

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de una máquina para secado de polvillo de plástico producido en  
una planta de reciclaje mecánico.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecánica**

Presentado por:

Julissa Rebeca Aucancela Perez

Frank Andrés Cevallos Sánchez

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2019

## **DEDICATORIA**

Esta meta alcanzada se la dedicamos a cada uno de nuestros padres por su apoyo incondicional, y quienes con su sacrificio y amor, incorporaron en nosotros el espíritu de superación durante el trayecto de nuestra carrera.

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos la sabiduría y paciencia para lograr un triunfo más de nuestras vidas.

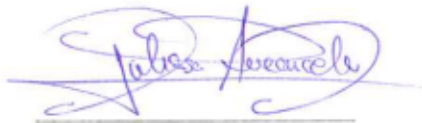
Nuestro más sincero agradecimiento a los profesores, quienes nos inspiraron a ser mejores personas y profesionales.

A nuestros familiares quienes nos han brindado su apoyo.

A nuestros amigos y compañeros con los que hemos compartido en estos años de carrera.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, (nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Julissa Rebeca  
Aucancela Perez



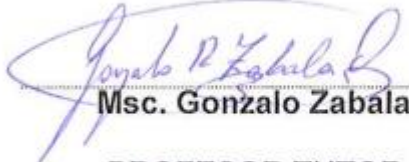
---

Frank Andrés Cevallos  
Sánchez

## EVALUADORES



**MSc. Jorge Marcial Hernández**  
COORDINADOR DE LA MATERIA



**Msc. Gonzalo Zabala**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La contaminación ambiental debido a los desechos plásticos es una problemática mundial, debido a que tardan en degradarse alrededor de 100 a 1000 años, afectando principalmente a los ecosistemas acuáticos. Una empresa dedicada al reciclaje mecánico, utiliza un proceso de secado ineficiente, ya que existe una pérdida significativa de material en polvillo de plástico, en consecuencia, si este polvillo de plástico se reprocesa con la ayuda de un secador, la empresa podrá recuperar alrededor de 434 Kg semanalmente, logrando reducir costos en materia prima.

El objetivo de este proyecto es diseñar un secador de **polvillo de plástico** generado por la empresa anteriormente mencionada, para reducir las pérdidas de materia prima del proceso actual. Para cumplir este objetivo se realizaron pruebas de humedad al polvillo de plástico extraído de la piscina de tratamientos de agua y luego de un proceso realizado por una máquina **centrífuga** ya existente en la empresa, para luego diseñar una nueva máquina centrífuga capaz de reducir a 0% la **humedad** del material, luego se analizó como el material se comportaría dentro del mismo. Para almacenar el material luego del proceso se diseñó un silo.

La humedad mínima que tendría el material luego de pasar por la centrífuga sería de 8%, no se puede llegar al 0% debido a las características del material, al cotizar el equipo, este tiene un valor de 8251,61 dólares, donde por medio de un análisis de **flujo de caja** se obtiene que se recuperaría la inversión en 3 años, siendo un proyecto rentable.

**Palabras Clave:** polvillo de plástico, centrífuga, humedad, flujo de caja

## **ABSTRACT**

*Environmental pollution due to plastic waste is a worldwide problem, because it takes about 100 to 1000 years to degrade, mainly affecting aquatic ecosystems. A company dedicated to mechanical recycling, uses an inefficient drying process, since there is a significant loss of material in plastic dust, consequently, if this plastic dust is reprocessed with the help of a dryer, the company can recover around 434 Kg weekly, managing to reduce raw material costs.*

*The objective of this project is to design a **plastic dust dryer** generated by the aforementioned company, to reduce raw material losses from the current process. To meet this objective, moisture tests were carried out on the plastic dust extracted from the water treatment pool and after a process carried out by a **centrifugal** machine already existing in the company, then design a new centrifugal machine capable of reducing to 0% The moisture of the material was then analyzed as the material would behave within it. To store the material after the process, a silo was designed.*

*The minimum humidity that the material would have after passing through the centrifuge would be 8%, it is not possible to reach 0% due to the characteristics of the material, when the equipment is quoted, it has a value of 8251.61 dollars, where through from a **cash flow** analysis, it is obtained that the investment would be recovered in 3 years, being a profitable project.*

*Keywords: plastic dust dryer, centrifugal, cash flow*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Polímeros.....	3
1.4.2 Proceso de pelletización.....	4
1.4.3 Tipos de secadores de polímeros.....	5
1.4.4 Proceso de extrusión.....	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología.....	12
2.1 Método de obtención de humedad.....	12
2.2 Análisis y selección de alternativas.....	14
2.2.1 Parámetros para selección de alternativas.....	14
2.2.2 Análisis de alternativas.....	14



2.2.3	Evaluación de Alternativas y especificaciones de una solución .....	16
2.2.4	Evaluación de las alternativas.....	17
2.3	Diseño de la máquina centrífuga para extracción de masa de agua.....	18
2.3.1	Dimensionamiento de la máquina centrífuga. ....	18
2.3.2	Diseño de forma de la máquina centrífuga.....	20
2.4	Diseño de transmisión de potencia por bandas V.....	23
2.5	Parámetros de operación. ....	26
2.6	Diseño de silo de almacenamiento.....	30
2.6.1	Esbeltez.....	31
2.6.2	Descarga del silo (Tolva) .....	32
2.6.1	Tolva de silo de almacenamiento.....	33
	<i>Factor de flujo (silo-material)</i> .....	33
2.6.2	Protección frente a explosiones de polvo.....	34
2.7	Cálculo del cabezal. ....	35
CAPÍTULO 3.....		38
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	38
3.1	Acción I .....	38
3.1.1	Mantenimiento de malla.....	38
3.2	Acción II: Cambio de malla.....	39
3.3	Acción III: Diseño de máquina centrífuga .....	40
3.4	Análisis de los parámetros de operación. ....	45
3.5	Silo de almacenamiento de polipropileno .....	47
3.6	Costos del Proyecto. ....	48
3.6.1	Acción I: Mantenimiento de malla .....	48
3.6.2	Acción II: Cambio de malla .....	49
3.6.3	Acción III: Diseño de máquina centrífuga.....	49
3.7	Costos del silo de almacenamiento .....	50

3.8	Costos del sistema de transporte (tuberías y codo redondo).....	50
3.9	Análisis de factibilidad.....	50
CAPÍTULO 4.....		52
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	52
4.1	Conclusiones.....	52
4.2	Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASEPLAS	Asociación Ecuatoriana de Plástico
API	The American Petroleum Institute
ISO	International Organization for Standardization

## SIMBOLOGÍA

$d_1$	Diámetro de polea 1 (máquina centrífuga).
$d_2$	Diámetro de polea 2 (motor)
$\dot{m}$	Flujo másico.
$RPM_c$	Revoluciones por minuto (velocidad angular) de máquina centrífuga.
$RPM_m$	Revoluciones por minuto (velocidad angular) de motor.
$\omega_c$	Revoluciones de la máquina centrífuga [rad/s].
$\omega_m$	Revoluciones del motor [rad/s].
$F_c$	Fuerza centrífuga.
$F_m$	Fuerza de motor.
$W$	Fuerza peso de polipropileno.
$r_c$	Radio del filtro de la máquina centrífuga centrífuga.
$r_m$	Radio de árbol de transmisión del motor.
$P_m$	Potencia motor.
$v_m$	Velocidad tangencial del motor.
$m_l$	Masa líquida de la mezcla.
$m_s$	Masa sólida de la mezcla.
$C$	Distancia entre centros de poleas.
$L_p$	Longitud de paso de banda
$C$	Distancia entre centros
$L_c$	Factor de longitud de corrección.
$L_t$	Longitud de banda rectificada
$C_n$	Distancia entre radios rectificada
$H_a$	Potencia de la banda
$H_{tab}$	Potencia tabulada nominal.
$k_1$	Factor de corrección de ángulo de cobertura
$V_t$	Velocidad tangencial
$\emptyset$	Ángulo de cobertura
$F_i$	Constante de relación $d/C$
$H_d$	Potencia total de diseño
$n_d$	Factor de diseño
$N_b$	Número de bandas
$K_c$	Factor relacionado al tipo de banda.
$F_1$	Mayor tensión en banda

F2	Menor tensión en banda
Fi	Fuerza interna de la banda
$n_{fs}$	Factor de seguridad
T1	Tensiones sobre la banda
T2	Tensiones sobre la banda
Kb	Factor de acuerdo al tipo de banda
Np	Número de pasadas de la banda
T	Tiempo de vida útil de la banda
Vg	Velocidad de sedimentación debido a la gravedad
Dp	Diámetro de la partícula de polipropileno
$\rho_l$	Densidad del líquido – agua
$\rho_s$	Densidad del sólido – polipropileno
G	Gravedad
$\mu$	Viscosidad del agua.
$V_\omega$	Velocidad de sedimentación debido a la fuerza centrífuga
G	Factor de relación de velocidades debido a gravedad y fuerza centrífuga.
Ro	Radio de la centrífuga
R1	Radio desde el centro hacia la torta de material.
V	Volumen de entrada a la unidad de secado
L	Longitud de la máquina centrífuga
Ts	Tiempo de sedimentación
Qr	Rendimiento volumétrico
$r_l$	Radio del líquido
$r_s$	Radio del sólido
Ql	Caudal de líquido
Qa	Caudal de alimentación a la centrífuga.
Te	Tiempo de estancia de material dentro de la máquina.
$f_{vs}$	Fracción volumétrica de sólidos.
$\varepsilon$	Porosidad
A	Superficie específica a
$r_p$	Radio de la partícula
Rm	Resistencia específica de la torta
$\alpha$	Resistencia específica del medio filtrante.
$\Delta P$	Caída de presión
$Q_f$	Caudal de filtración
M	Masa seca de polipropileno

Q	Caudal de entrada al silo de almacenamiento
H	Altura del cilindro del silo de almacenamiento.
D	Diámetro del silo de almacenamiento
$V_{silo}$	Volumen del silo de almacenamiento.
R	Radio de silo de almacenamiento.
$HFF$	Factor de flujo de descarga
$\sigma$	Esfuerzo de cizallamiento de material
$f_c$	Tensión crítica
$H(\theta)$	Factor de pendiente de la pared de zona de descarga
B	Diámetro de descarga de material
ht	Altura de la tolva de silo de almacenamiento.
Hv	Altura de venteo
$\Delta P_{acc}$	Caída de presión por la aceleración del sólido.
W	Flujo másico.
$V_p$	Velocidad del plástico.
$\Delta P_g$	Caída de presión por la fricción del gas.
f	Coefficiente de fricción.
$L_t$	Largo de la tubería.
$\rho_g$	Densidad del gas.
$V_g$	Velocidad del gas.
$D_t$	Diámetro de la tubería.
$\Delta P_s$	Caída de presión por la fricción del sólido.
K	Relación de presión lateral.
R	Radio de la tubería.
$\Delta H_g$	Caída de presión por la elevación del gas.
$\Delta H_s$	Caída de presión por la elevación del sólido.
$\Delta Z$	Cabezal.
$\Delta P_{silo}$	Presión dentro del silo.
Re	Número de Reynolds.
$\mu_g$	Viscosidad del gas.
$\epsilon$	Rugosidad del material.
$H_t$	Perdida dentro de la tubería.
$H_{acs}$	Perdida por accesorio.

$K_t$	Constante de accesorio.
$V$	Velocidad tangencial.
$H_L$	Pérdida total del sistema.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva pérdida de materia prima .....	4
Figura 1.2 Variación de la humedad.....	6
Figura 1.3 Unidad de calefacción. ....	7
Figura 1.4 Secador de aire caliente.....	7
Figura 1.5 Secador por banda continua.....	8
Figura 1.6 Secador de lecho fluizado. ....	9
Figura 1.7 Secadero centrífuga .....	10
Figura 2.1 Curva de humedad .....	12
Figura 2.2 Curva de humedad .....	13
Figura 2.3 Diagrama de cuerpo libre .....	19
Figura 2.4 Estructura de máquina centrífuga.....	21
Figura 2.5 Malla metálica para filtración .....	21
Figura 2.6 Aspas de direccionamiento de material .....	22
Figura 2.7 Árbol de transmisión.....	22
Figura 2.7 Ensamble de máquina centrífuga .....	23
Figura 2.8 Diferencia de radios en la operación de la máquina centrífuga.....	27
Figura 3.1 RPM de máquina centrífuga en función de porcentaje de humedad.....	41
Figura 3.2 Fuerza centrífuga en función de porcentaje de humedad .....	41
Figura 3.3 Radio de tambor de máquina centrífuga en función de porcentaje de humedad en la masa polipropileno - agua .....	44
Figura 3.4 Fuerza centrífuga en función de la humedad requerida.....	44
Figura 3.5 Caudal de filtración en función de saturación para radio de 0.32 metros. ....	47
Figura 3.6 Caudal de filtración en función de saturación para radio de 0.68 metros. ....	47



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros y factor de ponderación para matriz de decisión. ....	16
Tabla 2.2 Matriz de decisión para selección de alternativas. ....	16
Tabla 2.3 Especificaciones de la unidad de secado .....	18
Tabla 2.4 Geometría de sistema de transmisión banda-polea.....	23
Tabla 3.1 Tabla de indicadores de nuevas velocidades angulares y fuerzas centrífugas necesarias para la sedimentación de agua en función de la humedad. ....	40
Tabla 3.2 Dimensiones de poleas y largo banda .....	41
Tabla 3.3 Dimensiones de poleas y largo banda .....	42
Tabla 3.4 Parámetros característicos de las bandas. ....	42
Tabla 3.5 Tabla de indicadores de nuevo radio de tambor y fuerzas centrífugas necesarias para la sedimentación de agua en función de la humedad .....	43
Tabla 3.6 Parámetros de sedimentación para una centrífuga con radio constante 0.32.....	45
Tabla 3.7 Parámetros de sedimentación para una centrífuga con RPM constante. ....	46
Tabla 3.8 Costos para el mantenimiento de la malla .....	49
Tabla 3.9 Costos para el cambio de la malla. ....	49
Tabla 3.10 Costos para la construcción de la máquina centrífuga. ....	49
Tabla 3.11 Costos para la construcción del silo.....	50
Tabla 3.12 Costos para la construcción del Sistema de transporte. ....	50
Tabla 3.12 Flujo de caja del proyecto. ....	51
Tabla 3.13 Valores de TIR Y VAN. ....	51

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	POLEA DE TRANSMISIÓN DE MOTOR.
PLANO 2	ESTRUCTURA DE MÁQUINA CENTRÍFUGA.
PLANO 3	BANDEJA DE ENTRADA.
PLANO 4	MALLA FILTRANTE.
PLANO 5	POLEA DE MÁQUINA CENTRÍFUGA.
PLANO 6	ARBOL DE TRANSMISIÓN.
PLANO 7	SILO DE ALMACENAMIENTO.
PLANO 8	DUCTO GUÍA AL SILO.
PLANO 9	ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es una problemática para distintos países, por lo que se han gestionado residuos sólidos para disminuir el impacto ambiental y aumentará PIB.

La industria del plástico en Ecuador, de acuerdo a ASEPLAS, permite que el impacto generado cumpla con las normas establecidas en el país. (Hoyos, 2018) Dicho material ha sido utilizado en distintos campos de la industria como agrícola, médica, automotriz, comunicación, etc.

Empero, en dicha producción existen residuos que afectan al medio. El acuerdo ministerial N° 19 de Ecuador, indica que conforme al Sumak Kawsay, “la sociedad está en el derecho de consumir bienes y servicios teniendo en cuenta la responsabilidad social y ambiental, ..., garantizando los derechos de la naturaleza y brindando a la sociedad un ambiente sano.” (Tapia, 2014)

La presencia de agua en el proceso de peletizado, causa el aumento de volumen y por ende la falta de estabilidad geométrica, es por ello que debe lograrse un proceso eficiente. El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de una máquina que permita el secado de polvillo de plástico para su correcta intervención en el proceso de extrusión.

### 1.1 Descripción del problema

Una empresa dedicada a la transformación de material plástico reciclado (polipropileno), utiliza un proceso de secado mediante una máquina centrífuga. Sin embargo, no resulta eficiente ya que existe una pérdida significativa del material. A dicho desperdicio se ha aplicado el método de secado natural, no obstante, debido a la producción actual, la técnica no satisface las necesidades de la empresa.

Una de las características principales que se buscan es un secado seguro y eficiente. Por lo tanto, con el presente diseño los parámetros principales son:

- Humedad del polímero
- Tasa de secado

- Tiempo de secado.

Cabe mencionar que el equipo debe ser diseñado con materiales disponibles en el mercado local, para una fácil construcción, reparación y mantenimiento del equipo.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Una empresa dedicada a la producción de pellets, requiere un método de secado efectivo para disminuir la humedad del polímero tratado sin afectar sus propiedades tanto químicas como físicas, siempre que la máquina cubra la demanda de una producción inmediata.

Actualmente, la empresa procesa semanalmente alrededor de 32 toneladas de plástico reciclado (materia prima), pero al lavarlo y secarlo, dicha masa se reduce aproximadamente a 29.7 toneladas. De acuerdo a esta muestra, se refleja que existe un 7.50% de pérdidas en material, que se dividen en 2.50% en polvillo de plástico y 5% en impurezas. En consecuencia, si este polvillo de plástico se reprocesa con la ayuda de un secador, la empresa podrá recuperar 434 kg, logrando reducir costos, disminuir pérdidas y mejorar sus ingresos económicos.

La importancia de este tema radica en reducir los desperdicios de material, costos de operación de la empresa, disminución de contaminación ambiental y restringir el contacto hombre - máquina. Mediante la implementación de esta solución, se cumplirá el Art. 5 del acuerdo Ministerial N° 19.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un secador de polvillo de plástico generado en una planta de reciclaje mecánico, para reducir las pérdidas de materia prima del proceso actual.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Investigar los tipos de secadores existentes en el mercado.
- Seleccionar el tipo de secador más eficiente.
- Elaborar el diseño conceptual.
- Determinar los parámetros necesarios para el secado del polvillo de plástico.

- Valorar el índice económico del proyecto mediante la cotización de materiales y elementos conexos, equipos y construcción.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Polímeros**

Los plásticos son un tipo de materiales divididos en dos familias: termoestables y termoplásticos. En el primer tipo, no pueden modificar su forma sin embargo pueden ser molidos para incorporarse con otros elementos y ser re-utilizados, mientras que en el segundo tipo pueden ser reprocesados varias veces o en diferentes procesos. (DELGADO & TOBAR, 1992) De este último, los más utilizados son polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliestireno expandido (EPS), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y poliamidas (PA). (DOMINGO, 2011)

#### **1.4.1.1 Polipropileno**

Proceso de elaboración: Polimerización

Estructura molecular: Semicristalino 60 – 70%

Densidad en bruto: 0.90 - 0.910 g/cm<sup>3</sup>

Propiedades mecánicas: El polímero tiene tenacidad, dureza y resistencia superior a las del polietileno para la resistencia al impacto es menor. El material de construcción es capaz de ser sometido a grandes esfuerzos.

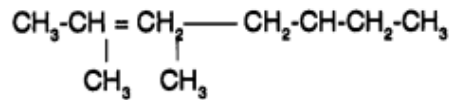
Propiedades Eléctricas: Similar al polietileno, tiene alto poder de aislamiento, además de ser antiestático.

Particulares técnicas

Conductividad térmica: 0.26 Kcal/mh °C

Calor específico (c): 0.46 Kcal/kg °C

Es altamente estable debido a su estructura química, por lo que es soldable.



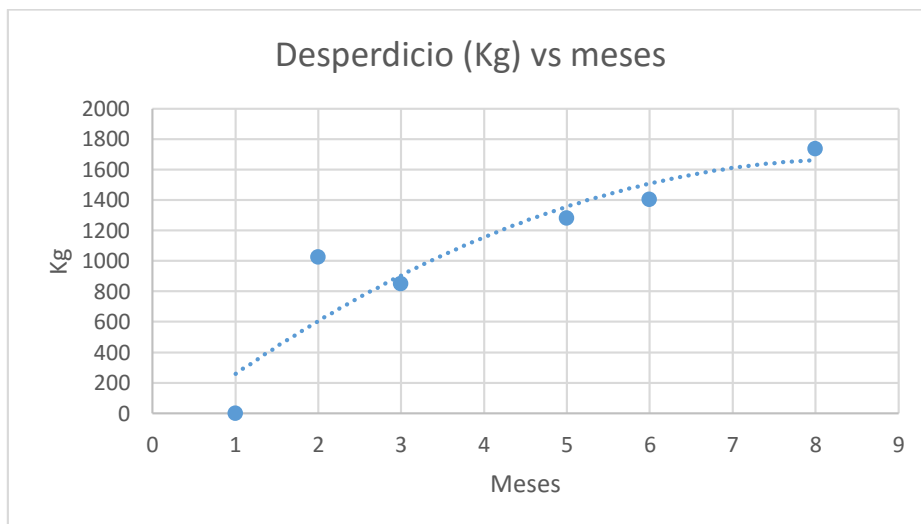
Aplicación industrial: Es utilizado para canales de calefacción, paleras de ventiladores, partes de electrodomésticos, cajas, juguetes, películas, cuerdas, cordeles, cepillos, redes, equipo de protección personal, etc.

Algunos nombres comerciales de este tipo de polímero es Propathen, polibrasil, hostaben, P.P. Amoco, luparen, vestolen P.

#### 1.4.2 Proceso de pelletización

Los pellets plásticos son gránulos que corresponden a las resinas plásticas producidas y comercializadas. Su forma varía desde ovoides hasta esféricos, con dimensiones estándares entre 1 a 5 [mm]. (SÁNCHEZ, 2015)

Es evidente el incremento de la demanda para una alta rata de producción de pellets y consumo de material, por lo que el volumen de material perdido en movimiento tiene una tasa de crecimiento significativa de acuerdo a la Tabla 1 del Apéndice A.



**Figura 1.1 Curva pérdida de materia prima**

Fuente: Autores

De acuerdo a la Figura 1.1, la demanda frecuente por el mercado crea un factor crítico económico al permitir la pérdida de materia prima, por lo tanto, el proceso debe aumentar su eficiencia. Una condición que juega un papel importante en este proceso es la calidad de los productos durante los ciclos de trabajos de las máquinas. La primera es la trituración para el ingreso del material al proceso de manufactura. (Herbold Meckesheim, 2019)

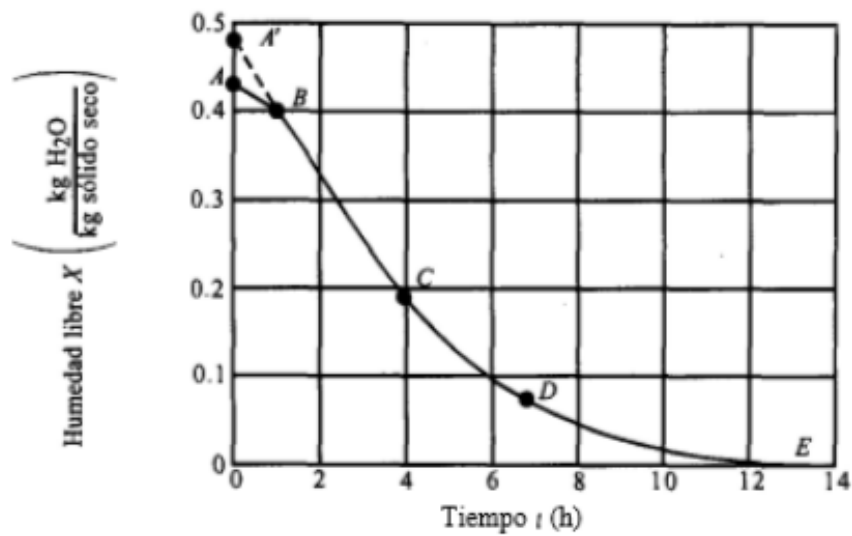
Seguidamente, en este proceso de acuerdo al tipo de polímero se aplica una serie de químicos los cuales permiten que el plástico retire sus impurezas adquiridas en el proceso de reciclaje o en tal caso posteriormente pueden adquirir un color mediante tinturas. Por lo general, los pellets producidos son blancos, transparentes o de colores claros de acuerdo a su composición química y su propósito final. (Herbold Meckesheim, 2019)

Los plásticos pueden ser materiales higroscópicos o no higroscópicos, en el primer caso tienen la característica de ser sensibles ante la humedad, es decir su estructura molecular unen a las moléculas de agua para formar parte de su cadena polimérica. Sin embargo, la misma puede ser eliminada mediante un pre calentamiento controlado y un secado interior, de forma que se asegure la calidad de la superficie, antes del proceso de extrusión. En el caso de los materiales no higroscópicos, no suele requerir un secado deshumidificante, ya que el agua puede ser removida de la superficie mediante el uso de secadores de aire caliente o mecánicos (centrífuga) y manteniendo al material a una temperatura constante. (CALBERTO, 1990)

### **1.4.3 Tipos de secadores de polímeros**

El proceso de secado de polímeros disminuye los defectos geométricos aumentando la calidad en las piezas, y estableciendo la competitividad del producto en el mercado. El secado puede deberse debido a separación mecánica o evaporación del contenido de agua gracias a flujos de aire caliente en la unidad de secado. (FRADOS, 1976)

El comportamiento del secado o cinética de secado del material es un parámetro fundamental, para determinar la pérdida de la humedad en función del tiempo.



**Figura 1.2 Variación de la humedad**

Fuente: (GEANKOPLIS, 1998)

Es por ello que, se deben tener en cuenta factores importantes como uso de energía, dimensiones, frecuencia y dificultad de mantenimiento, seguridad de equipos y operadores, eficiencia y costo de la máquina.

#### **1.4.3.1 Secadoras de aire caliente**

Utilizadas para la remoción de humedad en la superficie de polímeros no higroscópicos. Su funcionamiento es simple debido a que consta de un soplador – calefactor, el mismo es montado en una tolva de secado y un control de humedad. El aire del ambiente es secado en la unidad de secado central, y mediante el calefactor se mantiene la temperatura del aire para su ingreso por acción del soplador, a través de un filtro, a la tolva.

Se establece un control de la temperatura de secado, cuya temperatura es menor a la de fusión. El aire circula por el lote de material depositado en la tolva. Una vez evaporada la masa de agua, es retirada por la parte superior de la tolva. Cabe recalcar que, el aire es recirculado nuevamente a la unidad de secado, para asegurar el flujo de aire necesario en la tolva. ( Haynie, 2019)

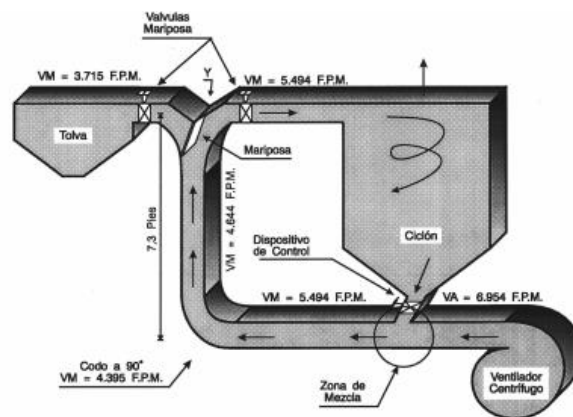




**Figura 1.3 Unidad de calefacción.**

Fuente: (Mexico., 2019)

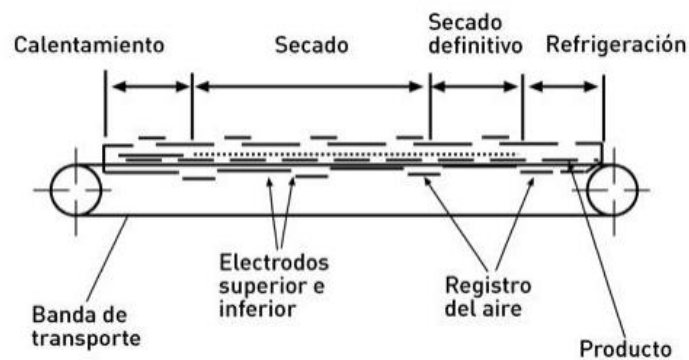
A pesar de que este método se aplica a lotes de materia en estado estático, el diseño de sistemas cerrados para recirculación de material es también uno de los indicados. En este caso, la unidad de secado está compuesta por ductos guías de material hacia un ciclón en el cual, debido a la fuerza centrífuga y la temperatura de aire, cederán la humedad al ambiente de la unidad de secado. Posteriormente, el material caerá a la zona de reposo para que un ventilador centrífugo lo traslade por los ductos dirigido hacia una zona de almacenamiento de material seco. Finalmente, el aire es retirado de la unidad hacia el ambiente.



**Figura 1.4 Secador de aire caliente**

Fuente: (DELGADO & TOBAR, 1992)

O en tal caso podría aplicarse un secador de banda continua, en donde el material colocado sobre la superficie experimentará un fenómeno de transferencia de calor cediendo su humedad al ambiente el cual posteriormente será retirada con el uso de dámetros.



**Figura 1.5 Secador por banda continua.**

Fuente: (Vimarsystems, 2019)

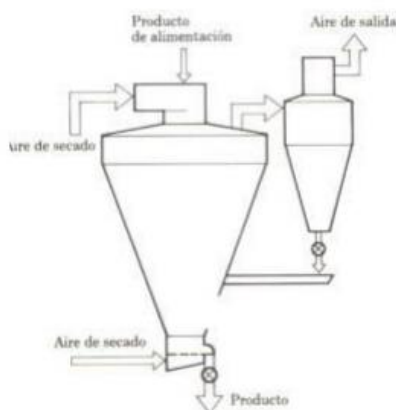
Este tipo de secador tiene un capacidad de hasta 50 [lb/h], sus costos iniciales son bajos, tiene un uso energético variado entre alto y muy alto. El espacio que ocupa el mismo es reducido. Finalmente, el mantenimiento requerido para la máquina es medio, debido a la gran cantidad de componentes mecánicos y sistemas.

#### **1.4.3.2 Secador de lecho fluizado o dual.**

Son secadores antiguos y se estima que en la actualidad formen parte del proceso de secado entre 10 000 y 20 000 máquinas. Su característica se debe a que consta de dos lechos desecantes, sopladores de proceso y regeneración, calentadores de proceso y regeneración y válvulas para direccionamiento de flujo.

El lecho desecante suministra aire caliente a la tolva, mientras que el otro lecho se regenera forzando el aire caliente a pasar por el mismo. Al completar el ciclo, el segundo lecho suministra aire al proceso seco e inicia la regeneración en el primer lecho. El punto de rocío utilizado es  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por lo que cumple su función de secado de una masa de polímero. Sin embargo, se requiere de un alto consumo de energía, las dimensiones que

ocupa son muy grandes, requiere de mantenimiento y las temperaturas<sup>1</sup> son variables aunque controlables.



**Figura 1.6 Secador de lecho fluidizado.**

Fuente: (Changzhou YIBU Drying Equipment Co., Ltd., 2019)

En este caso, tiene una capacidad entre 15 a 5000 [lb/h], su costo inicial de inversión es alto, ya que necesita controlar los parámetros de operación para un secado homogéneo. El uso de energía es directamente proporcional a la complejidad de la máquina, es decir tiene una clasificación alta. El espacio ocupado requiere de un área extensa. Finalmente, para mantener el rendimiento de la máquina y calidad del producto, la máquina al estar compuesta por sistemas mecánicos, neumáticos y eléctricos, indica un índice de frecuencia de mantenimiento alto ( Haynie, 2019).

#### **1.4.3.3 Secadora centrífuga**

Utilizadas para desecar plásticos post proceso de lavado. Es conocido como secado mecánico ya que separa la masa del fluido, de la masa del sólido mediante una elevada fuerza de impacto creada por la fuerza centrífuga. (TICARET, 2019) Además, esta aplicación es aprovechada para filtrar otros componentes no necesarios como impurezas (polvo).

La máquina consta de un motor, un sistema de transmisión de potencia, un árbol de transmisión, aspas para otorgar el impulso a las partículas dentro del tambor de la máquina centrífuga.

---

<sup>1</sup> En ninguno de los secadores con aplicación de temperatura deben exceder la temperatura de fusión, caso contrario se perderán sus propiedades físico-químicas.

A diferencia de otros secadores de aire caliente u otros métodos de secado, tiene una capacidad entre 500 a 800 [lb/h], 50% de rendimiento energético, fácil proceso de fabricación (accesibilidad), mejor protección contra el desgaste, bajos costos de operación y fácil operación. (Hernold, 2016) La máquina, al ser un sistema cerrado reduce la interacción hombre-máquina. (BATSON & TAIPE, 2012)



**Figura 1.7 Secadero centrífuga**

Fuente: (Herbold, 2019)

Los polímeros sean higroscópicos o no, durante su síntesis, transporte y almacenamiento tienden a absorber humedad en sus cadenas poliméricas o superficialmente según sea el caso. Este factor depende de la humedad relativa del aire relacionada con los parámetros de temperatura del aire, presión atmosférica y tamaño de partícula, Es por ello que, se debe tener en cuenta el aire húmedo (aire seco – vapor) del ambiente para su almacenamiento. (Quiñones, 2003)

Los secadores mecánicos (centrífugos) y de aire caliente crean triturados y humedades adecuadas para el proceso de extrusión. La humedad residual es quitada mediante un aglomerador previo al proceso de extrusión, para procesar material de alta calidad.

#### **1.4.4 Proceso de extrusión**

En el proceso de extrusión, el polímero se funde dentro del cilindro de forma que mediante acción de un embolo es empujado para tomar la forma del filtro. Sin embargo, es importante que el polímero introducido al proceso tenga las características óptimas para que se cumpla la calidad del pelletizado. Por lo que, la humedad inicial del polímero

para el proceso de extrusión debe ser menor a 2% de humedad relativa. (Herbold Meckesheim, 2019)

### *Extrusión Seca*

Este tipo de máquina fue una de las pioneras en los procesos de extrusión debido a la baja tasa de producción, por lo que satisfacía las necesidades de la industria. Sin embargo, la evolución industrial indicó necesario el cambio de los parámetros de operación. Actualmente, en Estados Unidos de América se han incorporado a este sistema un pre acondicionador, el cual prepara al material para el proceso de extrusión, mejorando la capacidad de la máquina. Los rangos permitidos de humedad en este tipo de sistema de pre acondicionamiento de la extrusora varían entre los 10 y 20 % de humedad relativa. (KEARNS, 2018)

### *Extrusión Húmeda*

Al igual que la extrusora en seco, posee un sistema de pre acondicionamiento de material. Sin embargo, la diferencia recae en que esta permite un rango de humedades relativas de admisión mayores (20-50%). Los componentes de esta máquina permiten este parámetro de admisión, puesto que se realizaron modificaciones en el cilindro de un solo eje aumentando su diámetro y tamaños diferenciales, dirección de rotación, tiempo de retención y cambio de velocidades, de esta forma se pueden integrar a materiales de alta humedad al proceso. (KEARNS, 2018)

La humedad tanto externa como interna en el material, para el proceso de extrusión afecta en la calidad del pellet formado (Prandini, 1995), algunos defectos son: rayas, burbujas de la superficie, tensiones estructurales, deformación, etc.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La problemática se enfoca en la reducción de desperdicio de materia prima.

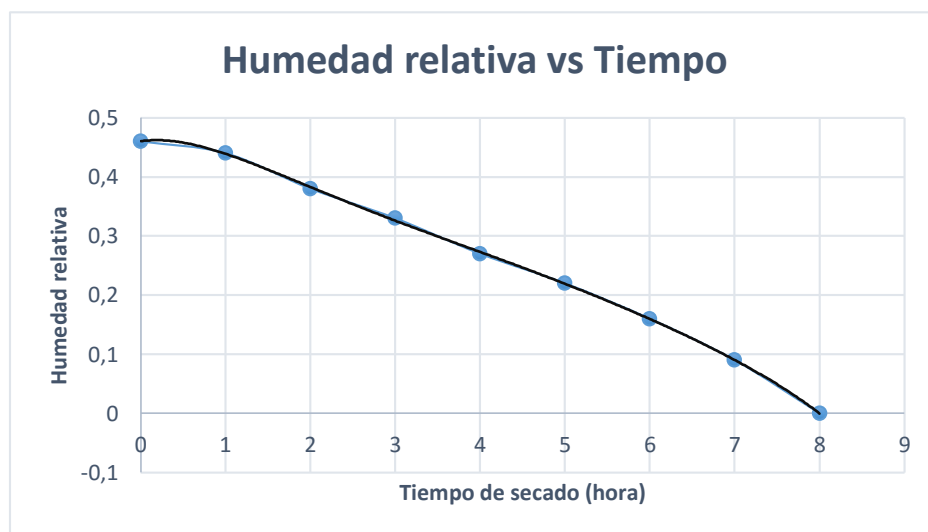
### 2.1 Método de obtención de humedad

Se determinó la humedad del polímero recolectando polipropileno en una funda plástica sellada herméticamente desde la piscina de tratamiento de agua. Posteriormente, se trasladó la muestra a los laboratorios y en un horno mufla, se colocaron bandejas con masas determinadas del polímero a estudiar.

Mediante este método de secado y obtención de humedad, se determinó la curva de humedad del polipropileno a distintas temperaturas, y tiempo de secado mostrado en las figuras 2.1 y 2.2.

Los primeros parámetros de secado fueron:

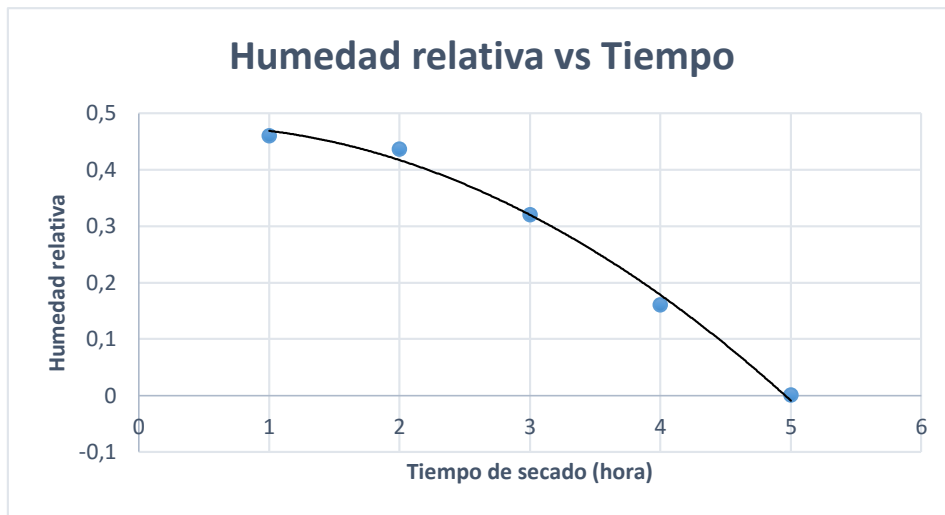
- Temperatura de secado: 70 °C
- Masa de la muestra: 250 [g]
- Tiempo de secado: 28 800 [s]



**Figura 2.1 Curva de humedad**

Fuente: Autores

Seguidamente, para disminuir el tiempo de secado, se aumentó la temperatura a 110°C



**Figura 2.2 Curva de humedad**

Fuente: Autores

En ambos casos coincidió que la humedad relativa del polipropileno al salir de la piscina de tratamiento de agua de la empresa es 0,46.

El material lavado y secado mediante la máquina centrífuga (procedimiento actual de la empresa), fue nuestra referencia de humedad residual requerida para el proceso de extrusión. Utilizando el mismo método de secado, cuyos parámetros son idénticos a la primera prueba, se obtuvo como resultado una humedad relativa equivalente a 0.05 en la superficie, ya que no es un material higroscópico. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es disminuir la humedad relativa desde 0.46 hasta 0.05, aplicando un método de secado seguro y eficiente.

La empresa posee una máquina centrífuga de menor capacidad, sin embargo no remueve la cantidad total de masa de agua. Cabe recalcar que, el remover casi el 50% de masa de la masa total de desperdicio de la empresa requiere de una fuerte suma de inversión de energía. Consecuentemente, la empresa deberá optar entre realizar la modificación de la máquina de su pertenencia o por el diseño de una nueva máquina con la variación de algunos parámetros.

Los requerimientos para la alternativa de solución deberán:

- Reducir el contacto hombre-máquina
- Producir la menor pérdida de material final

- Extraer la humedad total del material plástico.

## **2.2 Análisis y selección de alternativas**

### **2.2.1 Parámetros para selección de alternativas**

- Funcionabilidad  
Humedad requerida
- Rendimiento  
Menor pérdida de material en el proceso.
- Mantenimiento  
Sencillo y de frecuencia programada
- Proceso de fabricación  
Materiales disponibles en el mercado.
- Ruido
- Riesgo operacional  
Menor contacto hombre – máquina  
Ignición
- Costo de inversión  
El presupuesto de la máquina planteado por la empresa es de 20000-30000 dólares
- Contaminación ambiental  
Cumplir las leyes ambientales.

### **2.2.2 Análisis de alternativas**

Se analizarán tres modelos de máquinas de distintos tipos de materiales y sistemas.

#### **2.2.2.1 Alternativa A: Máquina Centrífuga**

Esta máquina está conformada por los siguientes equipos:

- Tanque de acero inoxidable (AISI 304)  
Permite un mayor desempeño y los mantenimientos menores debido a las propiedades del material.
- Sistema de transmisión de potencia (banda-polea)  
No requiere de lubricación  
Los costos de mantenimiento son menores  
Alcanza la velocidad deseada



- Mecanismo  
Sistema de bloqueo de energías y acceso al interior del tanque.  
Costo del mecanismo no es elevado
- Estructura exterior (Acero A-36 o A-572)  
Material de fácil adquisición en el mercado  
Propiedades mecánicas acorde al proyecto.

### **2.2.2.2 Alternativa B: Máquina secadora de aire seco caliente (Lecho fluizado)**

Los componentes y sistemas de esta alternativa son:

- Tanque (Acero galvanizado)  
Reservorio de material polímero.  
Precaución con mantenimientos.  
Propiedades de material óptimos para trabajos a exposición de temperatura evitando corrosión.
- Ciclón  
Permitirá la sedimentación del material plástico y expulsión de vapor de agua mediante dámper.
- Ventilador centrífugo  
Permitirá el direccionamiento de las partículas a través de los canales en la unidad de secado.
- Sistema de limpieza de aire  
Remueven los contaminantes de un chorro de aire tomando en cuenta el grado de concentración y tamaño de partícula contaminante, grado de colección, características del contaminante y requerimiento de energía.
- Tolva de almacenamiento  
Estructura mecánica para el almacenamiento pre unidad de secado.
- Adquisición de elementos mecánicos  
Se determinarán los accesorios requeridos para la construcción del sistema.
- Diseño de sistema térmico  
La temperatura de secado recomendada para polímero pulverulento.

### **2.2.2.3 Alternativa C: Unidad de secado mediante banda continua**

Los sistemas que conforman este diseño son:

- Silo + dosificador  
Unidad de almacenamiento de polímero y dosificador de material.

- Sistema de transmisión de potencia  
Banda - Polea
- Quemador de gas  
Método de obtención de calor.
- Ducto de tubos con deflector  
Sistema guía de los gases de combustión del quemador para mediante convección forzada enviar aire a la unidad de secado.
- Ventilador  
Direccionamiento de aire a través del ducto guía a la unidad de secado.
- Bañera de almacenamiento  
Permitirá el almacenamiento de material seco.

### 2.2.3 Evaluación de Alternativas y especificaciones de una solución

#### 2.2.3.1 Matriz de ponderación

En la tabla 2.1 se indica la importancia de cada parámetro de decisión descrito en la sección 2.2. Mientras que en la tabla 2.2, se decide la mejor alternativa de solución frente a la necesidad del cliente.

**Tabla 2.1 Parámetros y factor de ponderación para matriz de decisión.**

Fuente: Autores

Criterio	Parámetros	Factor de ponderación (%)
Técnico	Funcionabilidad	10
	Rendimiento	15
	Mantenimiento	15
	Proceso de fabricación	10
Seguridad industrial	Ruido	5
	Riesgo operacional	20
Económico	Costo de inversión	15
Ambiental	Contaminación ambiental	10
Total		100

**Tabla 2.2 Matriz de decisión para selección de alternativas.**

Fuente: Autores

Características	Ponderación	Alternativas		
		A	B	C
Funcionabilidad	10	8	8	8
Rendimiento	15	7	12	10
Mantenimiento	15	14	6	8
Proceso de fabricación	10	9	6	7
Ruido	5	2	4	3
Riesgo operacional	20	18	15	13
Costo de inversión	15	13	5	10
Contaminación ambiental	10	8	6	5
<b>TOTAL</b>	100	<b>79</b>	62	70

De forma que, al realizar la comparación de las alternativas en función de los parámetros de selección, se establece que la mejor alternativa es la A.

#### **2.2.4 Evaluación de las alternativas.**

La alternativa A presenta un sistema que relaciona las necesidades del cliente con la problemática que se está enfrentando de manera eficiente, segura y económica.

##### **2.2.4.1 Especificaciones de la solución**

Las especificaciones de la solución que se ha planteado se detallan a continuación.

- *Sistema reductor de humedad*

Esta máquina retira 30% de humedad, mediante la nueva máquina a diseñar se espera establecer una curva en función de radios de cilindro y revoluciones para retirar el 46% de humedad del polipropileno.

**Tabla 2.3 Especificaciones de la unidad de secado**

Fuente: Autores

<i>Geometría</i>		
Ancho: 500 [mm]	Largo: 1200 [mm]	Alto:500 [mm]
<i>Poleas</i>		
Polea 1 (d1): 161.24 [mm]	Polea 2 (d2): 168[mm]	
<i>Especificaciones de motor</i>		
Potencia	24 [HP]	
Voltaje	220 / 440 [V]	
Revoluciones	1760 [rpm]	
Radio de árbol de transmisión	4 [cm]	

## 2.3 Diseño de la máquina centrífuga para extracción de masa de agua

### 2.3.1 Dimensionamiento de la máquina centrífuga.

Para el dimensionamiento de la máquina centrífuga se tomó como referencia los parámetros del equipo que posee la empresa. La capacidad de la máquina ha sido definida de acuerdo a la cantidad de material fugado (scrap) del proceso. Para el diseño de la máquina en el presente proyecto se tomará como masa húmeda 1000 [kg].

Se define que la máquina cumplirá su función 5 días a la semana, ocho horas diarias.

De forma que, la masa humedad por segundo introducida al proceso es:

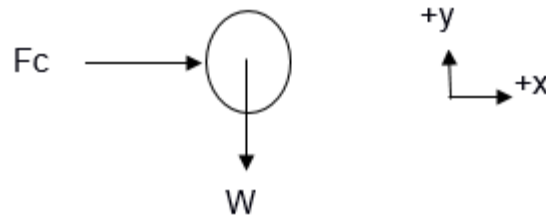
$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{1000 \text{ Kg}}{5 \text{ días}} \\ \dot{m} &= 200 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \\ \dot{m} &= 6.95 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Se calcula la velocidad angular del tambor del equipo, mediante la transmisión banda – polea, mostrada en la ecuación (1).

$$\begin{aligned} RPM_c &= RPM_m * \frac{d_1}{d_2} & (1) \\ RPM_c &= 1760 * \frac{161.24}{168} \\ RPM_c &= 1692 \text{ RPM} \\ \omega_c &= RPM_c * \frac{2\pi}{60} \end{aligned}$$

$$\omega_c = 177.12 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

En la figura 2.3, se indica que la partícula dentro del tambor estará regida por dos fuerzas en un plano 2D, la fuerza centrífuga y el peso de la partícula.



**Figura 2.3 Diagrama de cuerpo libre**

Fuente: Autores

La fuerza centrífuga depende del radio y velocidad angular, definida por la ecuación (2).

$$F_c = m * (\omega_c)^2 * r_c \quad (2)$$

La relación de transmisión entre poleas está dada por la ecuación (3).

$$\frac{\omega_c}{\omega_m} = \frac{T_m}{T_c} \quad (3)$$

$$\frac{\omega_c}{\omega_m} = \frac{F_m * r_m}{F_c * r_c} \quad (4)$$

Posteriormente, se establece una relación potencia – fuerza del motor, dada por la ecuación (5).

$$P_m = F_m * v_m \quad (5)$$

Donde la velocidad tangencial es indicada en la ecuación (6):

$$v_m = \omega_m * r_m \quad (6)$$

Al remplazar las ecuaciones 1, 3 y 4 se obtiene la expresión que calcula el radio ideal de la máquina centrífuga para eliminar el 46 por ciento de humedad en el polvillo de plástico.

$$r_c = \sqrt{\frac{P_m}{(m_l + m_s) * (\omega_c)^3}} \quad (7)$$

$$r = \sqrt{\frac{18 * 10^3}{(6.95 * 10^{-3}) * (177.12)^3}}$$

$$r = 0.68 \text{ m}$$

Mediante el radio se calcula la fuerza centrífuga que experimentarán las partículas. De acuerdo a los parámetros actuales, la fuerza centrífuga es:

$$F_{c1} = (6.95 * 10^{-3}) * (177.2)^2 * (0.32)$$
$$F_{c1} = 69.77 [N]$$

Sin embargo, las partículas al experimentar esta fuerza centrífuga, tienen una humedad restante del 16%, por lo tanto, para alcanzar una humedad de 0%, se deben variar los parámetros relacionando la humedad con la fuerza centrífuga requerida.

Las masas que se usan en las ecuaciones se definen de acuerdo al porcentaje de humedad indicado en la ecuación (8).

$$\% = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{inicial}} \quad (8)$$

Donde,

$$m_{inicial} = m_l + m_s$$

De forma que la ecuación de relación (9), está dada por las ecuaciones (2) y (8).

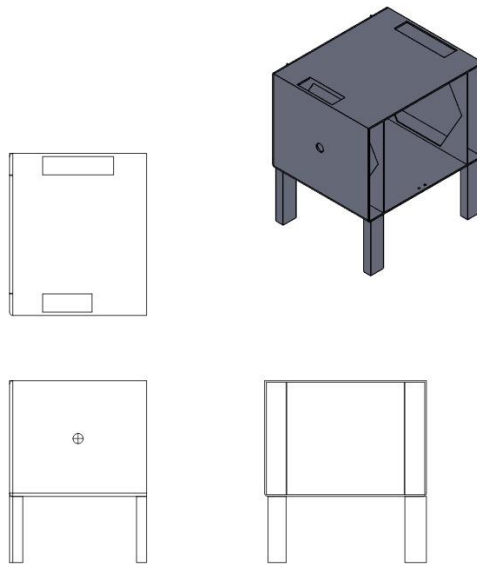
$$F_c = \frac{m_{final}}{(1-0.16)} * (\omega_c)^2 * r_c \quad (9)$$

En el caso de que se requiera la variación de la velocidad angular de la máquina, la misma será obtenida a partir del despeje de la variable en la ecuación 7.

Recalcando que se quieren mantener algunos componentes de la máquina centrífuga como su motor o en tal caso la geometría, se han obtenido para ambos casos los resultados de acuerdo al porcentaje de humedad del polímero en función de la capacidad de la máquina.

### **2.3.2 Diseño de forma de la máquina centrífuga.**

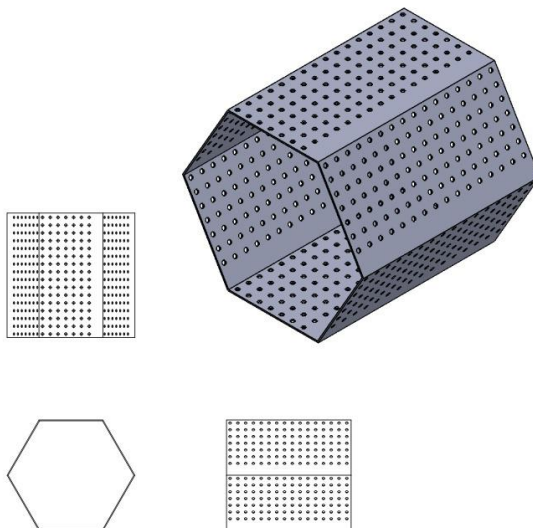
En la figura 2.4, se aprecia la estructura del equipo, cuya forma es rectangular. Dentro de mismo es colocada la malla.



**Figura 2.4 Estructura de máquina centrífuga**

Fuente: autores

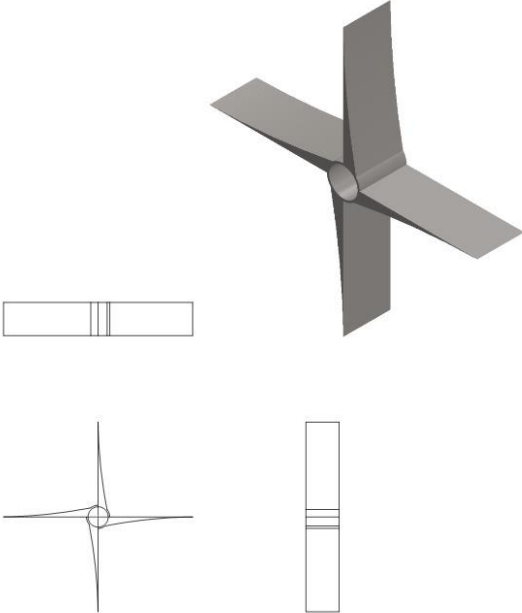
La malla tiene una forma hexagonal y su material es de acero inoxidable previniendo la corrosión como se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.5 Malla metálica para filtración**

Fuente: Autores.

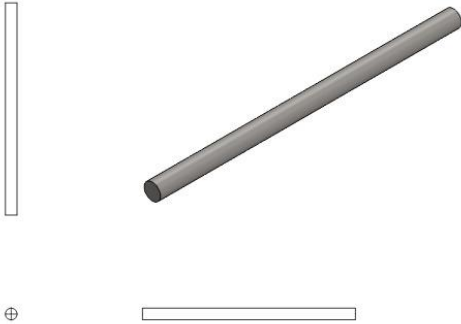
Dentro del tambor se colocarán dos difusores (Figura 2.6), uno al inicio para direccionar el material dentro del equipo y otro al final para expulsar el material hacia la zona de almacenamiento.



**Figura 2.6 Aspas de direccionamiento de material**

Fuente: Autores.

El equipo consta de un árbol de transmisión (Figura 2.7) situado en el eje de rotación. Atravesará la estructura para realizar una mezcla homogénea del material dentro del tambor.

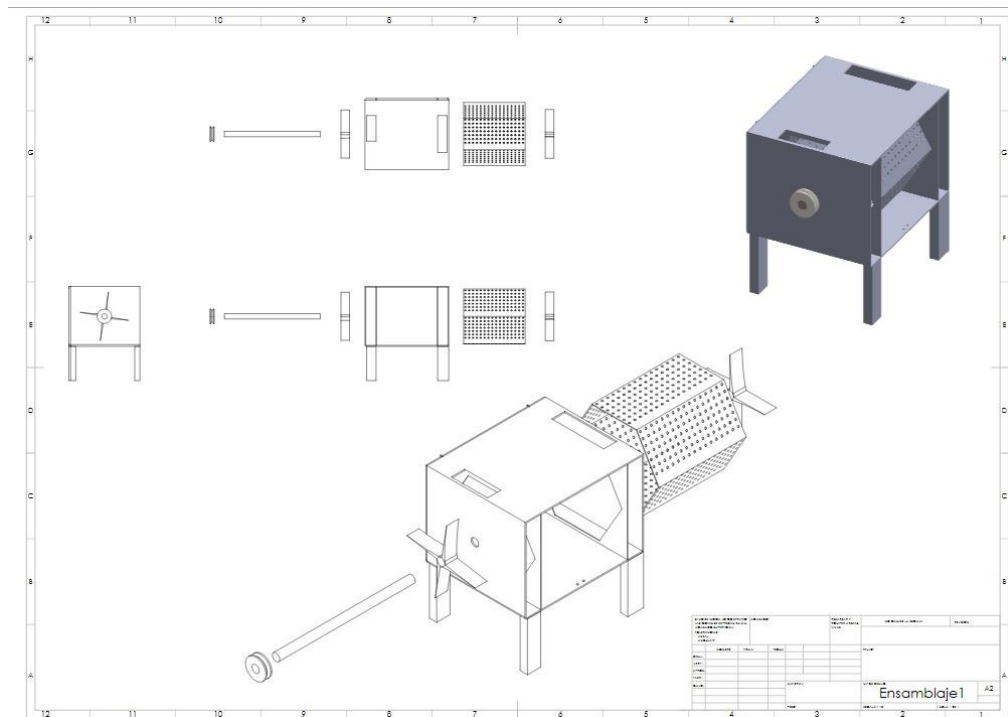


**Figura 2.7 Árbol de transmisión**

Fuente: Autores.



Finalmente, en la figura 2.7, se indica el diseño de forma de la máquina centrífuga con su respectivo ensamble de las piezas anteriormente mencionadas.



**Figura 2.7 Ensamble de máquina centrífuga**

Fuente: Autores.

## 2.4 Diseño de transmisión de potencia por bandas V.

Al calcular las  $RPM_c$  necesarias para extraer el 46% de humedad, se rediseña el sistema de transmisión de potencia. Debido al factor económico, y facilidad de instalación del sistema de transmisión, se mantiene la distancia entre centros de poleas.

La geometría<sup>2</sup> actual del sistema de transmisión se detalla en la tabla 2.4 se obtuvo por mediciones experimentales.

**Tabla 2.4 Geometría de sistema de transmisión banda-polea**

Fuente: Autores

$d_2$ (mm)	$C$ (mm)	RPMm
------------	----------	------

<sup>2</sup> Se ha utilizado el sistema inglés para los resultados de los parámetros detallados posteriormente.

168	292.50	1760
-----	--------	------

Se utiliza la ecuación (1) para calcular el nuevo diámetro de la polea del árbol de transmisión.

Se seleccionó el tipo de banda de acuerdo a la tabla 1 - Apéndice B, que relaciona la potencia del motor, obteniendo los datos a partir de la tabla 2.3.

Dado la ecuación (10) se calcula la longitud de paso de la banda ( $L_p$ ).

$$L_p = 2 * C \frac{\pi*(d_1+d_2)}{2} + \frac{(d_1+d_2)^2}{4*C} \quad (10)$$

De acuerdo al resultado de la ecuación (10), mediante la tabla 2, Apéndice B se halla la circunferencia de la banda.

El factor de corrección de longitud de paso de banda es hallado la Tabla 3. Apéndice B, para seguidamente obtener la longitud rectificada mediante la ecuación (11).

$$L_t = L_p + L_c \quad (11)$$

La distancia de radios rectificada se calcula con la ecuación (12).

$$C_n = 0.25 * \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi*(d_1+d_2)}{2} \right] + \left[ \sqrt{\left( L_p - \frac{\pi*(d_1+d_2)}{2} \right)^2 - (2 * (d_1 - d_2))^2} \right] \right\} \quad (12)$$

La nueva banda experimentará cambios debido a la variación de parámetros en las condiciones de secado, de forma que un nuevo diámetro de polea y altas revoluciones, indica una potencia permitida por las bandas ( $H_a$ ), calculada por la ecuación (13)

$$H_a = H_{tab} * k_1 * k_2 \quad (13)$$

La potencia nominal<sup>3</sup> ( $H_{tab}$ ), es hallada mediante la tabla 4, Apéndice B. a partir de la velocidad tangencial y el diámetro de paso de la polea con la potencia nominal.

La velocidad tangencial, está dada por la ecuación (14).

$$V_t = \frac{\pi*d_1*RPM_c}{12*60} \quad (14)$$

El factor de corrección del ángulo de cobertura ( $k_1$ ), está dado por la ecuación (17), sin embargo en primer lugar se hace uso de la ecuación (15) para hallar el ángulo de cobertura ( $\phi$ ), y fi (ecuación (16)), usando la tabla 5, Apéndice B.,

---

<sup>3</sup> En este caso se han interpolado los valores para llegar a la respuesta exacta.

$$\emptyset = \frac{fi*180}{\pi} \quad (15)$$

$$fi = \pi - \left( 2 * \sin^{-1} \left( \frac{d_1-d_2}{2*C_n} \right) \right) \quad (16)$$

$$\frac{d_1-d_2}{C_n} \quad (17)$$

El factor de corrección de longitud de la banda es hallado mediante la tabla 6, Apéndice B.

Por lo tanto, la potencia total del diseño ( $H_d$ ) definida por la ecuación (18), en donde el factor de diseño ( $nd$ ) es 1.5.

$$H_d = H_a * k_s * nd \quad (18)$$

El factor de servicio ( $k_s$ ) se indica en la Tabla 7, Apéndice B., en donde asume que el equipo tiene una torsión normal y un impacto ligero.

Ahora bien, la cantidad de bandas que permitirá transmitir la potencia calculada, viene dada por la ecuación (19).

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad (19)$$

La fuerza centrífuga de tensión que experimenta la banda está dada por la ecuación (20).

$$F_c = k_c * \left( \frac{V_t}{1000} \right)^2 \quad (20)$$

De donde el factor  $k_c$  es hallado mediante la tabla 8, Apéndice B.

La banda transmite una variación de fuerza ( $\Delta F$ ) debido a las dos poleas, expresada en la ecuación (21)

$$\Delta F = \frac{63.025 * \frac{H_d}{N_b}}{n * \frac{d}{2}} \quad (20)$$

La tensión mayor está dada por la ecuación (21).

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F * \exp(fi*\emptyset)}{\exp(fi*\emptyset)-1} \quad (21).$$

La tensión menor se define gracias a la ecuación (22)

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad (22)$$

La fuerza interna ( $F_i$ ), se utiliza la siguiente ecuación (23)

$$F_i = \frac{F_1+F_2}{2} + F_c \quad (23)$$

El factor de seguridad ( $n_{fs}$ ) está dado por la ecuación (24), y nos describe la seguridad de la misma durante la operación del equipo.

$$n_{fs} = \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * k_s} \quad (24)$$

Actúan tensiones sobre las bandas en movimiento, provocando esfuerzos de flexión, dados por las ecuaciones (25) y (26).

$$T_1 = F_1 + \frac{k_b}{d_2} \quad (25)$$

$$T_2 = F_1 + \frac{k_b}{d_1} \quad (26)$$

El factor ( $k_b$ ) es hallado mediante la tabla 9, Apéndice B.

Mediante tiempo de vida de la banda se conocerá el número de pasadas de la banda, dada por la ecuación (27).

$$N_p = \left[ \left( \frac{k}{T_1} \right)^{-b} + \left( \frac{k}{T_2} \right)^{-b} \right] \quad (26)$$

Los factores k y b se hallan en la tabla 10, Apéndice B, de forma que la ecuación (27) define el tiempo de vida útil.

$$t = \frac{N_p * L_p}{720 * V_t} \quad (27)$$

## 2.5 Parámetros de operación.

Mediante la Ley de Stokes se conoce el comportamiento de una partícula de plástico, permitiendo determinar la velocidad de sedimentación del agua al poseer una densidad mayor que el polipropileno, y de esta forma, hallar el tiempo necesario para separar el líquido del sólido.

Este análisis se realiza en las máquinas centrífugas, tanto dimensionada y de propiedad de la empresa.

La velocidad de sedimentación debido a la gravedad, está dada por la ecuación (28).

$$V_g = \frac{(D_p)^2 * (\rho_l - \rho_s) * (g)}{18\mu} \quad (28)$$

$$V_g = \frac{(0.001)^2 * (1000 - 910) * (9.8)}{18(0.00891)}$$

$$V_g = 0.0055 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

La velocidad de sedimentación por la acción de la fuerza centrífuga está dada por la ecuación (29)

$$V_{\omega} = \frac{(D_p)^2 * (\rho_l - \rho_s) * (w_c)^2 * (r_c)}{18\mu} \quad (29)$$

$$V_{\omega} = \frac{(0.001)^2 * (1000 - 910) * (177)^2 * (0.32)}{18 * (0.00891)}$$

$$V_{\omega} = 5.62 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

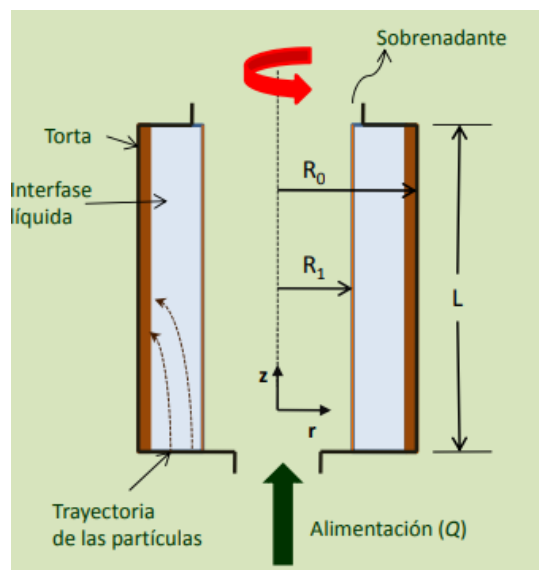
Se obtiene la relación entre las velocidades anteriormente halladas dada por la ecuación (30). Mediante este factor adimensional se permite realizar semejanzas entre centrífugas con la misma geometría.

$$G = \frac{V_{\omega}}{V_g} \quad (30)$$

$$G = \frac{13.30}{0.0055}$$

$$G = 1022$$

El tiempo de sedimentación indica el intervalo de tiempo que el sólido debe permanecer en la unidad para separar del líquido.



**Figura 2.8 Diferencia de radios en la operación de la máquina centrífuga**

Fuente: (Mercado, 2014)

El radio del eje hacia la torta de material está dado por la ecuación (31).

$$R_1 = \sqrt{(R_0)^2 - \frac{V}{\pi * L}} \quad (31).$$

$$R_1 = \sqrt{(0.32)^2 - \frac{0.0000076}{\pi * (0.98)}}$$

$$R_1 = 0.319 [m]$$

El tiempo de sedimentación se obtiene de acuerdo a la ecuación (32).

$$t_s = LN \left( \frac{R_0}{R_1} \right) * \frac{g}{(\omega)^2 * V_g} \quad (32)$$

$$t_s = LN \left( \frac{0.32}{0.319} \right) * \frac{9.8}{(177)^2 * 0.0055}$$

$$t_s = LN \left( \frac{0.32}{0.319} \right) * \frac{9.8}{(177)^2 * 0.0055}$$

$$t_s = 6.79 * 10^{-6} [s]$$

El rendimiento volumétrico de la máquina centrífuga es igual al tiempo de residencia y el tiempo de sedimentación, siendo hallado mediante la ecuación (33).

$$t_s = \frac{V}{Q_r}$$

$$Q_r = \frac{V}{t_s} \quad (33)$$

$$Q_r = \frac{7.6 * 10^{-6}}{6.79 * 10^{-6}}$$

$$Q_r = 1.07 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

De acuerdo al análisis anterior, se ha determinado el comportamiento de sedimentación del agua debido a la fuerza centrífuga, por lo que seguidamente se analizará el efecto debido a la malla filtrante de la unidad de secado.

El comportamiento de las partículas de plástico al acumularse dentro de la máquina centrífuga, forma una torta cuyo espesor es directamente proporcional al tiempo, por lo que, debido al tiempo de estación del material en el tambor, el caudal de filtración de agua disminuiría. Este efecto provoca que el material expulsado de la centrífuga, no tenga el porcentaje de humedad esperado.

Es por ello que, posteriormente se identifica la máxima masa de material húmedo (capacidad) que puede introducirse al equipo para no sobrepasar el 90% de saturación de la malla; y el tiempo estacionario que el material permanecerá dentro del tambor.

Se asume que la formación de torta en el área del cilindro es uniforme, y por acción de la sedimentación, el líquido es separado del sólido. Por ende, existirá un espesor de torta de polipropileno dentro de la malla filtrante, y un espesor de agua fuera de la malla.

El caudal de entrada de polipropileno a la máquina es  $7.32 * 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$ . Se hace referencia a la Figura 2.8, para la identificación de los parámetros a calcular. Cabe recalcar que, los radios son directamente proporcionales al tiempo.

El radio del líquido ( $r_l$ ) se utilizó la ecuación (34).

$$r_l = \sqrt{R_0^2 + \frac{(Q_l - Q_a) * t}{2 * \pi * L}} \quad (34)$$

El radio del sólido ( $r_s$ ) se utilizó la ecuación (35).

$$r_s = \sqrt{R_0^2 + \frac{(Q_l - Q_a) * t_e}{2 * \pi * L * (1 - f_{vs})}} \quad (35)$$

Donde, la fracción volumétrica de sólidos ( $f_{vs}$ ) se la calculó con la ecuación (36).

$$f_{vs} = \frac{V_s}{V_l + V_s} \quad (36)$$

La porosidad ( $\varepsilon$ ) del medio se utiliza la ecuación (37) que relaciona el volumen total entre sólido y líquido semanal, de acuerdo al el volumen de las partículas secas.

$$\varepsilon = \frac{V_t - V_s}{V_t} \quad (37)$$

$$\varepsilon = \frac{0.847 - 0.477}{0.847}$$

$$\varepsilon = 0.437$$

La superficie específica ( $a$ ) de las partículas se utilizó la ecuación (38) que relaciona el área de una partícula con el volumen de la partícula.

$$a = \frac{\text{Area de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula}} \quad (38)$$

$$a = \frac{4 * \pi * r_p^2}{\frac{4}{3} * \pi * r_p^3}$$

$$a = \frac{4 * \pi * 0.0005^2}{\frac{4}{3} * \pi * 0.0005^3}$$

$$a = 5999.99 \cong 6 * 10^3 [m^{-1}]$$

La capacidad de la máquina indica tanto la cantidad de material seco como filtrado, en función del tiempo, siendo el caudal filtrado inversamente proporcional. Debido a este factor, se produce una resistencia específica de la torta ( $R_m$ ), dada de acuerdo a la ecuación (39).

$$R_m = \frac{5*(1-\varepsilon)^2*a^2}{(1-\varepsilon)^3} \quad (39)$$

$$R_m = 1.34 * 10^6 [m^{-2}]$$

El flujo de agua por el medio filtrante, también genera una resistencia específica del medio filtrante ( $\alpha$ ), hallada mediante la ecuación (40).

$$\alpha = \frac{5*(1-\varepsilon)*a^2}{(\varepsilon)^2*\rho_s} \quad (40)$$

$$\alpha = 6.85 * 10^8 \left[ \frac{m}{kg} \right]$$

Se ejerce una presión, dada por la ecuación(41), sobre el fluido al pasar por la torta de sólidos y el medio filtrante, lo cual depende de la velocidad angular y la diferencia entre radios de medio filtrante ( $R_0$ ), y torta de material ( $r_s$ ).

$$\Delta P = \frac{\rho_l*(R_0^2-r_s^2)}{2*\mu} \quad (41)$$

De esta forma, el caudal de filtración directamente proporcional a la capacidad de la máquina, se describe de acuerdo a la ecuación (42).

$$Q_f = \frac{\rho_l*(R_0^2-r_s^2)}{2*\mu*\left(\frac{m_s*\alpha}{(\pi*(R_0^2-r_s^2))^2} + \frac{R_m}{(\pi*(R_0^2-r_s^2))}\right)} \quad (42)$$

Finalmente, es importante que la saturación de la máquina no sobrepase los 90%, de forma que se evite la ineficiencia del equipo o incumplimiento de parámetros al no permitir la filtración de líquido. Este parámetro está dado por la ecuación (43).

$$S = \frac{Q_f}{Q_l} \quad (43)$$

## 2.6 Diseño de silo de almacenamiento

El material procesado deberá almacenarse en un recipiente por lo que se ha considerado la utilización de un silo de almacenamiento.



De acuerdo a los datos hallados en la empresa (Figura 1.1), la capacidad máxima de producción de materia seca durante el último semestre del año en curso son 500 kg aproximadamente, por lo que, para el dimensionamiento, se diseñará para una tonelada. El silo seleccionado es de clase I, por tener una capacidad menor a las 100 toneladas, por lo que su construcción es sencilla y robusta. Sin embargo, debido al material que se almacenará, el mismo deberá ser de poca esbeltez con una descarga de flujo de másico. El volumen de material está dado por la ecuación (44)

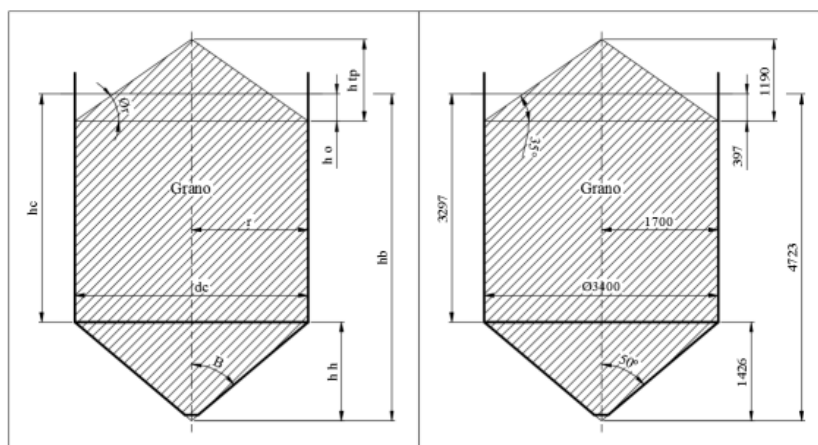
$$V = \frac{m}{\rho_s} \quad (44)$$

$$V = \frac{1000 [kg]}{910 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V = 1.098 [m^3]$$

Posteriormente, la velocidad tangencial de la máquina de propiedad de la empresa es igual a 56.57 [m/s], dada por la ecuación (14), es igual a la velocidad de ingreso de material a la estructura.

Para el dimensionamiento del silo se ha considerado el factor de altura de la tolva en función del dimensionamiento de un silo ideal (Figura 2.9).



**Figura 2.9 Dimensiones del silo para el cálculo de dimensiones.**

Fuente: (Ortega & Torres, 2016)

### 2.6.1 Esbeltez

La norma UNE- EN 1991 – 4, 2011 es indica al usuario la correcta elección del factor de razón altura - diámetro del cilindro.

- Silos esbeltos,  $2.0 < hc / dc$
- *Silos de esbeltez media*,  $1.0 < hc / dc < 2.0$
- Silos pocos esbeltos,  $0.4 < hc / dc < 1.0$
- Silo granero, cuyo fondo es plano,  $hc / dc < 0.4$

$$\frac{h}{d} = 0.85$$

$$V_{silo} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{silo} = \pi * r^2 * (0.85 * 2 * r)$$

$$V_{silo} = 1.7\pi r^3$$

El radio está dado por la ecuación (46)

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{1.6\pi}} \quad (46)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{1.098}{1.6\pi}}$$

$$r = 0.59 \cong 0.6 [m]$$

De acuerdo a la relación,  $h=0.85*d$ ; la altura será 1 m.

### 2.6.2 Descarga del silo (Tolva)

Por otro lado, de acuerdo a (Amorós, Mallol, Sánchez, & García, 2000), quienes en su artículo indican la diferencia del comportamiento de descarga entre materiales pulverulentos de distinta densidad, permiten determinar que la mejor elección de flujo es másico, ya que el material descargado, será la tanda que ha entrado a un principio. En la figura 1, Apéndice C, se indica el ángulo de inclinación de la tolva para la descarga. Sin embargo, debido al tipo de material de la tolva provocará un efecto debido a la naturaleza sobre los parámetros de diseño teóricos, los cuales están relacionados directamente con la abertura de salida del silo. Por lo que al comparar entre dos materiales, se han obtenido nuevos factores de diseño dados en la Figura 2, Apéndice C.

Por lo tanto, para el diseño del silo de almacenamiento utilizando Acero (DIPAC, 2016), y se considera que el ángulo de pared de acuerdo a una densidad similar al polipropileno, es preciso utilizar un ángulo de 23°.

## 2.6.1 Tolva de silo de almacenamiento

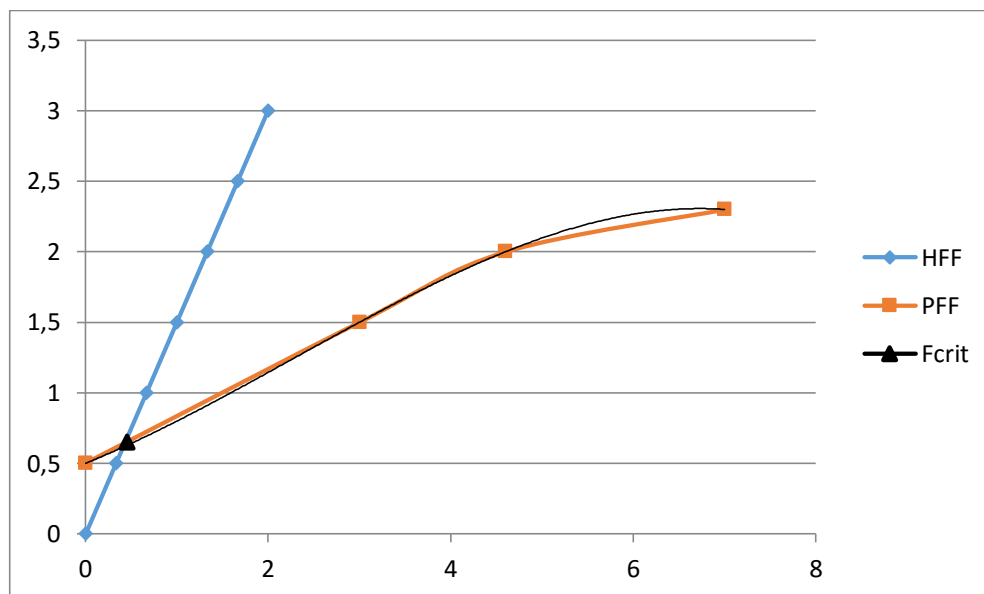
### *Factor de flujo (silo-material)*

Este tipo de material tiene una fluidez intermedia, permitiendo la descarga debido a la tensión de cizalla. De acuerdo a los parámetros elegidos de las figuras 1 y 2, Apéndice C, el factor de acuerdo a la solución publicada por Jenike para flujo másico es 1.5, Figura 3, Apéndice C.

El factor de flujo de descarga está dado por la ecuación (47)

$$HFF = \frac{\sigma}{f_c} \quad (47)$$

En el artículo de (Amorós, Mallol, Sánchez, & García, 2000), se ha realizado la experimentación de celdas de corte usando distintos grados de compactación, para hallar el flujo de polvo. Mediante el uso de la figura 4, Apéndice C, se muestra el comportamiento del flujo del material de distintas densidades. Se utiliza la curva de PFF para la obtención de la tensión crítica, por lo que al intersecar ambas curvas, Figura 2.10, se obtiene la tensión crítica igual a 0.65 KPa.



**Figura 2.10 Factor de flujo de descarga (HFF) y Función de flujo de polvo (PFF)**

Fuente: Autores

La descarga cónica del silo, permite hallar el factor dado por la pendiente de la pared de la zona de descarga dada por la ecuación (48).



**Figura 2.11 Descarga cónica**

Fuente: (Holdich, 2002)

$$H(\theta) = 2 + \frac{\theta^\circ}{60^\circ} \quad (48)$$

$$H(\theta) = 2 + \frac{23^\circ}{60^\circ}$$

$$H(\theta) = 2.38$$

El diámetro de apertura para la salida de material se indica en la ecuación (49)

$$B = \frac{H(\theta) \cdot f_{crit}}{\rho \cdot g} \quad (49)$$

$$B = \frac{(2.38)(0.65 \times 10^3)}{(910)(9.8)}$$

$$B = 0.17 [m]$$

La altura de la tolva está dada de acuerdo al factor razón altura del cilindro y altura de la tolva del silo de almacenamiento ideal (Figura 2.9), siendo igual a 2.6.

$$\frac{hc}{ht} = 2.6$$

$$ht = \frac{1}{2.6}$$

$$ht = 0.38 [m]$$

### 2.6.2 Protección frente a explosiones de polvo

Finalmente, las protecciones frente a explosiones de polvo es un factor relevante debido alto nivel de peligro en la industria. En el diseño del silo, se utilizará un dispositivo de venteo de acuerdo a la norma europea EN 14491:2006.

Este dispositivo depende de la relación longitud /diámetro, correspondiente a silos de poca esbeltez, de forma que la llama pueda recorrer la altura hasta alcanzar el venteo, en caso de ignición.

Cabe mencionar que, esta norma no establece los intervalos de condiciones iniciales de la nube de polvo, velocidad de aire y nivel de turbulencia del fluido, empero es aplicable para un sin número de aplicaciones prácticas. (Tascón & Aguado, 2012)

El techo del silo será de forma cónica, además estará apoyado sobre la estructura cilíndrica. Será construido en partes para su fácil transporte y armado. Cabe mencionar que, los techos auto soportados utilizados en silos menores a 18 metros de diámetro, tienen una pendiente entre 9.5 ° y 37° con respecto a la horizontal. (Ortega & Torres, 2016). Por lo que, para el presente diseño, se escoge un ángulo de 15 °.

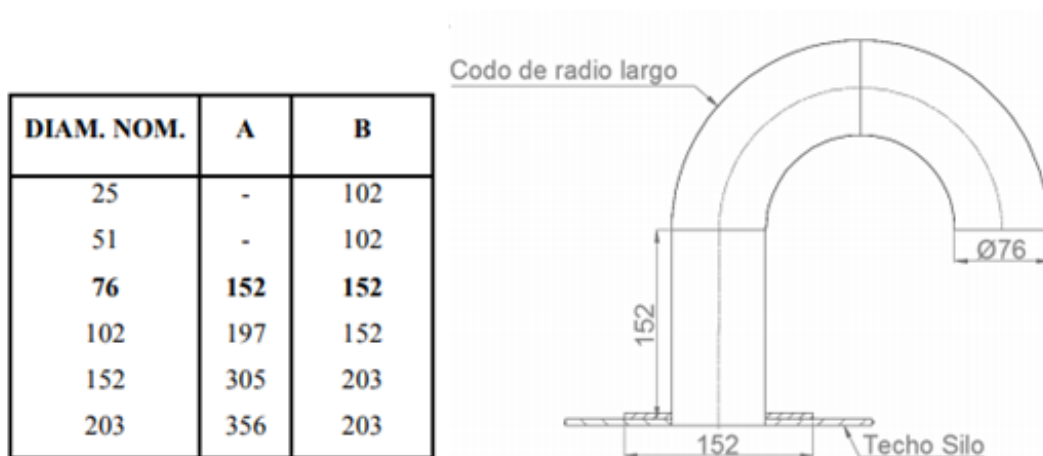
La altura del techo está dada por la ecuación (50)

$$hv = (0.5)(\tan(\beta)) \quad (50)$$

$$hv = (0.5)(\tan(15))$$

$$hv = 0.13 [m]$$

De acuerdo a la tabla de API 650, se elige el diámetro para la salida de aire, siendo igual a 76 mm (diámetro nominal).



**Figura 2.12 Indica los diámetros de salida de aire y Venteo del silo.**

Fuente: (API 650, 2005) y (Ortega & Torres, 2016)

## 2.7 Cálculo del cabezal.

En esta sección se calcula el máximo cabezal que alcanza el material al salir de la centrífuga, para colaborar que sea posible transportarlo hacia el silo de almacenamiento.

Para calcular la presión en la entrada del silo al transportar el material se debe tomar en cuenta los siguientes tipos de pérdidas.

La caída de presión por la aceleración del sólido ( $\Delta P_{acc}$ ) se calcula con la ecuación (51).

$$\Delta P_{acc} = \frac{W * V_p}{144 * g} \quad (51)$$

La caída de presión por la fricción del gas ( $\Delta P_g$ ) se calcula con la ecuación (52).

$$\Delta P_g = \frac{4f * L_t * \rho_g * V_g^2}{2g * D_t * 144} \quad (52)$$

La caída de presión por la fricción del sólido ( $\Delta P_s$ ) se calcula con la ecuación (53).

$$\Delta P_s = \Delta P_g * K * R \quad (53)$$

La caída de presión por la elevación del gas en la tubería ( $\Delta H_g$ ) se calcula con la ecuación (54).

$$\Delta H_g = \frac{\Delta Z * \rho_g * g}{144 * g_c} \quad (54)$$

La caída de presión por la elevación del sólido en la tubería ( $\Delta H_s$ ) se calcula con la ecuación (55).

$$\Delta H_s = \frac{\Delta Z * W * g}{144 * g_c * V_p} \quad (55)$$

Ya teniendo las caídas de presión que efectúan el aire y el plástico, se calcula la presión a la entrada del silo, mediante la ecuación (56).

$$\Delta P_{silo} = \Delta P_{acc} + \Delta P_g + \Delta P_s + \Delta H_g + \Delta H_s \quad (56)$$

El material del sistema de transporte que consta de dos tuberías conectadas por un codo redondo, es de acero B36, donde el diámetro de las tuberías es de 10 cm.

Para calcular el Numero de Reynolds se usa la siguiente ecuación (57).

$$Re = \frac{D * V_g * \rho_g}{\mu_g} \quad (57)$$

El número de Reynolds dentro de la tubería es de 7.43, lo que significa que es de régimen laminar, entonces para encontrar el coeficiente de fricción ( $f$ ) para flujo laminar se usa la siguiente ecuación (58). La rugosidad ( $\epsilon$ ) del acero B36 es de 0.00015.

$$f = \frac{0.331}{\ln\left(\frac{\epsilon}{3.7*D_t} + \frac{7}{Re}\right)^2} \quad (58)$$

Para calcular la pérdida por la tubería se usa la siguiente ecuación (59).

$$H_t = \frac{f*L_t*V^2}{D_t*2g} \quad (59)$$

La constante de accesorio para un codo redondo (Kt) es de 2, para calcular la pérdida dentro del codo se utiliza la ecuación (60).

$$H_{acs} = \frac{Kt*V^2}{2g} \quad (60)$$

Para calcular la pérdida total del sistema se debe sumar las pérdidas debidas a la tubería y al codo redondo, como se muestra en la ecuación (61).

$$H_L = H_t + H_{acs} \quad (61)$$

Para calcular la presión dentro de la centrífuga se debe tomar en cuenta la fuerza centrífuga que está actuando sobre el material, como se muestra en la ecuación (62).

$$P_C = \frac{F_c}{\pi*R} \quad (62)$$

Para encontrar el cabezal del sistema se aplica la ecuación de Bernoulli que se muestra en la ecuación (63), para este sistema se tiene que las velocidades de entrada y salida son iguales por lo cual se eliminan.

$$\frac{P_C}{\rho*g} + Z_1 = \frac{P_{silo}}{\rho*g} + Z_2 + H_L \quad (63)$$

Despejando la variación del cabezal para su cálculo, se obtiene mediante la ecuación (63).

$$\Delta Z = \frac{P_C}{\rho*g} - \frac{P_{silo}}{\rho*g} - H_L \quad (64)$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Usando la máquina centrífuga cuyas especificaciones se indican en la Tabla 2.3, el porcentaje de humedad residual (16%) del material pulverulento de plástico, cumple con las condiciones para el proceso de extrusión seca. Por lo que, analizando los factores a los que la máquina está sometida, el filtro presenta condiciones no adecuadas de operación como:

- Oxidación en la estructura
- Falta de limpieza
- Falta de mantenimiento
- Irregularidad en la porosidad del filtro.

Por lo tanto, se plantean tres posibles acciones que el cliente debe considerar para solucionar la necesidad de la empresa de reciclaje mecánico.

### 3.1 Acción I

De acuerdo a las condiciones existentes en la malla, se recomienda realizar su mantenimiento, para que el material acumulado en las paredes sea retirado, aumentando el porcentaje de área filtrante. Así mismo, se deberá verificar la porosidad de la malla determinando si tras la limpieza, la máquina permite reducir más el porcentaje de humedad del material de manera efectiva. De esta manera, se certificará que la humedad del material no causará imperfectos en el proceso de peletización.

Además se deberán tener en cuenta indicios, para un posible mantenimiento correctivo como ruidos extraños, vibraciones los cuales puede deberse a basuras dentro del tambor u obstrucciones.

#### 3.1.1 Mantenimiento de malla.

- I. Procedimiento de limpieza



- Verificar que la masa de agua no esté almacenada dentro de la máquina centrífuga. Podría iniciar un proceso de oxidación.
- Eliminación de impurezas, vegetación acuática y partículas orgánicas. (Utilizar succión). Para ello se puede utilizar agua caliente como removedor de grasas, caso contrario se crearán obstrucciones en los orificios de la malla. Para este procedimiento se pueden utilizar herramientas como cepillos, trapos, estopas de algodón que pueda recoger de mejor manera la suciedad y su frecuencia es semanalmente.
- Se deberá realizar un plan de mantenimiento programado preventivo para lubricación de piezas mecánicas como chumaceras, además de verificación de desgaste de árbol de transmisión, bandas, poleas, alineación de bandas, etc.
- El tiempo de limpieza se establece entre 20-30 min por cada 0.09 m<sup>2</sup>.
- Es importante tener en cuenta factores que podrían afectar su correcto funcionamiento como deformaciones, corrosión, desgaste u otros signos de deterioro. (Martinez , 2001)

#### Recomendaciones

- Evitar golpes que puedan deformar la estructura.
- Re pintado de estructura para evitar oxidación.
- Revisión de cordones de soldadura.

### **3.2 Acción II: Cambio de malla**

Para el cambio de filtro de malla, se debe tener en cuenta que el material a filtrar es inorgánico, en el caso de filtrar material orgánico, la capacidad de filtración de la malla se reducirá. Este tipo de malla se clasifica de acuerdo a la Norma ISO/R 565 - 1990. El tamaño de la partícula es 1 mm por lo que de acuerdo a la Tabla 1, Anexo D, el material pulverulento polipropileno se asemeja a una arena de grano muy fino, de forma que de acuerdo a la Tabla 2 del Anexo D, se escoge una malla cuyo número de mesh es 20, y el diámetro de orificio de la placa perforada es 0.85 mm.

Cabe mencionar que el filtro al tener orificios de diámetros micrométricos, el mismo podría presentar reducciones de presión lo cual dificultaría la filtración del líquido. El efecto de una malla sucia, radica principalmente en la pérdida de su eficiencia en un 15% de humedad relativa. Por ende, se recomienda que la pérdida de carga nominal no sea mayor a 0.35 bar. (ISO 565-1990, 2000) Finalmente, en su proceso de instalación se

debe evitar deformaciones y los mantenimientos deberán cumplirse de forma que el cliente se asegure de su funcionamiento en estados de operación crítica.

### 3.3 Acción III: Diseño de máquina centrífuga

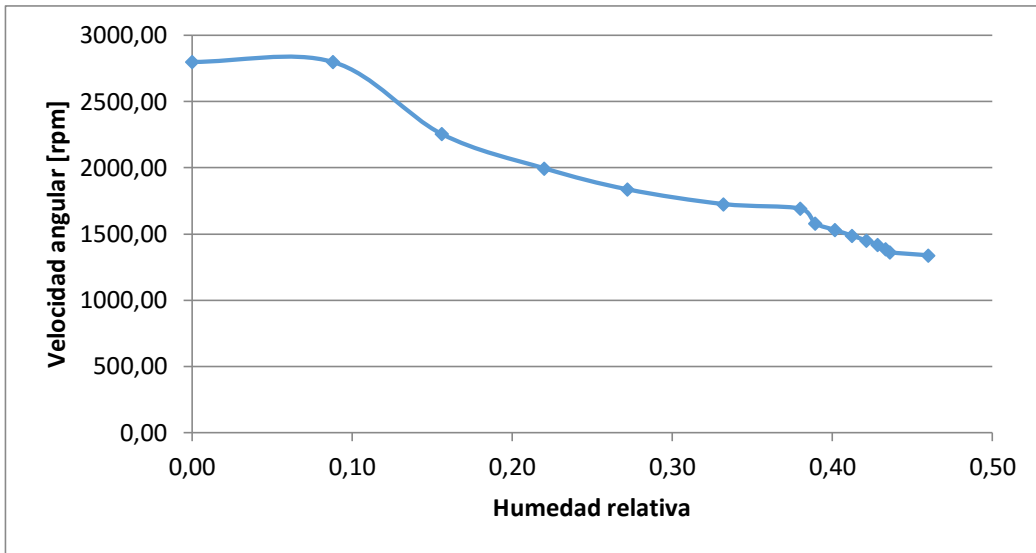
Para la reducción de costos, se definió que se mantiene la geometría actual de la máquina. El radio del tambor es una variable constante, entonces la velocidad angular cambiará en función de la humedad que se requiera obtener, siendo directamente proporcional a la fuerza centrífuga.

**Tabla 3.1** Tabla de indicadores de nuevas velocidades angulares y fuerzas centrífugas necesarias para la sedimentación de agua en función de la humedad.

Fuente: Autores

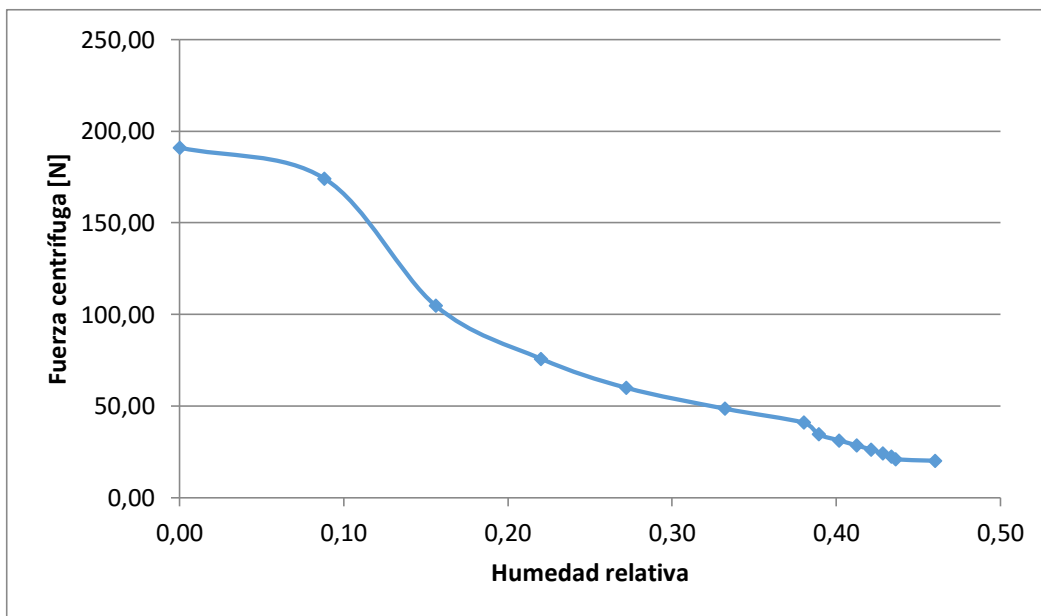
%Humedad	Masa [kg]	Velocidad angular		Fuerza centrífuga [N]
		[rad/s]	[rpm]	
0,46	6,95E-03	140,164	1338,472	20,055
0,44	6,34E-03	142,603	1361,754	20,824
0,38	5,87E-03	145,313	1387,639	22,368
0,33	5,42E-03	148,347	1416,614	24,113
0,27	5,06E-03	151,774	1449,339	26,132
0,22	4,64E-03	155,683	1486,662	28,474
0,16	4,31E-03	160,190	1529,702	31,209
0,15	3,93E-03	165,455	1579,981	34,438
0,14	3,80E-03	172,116	1643,591	40,848
0,13	3,67E-03	180,672	1725,292	48,495
0,12	3,55E-03	192,306	1836,387	59,876
0,11	3,42E-03	208,964	1995,455	75,748
0,10	3,31E-03	236,048	2254,095	104,587
0,09	3,20E-03	292,975	2797,703	174,096
0,00	3,19E-03	292,975	2797,703	190,895
Radio de tambor [m]		0,320		

De acuerdo a la Tabla 3.1, se determina que la Figura 3.1 para un radio constante de tambor, las velocidades angulares son directamente proporcionales a la fuerza centrífuga (Figura 3.2) de sedimentación de masa de agua. En este caso, le permitirá al cliente la variación de poleas y nueva selección de banda con el fin de lograr el porcentaje de humedad requerido para el proceso de extrusión.



**Figura 3.1 RPM de máquina centrífuga en función de porcentaje de humedad**

Fuente: Autores



**Figura 3.2 Fuerza centrífuga en función de porcentaje de humedad**

Fuente: Autores

Al realizar el rediseño del sistema de transmisión se obtuvo las siguientes dimensiones de las poleas y largo de banda.

**Tabla 3.2 Dimensiones de poleas y largo banda**

Fuente: Autores

D1(in)	wD1	D2(in)	wD2	Lp (in)	C final (in)
10,5	1761,40762	6,61	2798	51	12,8142271

En la tabla 3.2 se puede observar las especificaciones de la banda considerando la distancia entre centros mayor del equipo existente.

**Tabla 3.3 Dimensiones de poleas y largo banda**

Fuente: Autores

Datos de la banda B	
Ancho a (in)	0,65625
Espesor b (in)	0,4375
d min (in)	5,4
Tipo de banda	B51

En la tabla 3.3 se indica el tipo de banda y sus dimensiones.

**Tabla 3.4 Parámetros característicos de las bandas.**

Fuente: Autores

Htab (HP)	K1	K2	Ks	Kc	Kb	K	B
4,917388571	0,790356884	0,9	1,2	0,965	576	1193	10,926
Ha	Hd	Nb	Fc (lbf)	delta F (lbf)	F1 (lbf)	F2 (lbf)	Fi (lbf)
3,497842716	18,9	6	22,6236621	21,4686252	46,5672458	25,0986206	13,2092711
Factor de seguridad de la banda (nfs)		Fb1 (lbf)	Fb2 (lbf)	T1 (lbf)	T2 (lbf)	Np (pasadas)	t (horas)
1,665639389		87,1406959	54,8571429	133,707942	101,424389	1000000000	15145,5005

En la tabla 3.4 se muestran los factores característicos de la banda y las fuerzas que actúan sobre ella. Además se indica que se usaran 6 bandas para alcanzar la potencia requerida. Se obtuvo un factor de seguridad de 1.66, para evitar fallas, por lo que el tiempo de vida útil es aproximadamente 15145 horas.

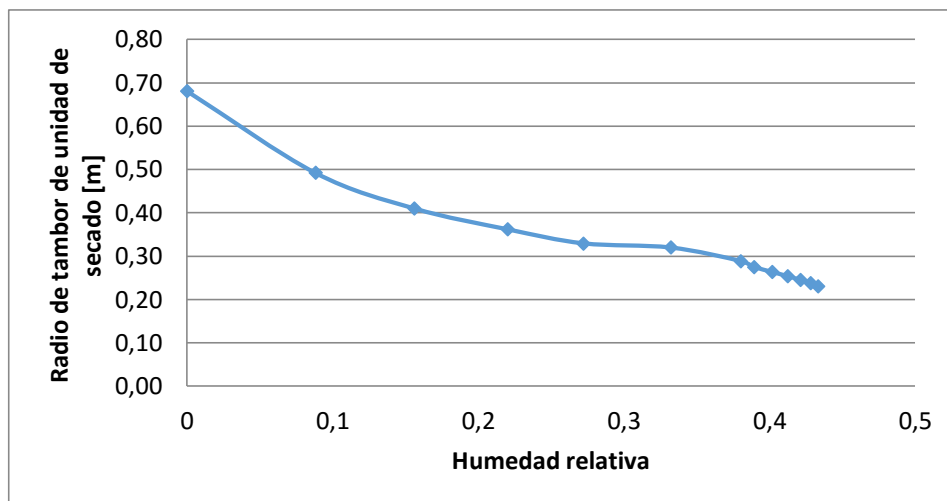
En segundo lugar, en el caso de que se requiera un diseño completo de la unidad de separación mecánica, la velocidad angular de la unidad de secado se deberá mantener constante, por lo que se hallaron los radios del tambor o filtro para permitir la sedimentación del agua mostrada en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Tabla de indicadores de nuevo radio de tambor y fuerzas centrífugas necesarias para la sedimentación de agua en función de la humedad**

Fuente: Autores

%Humedad	Masa [kg]	Radio de tambor [m]	Fuerza centrífuga [N]
0,46	6,95E-03	0,225	22,544
0,44	6,34E-03	0,231	25,367
0,38	5,87E-03	0,238	26,442
0,33	5,42E-03	0,245	27,581
0,27	5,06E-03	0,254	28,866
0,22	4,64E-03	0,264	30,333
0,16	4,31E-03	0,275	32,028
0,15	3,93E-03	0,289	34,015
0,14	3,80E-03	0,307	37,943
0,13	3,67E-03	0,330	42,298
0,12	3,55E-03	0,362	49,776
0,11	3,42E-03	0,410	61,433
0,10	3,31E-03	0,492	79,467
0,09	3,20E-03	0,681	120,793
0,00	3,19E-03	0,680	126,020
Velocidad angular	177,12	[rev/s]	
	1691,14	[rpm]	

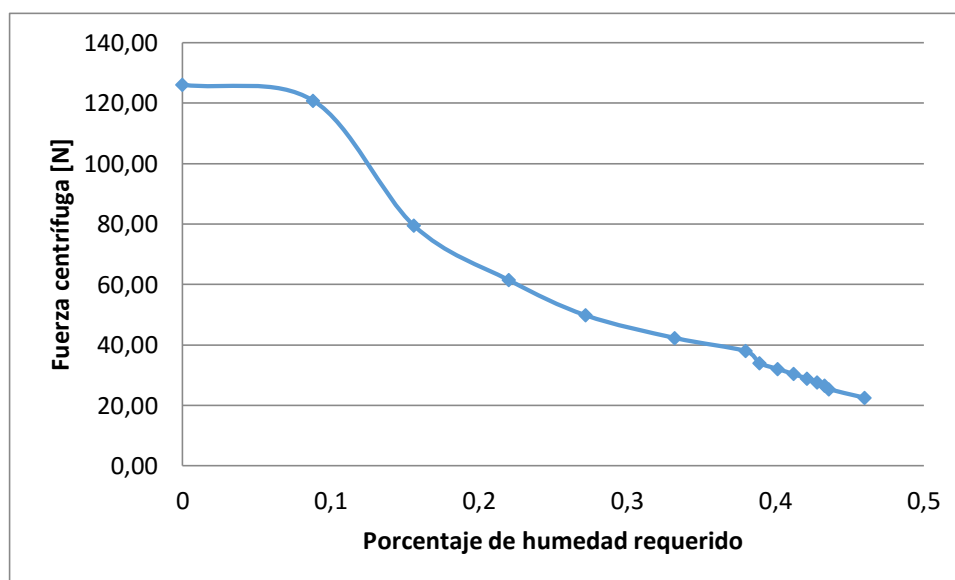
En la Figura 3.3 se muestra que el radio del tambor de la unidad de separación mecánica es directamente proporcional al porcentaje de humedad requerido. Por ejemplo, la máquina existente en la empresa tiene un radio de tambor igual a 0.32 metros, de acuerdo a nuestros cálculos para la obtención de un 16% de humedad en la masa de polvillo de plástico, se requiere 0.307 metros. Dicho de otra forma, de acuerdo a la tabla 3.5, se necesita de un radio 0.68 metros para retirar totalmente el porcentaje de humedad del material húmedo. Dicho radio del tambor creará una fuerza centrífuga que permitirá la separación masa sólida (polipropileno) de la masa líquida (agua) como se indica en la Figura 3.4.



**Figura 3.3 Radio de tambor de máquina centrífuga en función de porcentaje de humedad en la masa polipropileno - agua**

Fuente: Autores

La figura 3.4 indica la fuerza centrífuga de la unidad de separación mecánica, en función de la humedad requerida para el proceso.



**Figura 3.4 Fuerza centrífuga en función de la humedad requerida.**

Fuente: Autores

De esta manera, mediante este procedimiento se mantiene la velocidad angular constante, para permitir el diseño de una nueva caja de sedimentación.

### 3.4 Análisis de los parámetros de operación.

En las tablas 3.6 y 3.7, muestran que la velocidad angular y el radio de la centrífuga, son directamente proporcionales a la velocidad de sedimentación, logrando de las dos formas llegar a una humedad de 0%. El tiempo de sedimentación, es directamente proporcional a la velocidad angular de la máquina centrífuga, dicho de otra forma, se separaría el líquido de la masa sólida en menor tiempo. Empero, en máximo radio del tambor, la capacidad volumétrica de la centrífuga aumenta, almacenando un mayor espesor de torta de material húmedo.

**Tabla 3.6 Parámetros de sedimentación para una centrífuga con radio constante 0.32.**

Fuente: Autores

%humedad	RPM	Vs	Radio H2O(m)	Ts	Q
0,46	1338,47231	3,52791651	0,319963245	2,3845E-06	0,7026426
0,44	1361,75388	3,651714	0,319963245	2,3845E-06	0,7272989
0,38	1387,63949	3,79186455	0,319963245	3,6733E-06	0,75521219
0,33	1416,61409	3,95186982	0,319963245	4,6872E-06	0,78707987
0,27	1449,33921	4,13656255	0,319963245	5,5344E-06	0,82386447
0,22	1486,66246	4,35235454	0,319963245	6,27E-06	0,86684299
0,16	1529,70185	4,60800668	0,319963245	6,5241E-06	0,91776032
0,15	1579,98059	4,91589974	0,319963245	7,4764E-06	0,97908229
0,14	1691,37141	5,63348945	0,319963245	7,9759E-06	1,12200208
0,13	1725,29159	5,86171265	0,319963245	8,4444E-06	1,16745649
0,12	1836,38675	6,64091342	0,319963245	8,885E-06	1,32264713
0,11	1995,45451	7,84121171	0,319963245	9,3002E-06	1,56170628
0,10	2254,09531	10,0056214	0,319963245	9,6926E-06	1,99278406
0,09	2797,70275	15,4135493	0,319963245	1,0065E-05	3,06986186
0,00	2797,70275	15,4135493	0,319963245	1,0418E-05	3,06986186

**Tabla 3.7 Parámetros de sedimentación para una centrífuga con RPM constante.**

Fuente: Autores

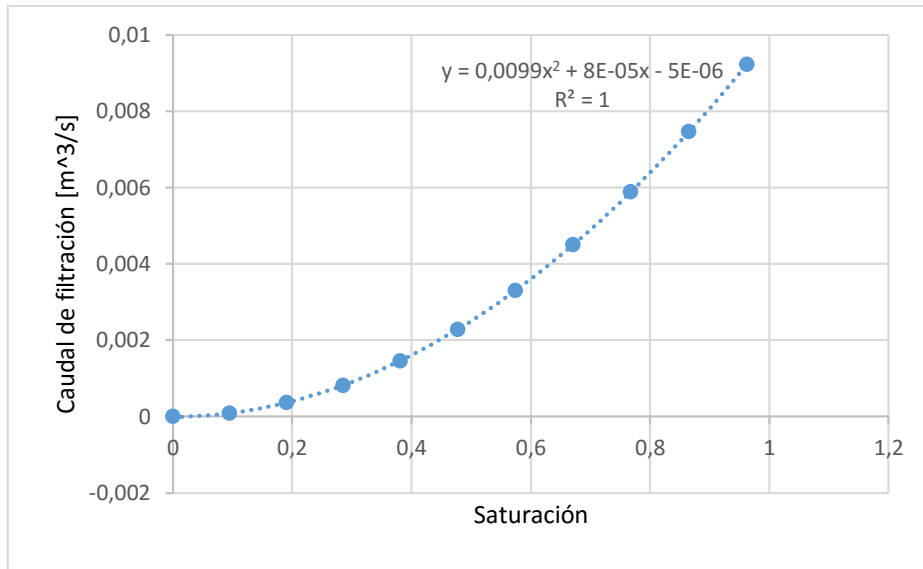
%humedad	R0 (m)	Vs (m/s)	R1 (m)	ts (s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,46	0,22527116	3,96582088	0,22521679	1,5009E-06	0,53395185
0,44	0,23117424	4,06974257	0,23112126	1,5042E-06	0,56230905
0,38	0,23779706	4,18633504	0,23774555	2,8697E-06	0,5949968
0,33	0,24528378	4,31813627	0,24523385	4,1366E-06	0,63306019
0,27	0,25383211	4,46862662	0,25378386	5,3074E-06	0,67796349
0,22	0,26369996	4,64234669	0,26365352	6,4002E-06	0,73171065
0,16	0,27523375	4,84539511	0,27518926	6,7931E-06	0,79712954
0,15	0,28891436	5,08623749	0,28887197	8,3338E-06	0,8783554
0,14	0,32	5,63348945	0,31996173	9,1829E-06	1,0775657
0,13	0,32967443	5,80380437	0,32963728	1,0004E-05	1,14371369
0,12	0,3620243	6,37331281	0,36199048	1,0797E-05	1,37921069
0,11	0,41006646	7,21907837	0,4100366	1,1563E-05	1,76958982
0,10	0,49232276	8,66717208	0,49229788	1,2303E-05	2,55078364
0,09	0,68	11,9711651	0,67998199	1,3018E-05	4,86633571
0,00	0,68075973	11,9845398	0,68074174	1,3709E-05	4,87721586

En las figuras 3.5 y 3.6 se observa que el caudal de filtración de agua es directamente proporcional al tiempo hasta el 90% de saturación. A partir de dicho punto, es muy difícil que el agua pase por el medio filtrante debido al tamaño de las partículas y características del material.

Por lo tanto, la máquina centrífuga 0.32 metros de radio, procesa 19.45 kg de material húmedo, de acuerdo a los resultados con un 0.90% de saturación se logra filtrar 8.036 kg de agua, teniendo al final del proceso un material con 8% de humedad en un tiempo de 48 minutos.

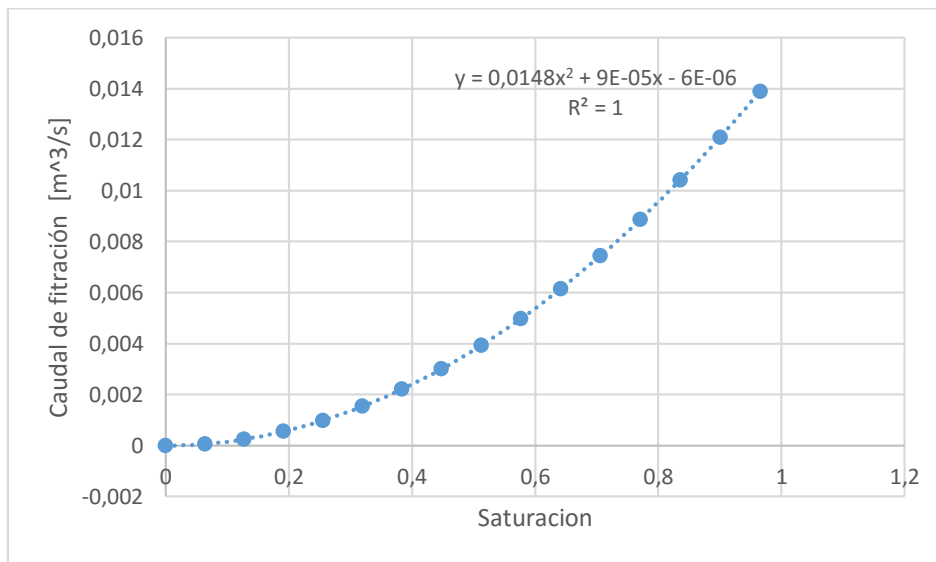
Mientras que con la unidad de separación mecánica de 0.68 metros de radio, se procesa 28 kg de material húmedo con un 0.90% de saturación, filtrando así 12.092 kg de agua, teniendo al final del proceso un material con 9% de humedad en un tiempo de 1.20 horas





**Figura 3.5 Caudal de filtración en función de saturación para radio de 0.32 metros.**

Fuente: Autores



**Figura 3.6 Caudal de filtración en función de saturación para radio de 0.68 metros.**

Fuente: Autores

### 3.5 Silo de almacenamiento de polipropileno

Las dimensiones del silo se especifican en la Figura 5, Apéndice C.

Se ha diseñado un silo de poca esbeltez debido al tipo de material ya que, al ser polvo, podría obstruirse en la parte inferior del cilindro del silo, evitando el flujo de masa en la salida. Además, por ser de este tipo de flujo y esbeltez, el factor de relación diámetro altura es menor a uno, siendo un factor importante en el caso de ignición del material. Se sabe que el material entrará con una velocidad tangencial enviada a partir de a

centrífuga por lo que podría reaccionar con oxígeno del aire y al subdividirse el material, la nube de polvo creada podría crear un proceso de oxidación con alto índice de explosión. Esta llama se propagará a través de la nube de polvo, por lo que es importante que la longitud del silo tenga una razón con el diámetro menor a 1. De esta forma, se evitarán pérdidas materiales, vidas humanas, pérdidas económicas y por supuesto, daños ambientales.

El dispositivo de venteo añadido permitirá que el mismo funcione como una válvula de alivio en el caso de aumentos de presiones y de esta manera proteger la salud de los trabajadores de la planta. En este caso, el techo del silo tendrá una superficie de menor resistencia que el resto de la estructura, para verificar que el escape de gases de combustión sea por dicha zona.

El sistema de transporte que lleva el material tiene un cabezal máximo de 1.693 metros, con un factor de seguridad de 1.9 comparándolo con la altura que va de la salida de la centrífuga a la entrada del silo, la cual tiene un valor de 0.90 m. Los datos de la presión en el silo y, las pérdidas por tuberías y accesorio se encuentran en Anexos F.

### **3.6 Costos del Proyecto.**

En esta sección se detallan los costos aproximados de este proyecto en el mercado nacional, en las posibles tres acciones que podría tomar el cliente.

Con el objetivo de clasificar los costos involucrados en las tres soluciones, se decide dividir en las siguientes categorías: materiales, mano de obra, equipos, transporte, costos indirectos.

#### **3.6.1 Acción I: Mantenimiento de malla**

En la tabla 3.8 se detallan los costos al dar mantenimiento a la malla de la máquina centrífuga.

**Tabla 3.8 Costos para el mantenimiento de la malla**

Fuente: Autores

Mano de obra	35 (\$)
Materiales	30 (\$)
<b>Total</b>	<b>65 (\$)</b>

### 3.6.2 Acción II: Cambio de malla

En la tabla 3.9 se detallan los costos aproximados al cambiar la malla del equipo, la información detallada se encuentra en Anexos E.

**Tabla 3.9 Costos para el cambio de la malla.**

Fuente: Autores

Materiales de construcción	497.47 (\$)
Mano de obra	123 (\$)
Servicios de transporte	30 (\$)
<b>Costo total de diseño</b>	<b>650.47 (\$)</b>

### 3.6.3 Acción III: Diseño de máquina centrífuga

En la tabla 3.10 se detallan los costos para el rediseño de la máquina centrífuga, la información detalla se encuentra en Anexos E.

**Tabla 3.10 Costos para la construcción de la máquina centrífuga.**

Fuente: Autores

Materiales de construcción	237.22 (\$)
Malla	497.47 (\$)
Mano de obra	590 (\$)
Costos de equipos	174 (\$)
Servicios de transporte	80 (\$)
Costos indirectos	120 (\$)
<b>Costo total de diseño</b>	<b>1 698.69 (\$)</b>

### 3.7 Costos del silo de almacenamiento

En la tabla 3.11 se detallan los costos para la construcción del silo de almacenamiento, la información detallada se encuentra en Anexos E.

**Tabla 3.11 Costos para la construcción del silo.**

Fuente: Autores

Materiales de construcción	1167.92 (\$)
Mano de obra	3200 (\$)
Maquinaria	1002 (\$)
Servicios de transporte	370 (\$)
<b>Costo total de Silo de almacenamiento</b>	<b>5 739.92 (\$)</b>

### 3.8 Costos del sistema de transporte (tuberías y codo redondo)

En la tabla 3.12 se detallan los costos para la construcción del sistema de transporte del material, la información detallada se encuentra en Anexos E.

**Tabla 3.12 Costos para la construcción del Sistema de transporte.**

Fuente: Autores

Materiales de construcción	360 (\$)
Mano de obra	285 (\$)
Soldadura	168 (\$)
<b>Costo total del Sistema de transporte</b>	<b>813 (\$)</b>

El costo total entre la construcción de la máquina centrífuga, el silo y el sistema de transporte es de 8 251.61 dólares.

### 3.9 Análisis de factibilidad.

En esta sección por medio de un flujo de caja se analiza si la construcción tanto de la centrífuga, silo y el sistema de transporte es rentable y en cuanto tiempo se recuperará lo invertido. Los costos fijos y variables se detallan en Anexos E.

Para calcular el TIR y el Van se hizo un análisis de la producción de la máquina centrífuga durante 10 años, basándose en los datos obtenidos de manera experimental, al pesar el

polvillo de plástico húmedo. Se estima una recuperación de 20.88 toneladas al año de material seco, y una inversión inicial de 8251.61 dólares.

En la tabla 3.12 se detallan los datos del flujo de caja, donde se puede observar que en unos 3 años se recuperaría la inversión.

**Tabla 3.12 Flujo de caja del proyecto.**

Fuente: Autores

Actividad operacional	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos x producción	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616
producción del polvillo en Kg	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88	20,88
Costo de plástico reciclado por tonelada	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Ingresos por producto 1	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616	14616
<b>INGRESOS TOTALES</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>	<b>14616</b>
Costos Operativos	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770	-11770
Costos Variables	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600	-3600
Costos Fijos	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170	-8170
<b>EGRESOS TOTAL</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>	<b>-11770</b>
<b>Utilidad Neta</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>	<b>2846</b>

En la tabla 3.13 se detallan los valores del TIR Y EL VAN, donde muestran que el proyecto es rentable, al tener un VAN mayo a 0 y un TIR mayor al 12%.

**Tabla 3.13 Valores de TIR Y VAN.**

Fuente: Autores

VAN	<b>7.828,92</b>
TIR	<b>32%</b>

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La máquina centrífuga expende polipropileno cuya humedad residual es 16%, por lo tanto es apta para el proceso de extrusión en seco que posee la empresa. Sin embargo, el filtro de malla de la máquina actual se encuentra en condiciones desfavorables para su operación, por lo que para su correcto funcionamiento utilizando su máxima eficiencia, la malla deberá recibir un mantenimiento descrito en la sección 3.1, para evitar productos de baja calidad.
- El uso del procedimiento de mantenimiento de la malla filtrante, permite verificar que las características homogéneas en su área de filtración, aumentando el caudal de filtración y disminuyendo el tiempo estacionario de la materia dentro del tambor, lo cual es directamente proporcional a los costos de operación de la máquina. Se recomienda que después de este acto, el cliente realice pruebas de humedad al polipropileno, de manera que se verifique la reducción del porcentaje de humedad manteniendo las mismas características de operación pero con un proceso más eficiente.
- Además, el cliente podrá realizar un cambio de malla filtrante de acuerdo a la Norma ISO/R 565 para mallas metálicas seleccionado en la sección 3.2. De esta manera, el cliente tendrá la certeza que el diámetro del poro y separación entre centro de los mismos del filtro de malla, ha sido escogido en función del tamaño de la partícula. Mediante el cambio de la misma, se podrá lograr teóricamente un 0% de humedad residual en la masa de polipropileno, sin embargo de acuerdo a los resultados de filtración dentro de una malla filtrante, con una saturación de 90%, se logrará un material con un 8% de humedad residual. Cabe recalcar que, en el caso de que el cliente decida diseñar una máquina de separación mecánica cuyo diámetro de tambor sea 0.68 metros, óptimo para la extracción de humedad total teóricamente, pero mediante el análisis de filtración la humedad residual del polipropileno con una saturación del 90%, será 9%.

- La máquina centrífuga con los parámetros actuales, tienen una fuerza centrífuga necesaria para la separación de masa de agua y masa seca de polipropileno. De acuerdo a estos resultados teóricos, se obtendrá un porcentaje de humedad residual igual a 0. Sin embargo, el cliente podrá variar el radio del tambor de la máquina en función del porcentaje de humedad requerido en la masa de polímero. O en tal caso, mantener la misma geometría y variar la velocidad angular. Por lo tanto, al diseñar una máquina centrífuga de mayor radio, la capacidad de la misma será mayor. Mientras que, al aumentar la velocidad angular, el tiempo de sedimentación será menor, pero se mantendrá la misma capacidad de la máquina.
- Para el diseño de la máquina centrífuga con los nuevos parámetros, el cambio de velocidad angular se efectúa mediante cambio de banda y poleas utilizando la misma potencia del motor.
- Finalmente, para el almacenamiento de polipropileno se ha considerado el uso de un silo de almacenamiento el cual tendrá una capacidad del doble de la producción actual, ya que el incremento en el último semestre es progresivo. Esta estructura tendrá un dispositivo de venteo o boquilla de alivio en el caso de existir altas presiones dentro del silo. Asimismo, la misma es de uso en el caso de ignición, por lo que la presión podrá ser liberada, ya que, al ser un material pulverulento, el porcentaje de peligro se incrementa.
- Al analizar el flujo de caja del proyecto, se puede concluir que a partir del tercer año del funcionamiento de la máquina centrífuga se podrá recuperar lo invertido, y por los valores del TIR y VAN el proyecto se lo considera rentable.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que el cliente realice pruebas de humedad al polímero mensualmente, de forma que se verifique la calidad de materia prima para el proceso de extrusión.
- Asimismo, es recomendable que el cliente pueda comparar la malla filtrante de la máquina de su propiedad, con la malla que ha sido recomendada en el presente trabajo, de esta manera podrá verificar si sus características permiten la eficiencia de la máquina que ha sido diseñada. Además, el cliente deberá considerar un rediseño en el caso de que la masa de agua filtrada se mantenga dentro de la estructura puesto que podría causar oxidación en el resto de componentes.

- Es recomendable que antes de proceder con el diseño del silo de almacenamiento, se realice un análisis de presiones del mismo, teniendo en cuenta casos fortuitos como ignición debido a la alta peligrosidad del tipo de material. Así mismo, realizar un análisis de elementos finitos verificando el espesor ideal para el cilindro, tolva y techo del silo.
- La estructura de soporte del silo se recomienda que deba ser diseñada en función de normas estructurales y sísmicas, ya que, al almacenar una tonelada de material, se convierte en un riesgo considerable dentro de la empresa.



# BIBLIOGRAFÍA

- Haynie, M. (2019). *Plastics Technology Mexico*. Retrieved from Novatec: <https://www.pt-mexico.com/knowledgecenter/Secado-de-plasticos/Tipos-de-resinas>
- ONU y Ministerio Ambiental de Ecuador. (2018, 03 15). ONU Medio Ambiente y Ecuador llaman a combatir la contaminación por plástico. *El telégrafo*. Retrieved from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/onu-medio-ambiente-y-ecuador-llaman-a-combatir-la-contaminacion-por-plastico>
- ACEROS, J. (2000). *Acero inoxidable*.
- ACEROS, J. (n.d.). *Acero inoxidable*.
- ACI313-77. (1983). *Recommended practice for design and construction of concrete bins, silos, and bunkers for storing granular materials*.
- Amorós, J., Mallol, G., Sánchez, J., & García, J. (2000). *Diseño de silos y tolvas para el almacenamiento de materiales pulverulentos. Problemas asociados a la operación de descarga*. Instituto de Tecnología Cerámica (ITC).
- API 650. (2005). *Diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero*. API.
- Balzhiser, R., Samuels, M., & Eliassen, J. (1972). *Termodinámica Química para Ingenieros*. Mexico: Calypso S.A.
- BATSON, E., & TAIPE, O. (2012). *Diseño y construcción de una máquina centrífuga, con un mecanismo de giro de marcos de 180 grados, para la extracción de miel de abeja con capacidad de 20 Kg/h*. Riobamba: Facultad de mecánica, ESPOCH.
- Budymas, R. G. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill Interamerican.
- CALBERTO, E. (1990). *Conferencias de plásticos*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Changzhou YIBU Drying Equipment Co., Ltd. (2019). *YIBU Drying Equipment*. Retrieved from <http://material-dryer.com/1-2-1-high-efficiency-fluid-bed-dryer/>
- CPE INEN . (1983). *Código de práctica para silos cilíndricos de metal para*. Quito: INEN.
- DELGADO, L., & TOBAR, C. (1992). *Cálculos y diseño de una máquina secadora de plásticos higroscópicos*. Corporación universitaria autónoma de occidente, División Ingenierías, Mecánica. Cali, Colombia. : Tesis de grado de ingeniería mecánica.
- DIPAC. (2016). *Productos de acero*. Retrieved from <http://www.dipacmanta.com/>

- DOMINGO, R. (2011). *Estudio de mercado de productos plásticos reciclados*. Uruguay: Compras públicas sustentables.
- FRADOS, J. (1976). *Plastics Engineering Handbook*. New York: Van Nostrand.
- GEANKOPLIS, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (Vol. 3ª ed). México: Continental.
- Herbold Meckesheim. (2019, Julio 20). *Lavado, separación y secado con plantas de lavado para residuos plásticos*. Retrieved from <https://www.herbold.com/es/machines/washing-separating-drying/>
- Herbold, I. (2019). Retrieved from [https://www.herbold.com/wp-content/uploads/pdf/information/49\\_information-es.pdf](https://www.herbold.com/wp-content/uploads/pdf/information/49_information-es.pdf)
- Hernold. (2016). *Secadora mecánica*. Deutschland: Herbold Meckesheim.
- Holdich, R. (2002). *Fundamentals of Particle Technology*. United Kingdom: Midland Information.
- Hoyos, A. (2018, Septiembre 4). La Industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas. Quito, Ecuador. Retrieved from <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>
- ISO 565-1990. (2000). *Malla metálica, Plato metálico y lámina electroformada. Tamaño nominal de aberturas*. Venezuela, Venezuela: Norma COVENIN 3607:200.
- KEARNS, J. (2018, Septiembre 23). *Extrusión en seco vs Extrusión húmeda*. Retrieved from All Extruded: <https://allextruded.com/entrada/extrusion-en-seco-vs-extrusion-humeda-18826/>
- Martinez, L. (2001). *Manual de Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego Presurizado*. Vallenar, Chile: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN INTIHUASI.
- Mercado, A. D. (2014). *Centrifugación*. Lima.
- Mexico., P. (2019). *Secado de plásticos*. Retrieved from <https://www.pt-mexico.com/knowledgecenter/Secado-de-plasticos/Tipos-de-secadores/Secadores-de-aire-caliente>
- Ortega, D., & Torres, F. (2016). *Diseño de un silo con fondo cónico para almacenamiento de maíz*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Prandini, F. (1995). *Technologies for the production of pellets to be utilized to obtain snacks and crackers*. Kansas, EEUU: Cooking Extrusion Techniques.

- Quiñones, I. (2003). *Tecnología para el secado de resinas y plásticos*. Informador técnico 66 2003 SENA CDT . ASTIN.
- SÁNCHEZ, E. (2015). *Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de pellets a partir de plástico reciclado*. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil: Proyetco de grado de ingeniería industrial. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10270/1/UPS-GT001304.pdf>
- Tapia, L. (2014, 04 03). *Políticas para Gestión Integral de Plásticos en Ecuador*. Ecuador. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Acuerdo-19.pdf>
- Tascón, A., & Aguado, P. (2012). *Aplicación de la norma EN 14491:2006 a los silos de acero cilíndricos para la protección frente a explosiones de polvo*. Informes de la Construcción.
- TICARET, M. S. (2019). *Secadora centrífuga para plástico*. Retrieved from UNTUN is MAKINA: <http://www.directindustry.es/prod/uestuen-is-makina-sanayi-ticaret-ltd-sti/product-78152-1935817.html>
- Vimarsystems. (2019). *Vimarsystems*. Retrieved from <https://www.vimarsystems.com/equipos/secaderos-industriales/secado-por-banda>

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

**Tabla 1. Datos para curva de pérdida de materia prima**

Fuente: Autores

	<b>Mes</b>	<b>Item</b>	<b>Capacidad(Kg)</b>
2018	Octubre	1	1025.532
	Noviembre	2	848.75
	Diciembre	3	411.264
2019	Enero	4	1279.746
	Febrero	5	1403.05
	Marzo	6	570.52
	Abril	7	1736.6

## APÉNDICE B

### Tablas para diseño y selección sistema banda – polea.

Tabla 1. Selección de tipo de banda

Fuente:

Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Tabla 2. Circunferencia de banda.

Fuente: (Budymas, 2008)

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Tabla 3. Factor de rectificación

Fuente: (Budymas, 2008)

Dimensiones de conversión de longitud. (Sume la cantidad que se muestra a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulgadas)

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

**Tabla 4. Potencia nominal de la banda**

Fuente: (Budymas, 2008)

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89

**Tabla 5. Factores en relación con la potencia nominal.**

Fuente: (Budymas, 2008)

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	$K_1$	
		VV	Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

\*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de  $\theta$  es  
 $K_1 = 0.143\ 543 + 0.007\ 46\ 8\ \theta - 0.000\ 015\ 052\ \theta^2$   
 en el intervalo de  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

**Tabla 6. Factor de corrección de longitud de banda**

Fuente: (Budymas, 2008)

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

**Tabla 7. Factor de servicio**

Fuente: (Budymas, 2008)

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

**Tabla 8. Factor por tipo de banda.**

Fuente:

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

**Tabla 9. Factor  $k_b$  para tensiones en bandas**

Fuente: (Budymas, 2008)



Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

**Tabla 10. Factores para hallar la vida útil de la banda.**

Fuente: (Budymas, 2008)

Sección de la banda	$10^8$ a $10^9$ picos de fuerza		$10^9$ a $10^{10}$ picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	$K$	$b$	$K$	$b$	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

# APÉNDICE C

## Silo de almacenamiento.

Ángulo de fricción interna, $\delta$ (°)	Ángulo de fricción polvo-pared, $\phi$ (°)	Densidad, $\delta$ (k/m <sup>3</sup> )	Ángulo máximo de la pared $\theta$ (°)
34	25	1050	23
40	23	950	21
43	24	600	20

Figura 1. Parámetros de diseño de silos calculados para materiales de distintas densidades

Fuente: (Amorós, Mallol, Sánchez, & García, 2000)

Parámetros de diseño	Material de la superficie interna de la pared	
	Teflón	METAL
Ángulo de fricción polvo-pared, $\phi$ (°)	15	25
Ángulo máximo de la pared, $\theta$ (°)	35	23
Diámetro mínimo de la boca de salida, D (m)	$\cong 0.02$	$\cong 0.02$

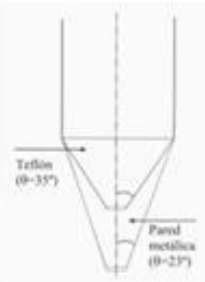


Figura 2. Factores de diseño con disintos materiales

Fuente: (Amorós, Mallol, Sánchez, & García, 2000)

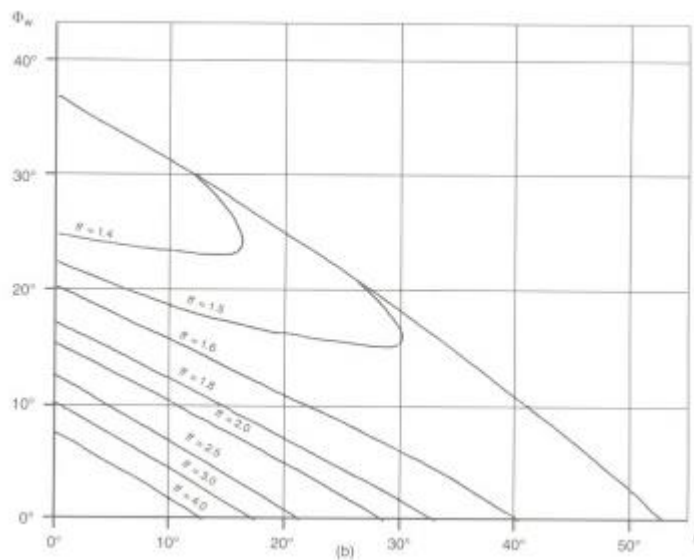
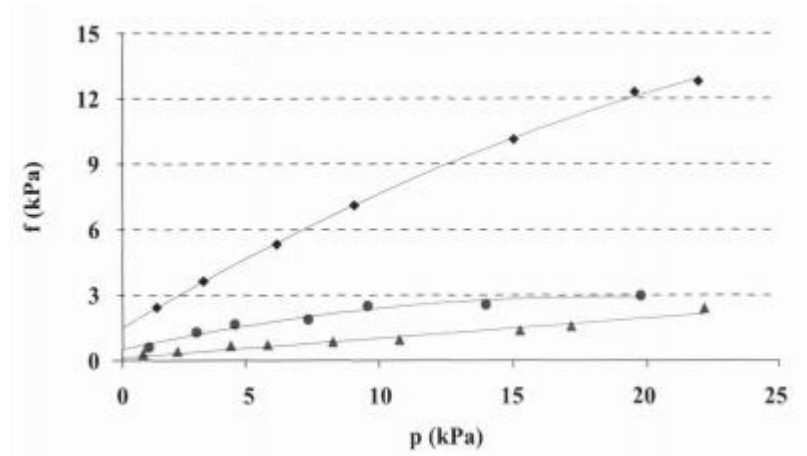


Figura 3. Factor de flujo (ff)

Fuente: (ACI313-77, 1983)



**Figura 4. Funciones de flujo de materiales de distinta densidad**

Fuente: (Amorós, Mallol, Sánchez, & García, 2000)

# APÉNDICE D

## Filtro de malla

**Tabla 1. Caracterización de partículas en el agua**

Fuente: (Martinez , 2001) & (ISO 565-1990, 2000)

CLASIFICACIÓN	DIÁMETRO DE PARTÍCULAS	
	(mm)	(micrones)
Arena grano grueso	1,00-2,00	1.000-2.000
Arena grano grueso	0,50-1,00	500-1.000
Arena grano medio	0,25-0,50	250-500
Arena grano fino	0,10-0,25	100-250
Arena grano muy fino	0,05-0,10	50-100
Limo	0,002-0,05	2-50
Arcilla	0,002	2
Bacterias	0,0004-0,002	0,4 - 2
Virus	<0,0004	< 0,4

1.000 micrones = 1 mm.

**Tabla 1. Tamaño de orificio para distintos mesh**

Fuente: (Martinez , 2001) & (ISO 565-1990, 2000)

NUMERO MESH	DIÁMETRO EQUIVALENTE	
	(mm)	(micrones)
16	1,180	1.180
20	0,850	850
30	0,600	600
40	0,425	425
100	0,150	150
140	0,106	106
170	0,090	90
200	0,075	75
270	0,053	53
400	0,038	38

## APÉNDICE E

### Tablas de Costos de las soluciones.

#### Costos detallados para el cambio de malla.

Tabla 1: costos de materia prima.

Fuente: Autores

Materiales	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo total [\$]
Malla (1.97 [m <sup>2</sup> ]) – 0.8 mm	1	497.47	497.47
Total			497.47

#### Costos de mano de obra directa y diseño

Tabla 2: costos de mano de obra.

Fuente: Autores

Trabajador	Cantidad	Salario (\$/H)	Tiempo de obra (H)	Costo obra (\$)
Mecánico	1	6	5	30
Soldador	1	5	5	25
Ingeniero mecánico (Diseño y ensamble)	1	8.5	8	68
Total				123

#### Costos de transporte

Tabla 3: costos de transporte.

Fuente: Autores

Servicio	Costo (\$)	Cant. Viajes	Costo total (\$)
Transporte de personal	10	1	10
Transporte de maquinaria	20	1	20
Total			30

#### Costos detallados para la máquina centrífuga.

#### Costos de materia prima para construcción

**Tabla 4: costos materia prima**

Fuente: Autores

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario [\$]</b>	<b>Costo total [\$]</b>
Polea 1 - 267 [mm]	6	7.25	43.50
Polea 2 – 168 [mm]	6	2.30	19.20
Rodamiento 6000.2RSR	2	3.75	7.50
Banda	6	25	150
Chumacera	2	8.51	17.02
Total			237.22

### Costos de mano de obra directa y diseño

**Tabla 5: costos de mano de obra.**

Fuente: Autores

<b>Trabajador</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Salario (\$/H)</b>	<b>Tiempo de obra (H)</b>	<b>Costo obra (\$)</b>
Mecánico	1	6	30	180
Ayudante de mecánico	1	4.5	20	90
Ingeniero mecánico (Diseño y ensamble)	1	8	40	320
Total				590

### Costos de equipos

**Tabla 6: costos de equipos.**

Fuente: Autores

<b>Maquinaria</b>	<b>Costo (\$/h)</b>	<b>H/Equipo</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Servicios y uso de herramientas	5	30	150
Servicio de corte	0.8	30	24
Total			174

### Costos de transporte

**Tabla 7: costos de transporte.**

Fuente: Autores

<b>Servicio</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Cant. Viajes</b>	<b>Costo total (\$)</b>
-----------------	-------------------	---------------------	-------------------------

Transporte de personal	10	2	20
Transporte de maquinaria	60	1	60
Total			80

Costos indirectos

**Tabla 8: costos indirectos.**

**Fuente: Autores**

<b>Ítem</b>	<b>Costo (\$)</b>
Energía eléctrica	40
Agua	5
Teléfono	15
Alimentación	40
Imprevistos	20
Total	120

**Costos detallados de la construcción del silo**

Costos de materia prima para construcción

**Tabla 9: costos de materia prima.**

**Fuente: Autores**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Longitud</b>	<b>Costo unitario [\$]</b>	<b>Costo total [\$]</b>
Planchas de acero A36 [3 mm]	4	1.2 x2.4	42.30	169.2
Planchas de acero A36 [5 mm]	10	1.2 x 2.4	62.50	620.50
Tubos respiradero	1	1	23.72	23.72
Electrodo 7018	5	Caja	31.50	31.50
Pintura	5	Galones	46.40	323.00
Total				1 167.92

Costos de mano de obra directa y diseño

**Tabla 10: costos de mano de obra**

Fuente: Autores

Trabajador	Cantidad	Salario (\$/H)	Tiempo de obra (H)	Costo obra (\$)
Mecánico	1	6	125	750
Ayudante de mecánico	1	4.5	100	450
Soldador	1	4.5	80	360
Maestro armador	1	4	60	240
Pintor	1	4	50	200
Ingeniero mecánico (Diseño y ensamble)	1	8	150	1200
Total				3200

Costos de equipos

**Tabla 11: costos de equipos.**

Fuente: Autores

Maquinaria	Costo (\$/h)	H/Equipo	Costo total (\$)
Oxicorte	2	70	140
Soldadora	3	80	240
Roladora	4	50	200
Herramientas	Bodega		0
Guillotina			422
Total			1002

Costos de transporte

**Tabla 12: costos de transporte.**

Fuente: Autores

Servicio	Costo (\$)	Cant. viajes	Costo total (\$)
Transporte de personal	30	4	120
Transporte de maquinaria	250	1	250
Total			370

**Costos detallados de la construcción del Sistema de transporte.**

Costos de materiales.



**Tabla 13: costos de materiales del Sistema de transporte.**

**Fuente: Autores**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Longitud</b>	<b>Costo unitario [\$]</b>	<b>Costo total [\$]</b>
Tubos B36 diámetro de 10cm	2	1 m	150	300
Codo redondo acero B36	1		60	60
Total				360

Costos mano de obra.

**Tabla 14: costos de mano de obra del Sistema de transporte.**

**Fuente: Autores**

<b>Trabajador</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Salario (\$/H)</b>	<b>Tiempo de obra (H)</b>	<b>Costo obra (\$)</b>
Mecánico	1	5	40	200
Ingeniero mecánico (Diseño y ensamble)	1	8.5	10	85
Total				285

Costos de soldadura.

**Tabla 14: costos de soldadura del Sistema de transporte.**

**Fuente: Autores**

<b>Trabajador</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario [\$]</b>	<b>Costo total [\$]</b>
Soldador(incluye material)	4 juntas	42	168

## Gastos fijos y variables.

**Tabla 15: costos fijos para la operación de la centrífuga.**

**Fuente: Autores**

Servicios básicos	780 (\$)
Operador	7200 (\$)
Kit de mantenimiento(para centrífuga)	100 (\$)
Kit de mantenimiento(para el silo)	50 (\$)
Kit de mantenimiento(para las tuberías)	40 (\$)
Total	8170 (\$)

**Tabla 16: costos variables para la operación de la centrífuga**

**Fuente: Autores**

Operador	3600 (\$)
----------	-----------

# APÉNDICE F

## Tablas de especificaciones de Acero inoxidable

Tabla 1: Especificaciones de tuberías de Acero Inoxidable

Fuente: (ACEROS, Acero inoxidable, 2000)

NPS	U.S. Customary Units			Schedule No.	SI Units			
	OD, in.	Wall, in.	$W_{pes}$ , lb/ft		DN	OD, mm	Wall, mm	$W_{pes}$ , kg/m
3½	4.000	0.083 (1)	3.48	55	90	101.6	2.11 (1)	5.18
3½	4.000	0.120 (1)	4.98	105	90	101.6	3.05 (1)	7.41
3½	4.000	0.226	9.12	405	90	101.6	5.74	13.57
3½	4.000	0.318	12.52	805	90	101.6	8.08	18.64
4	4.500	0.083 (1)	3.92	55	100	114.3	2.11 (1)	5.84
4	4.500	0.120 (1)	5.62	105	100	114.3	3.05 (1)	8.37
4	4.500	0.237	10.80	405	100	114.3	6.02	16.08
4	4.500	0.337	15.00	805	100	114.3	8.56	22.32
5	5.563	0.109 (1)	6.36	55	125	141.3	2.77 (1)	9.46
5	5.563	0.134 (1)	7.78	105	125	141.3	3.40 (1)	11.56
5	5.563	0.258	14.63	405	125	141.3	6.55	21.77
5	5.563	0.375	20.80	805	125	141.3	9.53	30.97
6	6.625	0.109 (1)	7.59	55	150	168.3	2.77 (1)	11.31
6	6.625	0.134 (1)	9.30	105	150	168.3	3.40 (1)	13.83
6	6.625	0.280	18.99	405	150	168.3	7.11	28.26

## APÉNDICE G

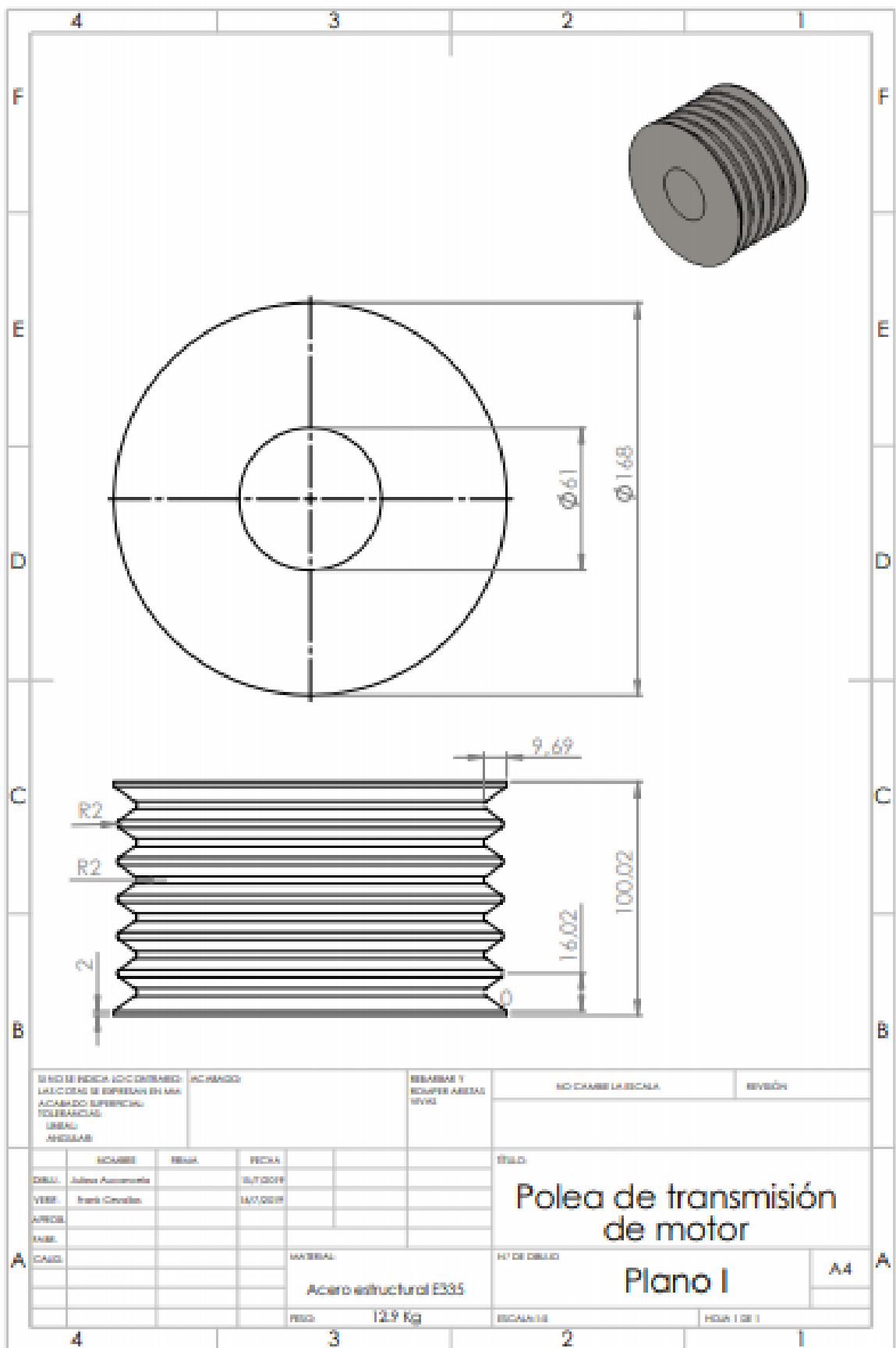
### Tablas de resultados del sistema de transporte.

Tabla 1: Resultados del ducto guía entre la máquina centrífuga y el silo de almacenamiento.

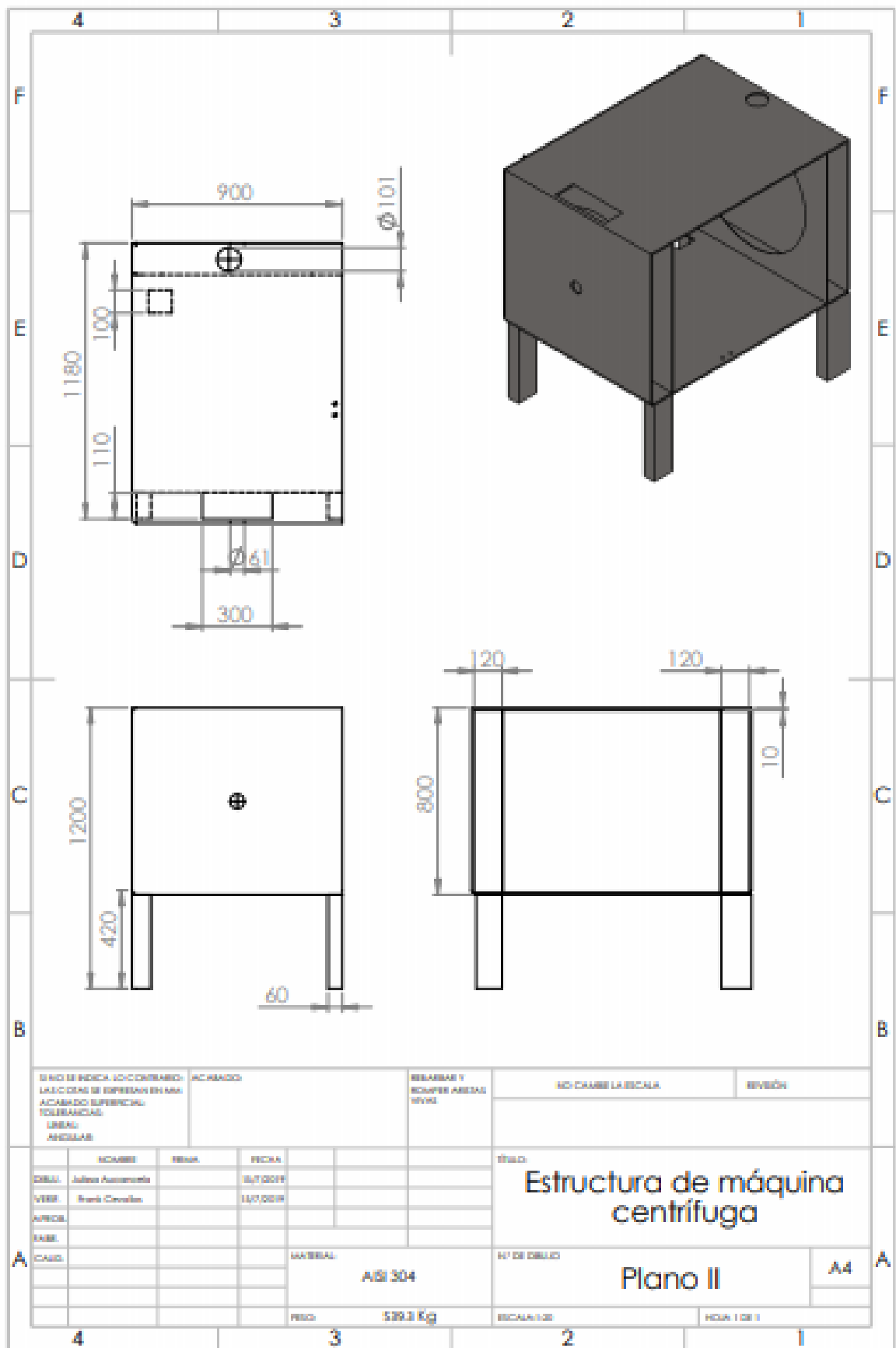
Fuente: Autores

$\Delta P_{acc}$	$1.6034 * 10^{-4} [Pa]$
$\Delta P_g$	$40.395 Pa [Pa]$
$\Delta P_s$	$1 [Pa]$
$\Delta H_g$	$1.45 * 10^{-4} [Pa]$
$\Delta H_s$	$8.95 * 10^{-9} [Pa]$
$\Delta P_{silo}$	$41.40 [Pa]$
$H_t$	$1262.58 [Pa]$
$H_{acs}$	$326.54 [Pa]$
$H_L$	$1589.13 [Pa]$
$P_c$	$1300.30 [Pa]$
$\Delta Z$	$1.693 [m]$
Factor de seguridad	1.9

**PLANOS**



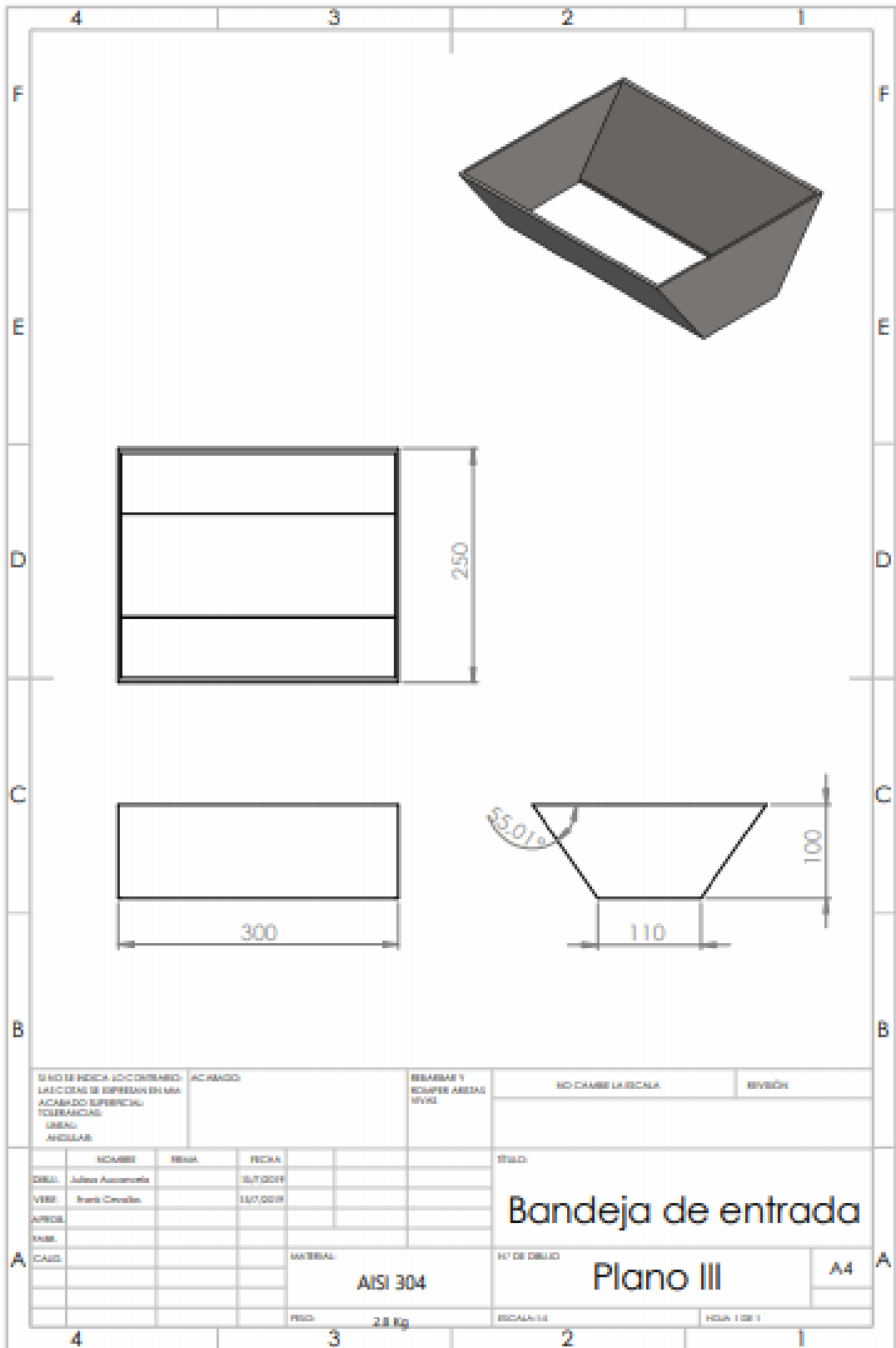
SI NO SE INDICA S/O CONSERVAR LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO		RELANAR Y SOPLEAR AREAS VIVAS		NO CAMBIAR LA ESCALA		DIVISION	
ACABADO SUPERFICIAL									
TOLERANCIAS									
LINEAS									
ANGULOS									
DISEÑO		FECHA		ESCALA		TÍTULO			
VERSIÓN				AUTOR		Polea de transmisión de motor			
AUTOR				FECHA					
MATERIALES				MATERIAL		Nº DE DIBUJO		A4	
				Acero estructural E335				Plano I	
				PESO 12.9 Kg		ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: EDIFICACIONES: LINEAS: ANGULOS:		ACERADO	REBARBAS Y ESQUINAS ARRED. 90º/45º		NO CHAMBE LA ESCALA	REVISION
ACABADO	REBAR.	FECHA	ESTILO:			
DISEÑ.	Julian Acosta	04/2017	<b>Estructura de máquina centrífuga</b>			
VERIF.	Frank Chaves	11/02/2018				
APROB.			MATERIAL:			
SABE.						
CAD.			AISI 304		Nº DE DIBUJO	
			PESO: 529.3 Kg		PLANO II	
			ESCALA: 1:2		FOJA 1 DE 1	

A

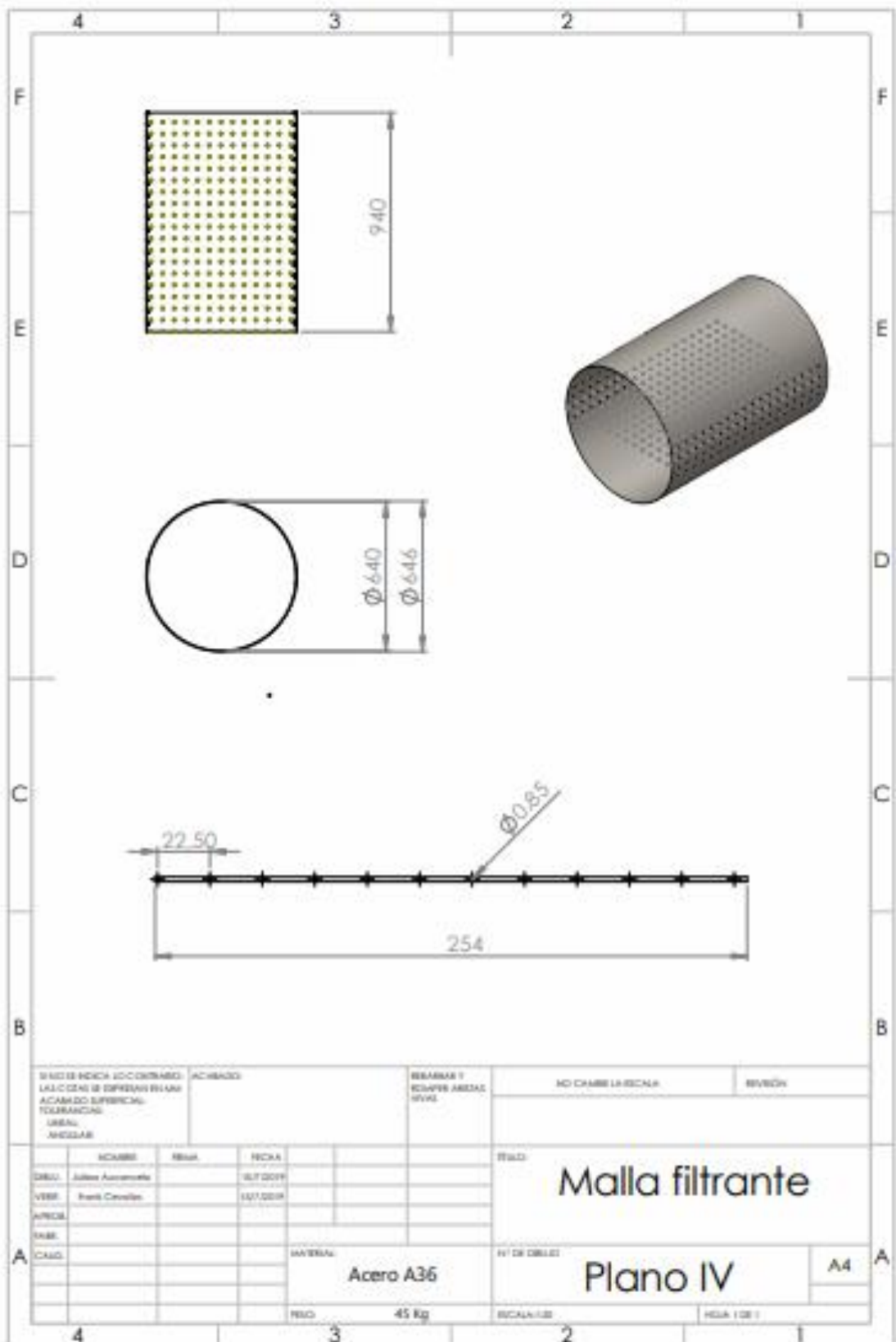
A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LUXEDAS DE ESPESOR EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: UNID: ANGULOS:		ACABADO:	REBARBAR Y ESQUINER ARENAS R/VR:		NO CAMBE LA ESCALA:	REVISION:
DESCR:	FECHA:	FECHA:	ESTADO:			
VERB:	FECHA:	FECHA:	<b>Bandeja de entrada</b>			
APROB:						
CAUD:			MATERIAL: <b>AISI 304</b>		Nº DE DIBUJO: <b>Plano III</b>	
			PESO: <b>2.8 kg</b>		HOJA 1 DE 1	

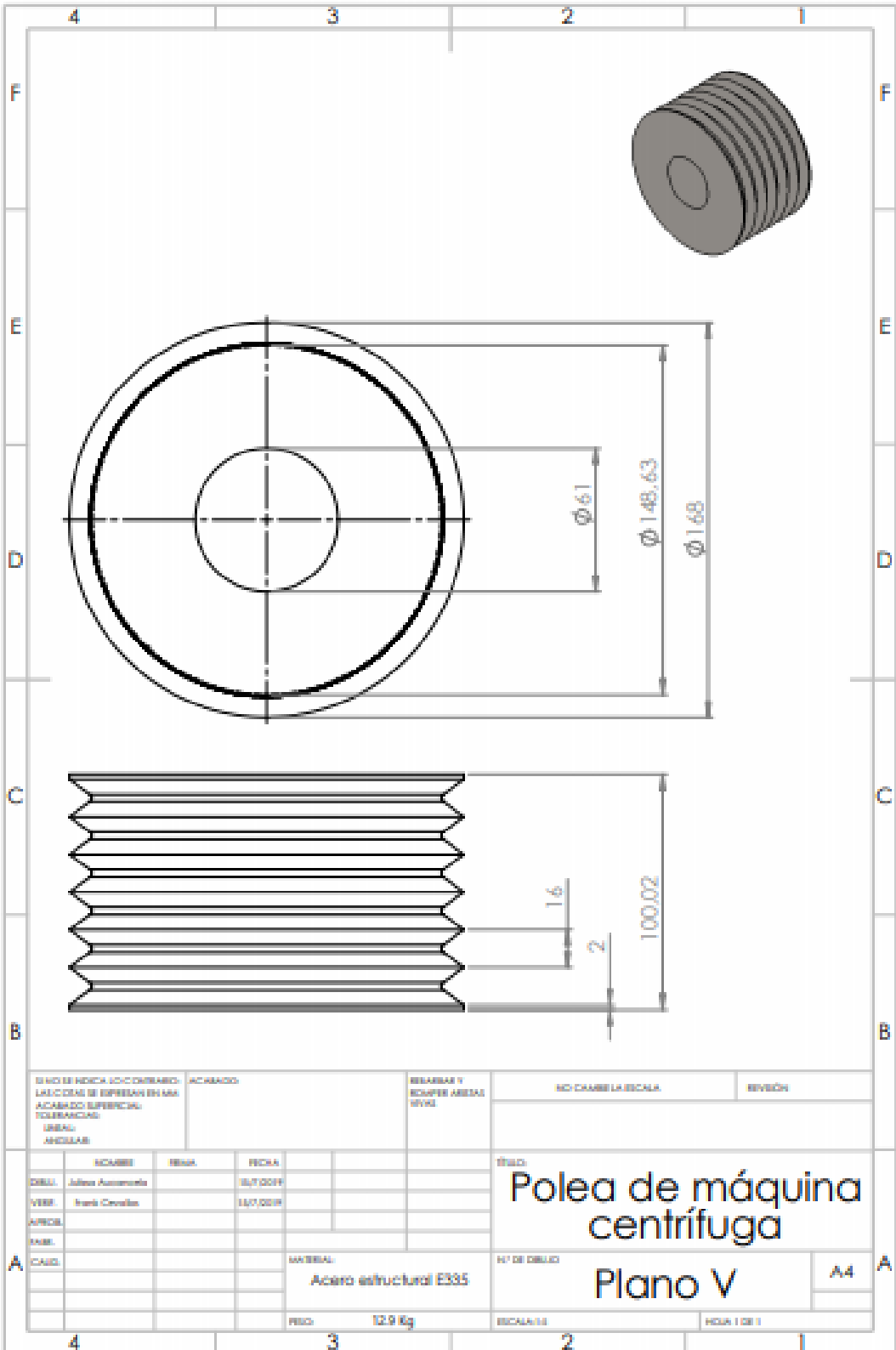
4 3 2 1





TIPO DE RED: 200x200x1.5mm LAJICENAL: 12 ESPESOR: 1.5mm ACABADO: SUPERFICIAL TOLERANCIA: UNIDAD: ANILLO:		ACABADO:		BARRAS Y EQUIPOS AREAS:		NO CAMBIA LA ESCALA:		DIVISION:	
DISEÑO: Julio Acosta VERIFICADO: Frank Cervantes APROBADO: FASE: CAÑO:		RED:		MATERIAL: <b>Acero A36</b> PESO: 45 kg		TIPO: <b>Malla filtrante</b>		Nº DE DIBUJO: <b>Plano IV</b>	
						ESCALA: 1:1		HOLA 1 DE 1	

A4



SI NO SE INDICA APLICAR: TOLERANCIAS DE EJECUCIÓN EN MM ACABADOS SUPERFICIALES: BRILLO: ANILAR

ACABADO:

REBARBAS Y ESCUFEAS: ABRIR

NO CAMBIA LA ESCALA

REVISIÓN

	ACABADO	ESCALA	VECTA
DESAJ.	Adhes Automático		1:1/001
VER.	Irada Control		1:1/001
OTROS:			
TARJ.			
CAJ.			

TÍTULO:

Polea de máquina centrífuga

Nº DE DIBUJO:

Plano V

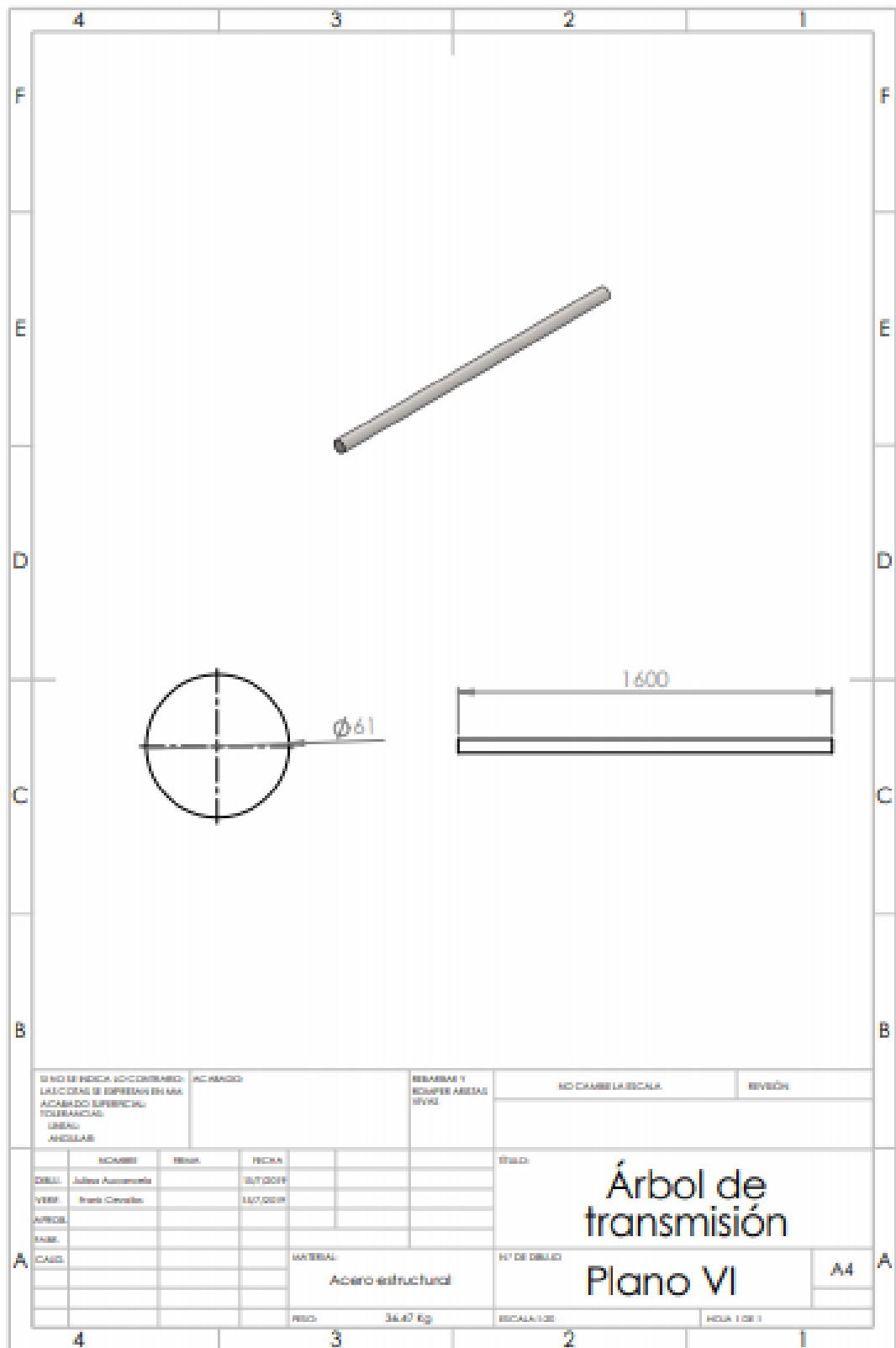
A4

MATERIAL:  
Acero estructural E335

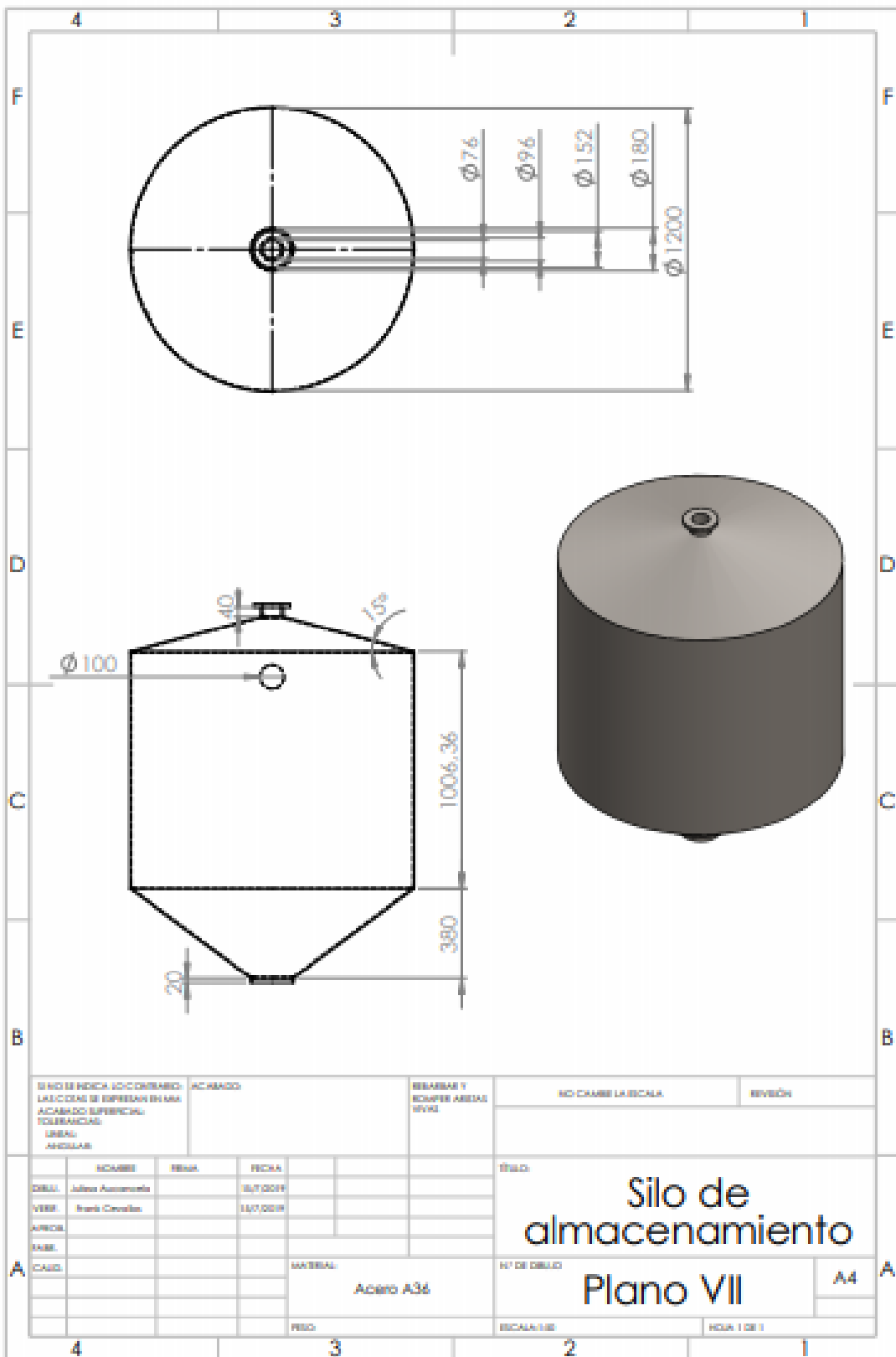
PEO: 12.9 kg

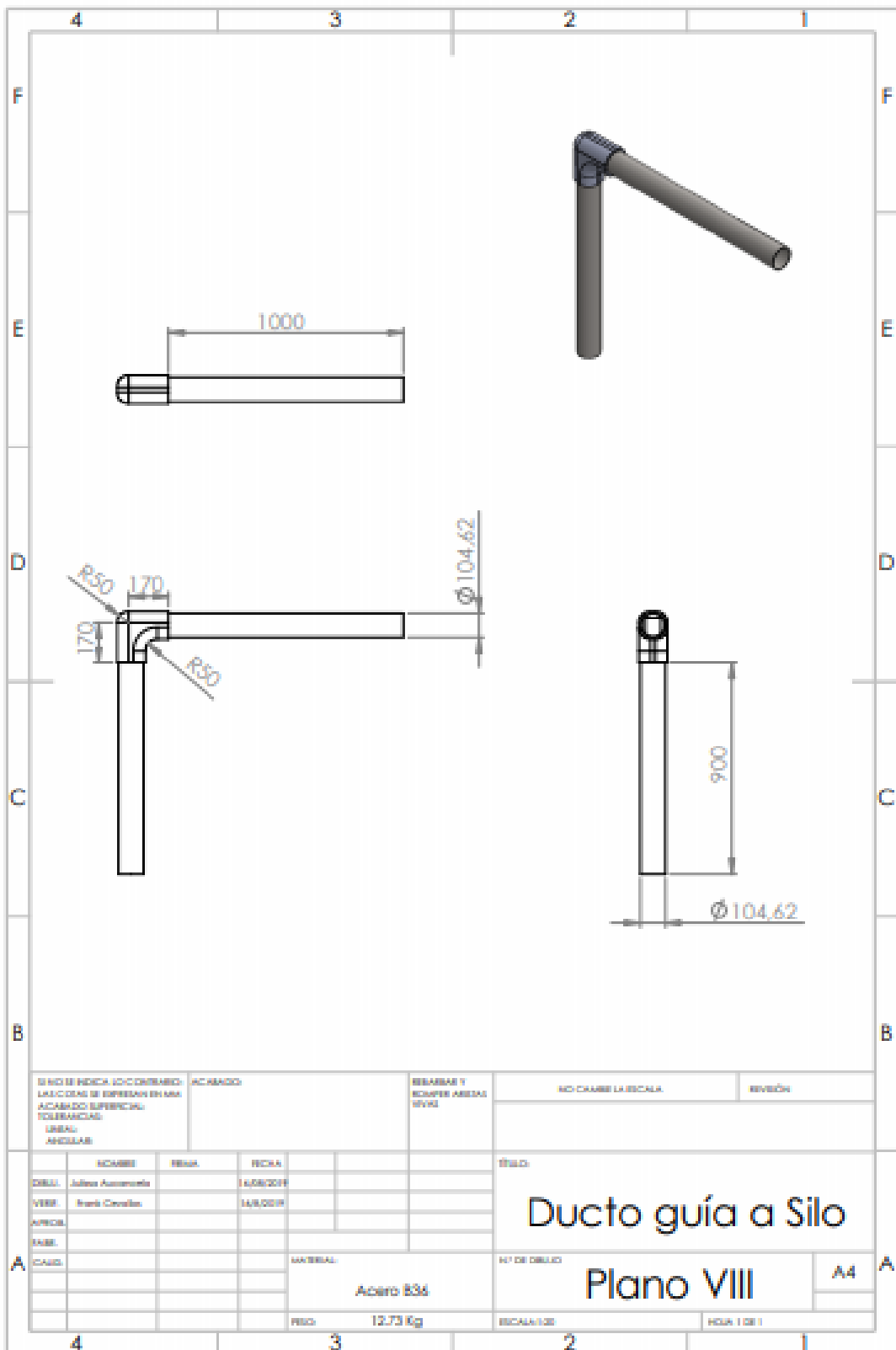
ESCALA: 1:1

HORA: 1 DE 1

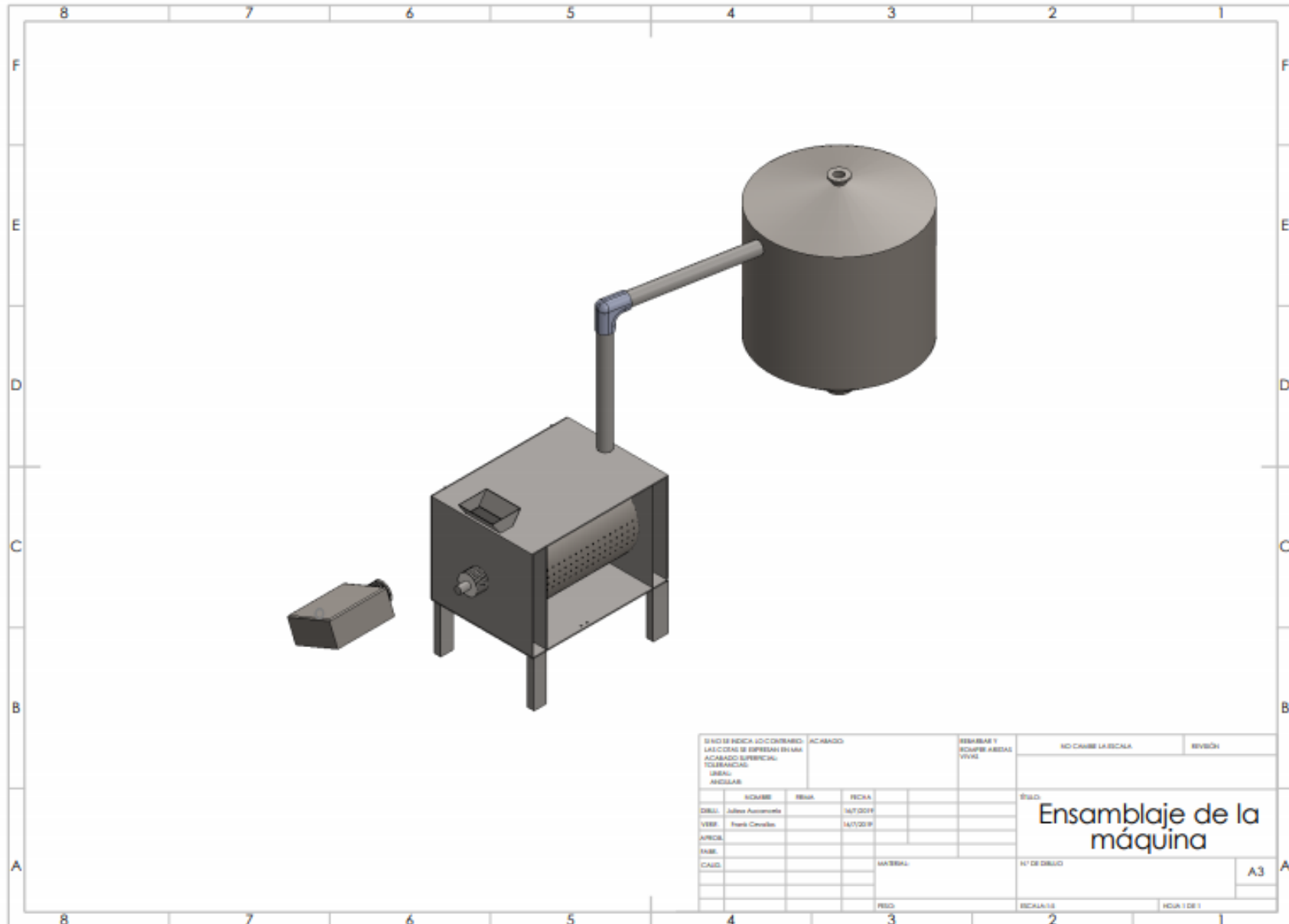


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ESPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGULOS:		ACABADO		REBARBAS Y ESQUINAS ARDEAD R5/R3		NO CAMBIE LA ESCALA		REVESIÓN	
DESA.	NOMBRE	FECHA	FECHA			<p style="text-align: center;">Árbol de transmisión</p> <p style="text-align: center;">Plano VI</p> <p style="text-align: right;">A4</p>			
VERB.	Área Civiliza		13/07/2019						
APROB.									
ELAB.									
CALD.									
		MATERIAL:		Nº DE DIBUJO		ESCALA 1:1			
		Acero estructural		1		HOJA 1 DE 1			
		PESO: 36.47 Kg							





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LARGURAS DE ESPESOR EN MM ACABADO SUPERIOR: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS R5/R6		NO CAMBIAR LA ESCALA		REVISIÓN							
DESE.	José Acosta	FECHA	16/03/2018	ESTADO:											
VERB.	Frank Concha	FECHA	16/03/2018	<h2 style="text-align: center;">Ducto guía a Silo</h2> <h3 style="text-align: center;">Plano VIII</h3>											
APROB.										MATERIAL:		Nº DE DIBUJO		A4	
EMBE.										Acero B36		ESCALA 1:02		HOJA 1 DE 1	
CARD.				PESO: 12.73 Kg											



SI NO SE INDICA LO CONTIENE: LAS COTAS DE ESPESOR EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGULOS:		ACABADO:		REBARBAR Y SCUPE A BORDOS VIVAS:		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FECHA		FECHA		DISEÑO		Nº DE DIBUJO	
DISEÑO	Julian Acosta	FECHA		FECHA	14/12/2017	TÍTULO		A3	
VERIF.	Frank Cervantes	FECHA		FECHA	14/12/2017	ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA		HOLLA 1 DE 1	
APROB.		MATERIA:		Escala: 1:1		HOLLA 1 DE 1			
TRAB.		MATERIA:		Escala: 1:1		HOLLA 1 DE 1			
CAUD.		MATERIA:		Escala: 1:1		HOLLA 1 DE 1			