambiado la miel de panela a panela pulverizada, la cual continua a la etapa final de la maquina donde recoge la panela pulverizada y la tamiza en una malla de 1mm como se puede observar en la Figura 50

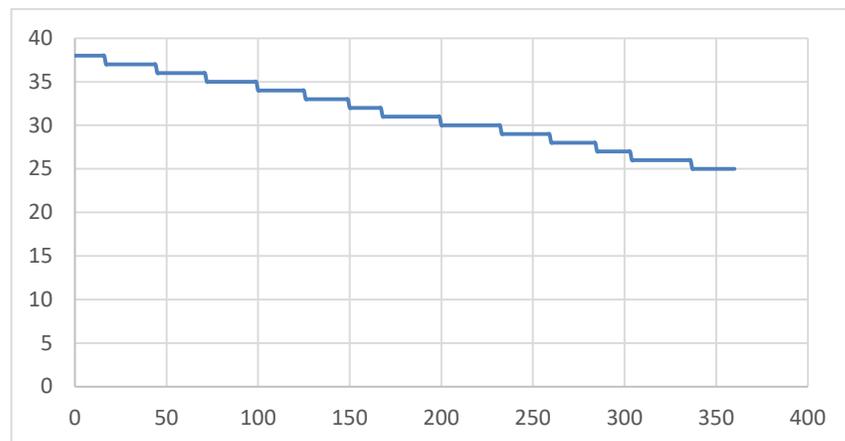
Figura 50 Etapa de Tamizado de la maquina pulverizadora de panela



Fuente. El autor

Finalmente, a recolectar la panela pulverizada se obtiene que la miel de panela pulverizada de la muestra 6 salió con mayor cantidad de grumos que la de la muestra 5 como se observa en la Figura 52.

Figura 51 Variación de la temperatura en la etapa de tamizado



Fuente. El Autor

Figura 52 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 5 y la muestra 6



Fuente. El autor

Para la observar de una forma más discriminada las muestras se pasaron por diferentes tamices, el primero es de 1mm el cual es el que tiene la máquina, los grumos que no lograron pasar por este tamiz fueron separados por un tamizado manual ya que la maquina fue diseñada solo para un tamiz específico; los tamices usados fueron de 3mm y de 5mm como se muestra en la figura 53

Figura 53 tamices de 3mm y 5 mm



Fuente. El autor

En las figuras 54 y figura 55 se puede observar finalmente la separación de los diferentes tamices utilizados.

Figura 54 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 5



Fuente. El autor

Figura 55 Resultado de la panela pulverizada obtenida de la muestra 6



Fuente. El autor

## CONCLUSIONES

- Las condiciones de la miel de panela de los diferentes ingenios paneleros varían de acuerdo a las condiciones en la que ha sido plantada la caña de azúcar, se identifica que la caña que fue plantada en una zona húmeda no es apta para el proceso de pulverización ya que la caña sembrada en estas áreas no permite que se tenga el grano adecuado para la pulverización.
- De acuerdo a las pruebas experimentales realizadas con diferentes tipos de miel de panela en diferentes plantaciones del ingenio panelero se pudo observar que la mejor miel de panela para el proceso de pulverizado es la que se encuentra plantada en zonas secas y áridas.
- En cuanto a las técnicas de pulverizado identificadas durante el proceso de consecución de la miel en los diferentes ingenios paneleros, la condición de la miel de panela se pudo observar que podrían realizar diferentes técnicas para el pulverizado, lo cual implicaría hacer programaciones diferentes para cada caso.
- Se comprobó que el prototipo final construido realiza la operación esperada, sin embargo, se identificaron las siguientes limitantes:
  - RPM del motor AC: Debido a que no se realizó un controlador de velocidad en el motor AC para un inicio suave de 30 -40 rpm los cambios que se pueden hacer con el sistema de cruce por cero propuesto son bruscos, lo cual puede generar grumos de gran tamaño.
  - El diseño mecánico propuesto es robusto y dificultoso para los mantenimientos después de tiempos altos de operación, es decir, toma más tiempo del esperado al momento de hacer el mantenimiento a la máquina.
- Posterior a la realización de las pruebas se revisó las condiciones operativas de las partes mecánicas encontrando ningún cambio en las superficies en contacto entre la miel caliente (130°C), ni en las aspas superiores.

- Evaluando el desempeño de la maquina respecto a otras propuestas por diferentes autores se puede afirmar que se puede compactar tres de los procesos (aireado, pulverizado, tamizado) en una sola máquina, mientras que las otras sugieren tres máquinas por cada proceso.
- En cuanto al desempeño de la maquina diseñada y construida se puede afirmar que tiene buen desempeño de operación, es robusta y sobredimensionada ya que la cantidad de miel que se esperaba fuese procesada la maquina funcionó sin presentar inconvenientes.

—

## TRABAJO FUTURO

- Se recomienda realizar nuevos diseños a las aspas, por ejemplo, inclinadas y no rectas, esto con el fin de que al momento de iniciar la cristalización de la miel las aspas puedan dejar pasar el material ya cristalizado a la parte superior, y así disminuir la cantidad de grumos.
- Para tener mayor éxito en el proceso de pulverización se sugiere verificar mediante sensores que las condiciones de la miel de panela sean óptimas (humedad, temperatura, grados brix) antes de que sea ingresada a la máquina pulverizadora.
- Diseñar un sistema de control para la etapa de batido y pulverizado que garantice los cambios de velocidad en las diferentes etapas en la cristalización de la miel de panela.
- Se sugiere mejorar la tolva en la que se recibe la panela ya pulverizada (utilizando un sistema rotativo que ayude a la continuidad del material a la zona de empaque, por ejemplo) así mismo la unión entre el cilindro y el embudo de la tolva.
- Se recomienda para la realización de pruebas futuras implementar sistemas y dispositivos para la medición del torque en la etapa de batido para lograr curvas de eficiencia aproximadas con las diferentes mieles que se pueden obtener en el sector panelero.

## BIBLIOGRAFÍA

BEER F. Mecánica de Materiales. Quinta Edición, McGraw Hill. México. 2010

CARDOZA, K. (2014). Propuesta de norma técnica para la panela granulada y proceso para su elaboración y aprobación. Universidad de Piura. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Repositorio institucional

CASTELLANOS, O., Torres. L. M., y Flórez D.H. (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia. Bogotá. Recuperado de: [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena\\_productiva\\_panela.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena_productiva_panela.pdf)

CIMPA (2012), Convenio ICA-HOLANDA de Investigación y Divulgación para el mejoramiento de la Industria Panelera. Manual para la selección, montaje y operación de los equipos de molienda para la producción de panela. Barbosa. Santander.

CONGRESO DE COLOMBIA (1990). LEY 40 DE 1990. "Por la cual se dictan normas para la protección y desarrollo de la producción de la panela y se establece la cuota de fomento panelero". FEDEPANELA. Diario Oficial. Bogotá, D.E., 4 de diciembre de 1990.

CONGRESO DE COLOMBIA (2001). Ley 788 de 2002. "Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal de orden nacional y territorial ". Diario Oficial. Bogotá, D.E., 27 de diciembre de 2002.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA - Fundación de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2016. Evaluación de la producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Bogotá, Corpoica- FAO (informe final de proyecto) en proceso de publicación)

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (CORPOICA) 2016. Informe anual del Programa Nacional de Maquinaria Agrícola y Postcosecha. Centro de Investigación Tibaitatá. Bogotá, Colombia, CORPOICA.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Artículos técnicos sobre el cultivo de la caña y la elaboración de panela. Santander: CORPOICA, 2006.

DANE, MADR, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, IICA. 2015. Observatorio Agrocadenas Colombia. Estadísticas Industria Manufacturera. Composición de la producción. Demanda de materias primas y Producción industrial. DANE – Encuesta Anual Manufacturera.

DANE. (2016). Departamento Nacional de Estadística. Producción de panela tradicional y pulverizada en Colombia. Bogotá.

DOOLITTLE J. SEYMOUR. El laboratorio del ingeniero mecánico. Hispano americana - buenos aires. 1962

ESPARZA, M Bellsario et al. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN PANELA. Agronomía Colombiana. 1999. Volumen 7.

FAJARDO N., B. Y MOLINA D., D. P. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de la panela granulada. Trabajo de grado, Universidad Nacional de

Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola. Santa Fe de Bogotá. 1992.

FEDERACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE PANELA (FEDEPANELA). 2016. Informe anual. FEDEPANELA, Bogotá, Colombia.

FEDERACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE PANELA. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga: CORPOICA.

GARCÍA B, H. R. "Elaboración de la panela granulada". En: Artículos técnicos sobre el cultivo de la caña y la elaboración y la elaboración de pane/a. CORPOICA, Tibaitatá. 1996.

GARCÍA H., Abarca A., y Moreno F. Establecimiento de los parámetros que determinan el comportamiento de los molinos paneleros. Revista ICA. 1977.

GARCÍA M. Gabriel A. Proyecto de prefactibilidad para un plan de negocios en la diversificación de productos de la panela en una finca productora de caña de azúcar. Tesis. Colegio mayor de nuestra señora del rosario. Facultad de economía. Especialización en evaluación y desarrollo de proyectos. Bogotá 2015.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS y CERTIFICACIÓN. Norma para la Determinación de densidad aparente para café instantáneo. NTC 852, Parte I. ICONTEC, Santa Fe de Bogotá. 1992.

LÓPEZ, F. (1948). Manual práctico de fabricación de azúcar de caña, mieles y siropes invertidos con su control técnico – químico. Cultural S.A. Habana, Cuba.

MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE LA PANELA Y OTROS DERIVADOS DE LA CAÑA. Centro de investigación y divulgación para el mejoramiento de la industria panelera en Colombia. CIMPA. Barbosa. Santander 2012.

MASSAN Lilia. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Métodos analíticos para la determinación de humedad, alcohol, energía, materia grasa y colesterol en alimentos. Departamento de Agricultura. FAO. 2010.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2004). Decreto número 1774 de 2004. "Por el cual se crea la Comisión Nacional Intersectorial para la Vigilancia de la Calidad de la Panela". FEDEPANELA. Diario Oficial No. 45.568, de 3 de junio de 2004.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agro cadenas Colombia. Exportaciones, importaciones, balanza comercial. 2012 – 2015.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (2004). Resolución No. 0002546 de 2004. "Por la cual se señalan los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano". Bogotá, D. C., 6 de agosto de 2004.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL (2006). Resolución número 779 de 2006. "Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela ". FEDEPANELA. Diario Oficial No. 46.223, de 17 de marzo de 2006.

MORENO, J. (2012). Producción y comercialización de panela certificada para el consumo humano. Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de posgrado en Gerencia Estratégica.

MORENO, J., Orozco, E. (2001). Etapas de la Producción de Panela. El proceso de Clarificación de la Panela. Pág: 2-14.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. ICONTEC NTC 1311. PRODUCTOS AGRÍCOLAS PANELA. Normas para la elaboración y comercialización de panela. 19 de agosto de 2009.

PINTO, R. Almacenamiento y empaque de la panela. En: Revista ICA Informa XXII. Bogotá. 1988.

PIRHUA. BARRERO RIPOLL, A., PÉREZ-SABORID SÁNCHEZ-PASTOR, M. "Fundamentos y aplicaciones de la Mecánica de Fluidos" Ed. McGraw Hill (2005)

QUEZADA, W., (2009), "Determinación de parámetros de proceso para la producción y aromatización de miel hidrolizada, panela soluble y azúcar". Universidad Técnica del Norte. Ecuador 2009.

RAMOS, Aurelio. "Disponibilidad de los consumidores a la compra de productos ecológicos y sensibilidad de precios en Colombia". Centro Nacional de Consultoría. 2002.

RODRÍGUEZ, G. 2000. La agroindustria panelera frente al nuevo milenio. Bucaramanga, Corpoica Fedepanela. SENA.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. (2015). Estudio de mercadeo. Cadena productiva de la panela en Colombia. Recuperado el 11 de septiembre de 2014, de <http://www.sic.gov.co/documents/10157/1600658/Panela2012.pdf/e33f1254-ef41-4359-9e64-46efde033871>

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 1 de 8</b>

## MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

0	EMITIDO PARA APROBACION	25-01-2019	JONATAN FERNANDO CASTELLANOS HERNANDEZ
<b>REV.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>ELABORÓ</b>

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 2 de 8</b>

## CONTENIDO

Pág.

1.	INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD _____	3
2.	GLOSARIO DE TÉRMINOS. _____	4
3.	INSTALACIÓN _____	5
4.	OPERACIÓN _____	5
5.	COMPONENTES PRINCIPALES _____	6
6.	DESARROLLO DE ACTIVIDADES _____	7
6.1.	Mantenimiento preventivo _____	7
6.2.	Mantenimiento predictivo _____	8
6.3.	Mantenimiento bajo condición _____	8

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 3 de 8</b>

## **1. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

### **ADVERTENCIA LEER ANTES DE TRABAJAR CON ESTA MÁQUINA**

Fallos en la observancia de las siguientes instrucciones pueden ocasionar lesiones en el personal o daños en la máquina.

- ✚ Antes de encender se debe revisar que no se encuentren los cables pelados y/o cortados
- ✚ Evite quitar las placas de advertencia o instrucciones de la máquina.
- ✚ La puerta del tablero de distribución eléctrico debe estar cerrada y bloqueada, Abrir la puerta supone exponerse a voltajes peligrosos.
- ✚ Cuando la máquina está siendo reparada o en mantenimiento esta debe estar completamente desconectada.
- ✚ Evite poner las manos u objetos sobre la máquina cuando esté en funcionamiento.

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 4 de 8</b>

## **2. GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

**Deshumidificador:** Equipo que permite retirar la humedad de la panela pulverizada, haciendo que el tamaño del grano sea menor.

**Motor:** Sistema motriz que permite transformar la energía eléctrica en mecánica.

**Recipiente de producto:** Recipiente donde el producto líquido es colocado para su posterior transformación en panela pulverizada, presenta una forma cónica para disminuir posibles derrames.

**Aspas de mezclado:** Sistema mecánico que transmite la energía del motor al producto para reducir su humedad y permitir la cristalización.

**Sistema de Posicionamiento:** Sistema que permite elevar y descender para ubicar el recipiente para dejar caer el producto después de que la humedad ha sido reducida lo suficiente para pasar al tamizado.

**Sistema de tamizado** : Sistema que permite reducir el tamaño del grano al deseado para su comercialización.

**Estructura:** Chasis del sistema que permite soportar las diferentes partes del pulverizador de panela.

**Embudo de recolección:** Salida del producto con forma de embudo para facilitar su recolección y empaçado.

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 5 de 8</b>

### **3. INSTALACIÓN**

El conjunto está diseñado para ser situado en posición estática sobre un suelo firme y nivelado; Para su operación requiere de alimentación eléctrica monofásica (110 V)

### **4. OPERACIÓN**

El pulverizador de panela está diseñado para realizar varias operaciones, entre las que se encuentran:

-  Mezclar
-  Secar
-  Tamizar

De las operaciones mencionadas se recomienda no realizar dos operaciones simultaneas para mayor seguridad, sin embargo, la máquina está diseñada para hacerlo

#### **MEZCLADO**

Al verter la miel de panela a 130° en el recipiente deberá encender el sistema, sea en el modo manual o automático a través de la interfaz gráfica, esta comenzará a girar de manera constante en un periodo aproximado entre 5 y 8 minutos aireando la miel de panela deshidratada hasta que esta es cristalizada.

#### **SECADO**

El secado es opcional dependiendo las condiciones climáticas, tipo de caña obtenida y sector a usar (altura sobre el nivel del mar) este paso es realizado para agilizar y/o ayudar a que la miel de caña de azúcar deshidratada sea cristalizada de manera más optima y logre pulverizarse en los tiempos esperados para la producción. Para tal objetivo se enciende el sistema deshumidificador durante la etapa de transición de mezclado a tamizado mediante el sistema de posicionamiento, este sistema permite desacoplar el recipiente inicial aun con las aspas girando, permitiendo que el material caiga para el siguiente nivel por gravedad.

#### **TAMIZADO**

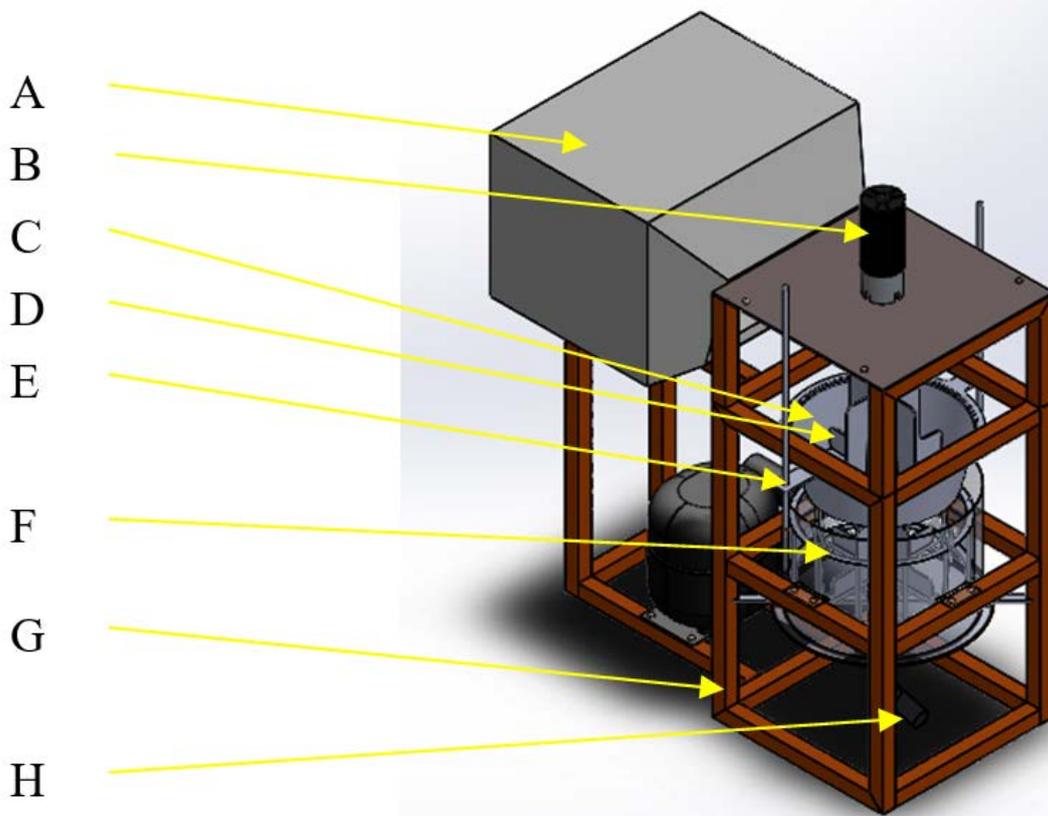
El tamizado se realiza después de que el material ha caído en el sistema de tamizado, este proceso se realiza automáticamente debido a que la potencia para el tamizado es otorgada por el mismo motor, permitiendo una optimización del proceso.

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	Página 6 de 8

## RECOLECCION

El material tamizado cae en una tolva la cual internamente se realiza el tamizado así el producto ya pulverizado caerá a través del embudo formado al final de dicha tolva permitiendo su recolección y posterior envasado.

## 5. COMPONENTES PRINCIPALES

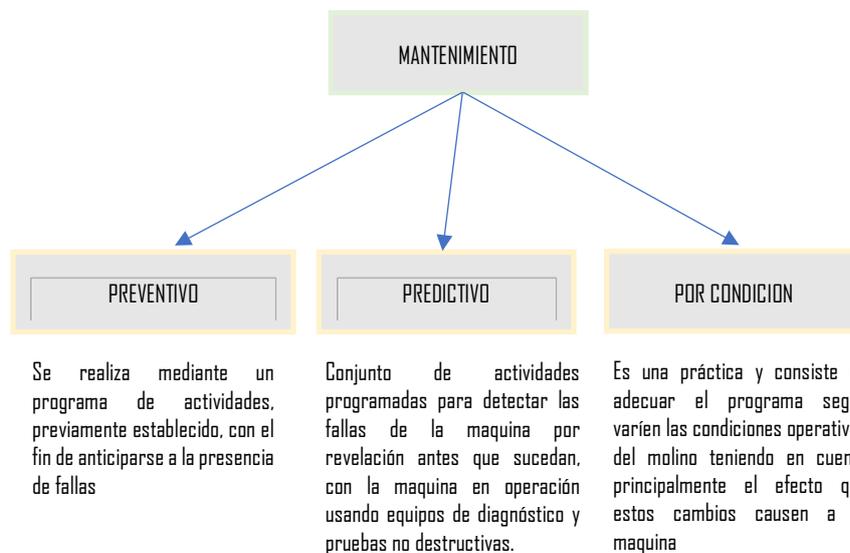


- A. Deshumidificador
- B. Motor
- C. Recipiente de producto
- D. Aspas de mezclado
- E. Sistema de Posicionamiento
- F. Sistema de tamizado
- G. Estructura
- H. Embudo de recolección

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	Página 7 de 8

## 6. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

El mantenimiento de la maquina pulverizadora de panela con operación continua (24 horas al día durante la molienda) depende de muchos factores relacionados directamente con las condiciones operacionales, que se conjugan para seleccionar el método adecuado que permita desarrollar las labores de mantenimiento requeridas en el molino garantizando su óptima operación.



A continuación, se presenta una breve descripción de los métodos de mantenimiento con los que se debería trabajar:

### 6.1. Mantenimiento preventivo

Las actividades de Mantenimiento preventivo para un período de operación se programan por parte del Asesor en Planeación de la producción de panela pulverizada, con el fin de establecer fechas y tiempos de ejecución, para las maniobras operacionales correspondientes al tiempo de parada de la máquina.

Como son:

- Limpieza:  
La maquina debe ser limpiada posterior a la operación, removiendo residuos que no fueron procesados.
- Aceitado y engrasado  
Los componentes rotatorios deben ser aceitados y engrasados posterior a la limpieza realizada en la maquina para evitar desgastes antes de tiempo de las piezas.

	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA PULVERIZADA</b>	
Rev. 0	Doc. No. PANELA-MAQ-GEN-001	<b>Página 8 de 8</b>

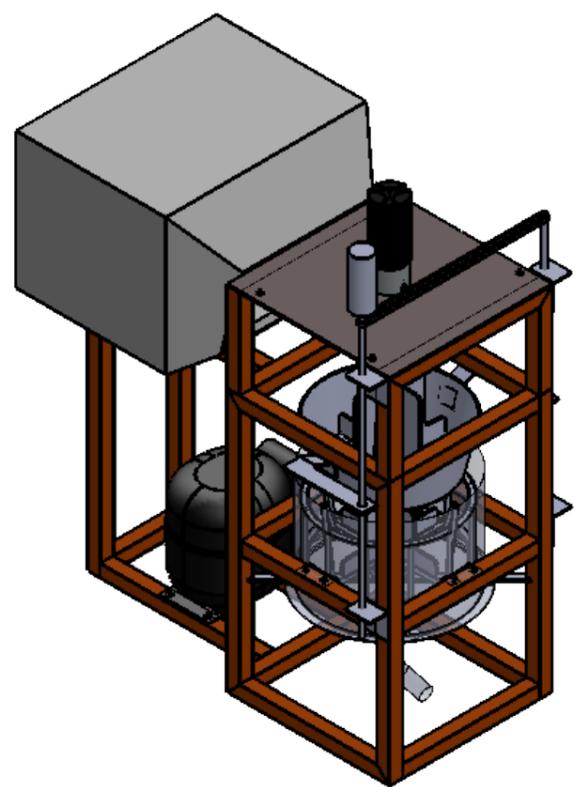
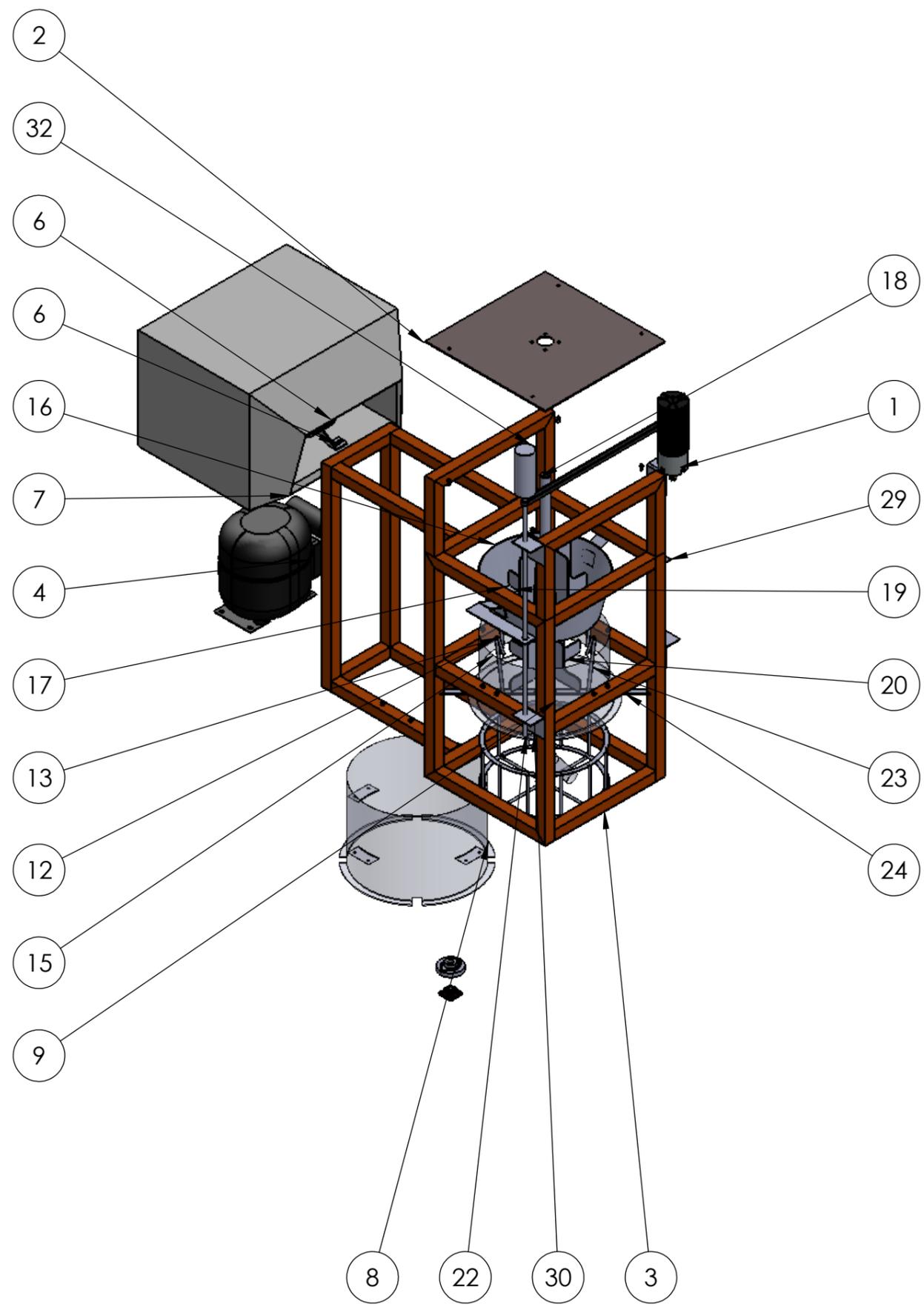
## **6.2. Mantenimiento predictivo**

Partiendo del hecho de que cada máquina tiene preestablecidos sus parámetros de funcionamiento en condiciones óptimas y sus límites permitidos de capacidad, cuando estos patrones varían indican los cambios en las condiciones de funcionamiento de la máquina, que al ser analizados determinan las medidas correctivas que se deben tomar, programando la reparación u operación del equipo con el conocimiento real de sus necesidades.

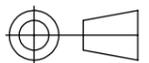
## **6.3. Mantenimiento bajo condición**

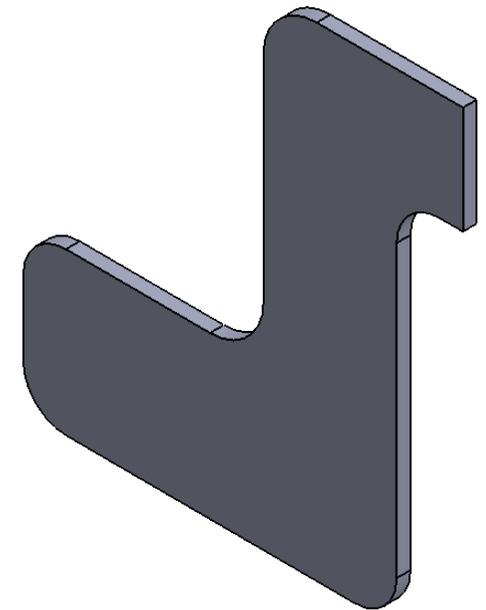
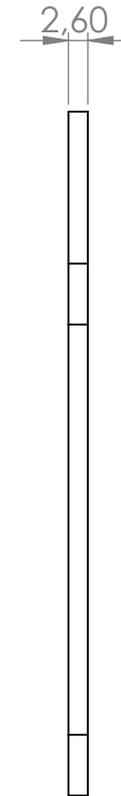
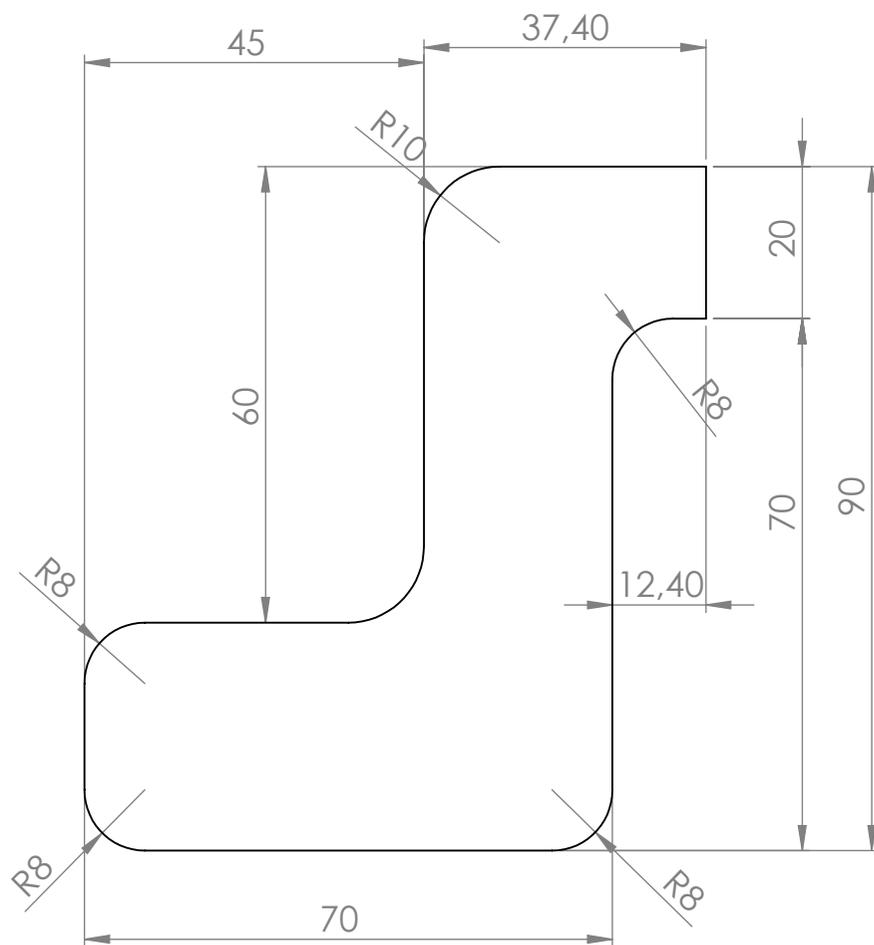
Este, más que un tipo de mantenimiento es una práctica que se debe seguir cuando se tiene implementado un determinado sistema de mantenimiento, y consiste en adecuar el programa según varíen las condiciones operativas de la planta teniendo en cuenta principalmente el efecto que estos cambios causen a los equipos.

Este tipo de mantenimiento está basado principalmente en la experiencia obtenida en molindas sobre el comportamiento de la maquina en determinadas condiciones de trabajo, y está fundamentado esencialmente en la inspección de las partes que por su función pueden resultar afectadas.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	DC Motor - 24V 30W	1
2	Lámina motor	1
3	Estructura	1
4	compresor	1
5	Assem1	2
6	Moteur + Cooler	1
7	Sistema de refrigeración	1
8	Camisa exterior	1
9	Tamizado cilíndrico	1
10	Chumacera de pared	1
11	Leva	1
12	Pieza plástica inferior	4
13	Pieza plástica superior	4
15	Tamiz	1
16	Recipiente Inicial Panela	1
17	Soporte Panela	1
18	Eje Principal	1
19	Conjunto de Aspas Superior	1
20	Conjunto de Aspas Inferior	1
21	Goma GuardaPolvo	1
22	Tornillo de Potencia	2
23	Embudo	1
24	Base Rodamiento	1
25	7202 BECBP	1
26	Buje Rodamiento	1
27	Soporte Rodamiento Eje	1
28	Soporte Elevador	1
29	Soporte Elevador Izquierdo	1
30	Soporte Tornillo de Potencia	4
31	Correa	1
32	Motor Elevador	1

Creado por <b>Jonatan Castellanos</b>		Aprobado por		Fecha <b>20/01/2019</b>	Formato <b>A3</b>
INGENIERÍA MECATRÓNICA				Área <b>Trabajo de grado</b>	
Tipo de documento Plano de fabricación			Titulo <b>Pulverizador de Panela</b>		
		Unidad dimensional <b>mm</b>	Escala: <b>1:10</b>	Nº plano <b>1.01.1</b>	Hoja <b>1/16</b>



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Aspa Inferior

PIEZA N° 1.1

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:1

MEDIDAS EN: mm

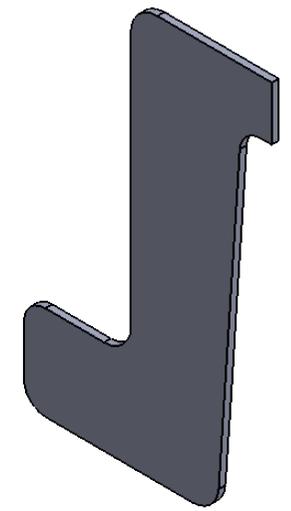
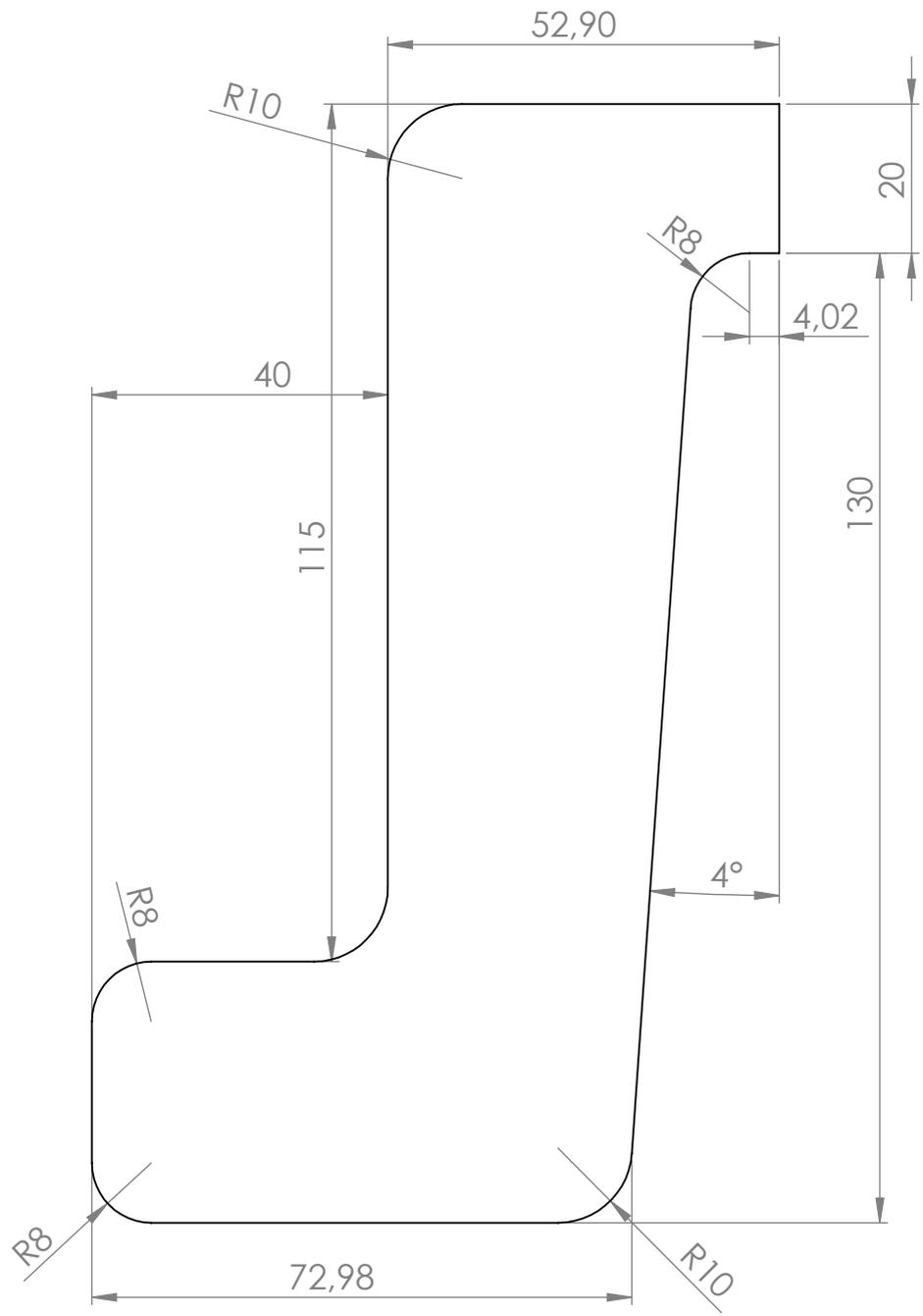
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



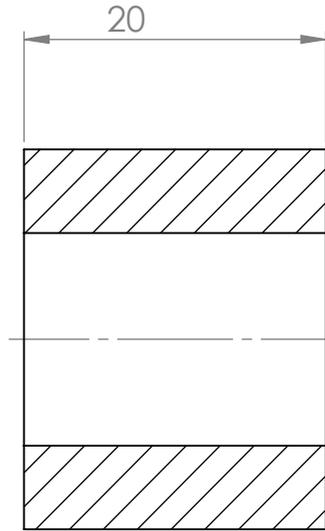
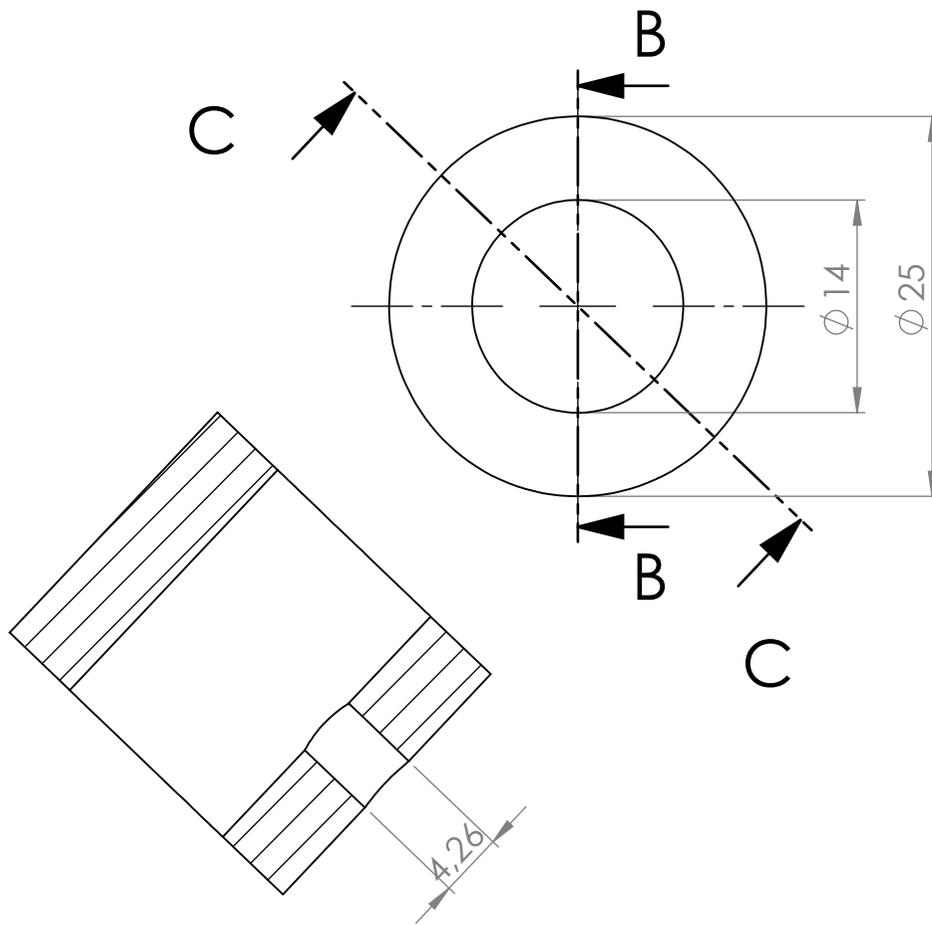
HOJA: 2/16

Formato A4

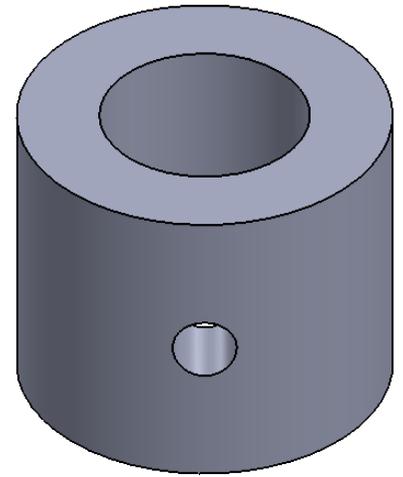


Cant: 4  
Calibre 12

INGENIERÍA MECATRÓNICA			Aspa Superior		PIEZA N° 1.2	MATERIAL: Acero inox 304
ESCALA 1:1	MEDIDAS EN:mm	FECHA: 20/01/19	DIBUJADO POR: Jonatan Castellanos		HOJA: 3/16	Formato A4



SECCIÓN B-B



SECCIÓN C-C

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Buje Aspas Inferior

PIEZA N° 1.3

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 2:1

MEDIDAS EN: mm

FECHA: 20/01/19

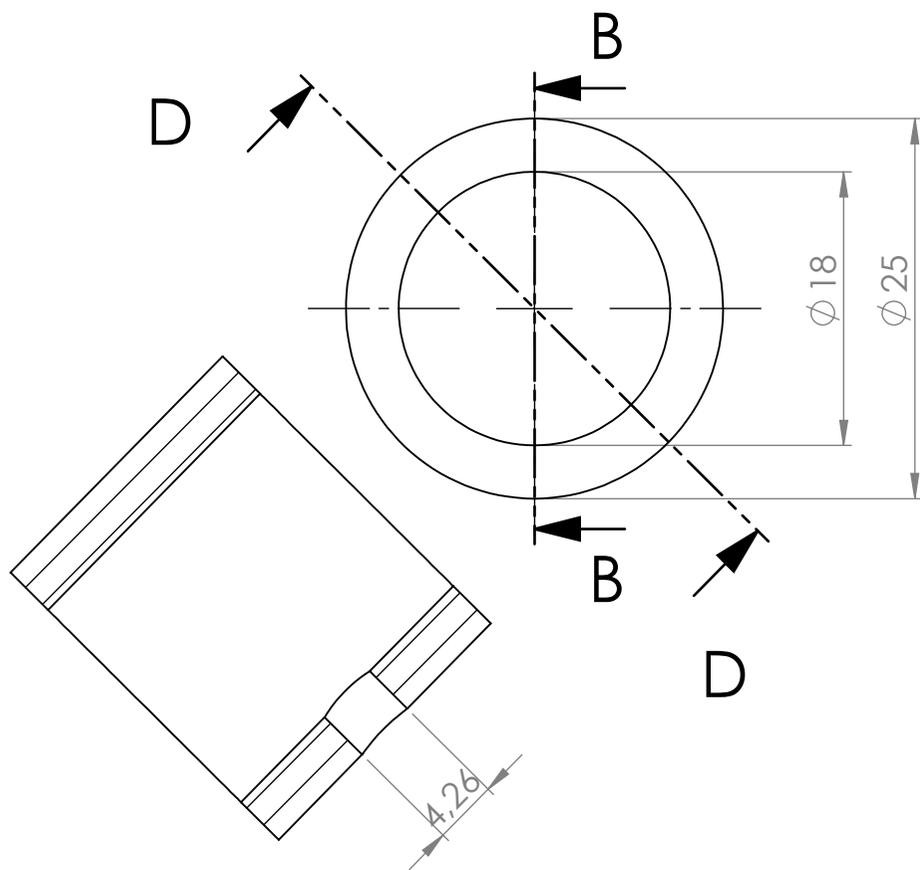
DIBUJADO POR:

Jonatan Castellanos

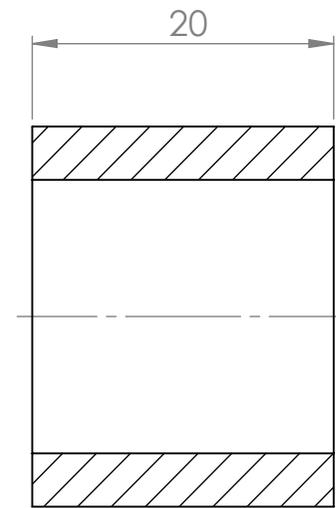


HOJA: 4/16

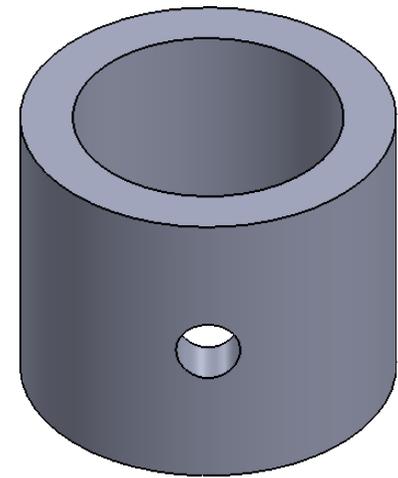
Formato A4



SECCIÓN D-D



SECCIÓN B-B



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Buje Para Aspas Superior

PIEZA N° 1.4

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 2:1

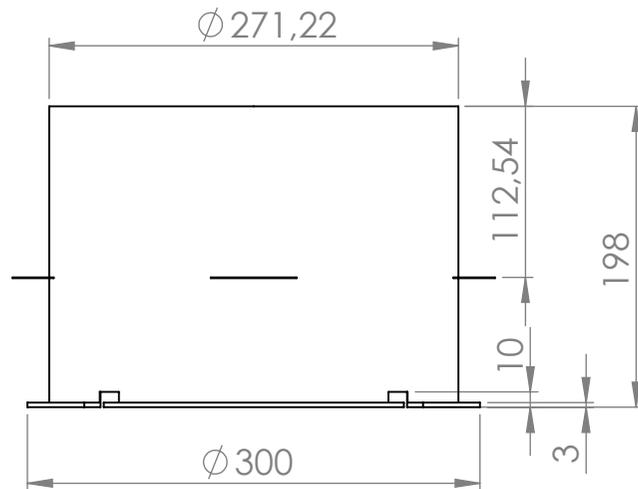
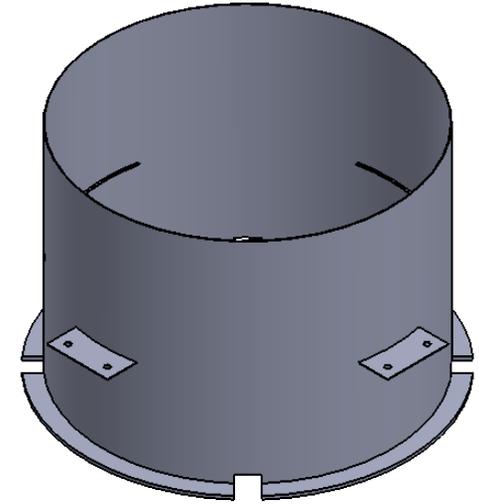
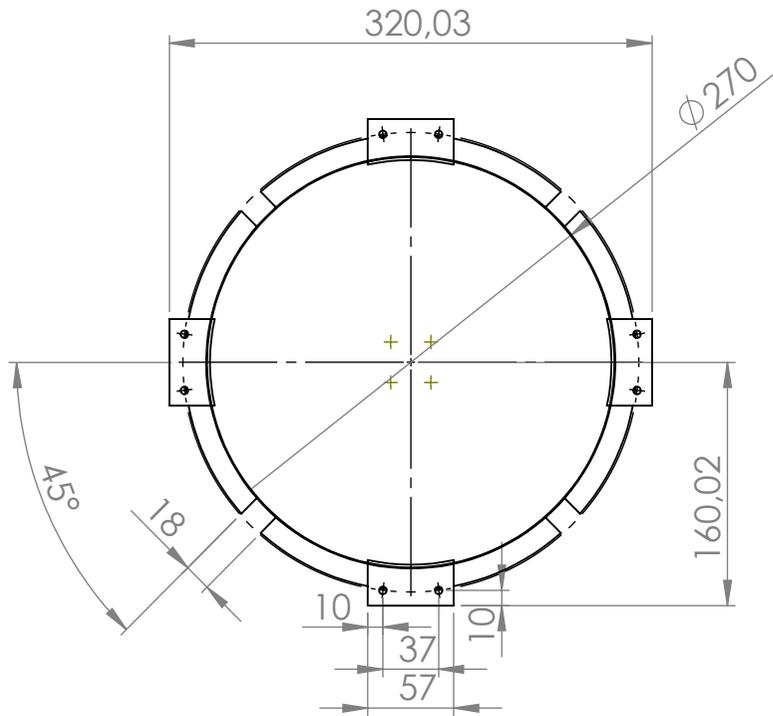
MEDIDAS EN: mm FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 5/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Camisa Exterior

PIEZA N° 1.5

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:5

MEDIDAS EN: mm

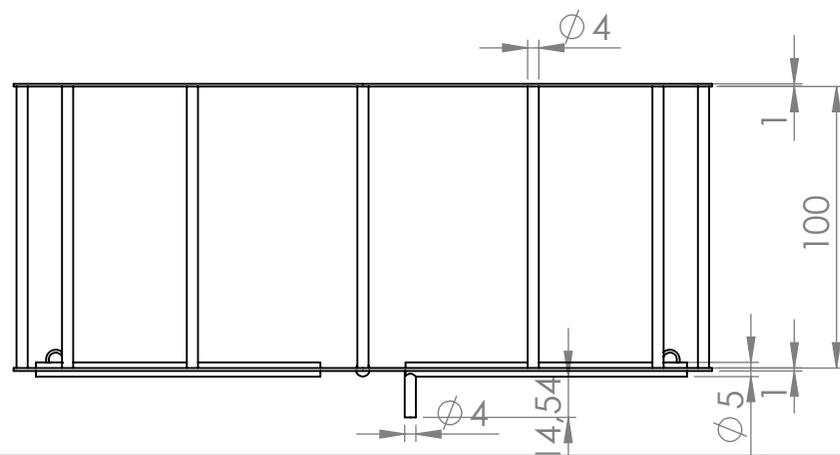
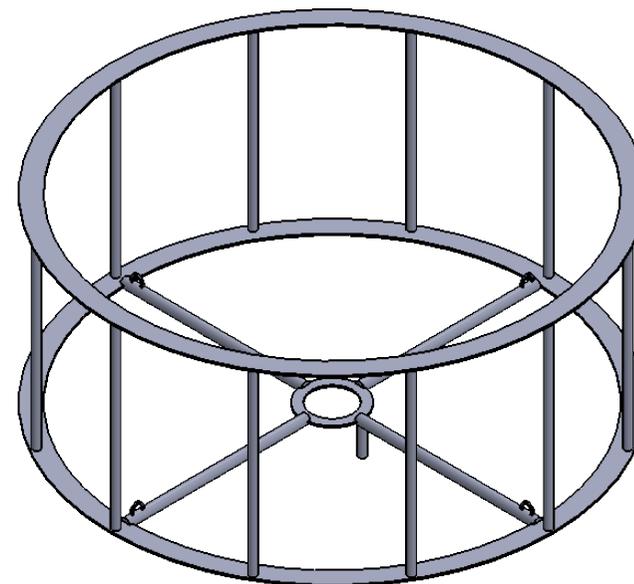
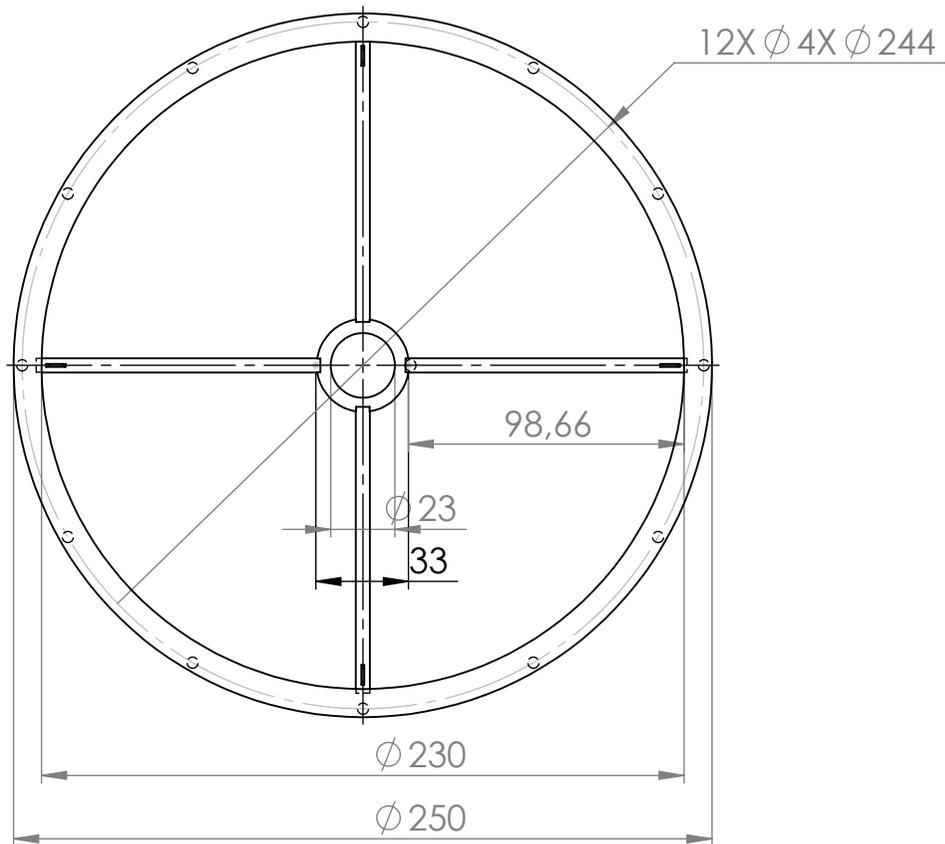
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 6/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Cilindro Tamizador

PIEZA N° 1.6

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:2.7

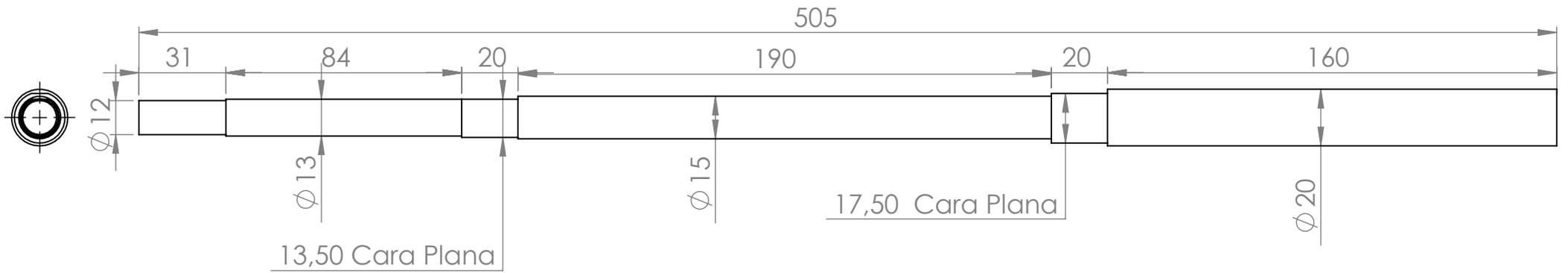
MEDIDAS EN: mm FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 7/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Eje Principal

PIEZA N° 1.7

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:2

MEDIDAS EN: mm

FECHA: 20/01/19

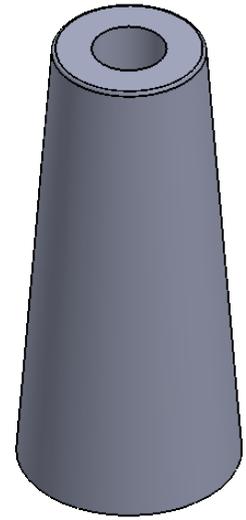
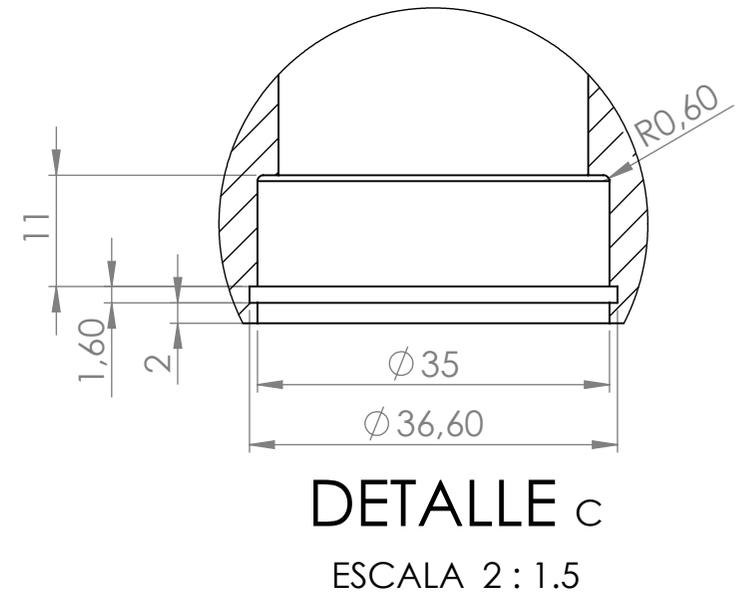
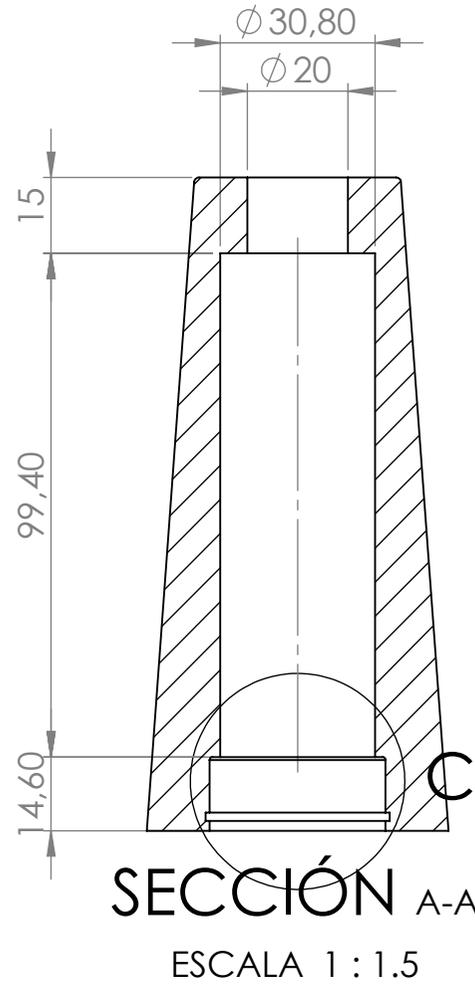
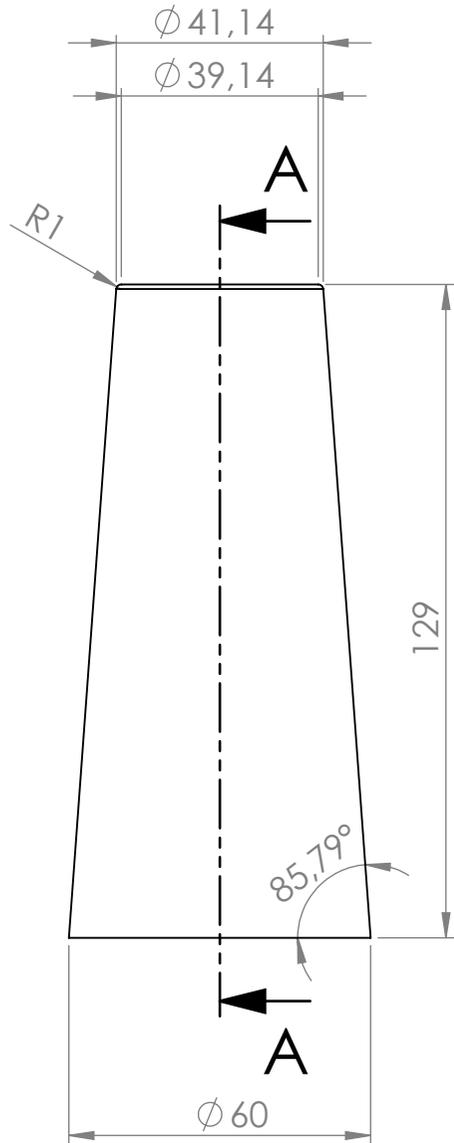
DIBUJADO POR:

Jonatan Castellanos



HOJA: 8/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Soporte Rodamiento Eje

PIEZA N° 1.8

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:1.5

MEDIDAS EN: mm

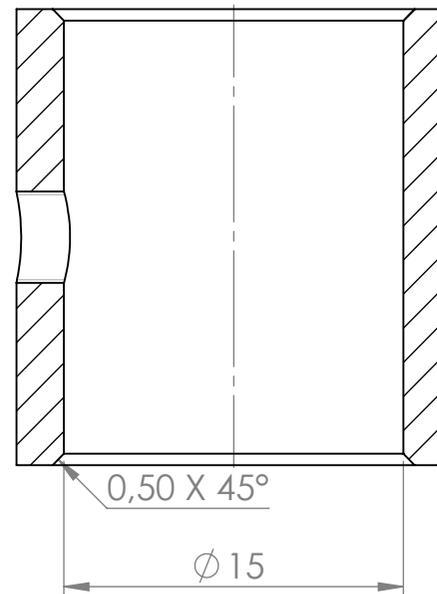
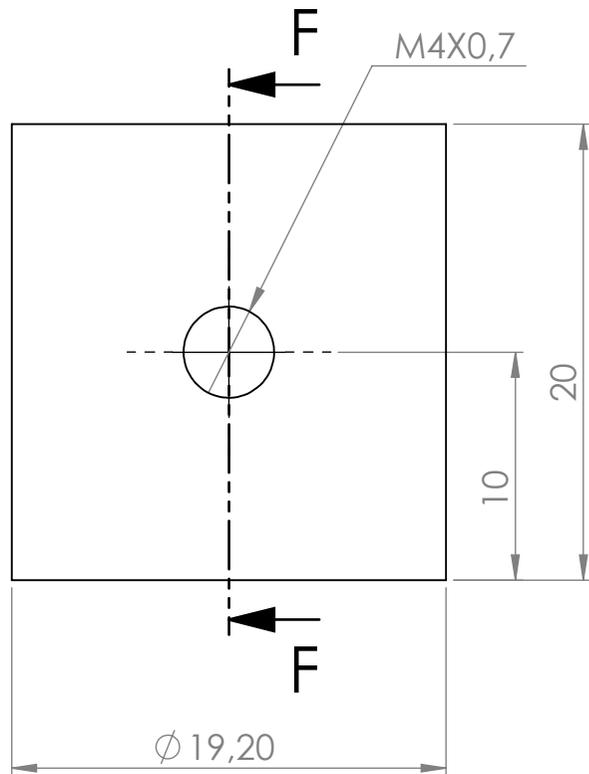
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 9/16

Formato A4



SECCIÓN F-F

ESCALA 3 : 1

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Buje Rodamiento

PIEZA N° 1.9

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 3:1

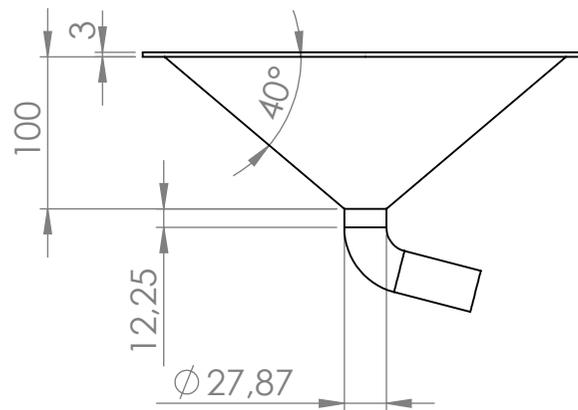
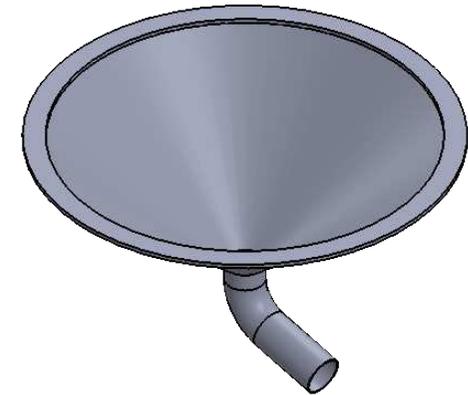
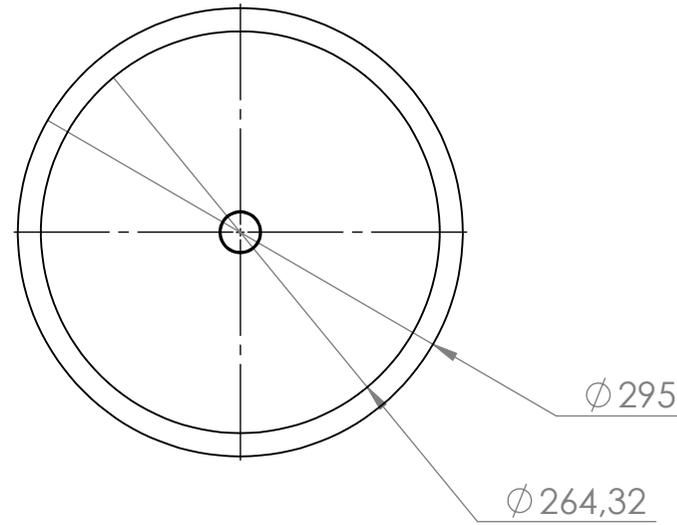
MEDIDAS EN: mm FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 10/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Embudo

PIEZA N° 1.10

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:5

MEDIDAS EN: mm

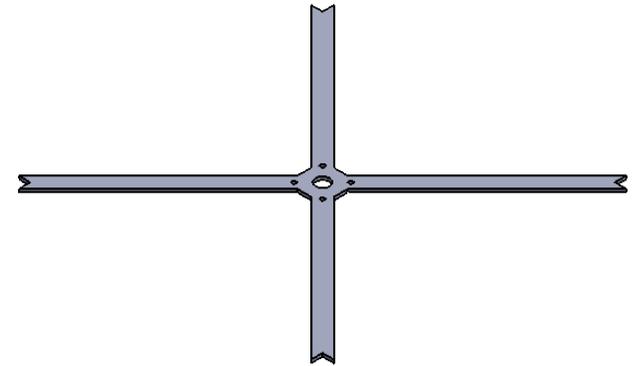
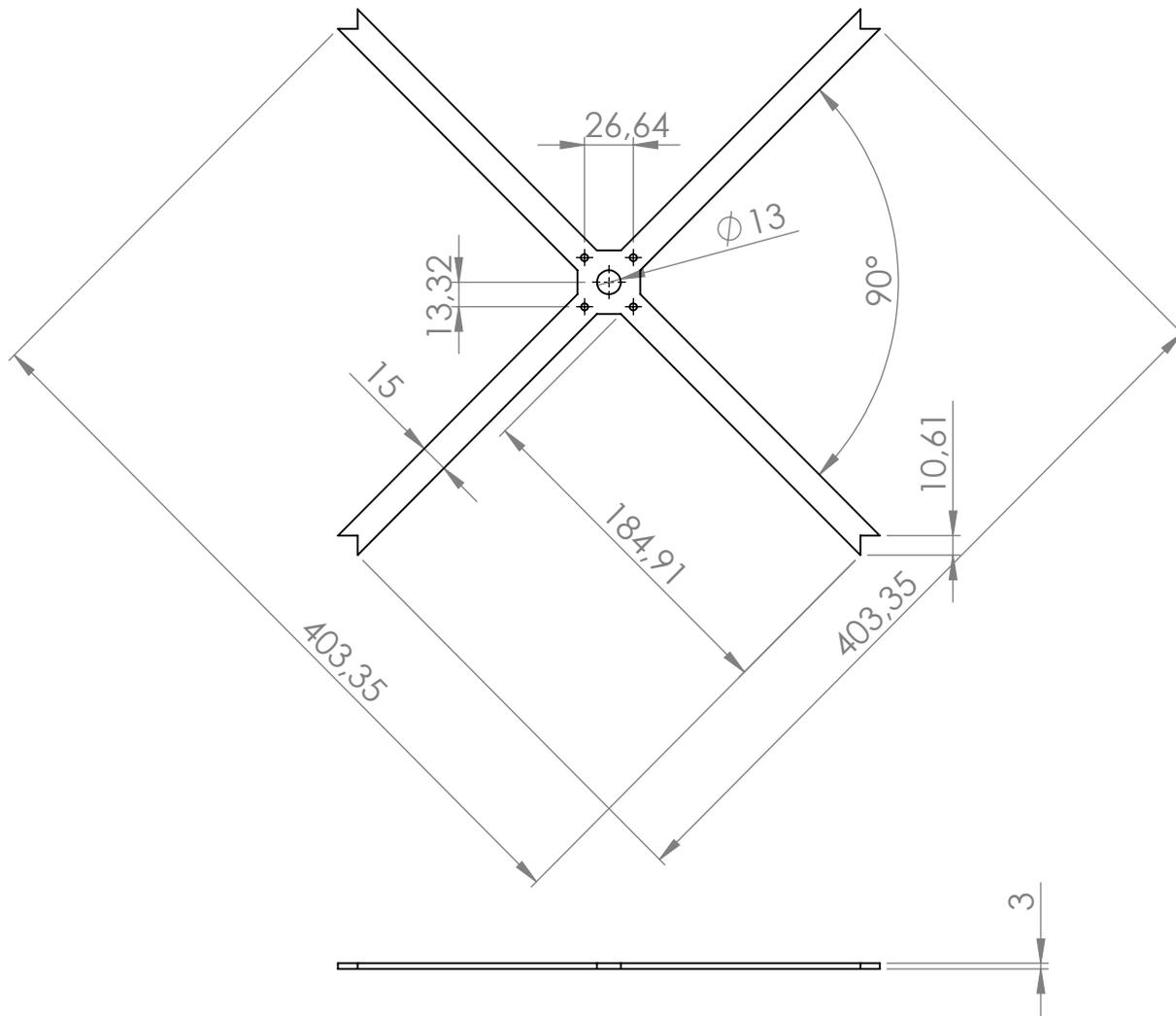
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 11/16

Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Base Chumacera

PIEZA N° 1.11

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:4

MEDIDAS EN: mm

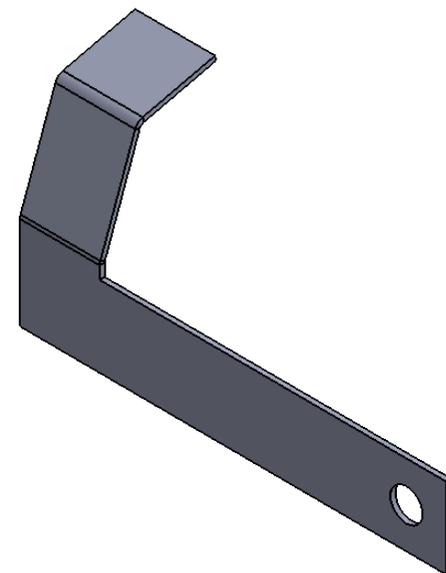
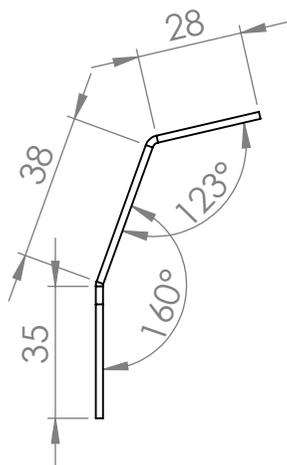
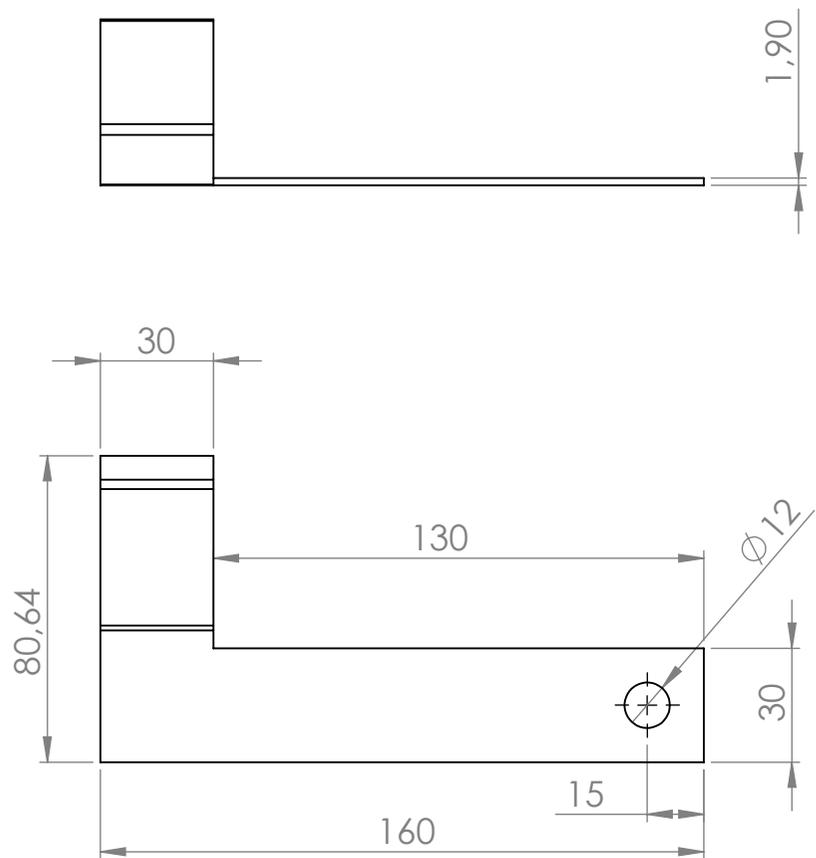
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



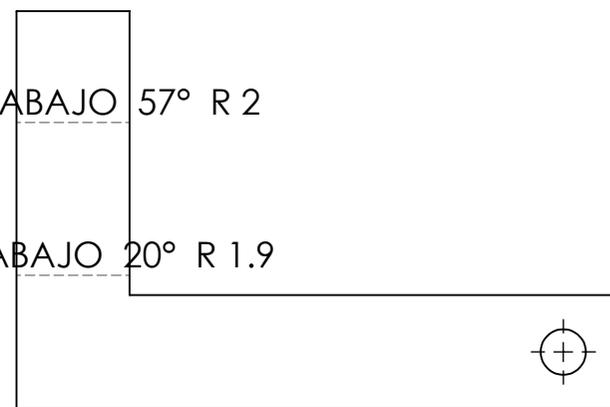
HOJA: 12/16

Formato A4



HACIA ABAJO 57° R 2

HACIA ABAJO 20° R 1.9



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Soporte Elevador

PIEZA N° 1.11

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:2

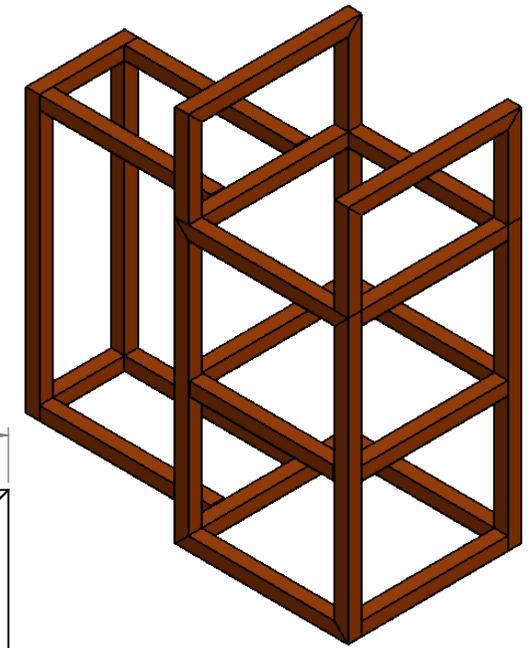
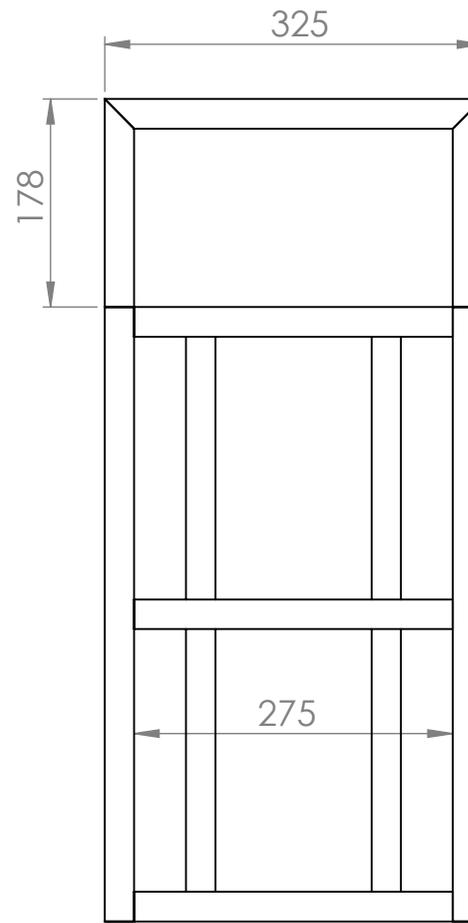
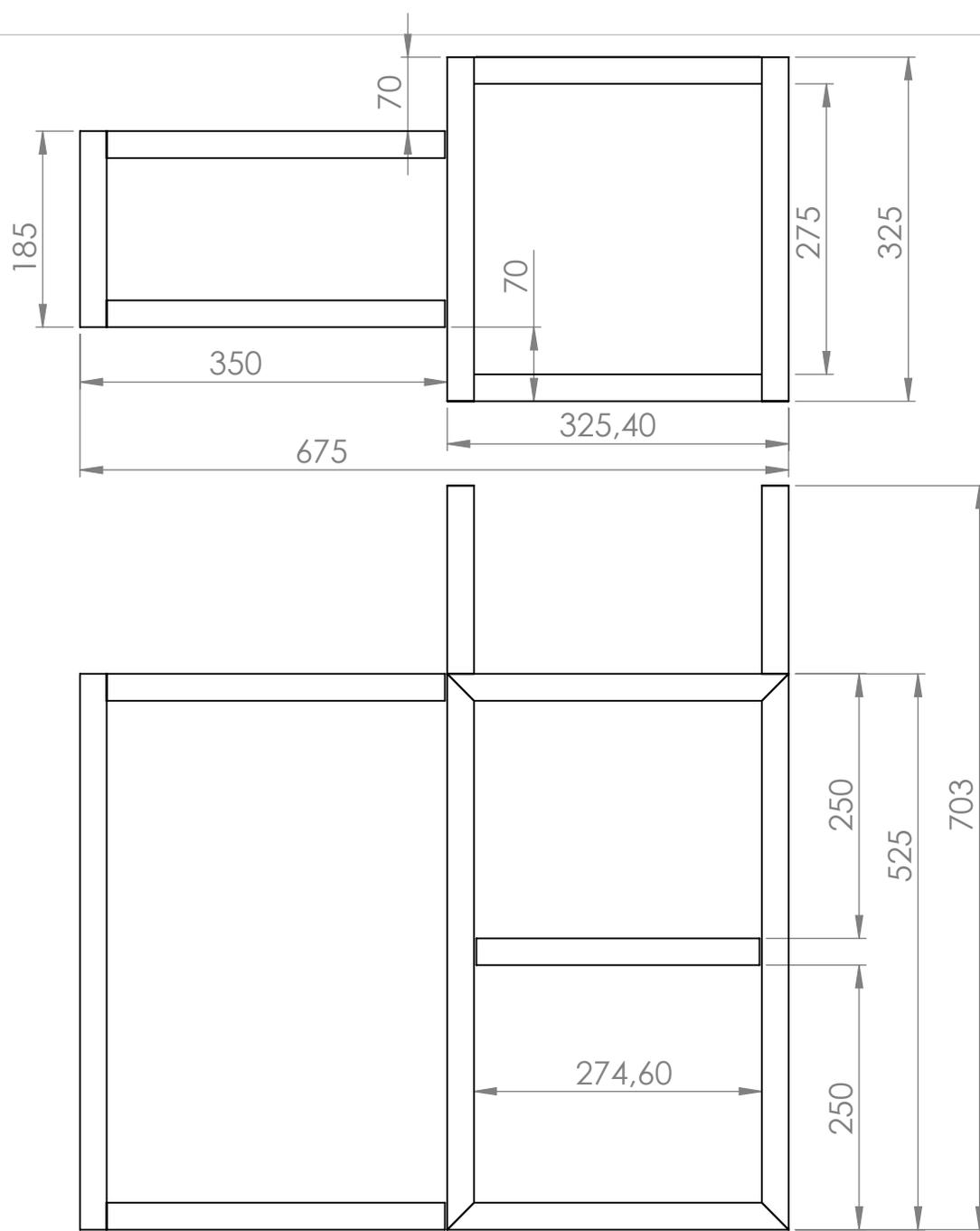
MEDIDAS EN: mm FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 13/16

Formato A4



Nota: Perfil 1" x 1"

INGENIERÍA MECATRÓNICA

ESTRUCTURA

PIEZA N° 1.13

MATERIAL:  
Acero A36

ESCALA 1:6.5

MEDIDAS EN: mm

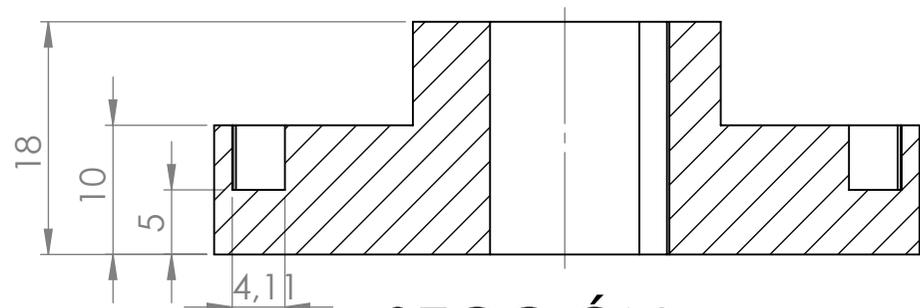
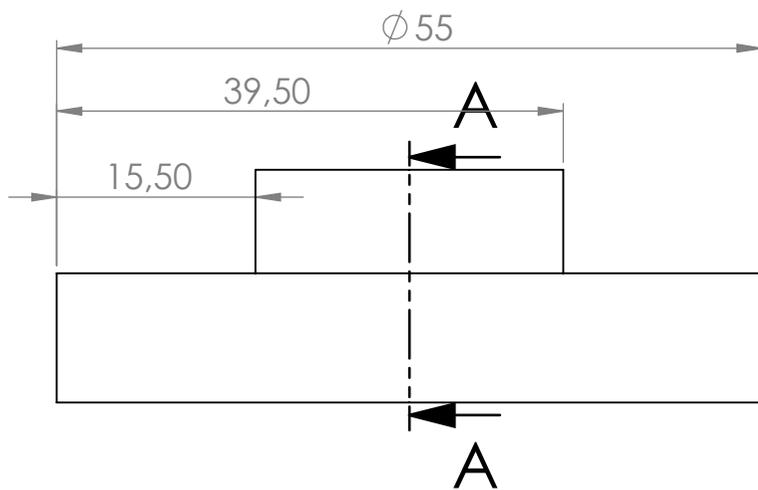
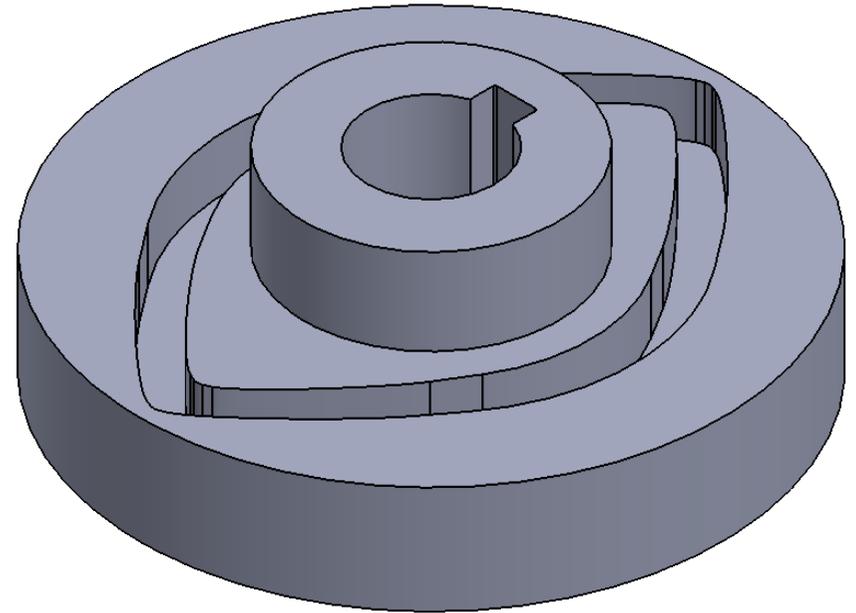
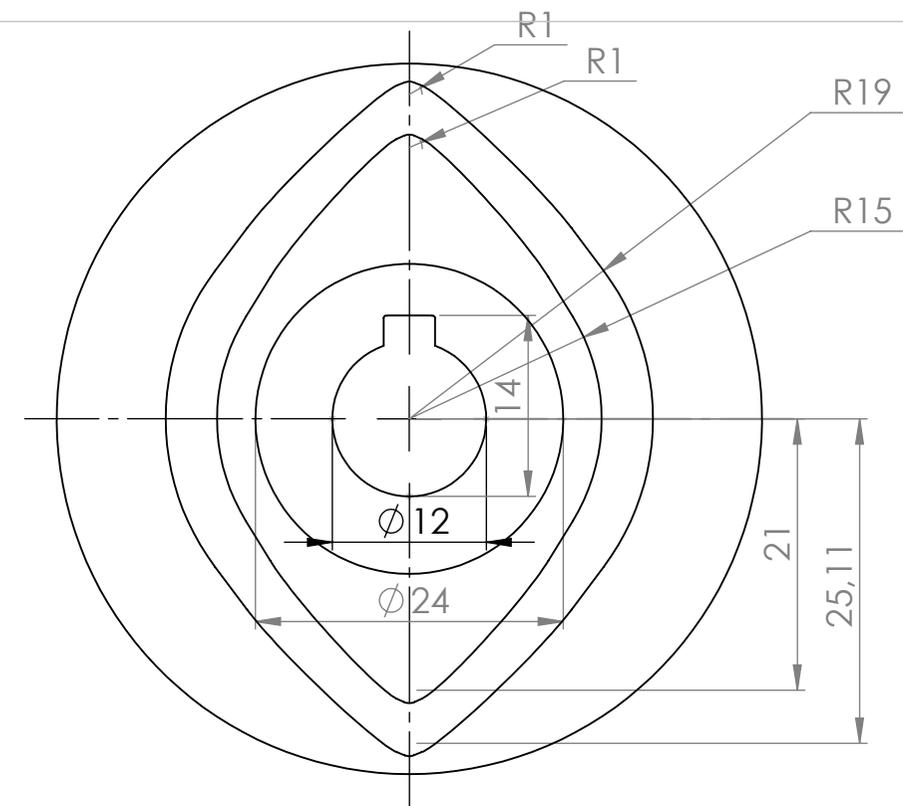
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 14/16

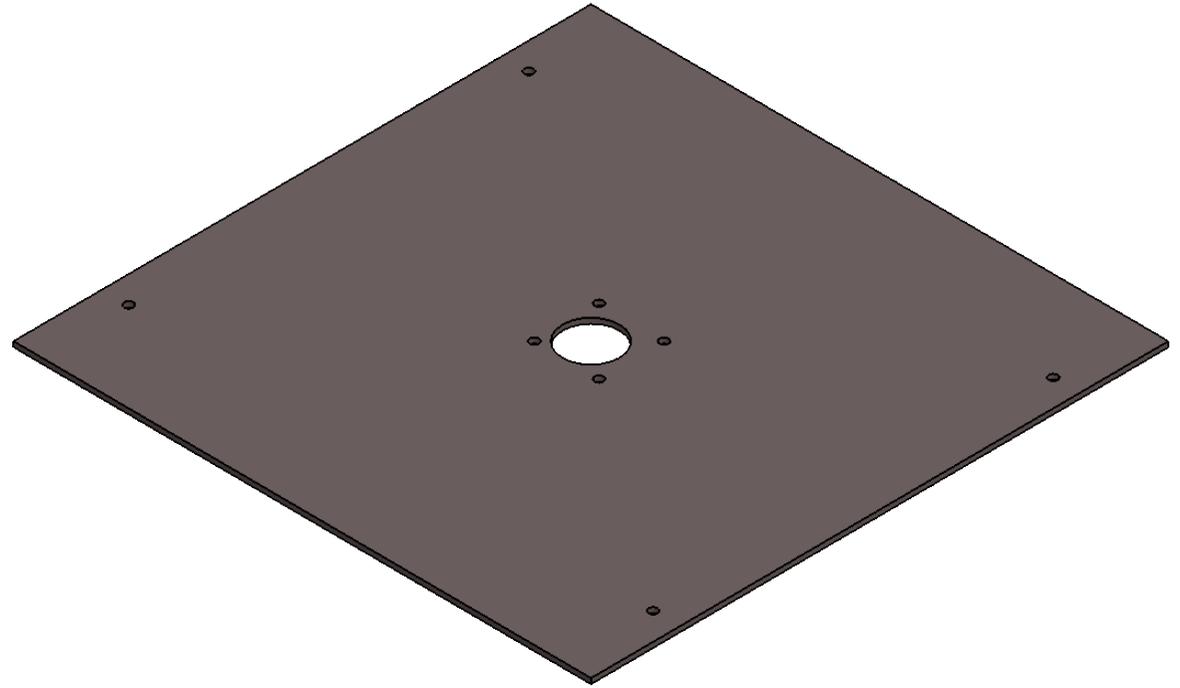
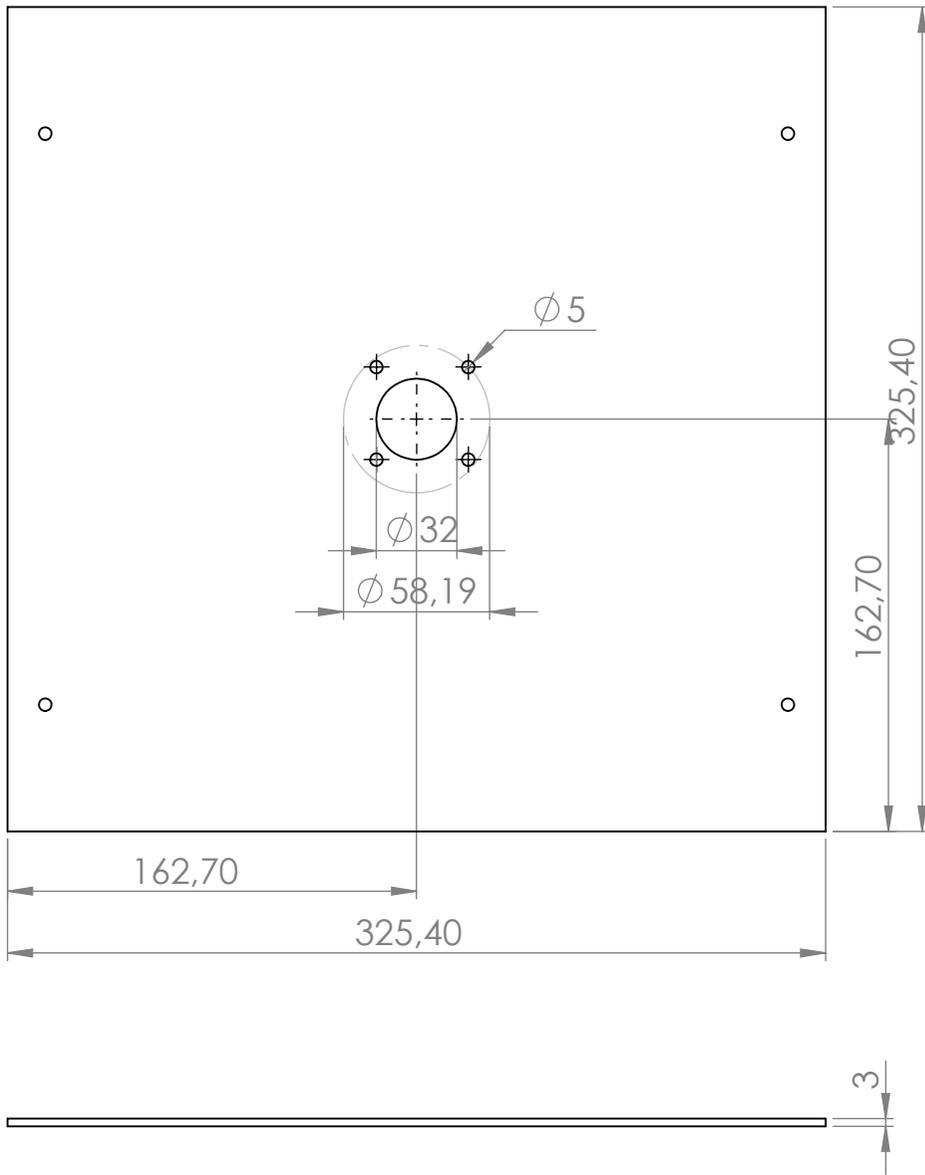
Formato A4



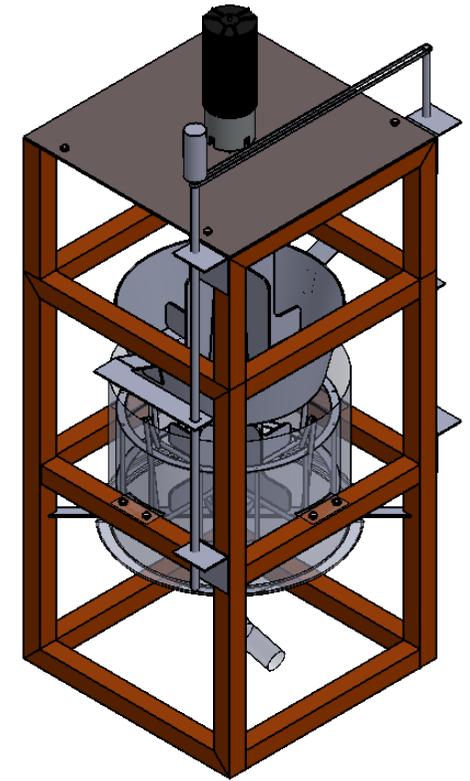
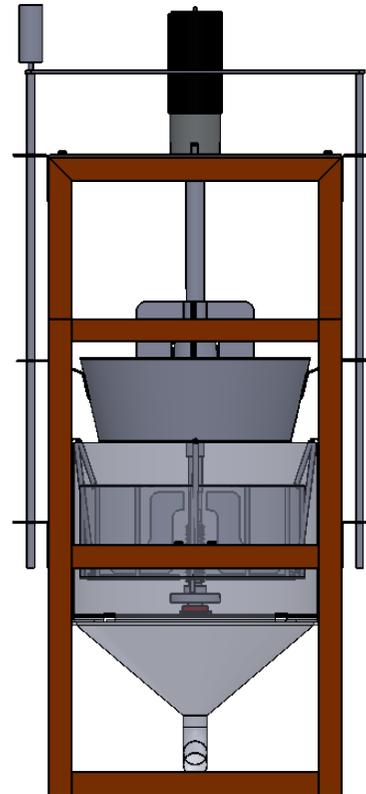
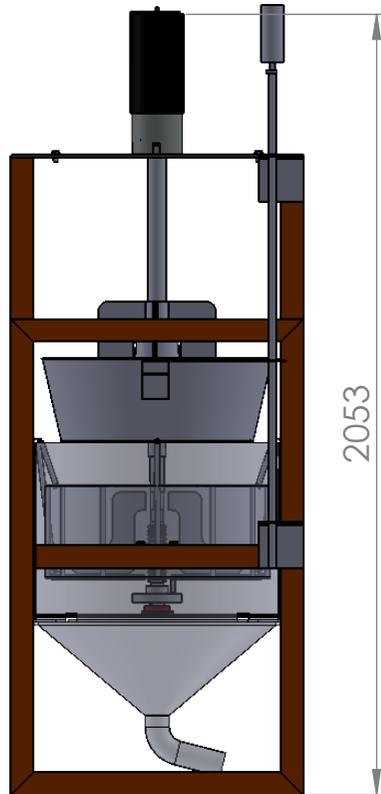
SECCIÓN A-A

ESCALA 1.7 : 1

INGENIERÍA MECATRÓNICA			Leva	PIEZA N° 1.14	MATERIAL: Inox 304
ESCALA 1.7:1	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 20/01/19	DIBUJADO POR: Jonatan Castellanos	HOJA: 15/16	Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA			Plataforma Motor		PIEZA N° 1.15	MATERIAL: Inox 304
ESCALA 1:3	MEDIDAS EN: mm	FECHA: 20/01/19	DIBUJADO POR: Jonatan Castellanos		HOJA: 16/16	Formato A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Pulverizador de Panela

PIEZA N° 1.1

MATERIAL:  
N.A.

ESCALA 1:20

MEDIDAS EN: mm

FECHA: 20/01/19

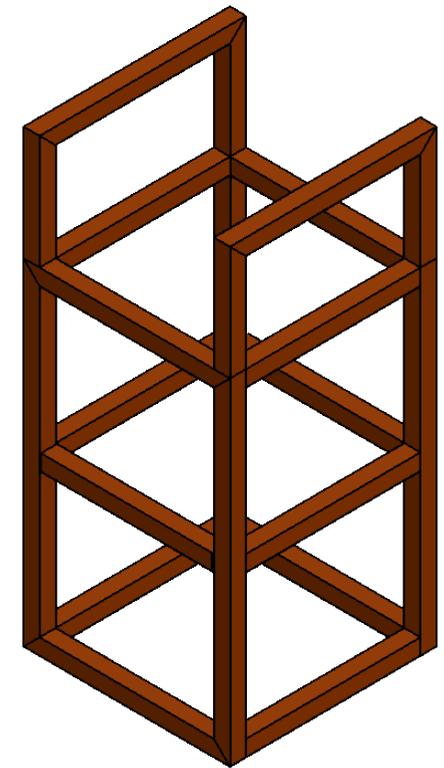
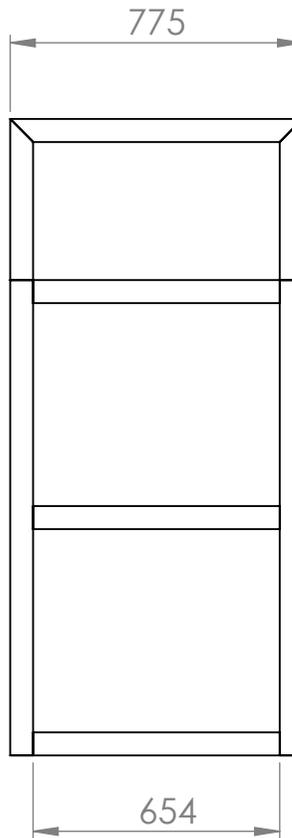
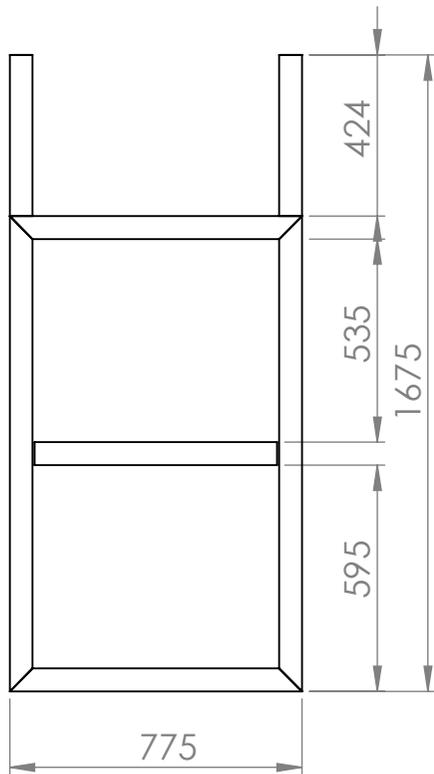
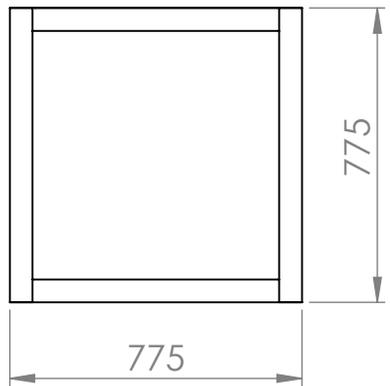
DIBUJADO POR:

Jonatan Castellanos



HOJA:1/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Estructura

PIEZA N° 1.2

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:20

MEDIDAS EN: mm

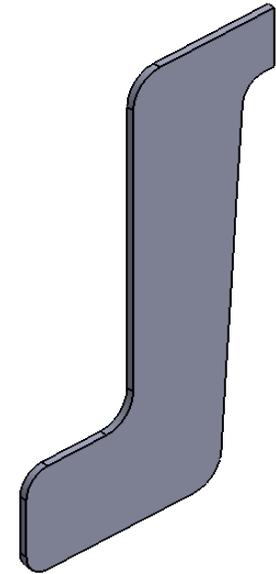
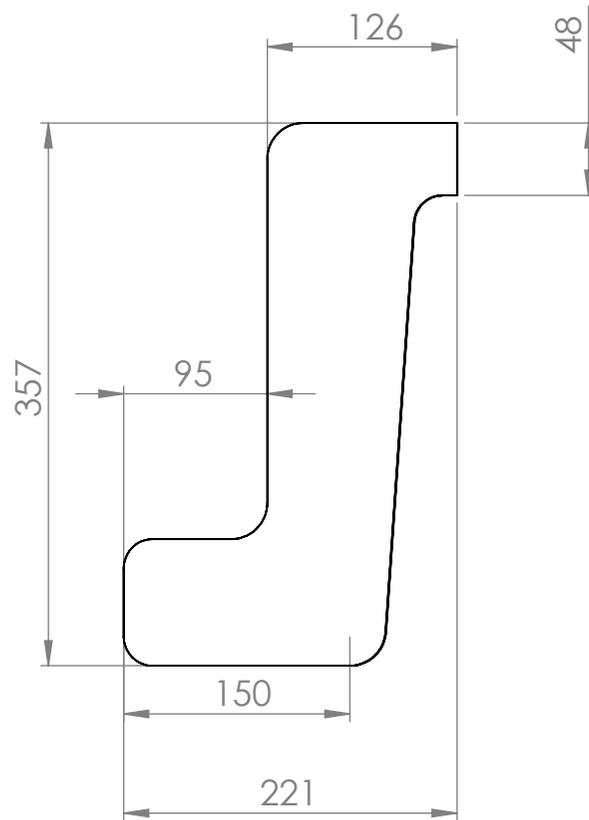
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 2/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Aspa Superior

PIEZA N° 1.3

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:5

MEDIDAS EN: mm

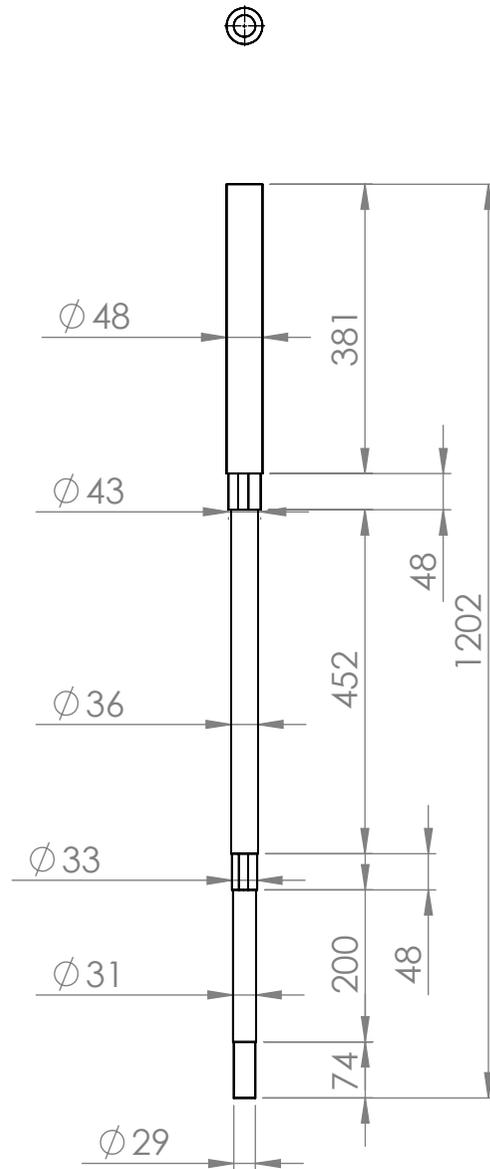
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 3/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Eje Principal

PIEZA N° 1.4

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

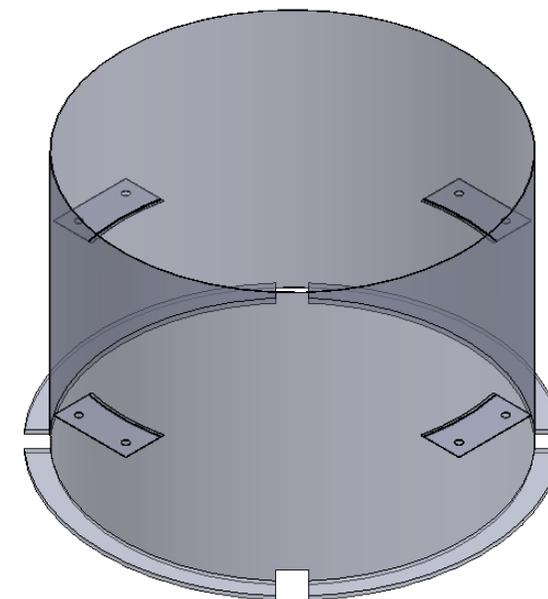
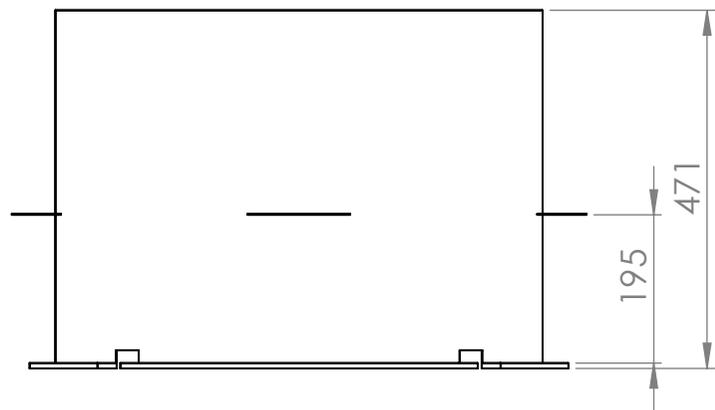
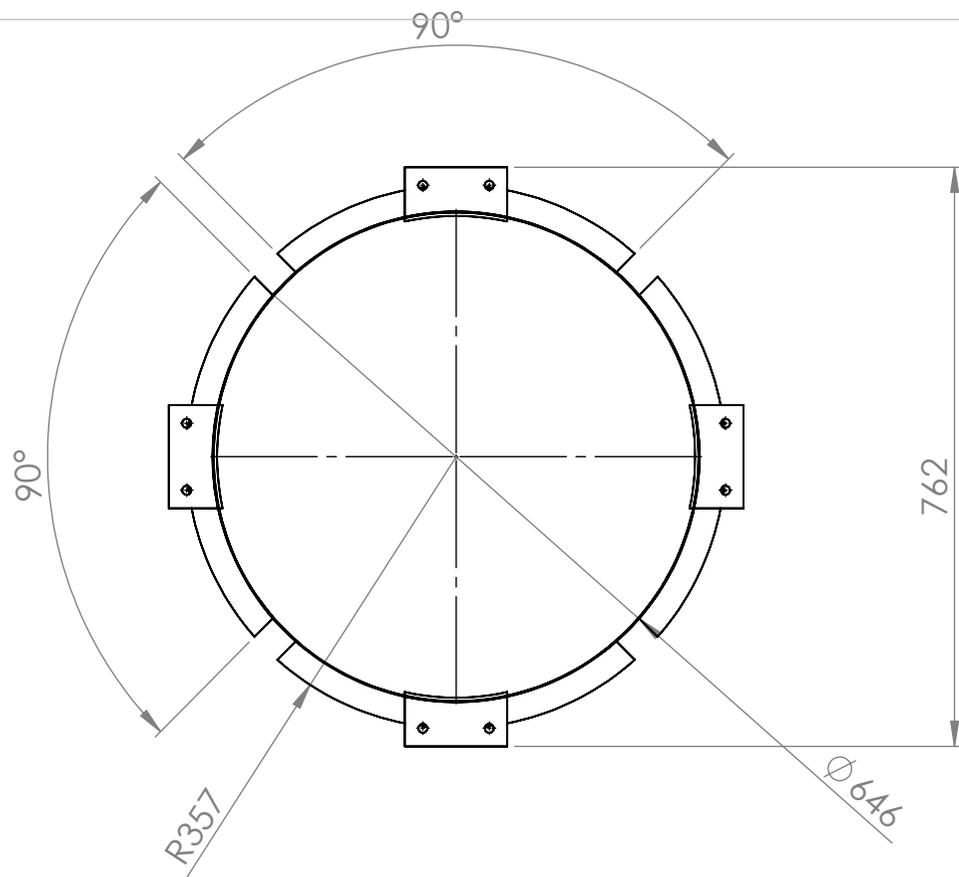
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 4/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Camisa Exterior

PIEZA N° 1.5

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

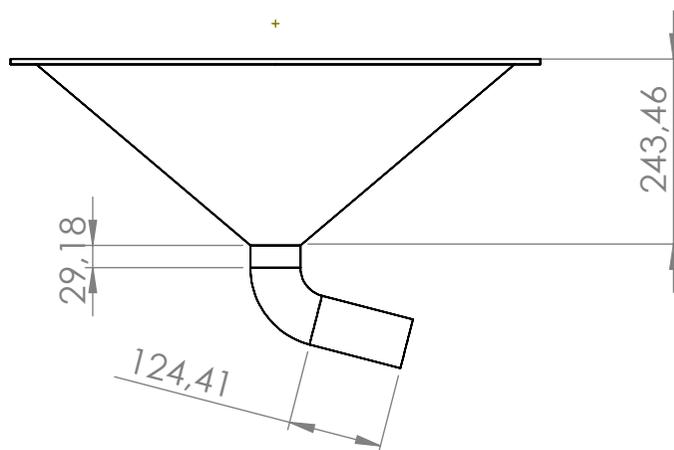
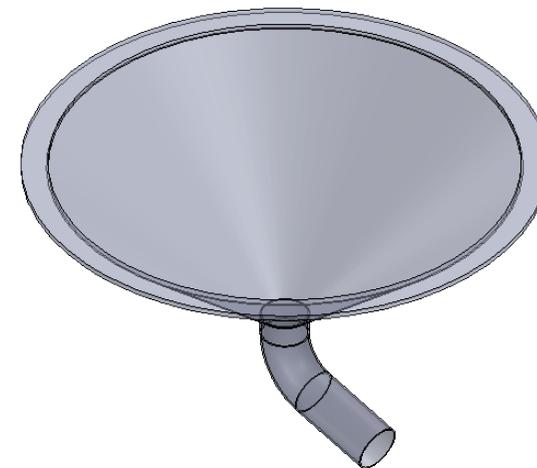
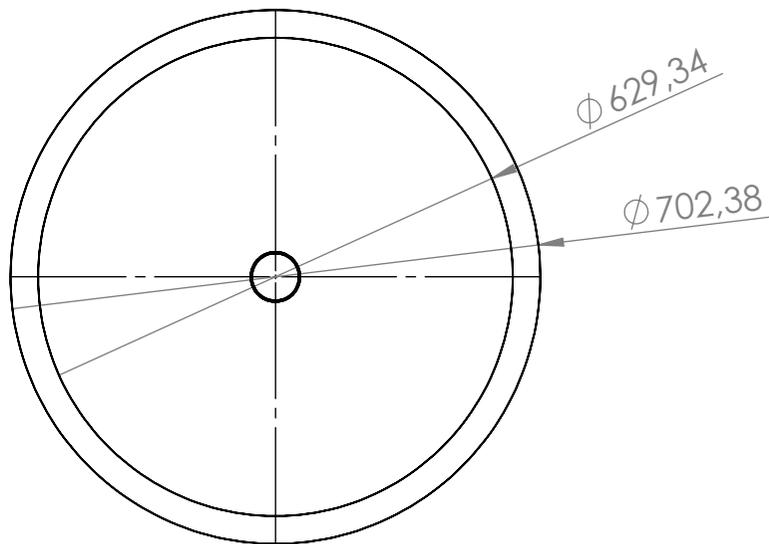
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 5/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Embudo

PIEZA N° 1.6

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

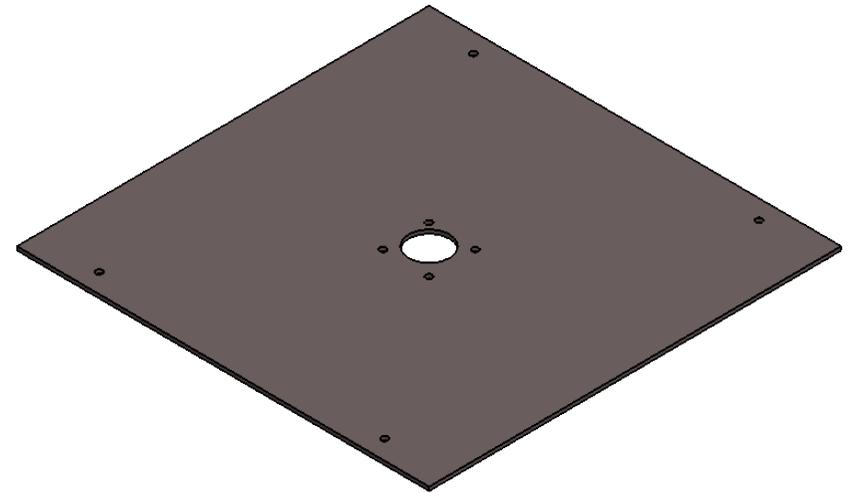
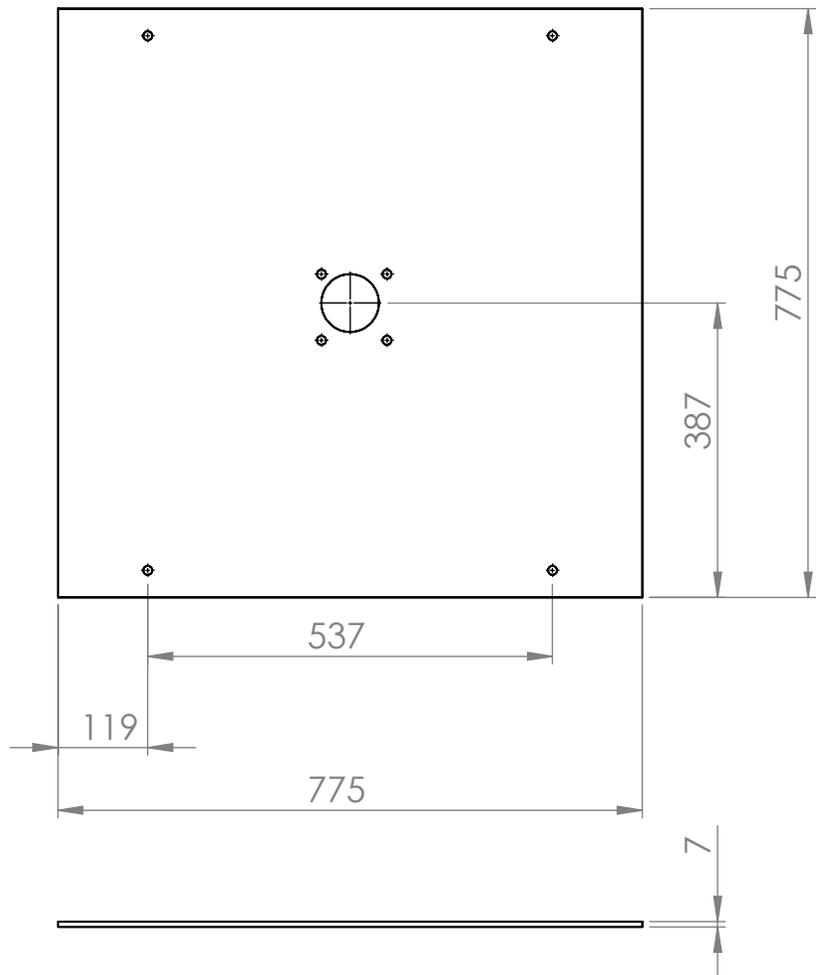
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 6/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Lámina Motor

PIEZA N° 1.7

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

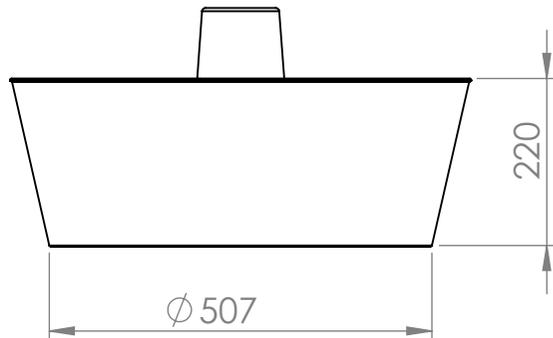
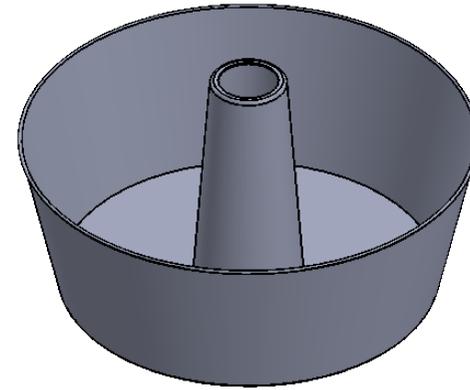
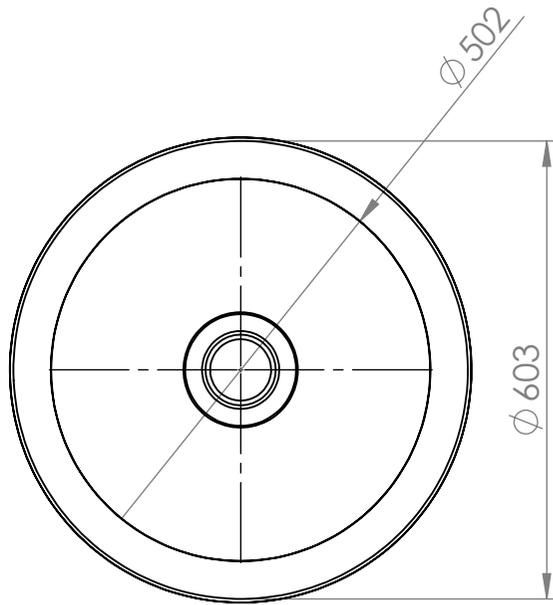
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 7/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Recipiente Panela

PIEZA N° 1.8

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

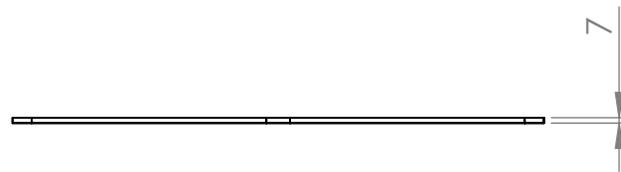
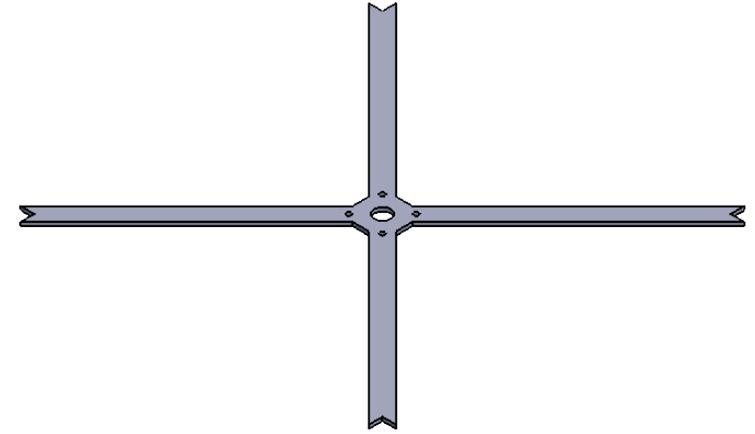
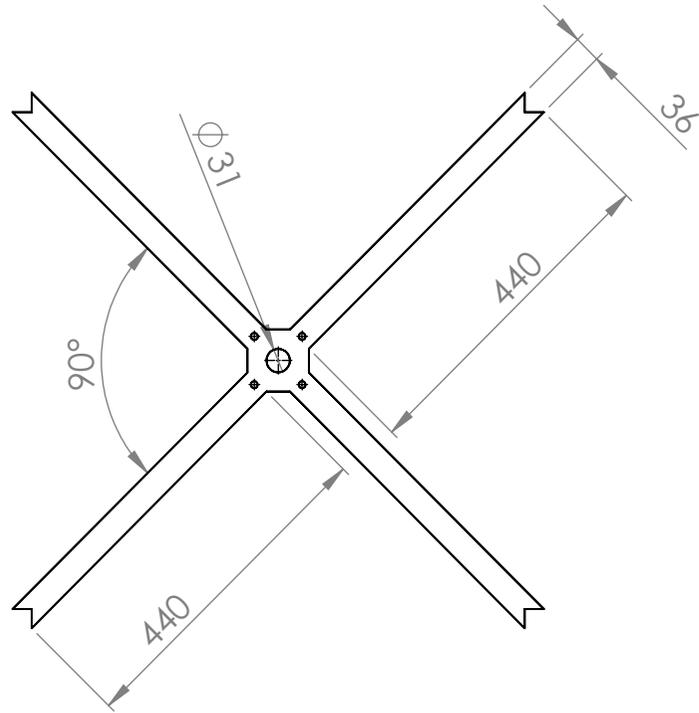
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 8/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Base Rodamiento

PIEZA N° 1.9

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

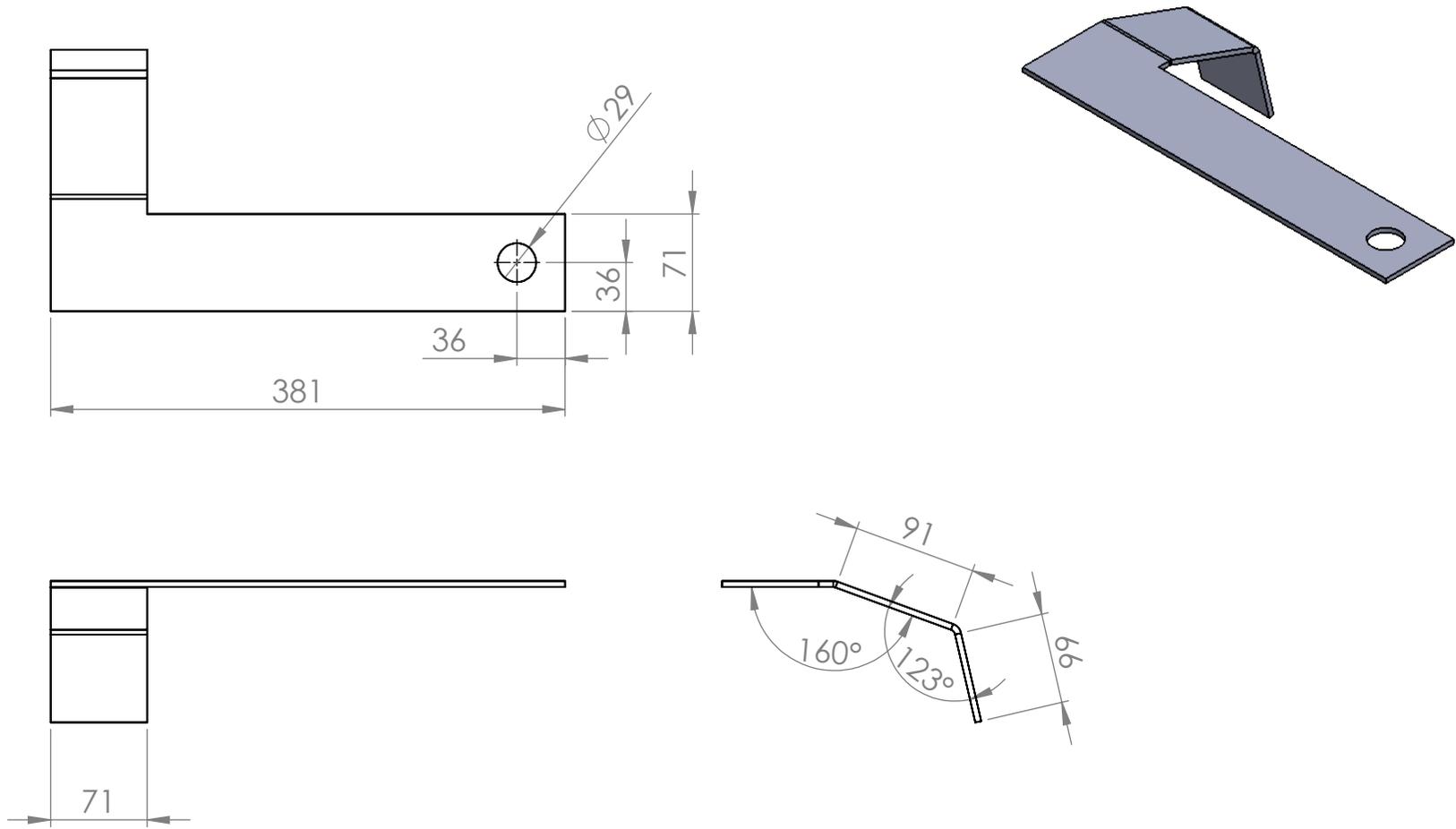
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 9/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Soporte Elevador

PIEZA N° 1.10

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:5

MEDIDAS EN: mm

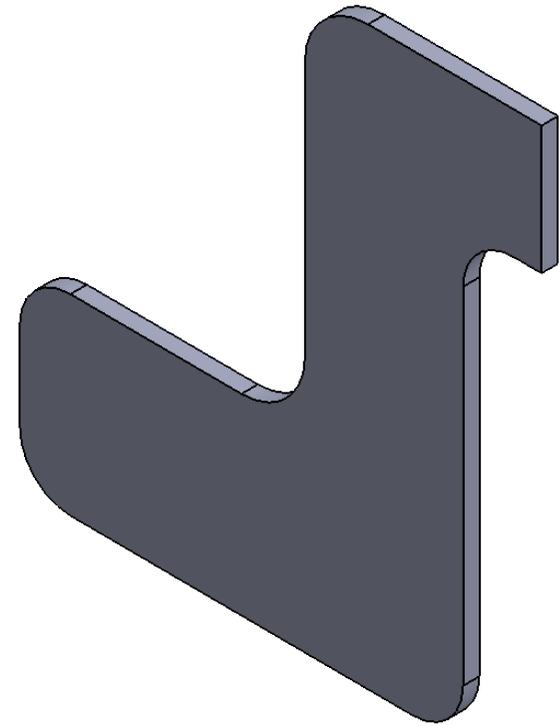
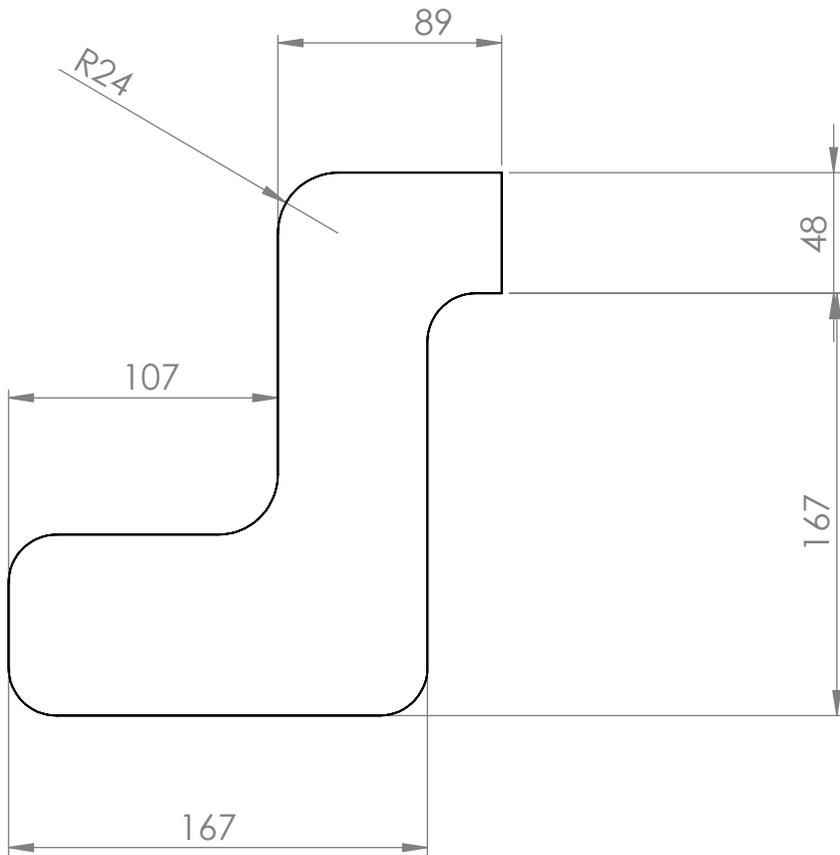
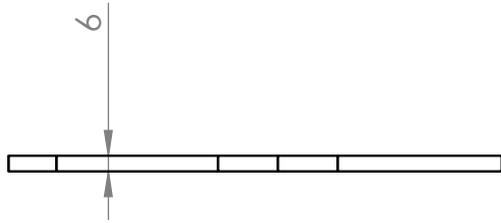
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 10/15

FOTMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Aspa Inferior

PIEZA N° 1.11

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:3

MEDIDAS EN: mm

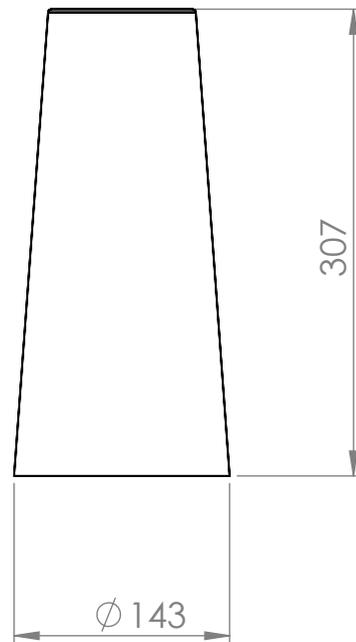
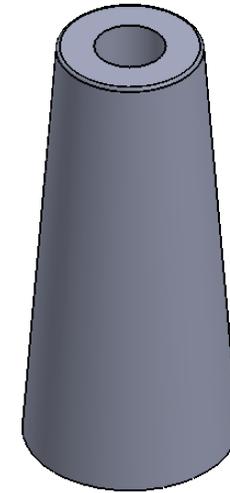
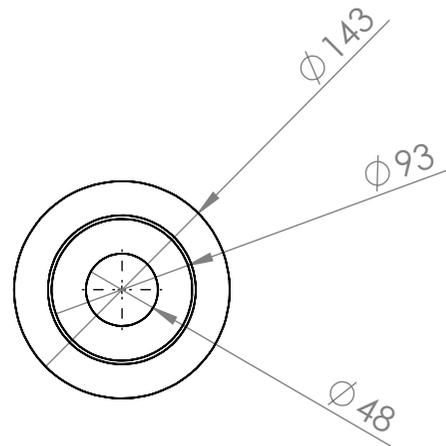
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 11/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Soporte Rodamiento Eje

PIEZA N° 1.12

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:5

MEDIDAS EN: mm

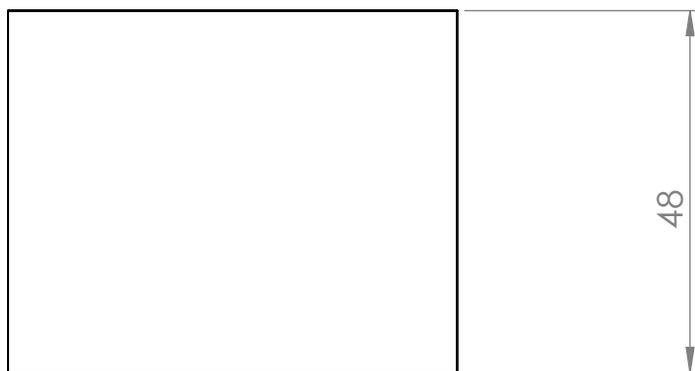
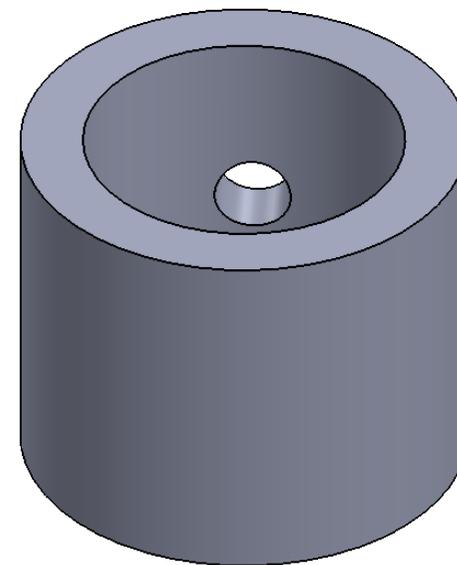
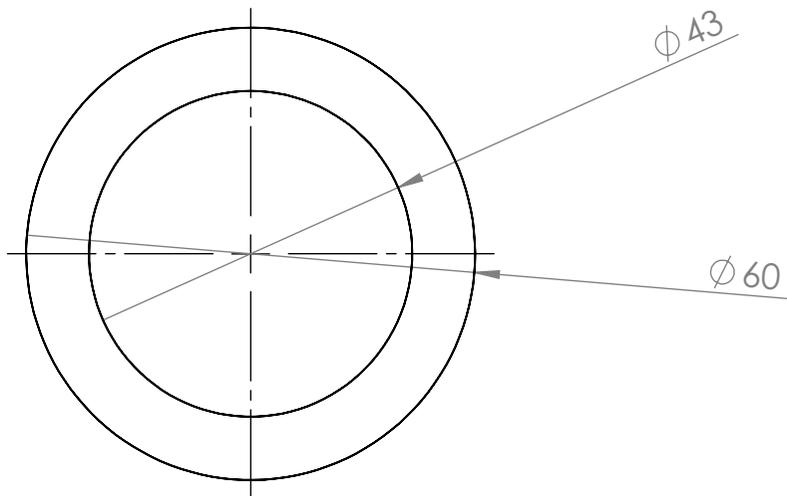
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 12/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Buje para Aspas

PIEZA N° 1.13

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:10

MEDIDAS EN: mm

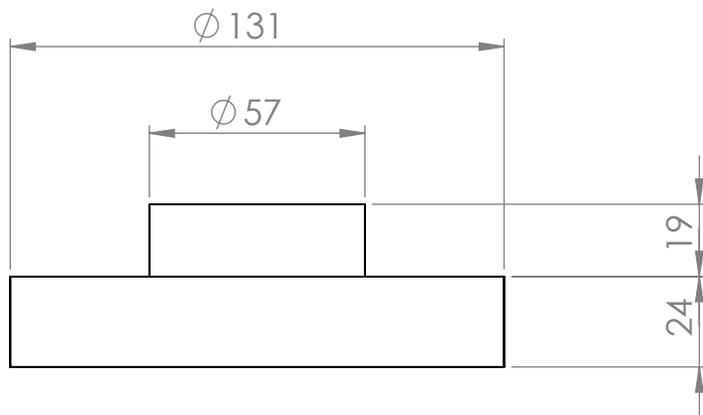
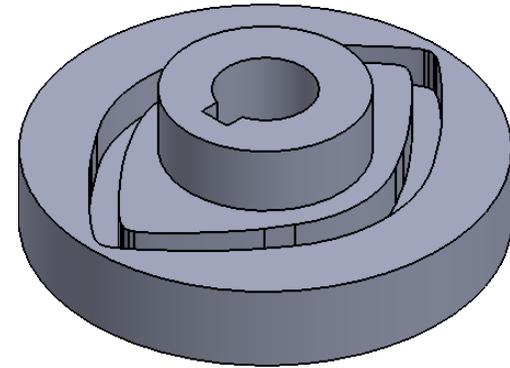
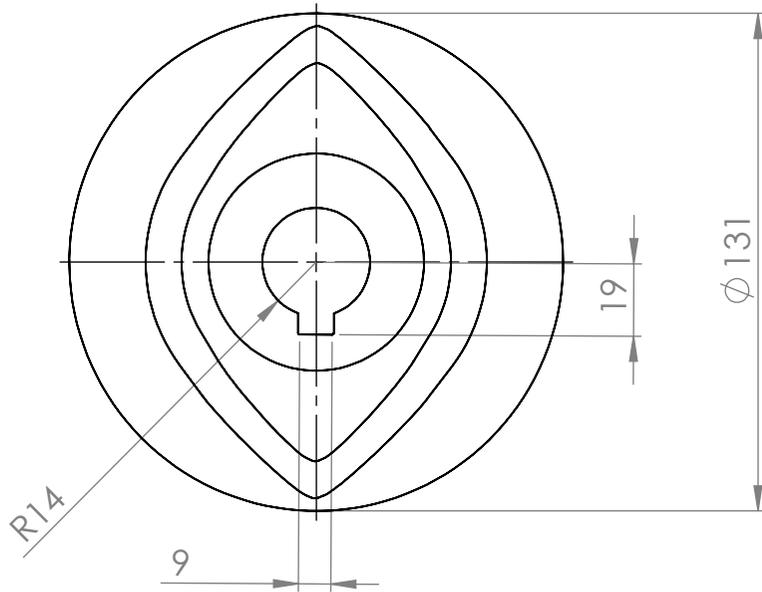
FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:  
Jonatan Castellanos



HOJA: 13/15

FORMATO: A4



INGENIERÍA MECATRÓNICA

Leva

PIEZA N° 1.14

MATERIAL:  
Inox 304

ESCALA 1:2

MEDIDAS EN: mm

FECHA: 20/01/19

DIBUJADO POR:

Jonatan Castellanos



HOJA: 14/15

FORMATO: A4