

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de semillas de  
arroz para pequeños productores

**PROYECTO INTEGRADOR MULTIDISCIPLINARIO**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Xavier Mauricio Mantilla Morán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

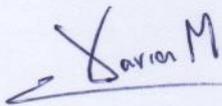
Este trabajo lo dedico a Dios quien me ha dado la inteligencia y sabiduría durante estos cinco años de estudio intenso, a mis padres quienes me han dado su apoyo incondicional y han sabido guiarme en el camino del estudio y preparación, a mis hermanos por tenerme la extrema paciencia sobre todo en temporada de exámenes de ESPOL.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis profesores de la ESPOL, quienes han podido trasmitirme sus conocimientos y experiencias aprendidas, a mi familia por el amor que me han dado en el momento justo, a mis amigos en especial a Teresa quien ha dedicado gran parte de su tiempo para poder darme el ánimo que necesitaba, a Tita quien desde los primeros semestres de estudio ha creído en mis capacidades y me ha brindado su apoyo incondicional.

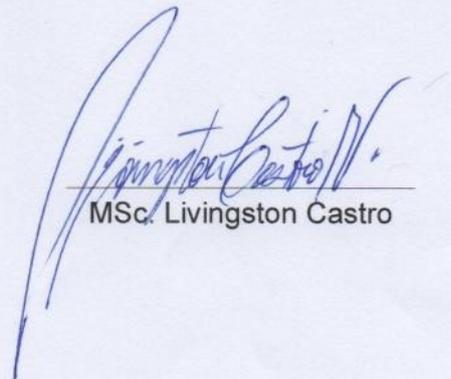
## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Xavier Mauricio Mantilla Morán* y *MSc. Livingston David Castro Valladares* damos 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"



---

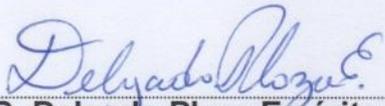
Xavier Mantilla



---

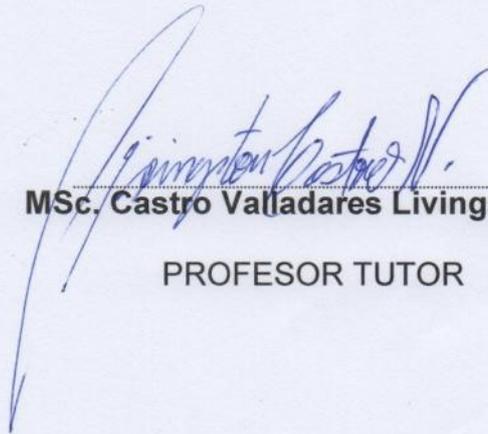
MSc. Livingston Castro

## EVALUADORES



**PhD. Delgado Plaza Emérita A.**

PROFESOR DE LA MATERIA



**MSc. Castro Valladares Livingston D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La producción de arroz de pequeños productores se encuentra limitada por varios factores durante su proceso, en el cual la poscosecha requiere ser mejorada para aumentar el rendimiento de la producción. En el recinto Paipayales del sector Santa Lucía se detectaron problemas en la poscosecha relacionados a malas condiciones higiénicas del lugar donde se almacenan las semillas y a condiciones ambientales desfavorables que presenta el sector. El presente trabajo busca diseñar y construir un sistema de almacenamiento que permita conservar la calidad de semilla y de esta forma aumentar su porcentaje de germinación. Todo el trabajo fue dividido en cinco partes principales: levantamiento de información, diseño de forma, diseño detallado, construcción, y pruebas de funcionamiento. Además, se realizó un estudio sobre la variación de temperatura y humedad relativa del aire, para poder asegurar el funcionamiento de la propuesta. El equipo fue construido en base a los requerimientos de normas españolas y el acondicionamiento de la semilla siguiendo un estándar americano. El acondicionamiento se basó en la ventilación, junto con un sistema de control automático el cual brinda la posibilidad de ocupar un aire en condiciones de ambiente desfavorables. Las mediciones de temperatura en tres posiciones verticales permitieron comprobar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación, logrando reducir una diferencia de temperatura en la masa de granos de  $1.5^{\circ}\text{C}$  a  $0.5^{\circ}\text{C}$  en 20 minutos con un aire que poseía temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 80%. Finalmente, para validar el diseño propuesto se realizaron dos pruebas. La primera se enfocó en verificar el correcto funcionamiento del equipo. La segunda, se realizaron pruebas de germinación con semillas almacenadas por más de dos meses. Los resultados mostraron un incremento del 16% de germinación, lo cual validó el diseño propuesto.

**Palabras Clave:** Almacenamiento, Germinación, Semilla de arroz.

## **ABSTRACT**

*Rice production of small holders is limited by several factors during its process, in which post harvesting needs to be improved to increase the yield of production. In Paipayales from Santa Lucía, post-harvest problems were detected due to poor hygienic conditions of the place where the seeds are stored and to unfavorable environmental conditions that the sector presents. This document seeks to design and build a storage system that allows to conserve seed quality and thus increase its germination rates. The present work was divided into five main parts: information gathering, conceptual design, detailed design, construction, and performance testing. Also, a study was made on the variation of temperature and relative humidity of the air, to assure the operation of the proposal. The equipment was built based on the requirements of Spanish standards and the seed conditioning following an American standard. The conditioning of the system was based on ventilation, with an automatic control system which offers the possibility of occupying an air in unfavorable environmental conditions. The temperature was measured in three vertical positions, which allowed to verify the correct functioning of the ventilation system, achieving a reduction in temperature with a difference in the grain mass from 1.5° C to 0.5° C in 20 minutes with an air that had a temperature of 27° C and relative humidity of 80%. Finally, to validate the proposed design of this work, two tests were carried out. First, a test to validate the functioning of the system. Second, a germination test with rice seeds that were storage for more than two months was performed. Thus, it was found that the percentage of germination increased about 16%, result that validate the proposed design.*

*Keywords: Storage, Germination, Rice Seed.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
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 .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Semilla de arroz.....	3
1.4.2 Almacenamiento de semilla de arroz .....	4
1.4.1 Almacenaje al granel de semillas de arroz.....	5
1.4.1 Ventilación de granos .....	5
1.4.1 Equilibrio higroscópico del arroz cáscara .....	7
1.4.2 Condiciones ambientales en sector de estudio .....	7
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología.....	10
2.1 Especificaciones de desempeño .....	11
2.2 Ideación e invención.....	11

2.3	Análisis.....	12
2.3.1	Alternativa A .....	13
2.3.2	Alternativa B .....	13
2.3.3	Alternativa C .....	14
2.4	Selección .....	14
2.4.1	Diseño de forma del silo .....	16
2.4.2	Diseño de forma para la ventilación .....	18
2.4.3	Diseño de forma del control .....	20
2.4.4	Diseño de forma general.....	20
2.5	Diseño detallado .....	22
2.5.1	Diseño detallado del silo .....	22
2.5.2	Diseño detallado de la ventilación.....	32
2.5.3	Diseño detallado del control.....	33
CAPÍTULO 3.....		34
3.	Resultados y análisis.....	34
3.1	Resumen de cálculos .....	34
3.1.1	Cálculos desarrollados en cuerpo principal.....	34
3.1.2	Cálculos desarrollados en soportes del sistema .....	37
3.1.3	Cálculos desarrollados en sistema de ventilación .....	39
3.2	Construcción del equipo .....	42
3.2.1	Ensamble de cuerpo principal.....	42
3.2.2	Ensamble de soportes del sistema .....	43
3.2.3	Ensamble de sistemas de ventilación .....	44
3.3	Prueba de funcionamiento.....	44
3.4	Análisis de costos.....	46
3.4.1	Costos de construcción.....	46
3.4.2	Costos de funcionamiento .....	47

3.4.3	Factibilidad económica del proyecto .....	48
CAPÍTULO 4 .....		49
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	49
4.1	Conclusiones.....	49
4.2	Recomendaciones.....	50

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## **ABREVIATURAS**

ACI	Air Control Industries
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificaciones
AISI	American Iron and Steel Institute
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
ENV	Norma Europea Experimental
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Food and Agricultural Organization
IMINOX	Instituto Mexicano del Inoxidable
MIG	Metal Inert Gas
SMAW	Shield Metal Arc Welding
TIG	Tungsten Inert Gas
UNE	Una Norma Española

## SIMBOLOGÍA

$h_c$	Altura útil del silo
$\alpha$	Ángulo de base cónica del silo
$A$	Área de sección transversal del silo
$A_d$	Área transversal de ducto de ingreso de aire
$A_p$	Área transversal de piso o base del silo
$M$	Carga de momento por cada perfil
$w_i$	Carga total por cada perfil
$C_z$	Coeficiente de Janssen
$C_b$	Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo
$\mu$	Coeficiente de rozamiento de la pared del silo
$a$	Constante para un grano en particular usado en formula de Shedd
$b$	Constante para un grano en particular usado en formula de Shedd
$D$	Diámetro del silo
$d_c$	Diámetro interno del silo
$G$	Distancia de brazo de momento
$x$	Distancia horizontal del centroide del perfil a su base
$c_c$	Distancia horizontal del perfil del centroide hasta esfuerzo de compresión
$c_t$	Distancia horizontal del perfil del centroide hasta esfuerzo de tensión
$x$	Distancia inclinada usado para el cálculo de presión normal
$\sigma_{fc}$	Esfuerzo de compresión debido a la flexión
$\sigma_c$	Esfuerzo de compresión debido al peso
$\sigma_{ft}$	Esfuerzo de tensión debido a la flexión
$\sigma_e$	Esfuerzo total en cara externa del perfil
$\sigma_i$	Esfuerzo total en cara interna del perfil
$t_p$	Espesor de pared del silo
$t$	Espesor de pared del silo
$t_t$	Espesor de parte cónica del silo
$H$	Espesor de platina de la estructura
$N$	Factor de seguridad
$Q$	Flujo de aire
$Q_a$	Flujo de aire por superficie

$N$	Línea de eje neutro
$l_h$	Longitud de la pared de la tolva
$I$	Momento de inercia del perfil
$\Delta P'$	Perdida de presión por cada metro de grano almacenado
$U$	Perímetro interno de sección transversal del silo
$w_c$	Peso de componentes electrónicos
$w_s$	Peso de la semilla
$w_t$	Peso del tanque
$\gamma$	Peso específico del material almacenado
$w$	Peso total por soportar
$HP$	Potencia requerida por el ventilador en HP
$p_{hf}$	Presión horizontal debido al material almacenado
$p_n$	Presión normal a la pared inclinada de la tolva
$p_{n1}$	Presión normal a la pared inclinada de la tolva1
$p_{n2}$	Presión normal a la pared inclinada de la tolva2
$p_{n3}$	Presión normal a la pared inclinada de la tolva3
$p_v$	Presión vertical debida al material almacenado
$p_{v0}$	Presión vertical tras el llenado en la base de la sección de paredes verticales
$z$	Profundidad bajo la superficie equivalente de llenado máximo
$K_s$	Relación de presiones horizontal y vertical
$S_y$	Resistencia a la fluencia
$T$	Temperatura
A	Amperios
HP	Caballos de potencia
°C	Grados centígrados
h	Hora
H	Humedad
HR	Humedad relativa
kg	Kilogramo
kW-h	Kilowatt hora
Lb	Libra
mm	milímetros
N	Newtons

Nm	Newtons metro
Pa	Pascales
CFM	Pies cúbicos por minuto
TIR	Tasa Interna de Retorno
Tmar	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento
ton	Toneladas
VAN	Valor Actual Neto
v	Voltios
W	Watts

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.</i> Propósitos de aireación de granos en climas templados. ....	6
<i>Figura 1.2.</i> Esquema de un silo ventilado. ....	6
<i>Figura 1.3.</i> Curvas de equilibrio higroscópico del arroz cascara .....	7
<i>Figura 1.4.</i> Mediciones de humedad relativa de aire (invierno). ....	8
<i>Figura 1.5.</i> Mediciones de temperatura de aire (invierno). ....	8
<i>Figura 1.6.</i> Mediciones de humedad relativa de aire (verano).. ....	8
<i>Figura 1.7.</i> Mediciones de temperatura de aire (verano). ....	9
<i>Figura 2.1.</i> Proceso de diseño. ....	10
<i>Figura 2.2.</i> Lluvia de ideas. ....	12
<i>Figura 2.3.</i> Alternativa A. ....	13
<i>Figura 2.4.</i> Alternativa B. ....	13
<i>Figura 2.5.</i> Alternativa C. ....	14
<i>Figura 2.6.</i> Ingreso del producto al silo. ....	16
<i>Figura 2.7.</i> Salida del producto. ....	17
<i>Figura 2.8.</i> Circulación del aire. ....	17
<i>Figura 2.9.</i> Estructura de soporte. ....	18
<i>Figura 2.10.</i> Ejemplos de ventiladores centrífugos. ....	19
<i>Figura 2.11.</i> Configuración del ducto de ventilación. ....	19
<i>Figura 2.12.</i> Estructura de soporte para el ventilador. ....	20
<i>Figura 2.13.</i> Diseño de forma general. ....	21
<i>Figura 2.14.</i> Configuración geométrica de silos y notación según la normativa. ....	24
<i>Figura 2.15.</i> Optimización de cortes en una plancha metálica. ....	24
<i>Figura 2.16.</i> Forma geométrica y dimensiones del silo. ....	25
<i>Figura 2.17.</i> Notación de presiones en el interior de un silo. ....	26
<i>Figura 2.18.</i> Ubicación de carga en un solo perfil. ....	28
<i>Figura 2.19.</i> Configuración geométrica del perfil. ....	28
<i>Figura 2.20.</i> Distribución de esfuerzos en el perfil. ....	30
<i>Figura 3.1.</i> Plano general del cuerpo principal. ....	35
<i>Figura 3.2.</i> Variación de presiones horizontal y vertical. ....	36
<i>Figura 3.3.</i> Variación de presiones normales a diferente distancia cónica. ....	37
<i>Figura 3.4.</i> Plano general del soporte del sistema. ....	38

<i>Figura 3.5.</i> Plano general del sistema de ventilación.....	39
<i>Figura 3.6.</i> Punto de trabajo del ventilador. ....	40
<i>Figura 3.7.</i> Vista explosionada de cuerpo principal. ....	42
<i>Figura 3.8.</i> Vista explosionada de soportes del sistema. ....	43
<i>Figura 3.9.</i> Vista explosionada de sistema de ventilación.....	44
<i>Figura 3.10.</i> Equipo instalado en lugar de operación.....	45
<i>Figura 3.11.</i> Prueba de funcionamiento del equipo de almacenamiento.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características técnicas de semilla de arroz.....	4
Tabla 1.2 Directrices para el contenido de humedad de grano .....	4
Tabla 1.3 Aproximación de humedad de base seca en meses de invierno.....	9
Tabla 1.4 Aproximación de humedad de base seca en meses de verano .....	9
Tabla 2.1 Especificaciones de desempeño .....	11
Tabla 2.2 Consideraciones de diseño del silo metálico .....	12
Tabla 2.3 Criterios de evaluación de mejor alternativa .....	14
Tabla 2.4 Ponderación de criterios de evaluación .....	15
Tabla 2.5 Parámetros cualitativos .....	15
Tabla 2.6 Matriz de decisión para seleccionar la mejor alternativa.....	15
Tabla 2.7 Propiedades mecánicas de acero inoxidable AISI-304 asutenítico .....	23
Tabla 2.8 Resumen de consideraciones geométricas .....	25
Tabla 3.1 Cálculo de presión horizontal y vertical dentro del silo.....	35
Tabla 3.2 Cálculo de presión normal en el fondo del silo.....	36
Tabla 3.3 Cálculo de espesor de planchaje.....	37
Tabla 3.4 Consideraciones de carga en la estructura.....	38
Tabla 3.5 Esfuerzos en la estructura de soporte .....	39
Tabla 3.6 Cálculos de ventilación .....	40
Tabla 3.7 Características del ventilador .....	41
Tabla 3.8 Dimensionamiento de ingreso y salida de aire.....	41
Tabla 3.9 Validación agrícola .....	46
Tabla 3.10 Resumen de gastos incurridos .....	47
Tabla 3.11 Costo de funcionamiento del ventilador .....	47
Tabla 3.12 Costo de funcionamiento del microcontrolador .....	48

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Ensamble general – plano general
- PLANO 2 Ensamble general – vista explosionada
- PLANO 3 Cuerpo principal – plano general
- PLANO 4 Cuerpo principal – vista explosionada
- PLANO 5 Respiraderos del silo
- PLANO 6 Tapa superior del silo
- PLANO 7 Tapa de respiraderos
- PLANO 8 Codo termometría del silo
- PLANO 9 Cuerpo contenedor
- PLANO 10 Cuerpo contenedor – parte interna
- PLANO 11 Válvula de compuerta
- PLANO 12 Guillotina
- PLANO 13 Soportes del sistema – plano general
- PLANO 14 Soportes del sistema – vista explosionada
- PLANO 15 Estructura de soporte
- PLANO 16 Base del cajetín eléctrico
- PLANO 17 Tapa del cajetín eléctrico
- PLANO 18 Acrílico visor de cajetín
- PLANO 19 Acrílico base del cajetín
- PLANO 20 Sistema de ventilación – plano general
- PLANO 21 Sistema de ventilación – vista explosionada
- PLANO 22 Ductos de ventilación
- PLANO 23 Estructura del ventilador

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es parte de un proyecto multidisciplinario que tiene como título Optimización del proceso de obtención de semilla de arroz de calidad, con énfasis en el diseño, construcción y validación de un sistema de almacenamiento para pequeños productores.

### 1.1 Descripción del problema

En el recinto “Paipayales” ubicado en el cantón Santa Lucía, provincia del Guayas, en el litoral ecuatoriano, la asociación de pequeños productores arroceros “Dios con nosotros”, tiene entre sus integrantes al agricultor Benito Cortez, quien ha implementado mejoras en el proceso de siembra de arroz con el fin de optimizar el proceso global de producción de arroz, no obstante, el de poscosecha presenta problemas, que influyen de forma negativa.

El producto cosechado normalmente toma dos rumbos, una parte es seleccionado para llevar a pilar, donde se obtiene como resultado final, el arroz de consumo diario; mientras que otra parte se almacena como semilla para el siguiente ciclo de siembra.

Dentro del proceso de poscosecha de semilla está el proceso de almacenamiento, que tiene una duración aproximada de dos meses. Dado a que este proceso tiene mayor duración, se lo considera crítico para la obtención de semillas de arroz.

Actualmente, en el recinto “Dios con nosotros”, las semillas se guardan en sacos plásticos en el interior de su vivienda, ocasionalmente se revisa si los sacos han sufrido algún ataque de roedores (ratones), insectos (hormigas) o aves (gallina).

Las condiciones ambientales e higiénicas del lugar donde se almacenen no son las adecuadas. El saco plástico que contiene la semilla no presenta un aislamiento térmico ni hermético y ambos factores van reduciendo el porcentaje de germinación de la semilla.

Basado en una entrevista realizada a Benito Cortez, que colaborará en el presente trabajo, como uno de los productores arroceros. Él indica que generalmente almacena cerca de 440 lb de semillas, de las cuales 100 lb utiliza para sembrar en su propio terreno y las 340 lb restantes para la venta a otros agricultores de la zona.

De manera más concreta, las condiciones ambientales e higiénicas del lugar donde se almacenan actualmente las semillas de arroz no son las adecuadas, el saco plástico que contiene la semilla no presenta un aislamiento térmico ni hermético, ambos factores van reduciendo el porcentaje de germinación de la semilla.

Dado que los agricultores no cuentan con un sistema de almacenamiento apropiado para garantizar que la calidad de la semilla no sea afectada. Por lo tanto, es necesario enfocarse en el proceso de poscosecha e identificar que procesos se están realizando de forma errónea y solucionarlos para no afectar la producción de semillas.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Consciente de la importancia de implementar mejoras en el proceso productivo en la elaboración de arroz, este documento brindará el conocimiento técnico para poder diseñar e implementar un sistema de almacenamiento que permita mantener la calidad de la semilla de arroz producida por pequeños productores arroceros.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Construir un sistema de almacenamiento de semillas de arroz que permita mantener la calidad de la semilla mediante el control de parámetros como temperatura y humedad del grano.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- A. Establecer parámetros necesarios para el diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de semillas de arroz.
- B. Analizar la temperatura y humedad para poder implementar un sistema de control automático de aireación el cual conecte sensores con un ventilador.
- C. Redactar un manual de uso y mantenimiento para el empleo adecuado del equipo.

## **1.4 Marco teórico**

El marco teórico muestra una investigación preliminar necesaria para poder tener una base técnica donde se pueda desarrollar el proyecto, analizando los puntos que el autor ha considerado de mayor importancia.

### **1.4.1 Semilla de arroz**

Es un grano de arroz el cual en estado de maduración y condiciones ambientales favorables logra germinar y luego convertirse en una planta (Onaga & Phiri, 2010). Las características técnicas de la semilla de arroz definidas en el manual de Martin se encuentran resumidas en la tabla 1.1, las cuales se toma como una

aproximación para dimensionar el sistema y las condiciones de operación (Martin Sprocket and Gear, Inc., 2013).

**Tabla 1.1 Características técnicas de semilla de arroz [Martin Sprocket and Gear Inc., 2013]**

Característica	Valor
Densidad a granel sin compactar	32-36 lb/ft <sup>3</sup> (512 - 576 kg/m <sup>3</sup> )
Código	C1/2-35N
Tamaño	Granular 1/2" y menor (malla 6 a 1/2")
Fluidez	Fluido Promedio
Abrasividad	Abrasividad Media
Propiedades misceláneas	Explosividad

#### 1.4.2 Almacenamiento de semilla de arroz

Las mayores causas de pérdidas durante el almacenamiento son el ataque de insectos, roedores y aves como resultado de una protección inadecuada, así también la humedad del aire no deberá ser mayor a 70% con una temperatura de 25 o más grados por periodos largos de tiempo (Iturricha & Vaca, 2005).

Onaga detalla directrices para el almacenamiento de semillas según el porcentaje de humedad que contenga el grano, ver tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Directrices para el contenido de humedad de grano [Onaga, G., & Phiri, 2010]**

Producto por almacenar	Contenido de humedad
Almacenamiento de grano	< 14%
Semilla (8 a 12 meses)	10 - 12%
Semilla (más de un año)	< 9%
Semilla (conservación de germoplasma)	6%

El almacenamiento de semillas de arroz puede realizarse de dos maneras: a granel y en sacos los cuales pueden ser guardadas en almacenes convencionales o cámaras de refrigeración (Iturricha & Vaca, 2005).

### **1.4.3 Almacenamiento al granel**

Es de carácter temporal, se necesita que las semillas se encuentren limpias y secas. Normalmente se relaciona almacenamiento al granel con silos cilíndricos metálicos, cajas de maderas, ambos de pequeños volúmenes de semilla, donde la semilla va a ser utilizada para la próxima siembra (Iturricha & Vaca, 2005).

Se necesita inspeccionar la semilla almacenada para identificar la presencia de plagas y tomar acciones sobre el mismo. El silo deberá presentar un sello hermético que impida un intercambio gaseoso con el aire ambiente que rodea al silo (Iturricha & Vaca, 2005).

### **1.4.4 Almacenamiento en sacos**

El almacén debe tener dispositivos de control para poder monitorear las condiciones internas como temperatura y humedad relativa. Esta configuración va a ser necesaria en regiones de alta humedad durante todo el año y de altos registros de temperaturas durante el verano (Iturricha & Vaca, 2005).

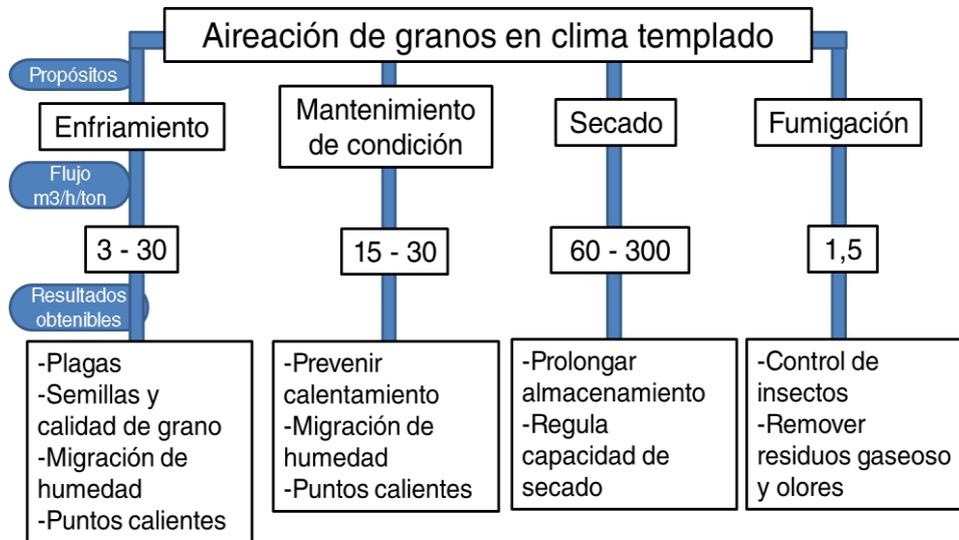
### **1.4.5 Almacenaje al granel de semillas de arroz**

La conservación de productos al granel requiere un sistema de ventilación para combatir los fenómenos de transferencia de humedad, y de forma consecuente de insectos y microorganismos. La ventilación involucra la circulación forzada de aire ambiente (también puede ser aire enfriado artificialmente) al interior de una masa de granos (Lucia & Assennato, 1993).

### **1.4.6 Ventilación de granos**

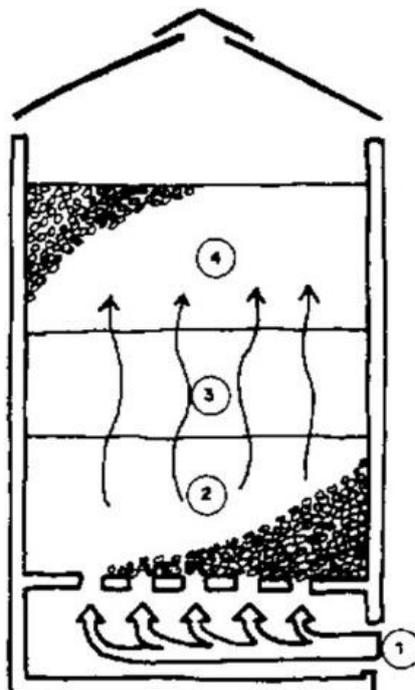
Según Calderón, la aireación de granos en climas templados tiene tres diferentes propósitos, los cuales son: enfriamiento, mantenimiento de condición, secado y fumigación. Cada propósito tiene asociado un flujo de volumen de aire por cada

tonelada de grano con el fin de obtener los resultados obtenibles descritos en la figura 1.1 (Calderon, 1972).



**Figura 1.1. Propósitos de aireación de granos en climas templados [Calderón, M., 1972]**

Una correcta ventilación va a procurar que no exista un calentamiento excesivo de las capas superiores (ver figura 1.2), por lo tanto, no debería detenerse la ventilación hasta que las capas superiores de la masa de grano hayan alcanzado la misma temperatura que la capa inferior (Calderon, 1972).



**Figura 1.2. Esquema de un silo ventilado [Calderón, M., 1972]**

Es necesario una ventilación con un aire tan seco y frío como sea posible, por esta razón, se necesita disponer de sensores de temperatura y humedad de aire, así como de temperatura de grano para tomar decisiones de ventilación (Calderon, 1972).

#### 1.4.7 Equilibrio higroscópico del arroz cáscara

Hogan ha realizado ensayos en ambientes de temperatura constante a diferentes humedades relativas obteniendo un gráfico con tres curvas isotermas del arroz cascara en equilibrio higroscópico (ver figura 1.3). Estas curvas permiten identificar qué condiciones de aire ambiente se necesitan para tener una humedad de grano deseada. (Hogan & Karon, 1955)

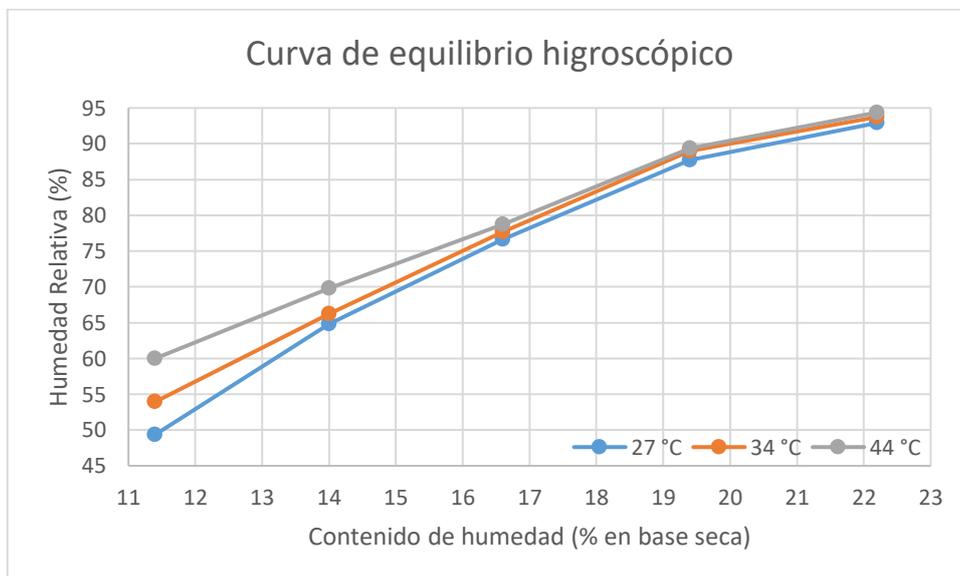


Figura 1.3. Curvas de equilibrio higroscópico del arroz cascara [Hogan, & Karon, M. L., 1955]

#### 1.4.8 Condiciones ambientales en sector de estudio

Para poder tomar decisiones de cuando ventilar, se realiza un estudio sobre la variación de temperatura y humedad relativa del aire del sector de estudio, tanto en meses de invierno (abril 7, 11 y 17 del 2018) y verano (junio 30, julio 10, 29 del 2018), los datos más representativos se encuentran graficados en las figuras 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7.

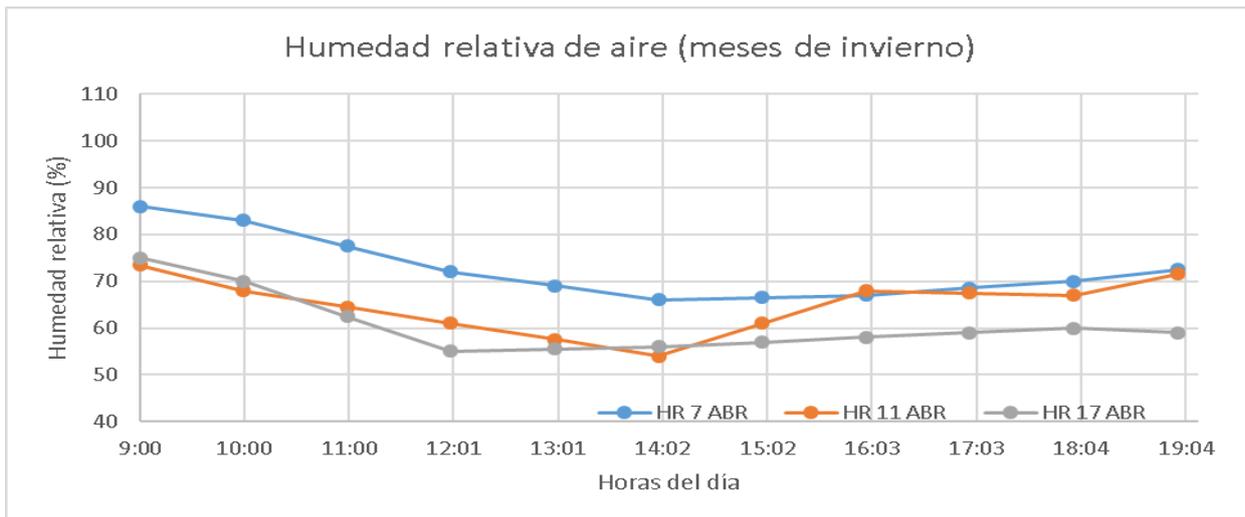


Figura 1.4. Mediciones de humedad relativa de aire en invierno [Xavier Mantilla, 2018]

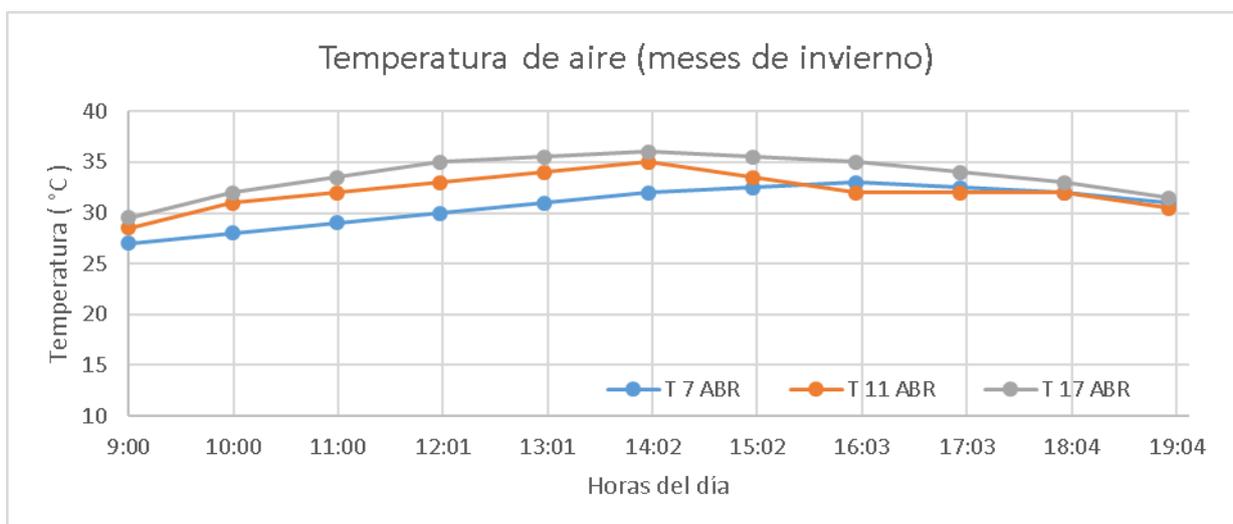


Figura 1.5. Mediciones de temperatura de aire en invierno [Xavier Mantilla, 2018]

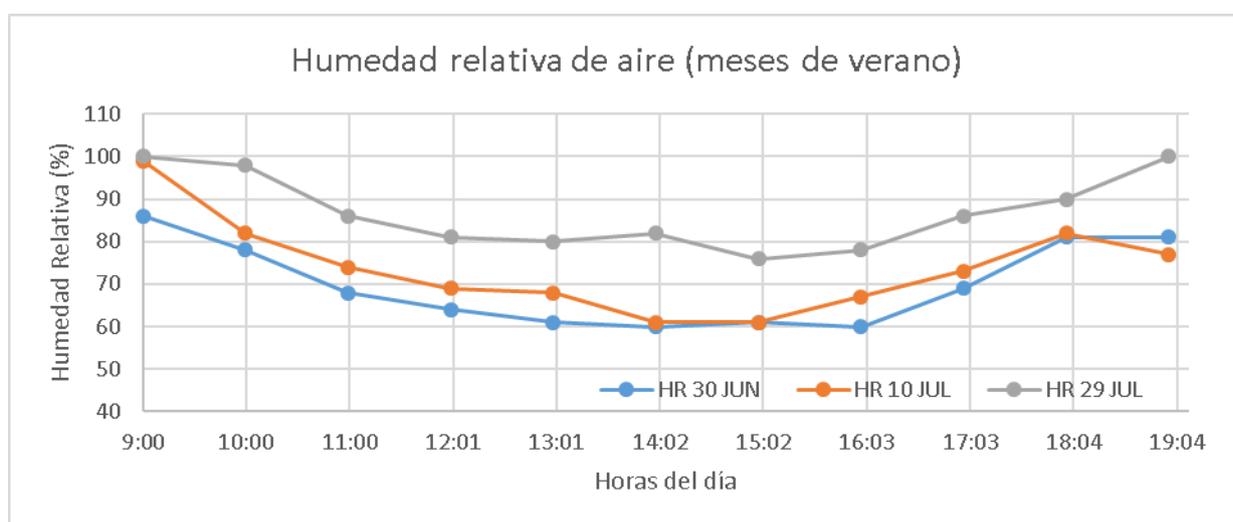
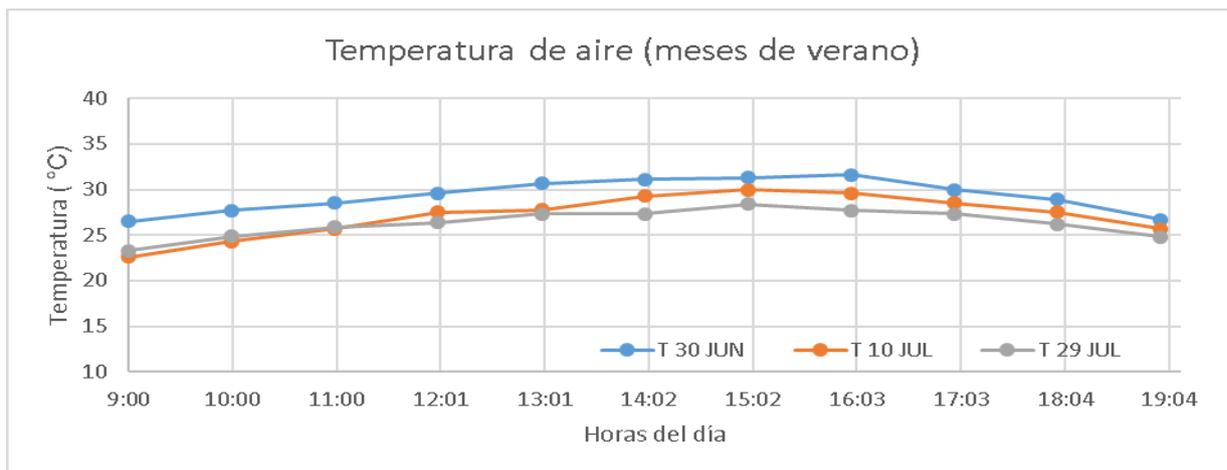


Figura 1.6. Mediciones de humedad relativa de aire en verano [Xavier Mantilla, 2018]



**Figura 1.7. Mediciones de humedad relativa de aire en verano [Xavier Mantilla, 2018]**

En base a las mediciones obtenidas y a las curvas higroscópicas del arroz cascara, se obtiene una aproximación de humedad de base seca resumiendo los valores más representativos en la tabla 1.3 para los meses de invierno y en la tabla 1.4 para los meses de verano.

**Tabla 1.3 Aproximación de humedad de base seca en invierno [Xavier Mantilla, 2018]**

Hora	HR media (%)	T media (°C)	H Base Seca (%)
10:00	74	30	16.2
11:00	68	32	14.75
12:00	63	33	13.5
13:00	61	34	12.8
14:00	59	34	12.5
15:00	62	34	13.25
16:00	64	33	13.5

**Tabla 1.4 Aproximación de humedad de base seca en verano [Xavier Mantilla, 2018]**

Hora	HR media (%)	T media (°C)	H Base Seca (%)
10:00	86	26	19
11:00	76	27	16.5
12:00	71	28	15.3
13:00	70	29	15.2
14:00	68	29	14.6
15:00	66	30	14.3
16:00	68	30	14.5

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolla de forma multidisciplinaria con las carreras de ingeniería mecánica, ingeniería industrial e ingeniería agrícola y biológica. Permite el intercambio de conocimientos de cada rama con el objetivo de resolver el problema de poscosecha de los agricultores de arroz en el cantón Santa Lucía. El presente documento hace énfasis en el diseño mecánico.

En la figura 2.1 se detalla una adaptación del proceso de diseño propuesto por Norton, el cual va a ser desarrollado en este proyecto.



**Figura 2.1. Proceso de diseño [Norton, R., 2009]**

En base a la descripción del problema, investigación preliminar y el planteamiento de objetivos, surgen unas especificaciones de desempeño, que permite al autor describir o mostrar “Que es lo que va a hacer el equipo”, luego se realiza una lluvia de ideas que da como producto tres alternativas de diseño que cumplen con las especificaciones descritas.

Se selecciona una alternativa y en base a ella se desarrolla el diseño de forma por partes y luego al unirlo se obtiene un diseño de forma general. Lo siguiente corresponde a

revisar normativas, estándares, cálculos mecánicos para poder dimensionar el equipo, obteniendo como resultado final los planos de fabricación del equipo para su posterior construcción y pruebas de funcionamiento.

## 2.1 Especificaciones de desempeño

En la tabla 2.1 se detallan las especificaciones de desempeño consideradas para la construcción del equipo en base a lo desarrollado en la descripción del problema, investigación preliminar y planteamiento de objetivos.

**Tabla 2.1 Especificaciones de desempeño [Xavier Mantilla, 2018]**

Especificaciones de desempeño	Detalle
Plagas	Equipo debe brindar protección frente a plagas
Capacidad	Capacidad mayor a 100 lb de semilla de arroz
Aislamiento	Permitir aislar de condiciones ambientales
Control de humedad	Poseer mecanismo de control de humedad de grano
Durabilidad	Equipo de larga durabilidad
Mantenimiento	Equipo de poco mantenimiento

Se tiene dos sistemas de almacenamiento de semillas, ambos cumplen con las especificaciones de desempeño, pero debido a costos extras que incluyen la creación de un almacén acondicionado para guardar sacos, se selecciona el almacenamiento al granel para el desarrollo del proyecto.

## 2.2 Ideación e invención

En este paso se requiere crear un ambiente de imaginación para el desarrollo de ideas que presenten características de posibles soluciones, a continuación, en la figura 2.2 se presenta una lluvia de ideas que permite iniciar en el proceso creativo.

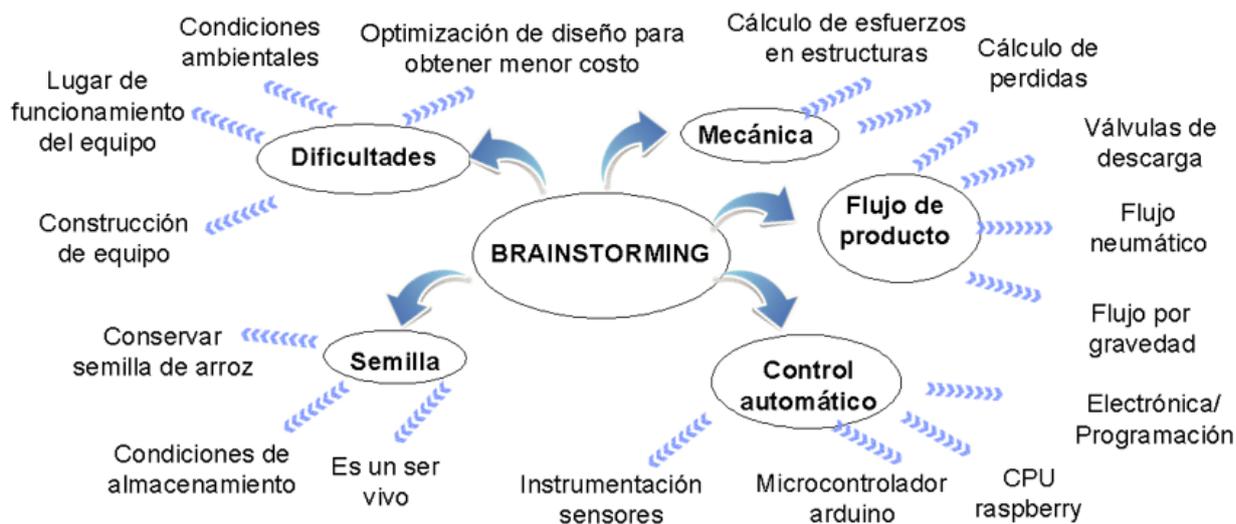


Figura 2.2. Lluvia de ideas [Xavier Mantilla, 2018]

## 2.3 Análisis

En base a la lluvia de ideas y a las especificaciones de desempeño nacen las consideraciones principales para el diseño de un silo metálico de semillas de arroz para pequeños productores, detalladas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Consideraciones de diseño del silo metálico [Xavier Mantilla, 2018]

Consideraciones	Detalle
Ventilación	El equipo debe contar con un sistema de ventilación (ductos y ventilador) que permita tomar acciones de aireación.
Sensores	El equipo debe permitir la instalación de sensores para poder monitorear el estado de grano.
Roedores	El equipo deberá tener una altura suficiente para aislar de roedores.
Hermético	El equipo deberá asegurar una protección hermética frente a condiciones del aire ambiente.

Se elaboran tres alternativas de solución que cumplen con las consideraciones de diseño:

### 2.3.1 Alternativa A

Se tiene un silo metálico de cuerpo cilíndrico, que tiene una base de concreto en la parte inferior, el cual brinda facilidad para la construcción y conexión de ductos de ventilación. Además, su base rígida no requiere de estructura metálica que soporte el cuerpo del silo. (Ver figura 2.3)

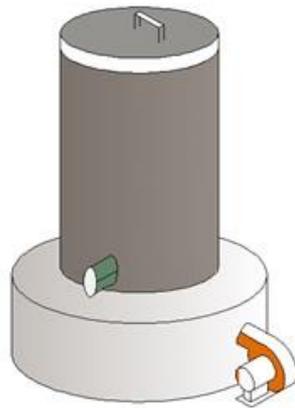


Figura 2.3. Alternativa A [Xavier Mantilla, 2018]

### 2.3.2 Alternativa B

Se tiene un silo metálico de cuerpo cilíndrico con estructura metálica, brinda la facilidad de transporte y movilidad, además facilita la descarga del producto al tenerla en la parte inferior. (Ver figura 2.4)

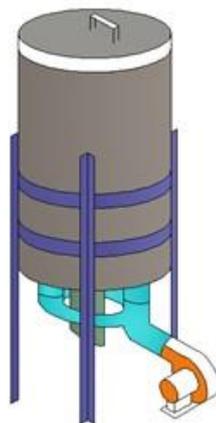


Figura 2.4. Alternativa B [Xavier Mantilla, 2018]

### 2.3.3 Alternativa C

Se tiene un silo metálico de cuerpo rectangular con estructura metálica, brinda la facilidad de transporte y movilidad, debido a su forma geométrica facilita su construcción. (ver figura 2.5)

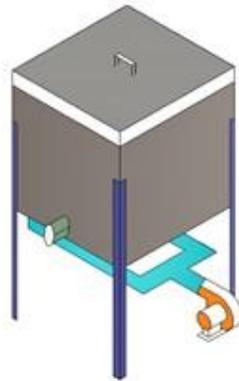


Figura 2.5. Alternativa C [Xavier Mantilla, 2018]

## 2.4 Selección

Con las alternativas de solución antes indicadas, se decide realizar una matriz de decisión que permita seleccionar la mejor propuesta. Luego de esto se desarrolla el diseño.

La elaboración de la matriz de decisión requiere de criterios de evaluación (ver tabla 2.3), estos son obtenidos en base a las consideraciones de diseño de silos metálicos en la tabla 2.2. Así también encontramos la ponderación (ver tabla 2.4) de los mismos en base a la información obtenida con Benito Cortez.

**Tabla 2.3 Criterios de evaluación de mejor alternativa [Xavier Mantilla, 2018]**

Criterio	Detalle
Manufactura	Este criterio evalúa la facilidad de manufactura o construcción del equipo.
Funcionamiento	Se evalúa las facilidades que brinda al flujo del aire en el interior del silo
Instalación	Se evalúan las facilidades para colocar sensores de grano.
Costo	Este criterio evalúa los costos de fabricación del producto
Mantenimiento	Este criterio permite evaluar la frecuencia de realizar mantenimientos en el equipo.

**Tabla 2.4 Ponderación de criterios de evaluación [Xavier Mantilla, 2018]**

Criterio	Ponderación
Manufactura	9
Funcionamiento	9
Instalación	8
Costo	8
Mantenimiento	7

En la tabla 2.5 se define los parámetros cualitativos que van a permitir evaluar cada criterio, y en la tabla 2.6 se tiene la matriz de decisión evaluando cada una de las alternativas.

**Tabla 2.5 Parámetros cualitativos [Xavier Mantilla, 2018]**

Parámetro	Calificación	Representación
Bueno	3	B
Regular	2	R
Malo	1	M

**Tabla 2.6 Matriz de decisión para seleccionar la mejor alternativa [Xavier Mantilla, 2018]**

Criterio	Ponderación	Alternativas de diseño					
		Alternativa A		Alternativa B		Alternativa C	
Manufactura	9	M	9	R	18	B	27
Funcionamiento	8	R	16	B	24	M	8
Instalación	7	M	7	B	21	R	14
Costo	6	M	6	R	12	B	18
Mantenimiento	5	M	5	R	10	B	15
Total	105		43		85		82
Porcentaje			41%		81%		78%
Porcentaje entre alternativas			51%		100%		96%

La alternativa con el mayor puntaje es la alternativa B (Silo metálico con cuerpo cilíndrico y estructura metálica de soporte), por lo tanto, se selecciona esta alternativa para poder desarrollar el diseño de forma.

Para un mejor estudio se divide el diseño conceptual en tres partes: silo, ventilación y control. Se toma decisiones en base a las especificaciones de desempeño para cada parte y como resultado final se obtiene un diseño conceptual general de todo el equipo.

### 2.4.1 Diseño de forma del silo

El cuerpo cilíndrico como tal no presenta mayor complejidad geométrica dado a que su diseño se encuentra estandarizado, las alternativas que se tiene en este apartado son respecto a las configuraciones de entrada y salida de producto (arroz cascara), entrada y salida de aire (proveniente de ventilador), disposición y selección de perfiles para la estructura de soporte, y las adecuaciones internas para la instalación de sensores de temperatura.

#### 2.4.1.1 Entrada y salida de producto

Para el ingreso del producto se considera brindar facilidad de uso. Por lo cual se decide colocar en la parte superior una tapa desmontable y que la altura máxima del silo deberá ser cercana a la altura de hombro de una persona promedio como en la figura 2.6.

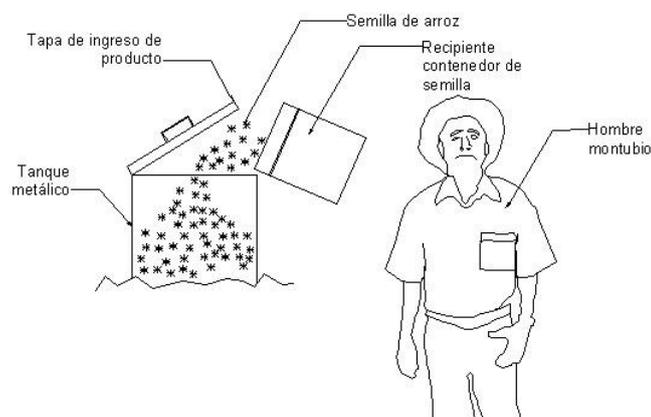
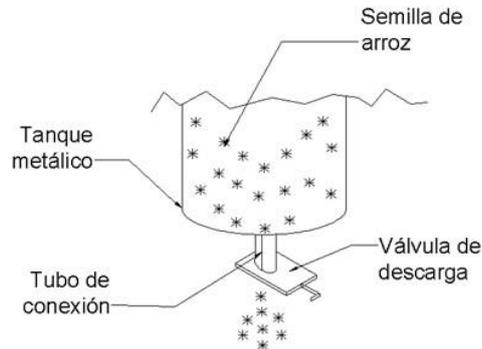


Figura 2.6. Ingreso del producto al silo [Xavier Mantilla, 2018]

Se decide colocar una válvula de compuerta deslizante o guillotina con accionamiento mecánico de fácil funcionamiento y manufactura. Así en el caso de que no exista en el mercado pueda ser construida según las

dimensiones requeridas. También se debe considerar un tubo que conecte el fondo del tanque metálico con la válvula como se aprecia en la figura 2.7.

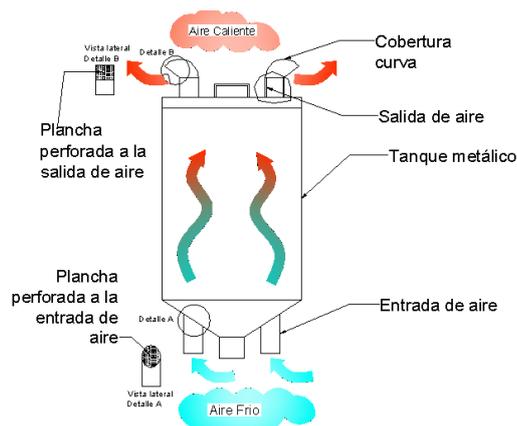


**Figura 2.7. Salida del producto [Xavier Mantilla, 2018]**

#### 2.4.1.2 Entrada y salida de aire

Para la entrada y salida de aire se considera colocar tubos cilíndricos para facilitar el flujo en la base cónica del silo y en la tapa de este, como se aprecia en la figura 2.8, se debe colocar tanto en la parte superior como inferior una plancha perforada, para que en la parte de entrada de aire no caigan las semillas, y en la parte de salida de aire no ingresen insectos.

Debido a que el equipo va a funcionar en un sector rural, se considera hacer una cobertura curva a la salida del aire con el fin de protegerlo frente a la caída de impurezas por gravedad o algún elemento externo que pueda afectar a la semilla.



**Figura 2.8. Circulación del aire [Xavier Mantilla, 2018]**

### 2.4.1.3 Estructura de soporte

Se considera usar tres perfiles como columna principal de la estructura con el objetivo de tener la mayor estabilidad de este. Se decide usar un perfil angular de lados iguales que es el que se importa a Ecuador y brinda la facilidad de ser soldado o empernado con otros tipos de perfiles.

Adicionalmente se considera colocar tres platinas en forma de cinta alrededor del cuerpo del silo para facilitar la unión entre el cuerpo del silo y la estructura, donde la soldadura va a estar entre el perfil y la platina, únicamente se va a soldar en la parte inferior el cuerpo del silo con una platina. Así disminuimos la distorsión de la plancha debido al calor que se genera durante el proceso de soldadura. (ver figura 2.9).

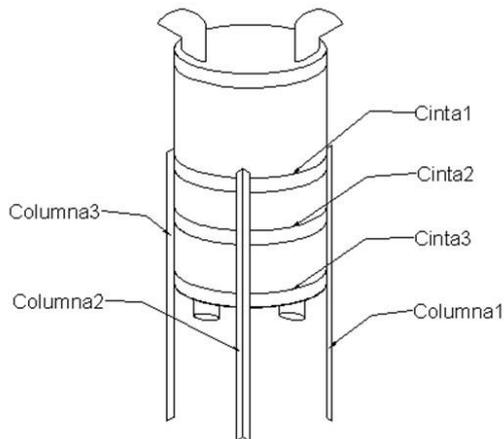


Figura 2.9. Estructura de soporte [Xavier Mantilla, 2018]

### 2.4.2 Diseño de forma para la ventilación

En este apartado se analiza la forma en que el aire va a ingresar al silo, para esto necesitaremos considerar un ventilador que va a generar el aire, una estructura para el ventilador y un sistema de ducto o tuberías que conecta el ventilador con el silo considerando la menor cantidad de pérdidas en el mismo.

### 2.4.2.1 Ventilador

Se decide usar un ventilador centrífugo (ver figura 2.10) debido a que es más apropiado para trabajar con ductos y en procesos de tratamiento de aire, adicionalmente brinda altas presiones con bajos flujos de aire. Se considera incluir un filtro al ingreso de aire en el ventilador, para asegurar que el aire que ingrese al equipo no contenga impurezas. (Air Control Industries Ltd, 2018).



Figura 2.10. Ejemplos de ventiladores centrífugos [Badiali, O. J., 2012]

### 2.4.2.2 Ducto

El diseño del ducto se realiza en base a la facilidad de manufactura, para lo cual se considera una configuración de tubos y codos como se aprecia en la figura 2.11, que mejor se ajusten al diámetro de salida de aire del ventilador centrífugo. Deberá poseer una configuración redonda dado a que presentaran menores pérdidas por fricción e instalar una brida para poder conectar a la salida de aire del ventilador.

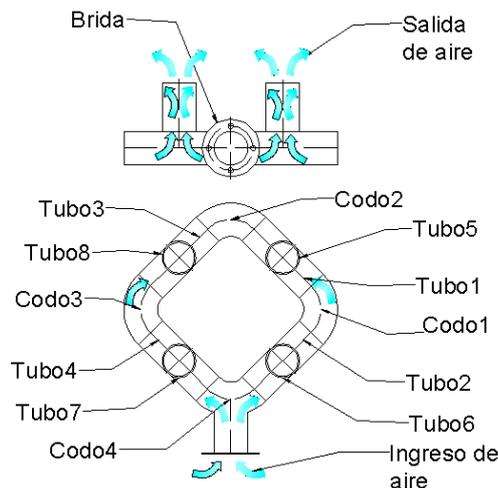


Figura 2.11. Configuración del ducto de ventilación [Xavier Mantilla, 2018]

### 2.4.2.3 Estructura para el ventilador

La estructura va a permitir asegurar el ventilador al suelo y dar la altura necesaria para que pueda acoplar la salida de aire del ventilador con la brida del ducto de ingreso de aire al silo. Por facilidad de manufactura se decide usar tubos cuadrados para crear una base donde repose el ventilador junto con cuatro columnas en cada esquina de la base, una vista lateral del diseño se encuentra en la figura 2.12.

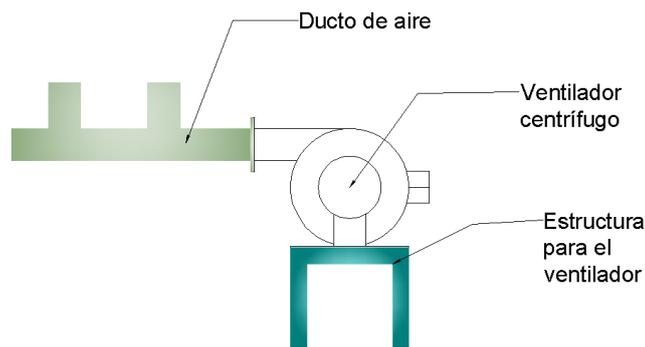


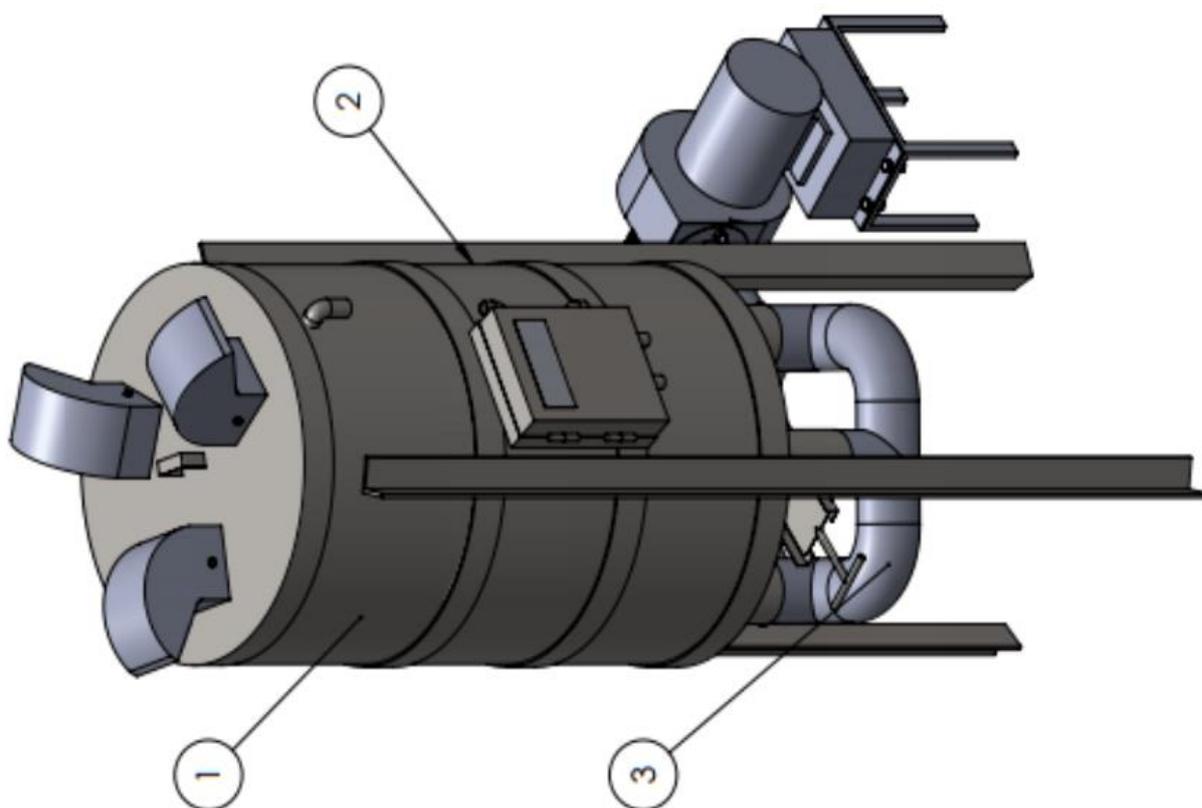
Figura 2.12. Estructura de soporte para el ventilador [Xavier Mantilla, 2018]

### 2.4.3 Diseño de forma del control

En este apartado se realiza la selección del tipo de microcontrolador junto con los sensores de temperatura y humedad necesarios para el funcionamiento del sistema de almacenamiento, y las adecuaciones en el silo para poder incluir los elementos electrónicos y eléctricos del mismo. (Ver anexo A)

### 2.4.4 Diseño de forma general

El diseño de forma general busca unir todos los diseños de forma: silo, ventilación y control, para poder obtener una mejor visión de lo que surge en base al requerimiento del producto. En la figura 2.18 se encuentra el diseño de forma general construido en base a todo lo detallado en este capítulo.



N. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	CUERPO PRINCIPAL
2	SOPORTES DEL SISTEMA
3	SISTEMA DE VENTILACIÓN

Figura 2.13. Diseño de forma general [Xavier Mantilla, 2018]

## **2.5 Diseño detallado**

Por facilidad de estudio se divide el diseño detallado en tres partes principales: silo, sistema de ventilación y sistema de control.

### **2.5.1 Diseño detallado del silo**

#### **2.5.1.1 Material**

El sector de estudio (Santa Lucía) presenta ambiente de alta humedad durante todo el año, de igual forma el producto a almacenar puede ser contaminado fácilmente, por esto se necesita un material que no se descomponga con el tiempo y pueda prever la oxidación. En diseños de estructuras resistentes a la corrosión generalmente nos encontramos con dos tipos de materiales: acero inoxidable o acero galvanizado.

Se selecciona acero inoxidable tomando las siguientes consideraciones:

-El acero inoxidable presenta mecanismos de protección a largo tiempo, frente a la protección finita del galvanizado (Structurals, 2018).

-Al considerar procesos de soldadura, en aceros inoxidables esta actividad es relativamente segura, frente a una generación de humos tóxicos en los aceros galvanizados (Spinning, 2018).

-El acero inoxidable brinda mayores bondades físicas y de resistencia al comparar con acero galvanizado (mayor punto de fluencia resiste mayor deformación, bajo nivel de conducción y brinda reflexión de calor) (IMINOX, 2018).

Adicional a las consideraciones anteriores, cuando se requiere longevidad y durabilidad, la mejor opción es el acero inoxidable, a pesar de su diferencia

de costo (acero galvanizado es más barato), si realizamos un análisis costo beneficio a mediano o largo plazo, se tiene un producto de alto desempeño.

En el mercado se tiene disponible dos tipos de acero inoxidable: 304 – 430, se elige trabajar con el acero 304 debido a la gran variedad de espesores, es más fácil para formar y soldar, por lo cual es más usados para procesos con alimentos. Las propiedades mecánicas se encuentran detalladas en la tabla 2.7 (IMPORINOXSA, 2018).

**Tabla 2.7 Propiedades mecánicas de acero inoxidable AISI-304 [Imporinoxsa, 2018]**

Propiedad	Valor
Límite de fluencia	24 kg/mm <sup>2</sup>
Resistencia última	58 kg/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	19300 kg/mm <sup>2</sup>
Porcentaje de alargamiento	55%

### 2.5.1.2 Geometría del silo

Se toma las consideraciones definidas en la norma UNE-ENV 1991-2-6:1998 para tener un silo corto que me da ventajas de mayor estabilidad, una eficiente ventilación y flujo de conducto para evitar sobre presiones de vaciado (AENOR, 1998) (Catalam, 1977).

La norma europea presenta ciertas limitaciones o restricciones geométricas, como la distancia desde la salida a la superficie equivalente  $h < 100m$ , dimensión característica de la sección transversal  $d_c < 50m$  y la relación entre ambos valores  $(h/d_c) < 10$ , según la figura 2.19, las cuales serán tomadas en cuenta a la hora de diseñar (AENOR, 1998).

Las consideraciones de silo corto corresponden a la configuración geométrica basada en la siguiente relación  $(h/d_c) < 1.5$ , la cual se puede seleccionar como valor de diseño. Al definir el fondo y espesor del silo se tiene el fondo tipo tolva

con  $\alpha > 20^\circ$ , y la configuración de silo circular de pared delgada ( $dc/t > 200$ ) (AENOR, 1998).

Con las consideraciones anteriores, usando un software de corte de planchaje (Plate and Sheet, versión de prueba) podemos analizar la forma geométrica de las diferentes partes que conforman el cuerpo del silo, luego con la ayuda de un software de diseño (AutoCAD, versión estudiantil), podemos comprobar en la figura 2.20 cuál puede ser la dimensión máxima que permite ubicar los cortes del cuerpo del silo en una sola plancha metálica con el objetivo de optimizar cortes en la plancha. Las dimensiones luego de la optimización de planchaje, se encuentran detalladas en la tabla 2.8.

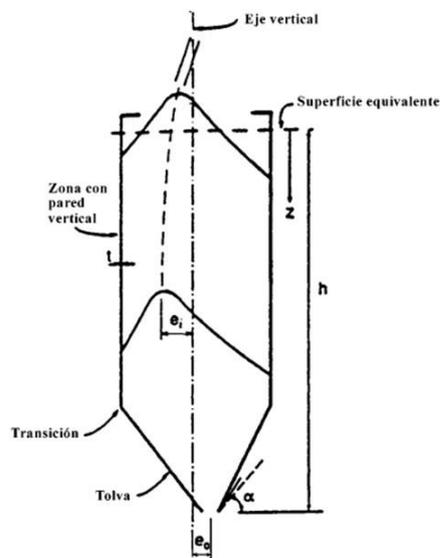


Figura 2.14. Configuración geométrica de silos y notación según la normativa [AENOR, 1998]

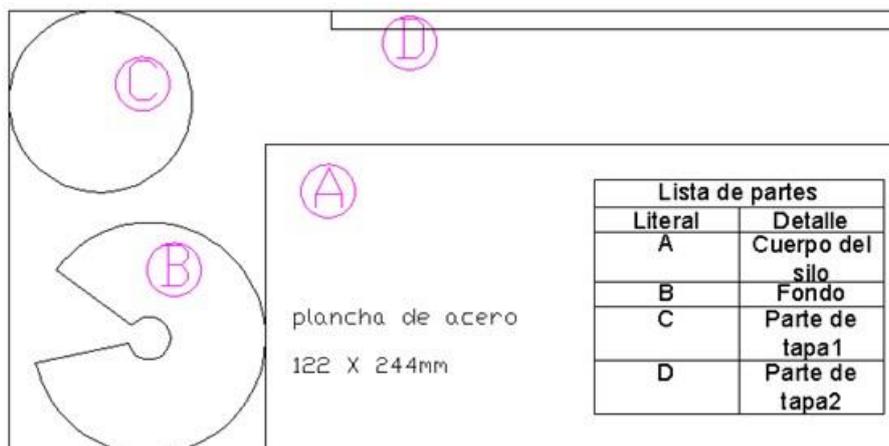
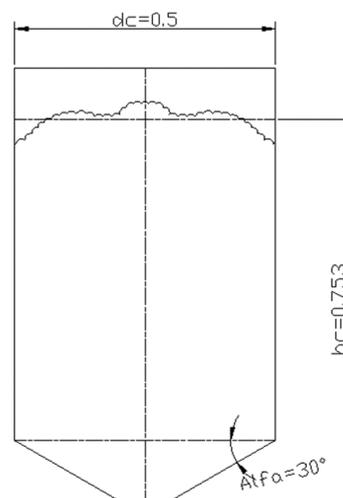


Figura 2.15. Optimización de cortes en una plancha metálica [Xavier Mantilla, 2018]

**Tabla 2.8 Resumen de consideraciones geométricas [Xavier Mantilla, 2018]**

Característica	Valor
$h$	0.735 [m]
$d_c$	0.500 [m]
$\frac{h}{d_c}$	1.47
$\alpha$	30°

En base a la tabla 2.8 se obtiene la forma geométrica en la figura 2.21, el cual tiene un volumen de  $0.131 \text{ m}^3$ , si consideramos la mayor densidad del producto ( $576 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) se obtiene una capacidad de almacenamiento de  $76 \text{ kg}$  ( $166 \text{ lb}$ ).



**Figura 2.16. Forma geométrica y dimensiones del silo [Xavier Mantilla, 2018]**

Para calcular el espesor de pared, es necesario conocer las diferentes presiones que actúan sobre la pared, graficadas en la figura 2.22. El euro código identifica las diferentes presiones y da ecuaciones para poder aproximar sus magnitudes (AENOR, 1998). La presión horizontal se puede aproximar con la siguiente ecuación:

$$p_{hf}(z) = \frac{\gamma * A}{\mu * U} * C_z * (z) \quad (2.1)$$

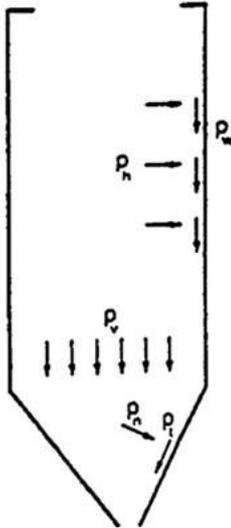


Figura 2.17. Notación de presiones en el interior de un silo [AENOR, 1998]

La presión vertical se puede aproximar con la siguiente ecuación (AENOR, 1998):

$$p_v(z) = \frac{\gamma * A}{K_s * \mu * U} * C_z * (z) \quad (2.2)$$

Para calcular el espesor de la parte cónica se considera al piso como una tolva dado a que se tiene un fondo con un ángulo medio de inclinación mayor a 20° respecto a la horizontal. La presión normal a la tolva se aproxima mediante la siguiente ecuación (AENOR, 1998):

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) * \frac{x}{I_h} \quad (2.3)$$

Donde:

$$p_{n1} = p_{v0} * (C_b * \cos^2(\alpha) + \text{sen}^2(\alpha)) \quad (2.4)$$

$$p_{n2} = C_b * p_{v0} * \cos^2(\alpha) \quad (2.5)$$

$$p_{n3} = 3.0 * \frac{A}{U} * \frac{\gamma * K_s}{\sqrt{u}} * \text{sen}^2(\alpha) \quad (2.6)$$

Conocida la presión lateral de pared se pasa al cálculo de espesor de chapa mediante la siguiente ecuación (Ravenet, 1977):

$$t_p = \frac{p_{hf} * D}{20 * \sigma_{adm}} \quad (2.7)$$

Conociendo la presión normal a la tolva, se pasa al cálculo de espesor de chapa mediante la siguiente ecuación (Ravenet, 1977):

$$t_t = \frac{p_n * D}{2 * \cos(\alpha) * 100 * \sigma_{adm}} \quad (2.8)$$

### 2.5.1.3 Estructura

La parte principal de la estructura la compone los perfiles metálicos que sostienen el tanque de almacenamiento graficado en la figura 2.11, por lo tanto, la carga total a soportar por la estructura está dado por el peso de la semilla  $w_s$ , el peso del tanque  $w_t$  y el peso de los componentes electrónicos  $w_c$  con la siguiente ecuación:

$$w = w_s + w_t + w_c \quad (2.9)$$

Del diseño de forma graficado en la figura 2.23 se tiene tres perfiles como columnas, donde debido a su disposición angular van a soportar la misma carga, por lo cual se realiza el análisis de todas las cargas bajo un mismo perfil. La carga en un solo perfil queda aproximada mediante la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{w}{3} \quad (2.10)$$

Adicional, se tiene un momento debido a la distancia que se tiene entre en centro de gravedad de la carga total y el centro geométrico del perfil (ver figura 2.18 y figura 2.19).

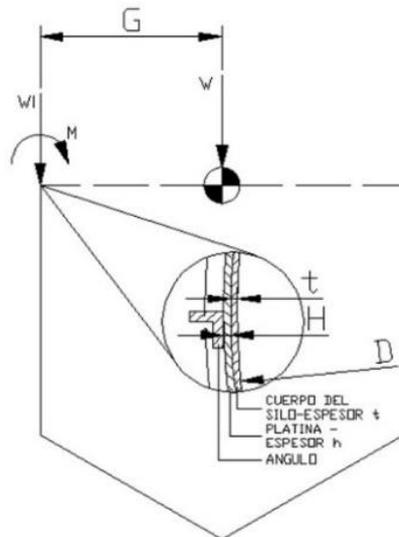


Figura 2.18. Ubicación de carga en un solo perfil [Xavier Mantilla, 2018]

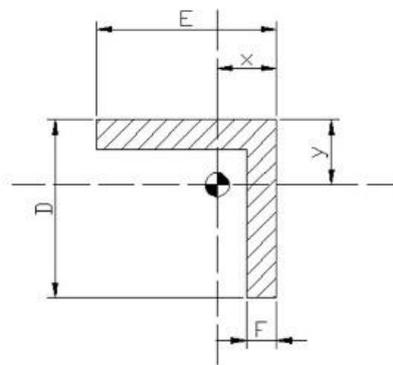


Figura 2.19. Configuración geométrica del perfil [Xavier Mantilla, 2018]

Se calcula el momento mediante la siguiente ecuación:

$$M = w_i * G \quad (2.11)$$

Donde:

$$G = \frac{D}{2} + t + H + x \quad (2.12)$$

Para el cálculo de factor de seguridad se trabaja de forma estática, debido a que el funcionamiento de carga y descarga no presenta características para asumir que exista fatiga. Los esfuerzos a los que está sometido el perfil son

de compresión debido a la fuerza vertical y esfuerzos de flexión debido al momento generado.

El esfuerzo de compresión se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{w_i}{A} \quad (2.13)$$

El esfuerzo de flexión en compresión se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{fc} = \frac{M * c_c}{I} \quad (2.14)$$

El esfuerzo de flexión en tensión se aproxima mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ft} = \frac{M * c_t}{I} \quad (2.15)$$

Se calcula cada esfuerzo en dos puntos más extremos del centro de gravedad, serían estos los puntos de mayor esfuerzo y corresponden a la cara interna y externa del perfil.

La fuerza de compresión ( $w_i$ ) generará un esfuerzo de compresión según la configuración de la figura 2.20 considerando una viga sometida a una fuerza axial. El momento ( $M$ ) generará un esfuerzo de flexión según la configuración de la figura 2.20 considerando una viga con flexión pura (Norton, 2009).

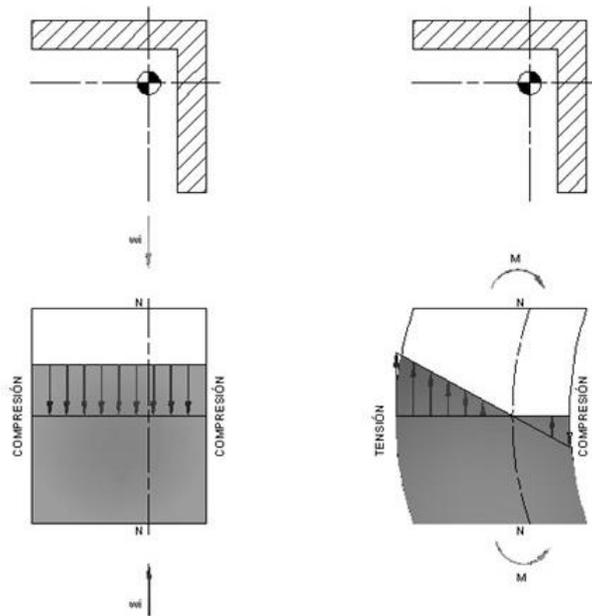


Figura 2.20. Distribución de esfuerzos en el perfil [Xavier Mantilla, 2018]

Se realiza una sumatoria de esfuerzos, obteniendo los esfuerzos de la parte interna de la viga:

$$\sigma_i = \sigma_c + \sigma_{fc} \quad (2.16)$$

Los esfuerzos de la parte externa son sumados mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_e = \sigma_{ft} - \sigma_c \quad (2.17)$$

Finalmente se calcula el factor de seguridad para ambas posiciones, en la parte interna con la siguiente ecuación:

$$N = S_y / \sigma_i \quad (2.18)$$

El factor de seguridad de la parte externa se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$N = S_y / \sigma_e \quad (2.19)$$

#### 2.5.1.4 Ensamble de estructura con silo

Cuando se trata de ensamblar partes metálicas, se tiene dos opciones para unir los diferentes elementos del diseño: soldadura o pernos. Se considera realizar las uniones del silo con la estructura mediante soldadura de acuerdo con las siguientes consideraciones:

-Las uniones son no desmontables (Clement, 2006).

-Se obtiene la unión estanca, que no permite la comunicación entre el producto y el ambiente circundante (Clement, 2006).

-Presenta menores costos de fabricación y una solución más limpia (Clement, 2006).

El acero inoxidable es óptimamente soldado mediante tres tipos de soldadura: SMAW, TIG, MIG. Se considera seleccionar la soldadura TIG debido a las siguientes consideraciones:

-Permite generar cordones de gran calidad sin escorias y sin proyecciones (Galbarro, 2018).

-Económico para soldar piezas de poco espesor (menor 6mm) (Galbarro, 2018).

-Genera poca afectación a la composición química y propiedades del metal base (Galbarro, 2018).

Adicionalmente en soldaduras de poco espesor se considera usar argón como gas de protección, protege al nuevo cordón del aire circundante, junto con el electrodo no consumible ER308L, adecuado para soldar equipos de procesos y almacenamiento de productos alimenticios y químicos fabricados con aceros

inoxidables 304. En caso de ser necesario se puede añadir material de aporte a la fusión de metales (INDURA, 2010).

## 2.5.2 Diseño detallado de la ventilación

### 2.5.2.1 Calculo de perdidas

Las pérdidas de presión que va a experimentar el aire frente al flujo sobre la masa de granos o semillas pueden ser aproximada a la ecuación de Shedd (ASABE, 1996):

$$\Delta P' = \frac{a \cdot Q_a^2}{\ln(1 + b \cdot Q_a)} \quad (2.20)$$

Los valores constantes usados en la fórmula de Shedd son dependientes del tipo de producto a trabajar, en la figura en anexos C se encuentran los valores usados en este proyecto.

Dado a que la recomendación de funcionamiento del ventilador proporciona rango de caudales, es necesario realizar iteraciones alrededor de los valores recomendados, con el objetivo de obtener una gráfica, denominada la curva del sistema de ventilación.

### 2.5.2.2 Ductos

Basado en recomendaciones de flujo, se considera que la razón entre el área perforada y el área del piso sea mayor al 10% con el fin de que las pérdidas en los ductos puedan ser no significativas. (Badiali, 2012).

El área del piso se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_p = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \quad (2.21)$$

El área perforada o de ductos se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_d = N_d * \frac{\pi * d_d^2}{4} \quad (2.22)$$

### 2.5.2.3 Potencia del ventilador

La potencia del ventilador se calcula en base al caudal total necesario para la ventilación y la caída de presión debido a la masa de grano con la siguiente expresión (Badiali, 2012):

$$HP = \frac{\Delta P * Q}{45 * 60} \quad (2.23)$$

De esta forma se tiene un valor aproximado de presión, luego se compara directamente la curva de funcionamiento de ventiladores que aproximen la potencia calculada vs la curva del sistema de ventilación. Se selecciona el ventilador, el cual su punto de funcionamiento se ubique en una zona de trabajo idónea.

### 2.5.3 Diseño detallado del control

El control requerido en este proyecto es de lazo cerrado, que recibe las mediciones tanto ambientales como de grano y según eso toma decisiones. (Ver Anexo B)

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se resolvieron cada una de las ecuaciones planteadas en el capítulo dos que permiten dimensionar las partes críticas del diseño. Las partes no críticas se dimensionaron en base a facilidad de manufactura.

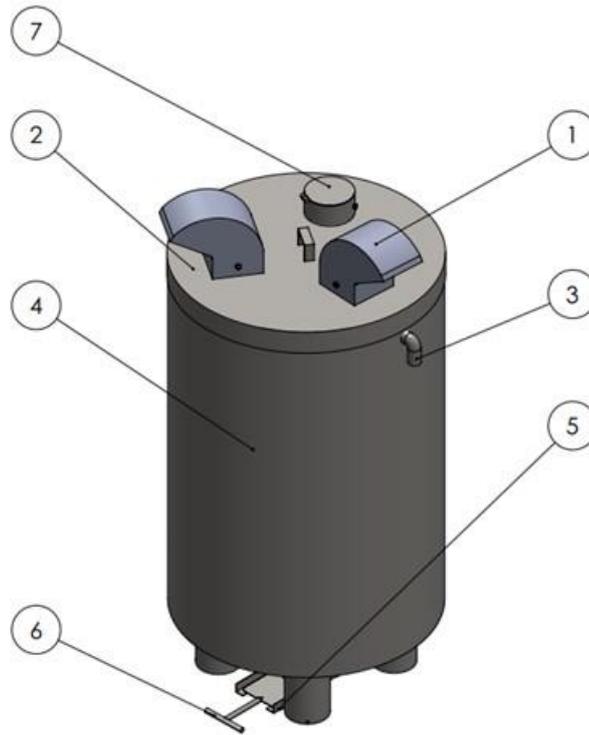
Se obtuvieron tablas y gráficas representativos de los cálculos, así como también curvas de funcionamiento, el desarrollo completo de cálculos se encuentra en Anexo C. En la parte final se presentan varios resultados que forman parte del proyecto multidisciplinario, los cuales ayudan a la comprensión general del impacto que produce el proyecto.

### 3.1 Resumen de cálculos

En esta sección se tiene un conjunto de tablas y figuras que permiten interpretar los resultados obtenidos a partir de los cálculos realizados. Se encuentra separado en tres secciones: cuerpo principal, soportes del sistema y sistema de ventilación.

#### 3.1.1 Cálculos desarrollados en cuerpo principal

En base al diseño de forma realizado en el capítulo 2, el cuerpo principal (ver figura 3.1) va a estar compuesto por siete partes: 1 - respiraderos, 2 - tapa del silo, 3 - codo de termometría, 4 - cuerpo contenedor, 5 - válvula de compuerta, 6 - guillotina, 7 - tapa de respiradero.



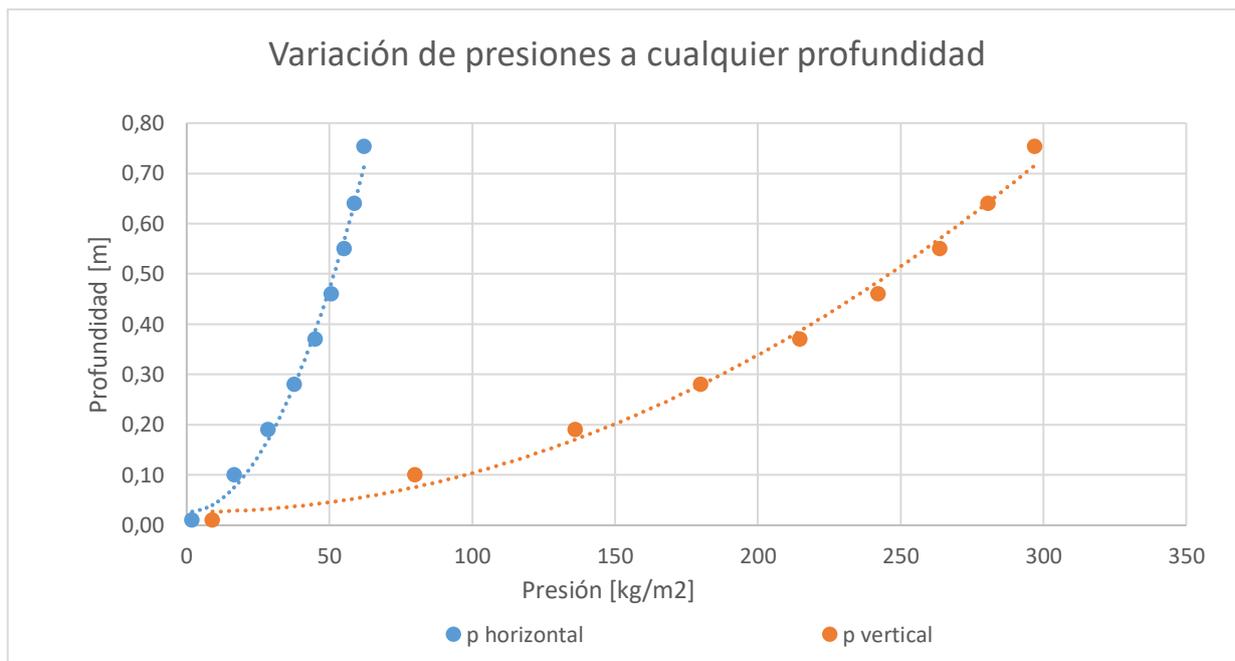
**Figura 3.1. Plano general del cuerpo principal [Xavier Mantilla, 2018]**

En la tabla 3.1, se resumen el cálculo de presiones vertical y horizontal para diferentes valores de profundidad  $z$ .

**Tabla 3.1 Cálculo de presión horizontal y vertical dentro del silo [Xavier Mantilla, 2018]**

Altura [m]	$z$	Coeficiente de Jansen $C_z$	Presión horizontal $P_h$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Presión vertical $P_v$ [kg/m <sup>2</sup> ]
0,01		0,03	2	9
0,10		0,23	17	80
0,19		0,40	29	136
0,28		0,52	38	180
0,37		0,63	45	215
0,46		0,70	51	242
0,55		0,77	55	264
0,64		0,82	59	281
0,75		0,86	62	297

El valor máximo de presión horizontal es 62 kg/m<sup>2</sup>, mientras que en la presión vertical se obtiene un máximo de 297 kg/m<sup>2</sup>. En base a la tabla 3.1 se obtiene una gráfica de presiones en la figura 3.2.



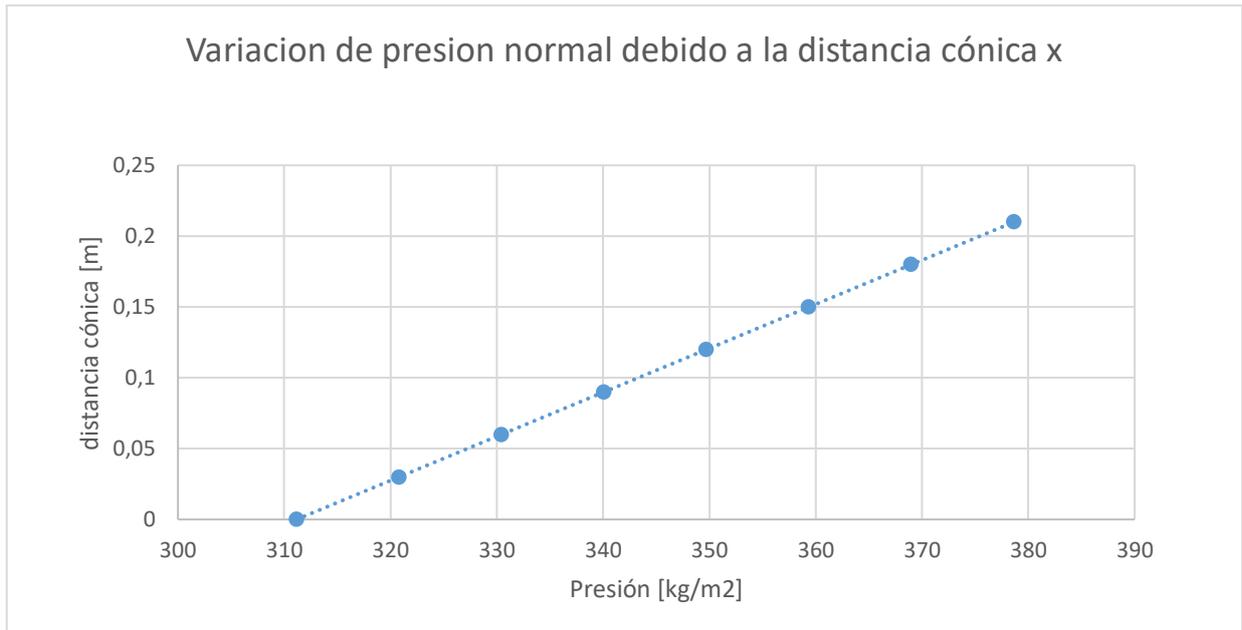
**Figura 3.2. Variación de presiones horizontal y vertical a diferentes alturas [Xavier Mantilla, 2018]**

En la figura 3.2 se puede apreciar que ambas presiones tienen un crecimiento exponencial, donde la presión vertical tiene mayor crecimiento que la presión horizontal. En la tabla 3.2 se resume los resultados más relevantes del cálculo de presión normal para diferentes distancias cónicas x.

**Tabla 3.2 Cálculo de presión normal en el fondo del silo [Xavier Mantilla, 2018]**

Distancia cónica x [m]	Presión normal Pn [kg/m²]
0	311
0,03	321
0,06	330
0,09	340
0,12	350
0,15	359
0,18	369
0,21	379
0,231	385

El valor máximo de presión normal es de 385 kg/m². En base a la tabla 3.2 se obtiene una gráfica de variación de presión normal en la figura 3.3.



**Figura 3.3. Variación de presiones normales a diferente distancia cónica [Xavier Mantilla, 2018]**

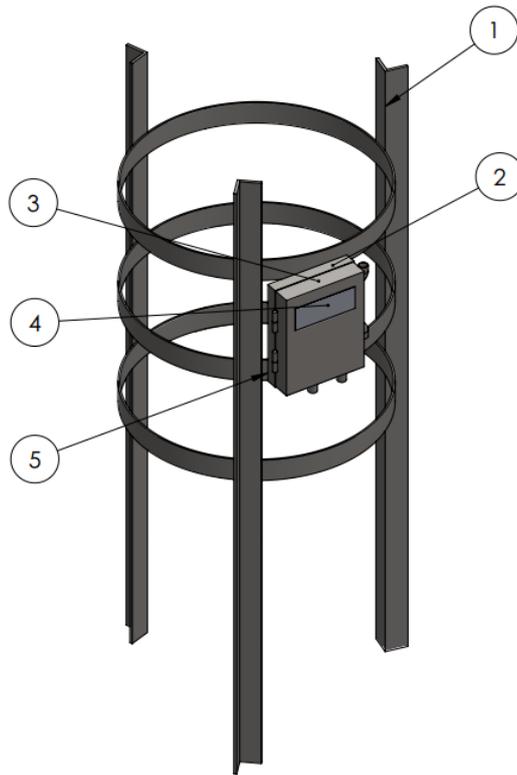
Con el valor máximo de presión horizontal y normal se obtiene el espesor de pared del silo y el espesor del piso cónico mínimo respectivamente. Se encontró que los valores calculados son menores a 1mm, donde debido a facilidad de soldadura y disponibilidad del mercado se elige un espesor de 1.5mm. En la tabla 3.3 se agrupan los resultados finales para el dimensionamiento del silo.

**Tabla 3.3 Cálculo de espesor de planchaje [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalles	Valores
Máximo valor de presión horizontal	62 kg/m <sup>2</sup>
Máximo valor de presión normal	385 kg/m <sup>2</sup>
Factor de seguridad	1.57
Espesor de planchaje en paredes calculado	0.001 mm
Espesor de planchaje fondo cónico calculado	0.0007 mm
Espesor de planchaje general debido a facilidad de manufactura	1.5 mm

### 3.1.2 Cálculos desarrollados en soportes del sistema

En base al diseño de forma realizado en el capítulo 2, soportes del sistema va a estar compuesto por cinco partes como son (ver figura 3.4): 1 - estructura de soporte, 2 - base de cajetín eléctrico, 3 - tapa de cajetín eléctrico, 4 - acrílico visor de cajetín, 5 - acrílico base del cajetín.



**Figura 3.4. Plano general del soporte del sistema [Xavier Mantilla, 2018]**

El diseño de la estructura requiere definir la carga a la cual va a estar sometida, en la tabla 3.4 se resumen las cargas consideradas para el diseño de las tres columnas.

**Tabla 3.4 Consideraciones de cargas en la estructura [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	Valores
Peso de cuerpo cilíndrico	33 kg
Peso de semilla de arroz	76 kg
Peso total	109 kg
Carga total	1063 N
Ancho de platinas	4mm
Número de ángulos	3
Dimensiones de ángulos	5x5cm
Carga de fuerza por ángulo	354 N
Carga de momento por ángulo	96 Nm

Luego en base a las cargas obtenidas en la tabla 3.5, se calculan los esfuerzos mecánicos a los cuales se encuentra sometido el perfil. Como resultado final se realiza el cálculo de factor de seguridad.

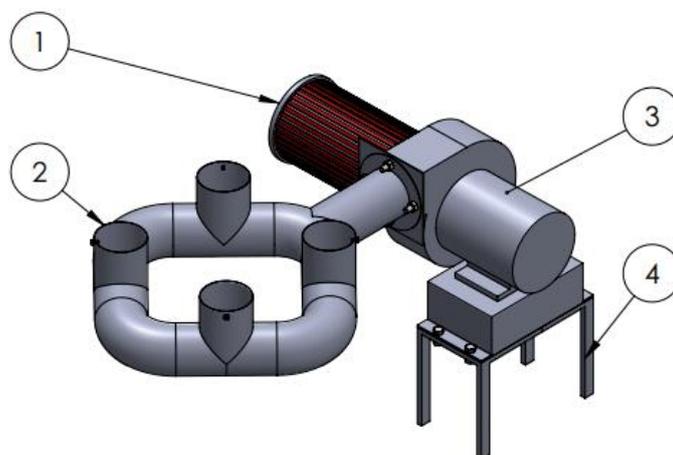
**Tabla 3.5 Esfuerzos en la estructura de soporte [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	valores
Esfuerzo de compresión	$9.23 \times 10^5$ Pa
Esfuerzo de flexión - tensión	$3.72 \times 10^7$ Pa
Esfuerzo de flexión-compresión	$1.44 \times 10^7$ Pa
Esfuerzo total cara externa	$3.62 \times 10^7$ Pa
Esfuerzo total cara interna	$1.53 \times 10^7$ Pa
Factor de seguridad esfuerzo externo	30
Factor de seguridad esfuerzo interno	72

Al tener un factor de seguridad mayor a la unidad, me asegura que el equipo no va a fallar, este valor alto permite tener un equipo de alta confianza, lo cual es requerido dado a que va a operar cerca de la vivienda del agricultor en actividades agroalimentarias.

### 3.1.3 Cálculos desarrollados en sistema de ventilación

En base al diseño de forma realizado en el capítulo 2, el sistema de ventilación (ver figura 3.5) va a estar formado por cuatro partes: 1 - Filtro de aire, 2 - Ductos de ventilación, 3 - Ventilador centrífugo y 4 - Estructura del ventilador.



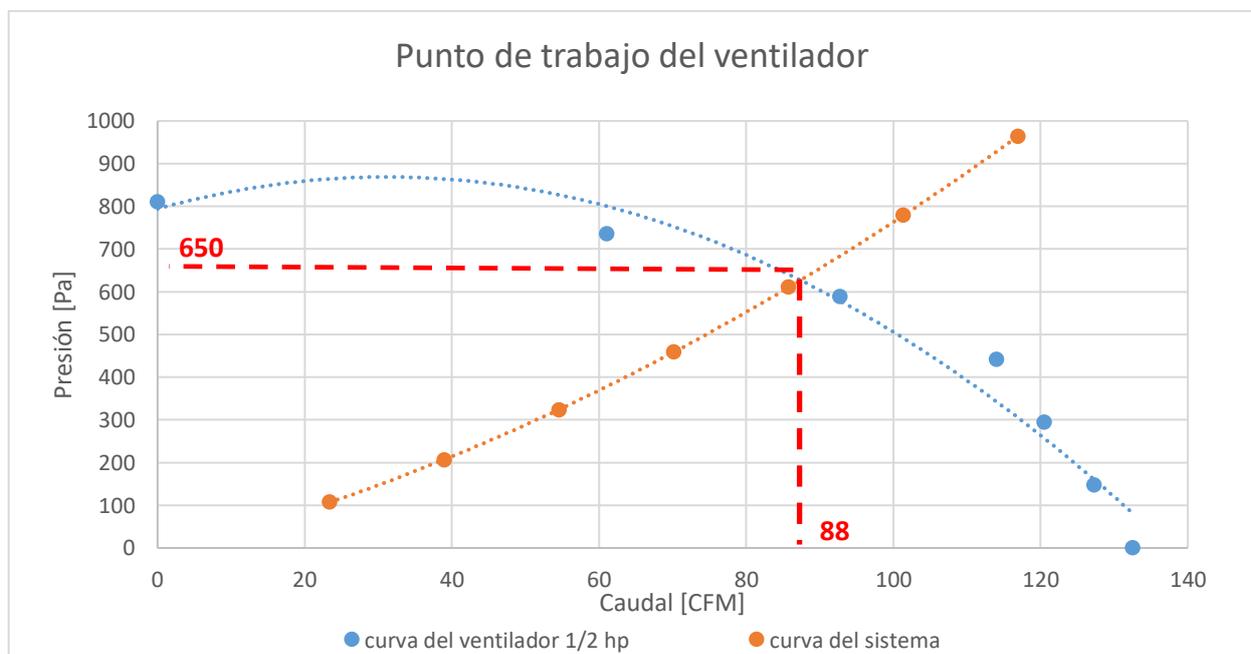
**Figura 3.5. Plano general del sistema de ventilación [Xavier Mantilla, 2018]**

Para la selección del ventilador se realiza el cálculo de los parámetros de ventilación, mediante iteración en un rango de flujo definido por las recomendaciones. En la tabla 3.6 se tiene un resumen de los cálculos realizados.

**Tabla 3.6 Cálculos de ventilación [Xavier Mantilla, 2018]**

Flujo [m3/h-ton]	Caudal [m3/s]	Caudal Q [CFM]	Caudal por metro cuadrado Qa [m3/s - m2]	Caída de presión por cada metro de altura P' [Pa/m]	Caída de presión P [Pa]	Potencia del ventilador requerido Po [HP]
3	0,011	23	0,06	146	108	0,03
5	0,018	39	0,09	280	206	0,08
7	0,026	55	0,13	440	324	0,19
9	0,033	70	0,17	624	459	0,34
11	0,040	86	0,21	831	611	0,55
13	0,048	101	0,24	1060	779	0,83
15	0,055	117	0,28	1310	963	1,18

Para la selección de capacidad del ventilador se tomó el valor medio de 0.5 Hp por costo y seguridad. En la figura 3.6 se intercepta la curva de ventilación del sistema con una curva característica propia de un ventilador de 0.5 HP disponible en el mercado.



**Figura 3.6. Punto de trabajo del ventilador [Xavier Mantilla, 2018]**

Según la figura 3.5 el ventilador va a vencer 650 Pa con un caudal de 88 CFM, el punto de trabajo se encuentra en una zona idónea, con un funcionamiento estable, buen rendimiento y con bajo ruido. Las características del ventilador seleccionado se encuentran en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Características del ventilador [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	Valor
Modelo	CY150
Potencia nominal	1/2 HP
Voltaje	110 v
Amperaje	3,2 A
Máximo flujo	131 CFM
Máxima presión	824 Pa
Salida de aire	90x90 mm
Diámetro de ingreso de aire	150 mm
Dimensiones totales	279x330x336 mm

El dimensionamiento del ducto está basado en el tamaño de salida de aire detalladas en la tabla 3.7, pero considerado un cambio de sección rectangular a sección redonda. La tabla 3.8 resume todas las consideraciones que se hicieron en base a los elementos de ingreso de aire y salida de aire del silo.

**Tabla 3.8 Dimensionamiento de ingreso y salida de aire [Xavier Mantilla, 2018]**

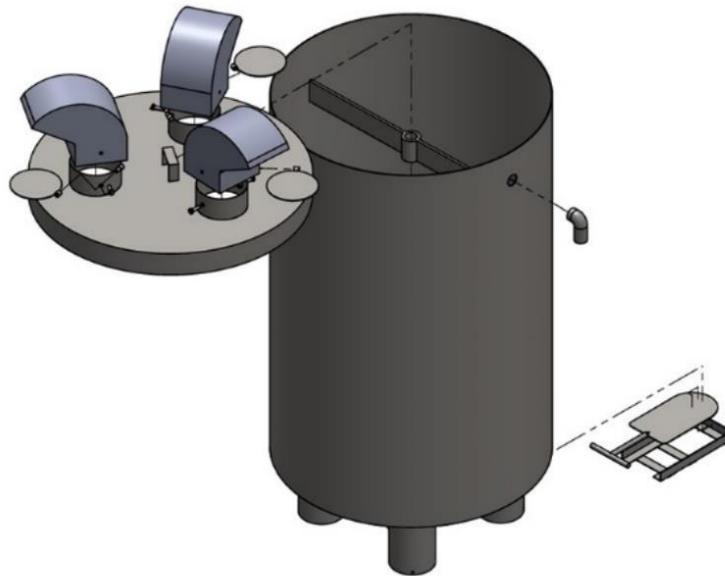
Detalles	Valores
Número de agujeros de ingreso de aire	4
Diámetro de agujeros de ingreso de aire [m]	0,09
Área de ingreso de aire [m <sup>2</sup> ]	0,025
Área de piso [m <sup>2</sup> ]	0,196
Porcentaje área de ventilación	13%
Número de respiraderos	3
Diámetro de respiraderos [m]	0,180

El número de agujeros de ingreso de aire especificados en la tabla 3.8 se basa en recomendaciones de flujo. El diámetro de los respiraderos se basa en la conservación de caudal, y el número de respiradero en una mejor distribución del aire en el interior del silo.

## 3.2 Construcción del equipo

En esta sección se detalla el ensamble de las partes, se divide en tres subsecciones: cuerpo principal, soportes del sistema, sistemas de ventilación. Como parte final se realiza la unión de estas tres subsecciones para obtener el ensamble final. En anexo D se encuentra las fotos de construcción e instalación del equipo, y en Anexo F los planos de fabricación.

### 3.2.1 Ensamble de cuerpo principal



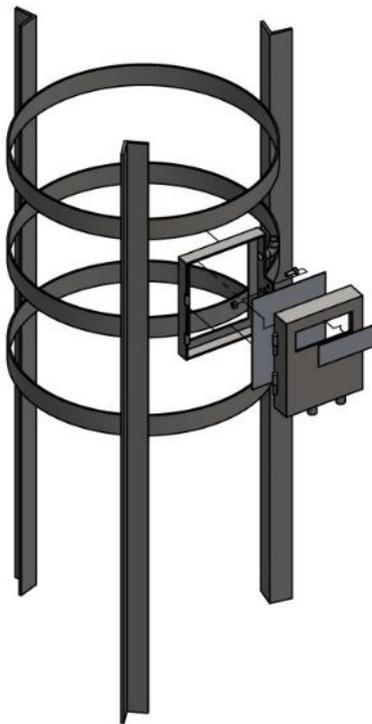
**Figura 3.7. Vista explosionada de cuerpo principal [Xavier Mantilla, 2018]**

Comenzando de la parte superior a la inferior (ver figura 3.7), los respiraderos se unen a la tapa del silo por medio de pernos por facilidad de limpieza. La tapa de los respiraderos es desmontable, tiene soldada una bisagra desmontable que la une con la tapa del silo.

La tapa del silo se une al cuerpo contenedor por forma, el cuerpo contenedor tiene en su interior tres platinas igualmente espaciadas, giradas 180 grados, lo cual va a servir para direccionar los sensores de temperatura a lo largo de toda la masa de granos.

La válvula de compuerta va soldada a la descarga de producto dejando un espacio por donde se desplace la guillotina. La guillotina tiene limitada su carrera mediante topes en su parte inferior, es decir tiene un tope para abertura y para cierre.

### 3.2.2 Ensamble de soportes del sistema



**Figura 3.8. Vista explosionada de soportes del sistema [Xavier Mantilla, 2018]**

Primero se realizó el rolado de 3 platinas obteniendo el diámetro del cuerpo contenedor (ver figura 3.8), luego se suelda las platinas con los tres perfiles angulares con un mismo espaciado angular, obteniendo la estructura de soporte. Finalmente se suelda la base del cajetín eléctrico a la estructura de soporte, esta tiene una bisagra desmontable que permite instalar la tapa del cajetín eléctrico.

### 3.2.3 Ensamble de sistemas de ventilación

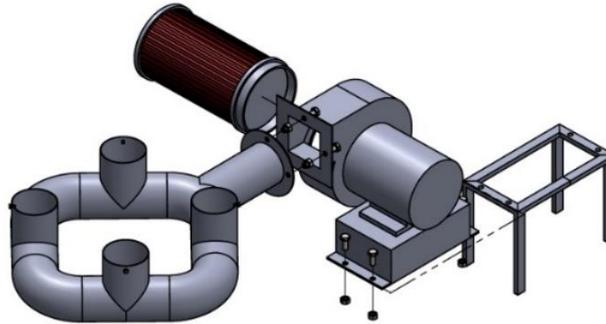


Figura 3.9. Vista explosionada de sistema de ventilación [Xavier Mantilla, 2018]

Primero se toma mediciones del ventilador adquirido para poder realizar la estructura del ventilador (ver figura 3.9), donde el ventilador es sujeto mediante pernos para facilitar trabajos de mantenimiento. Adicionalmente la unión del ventilador con el ducto de ventilación se realiza mediante pernos lo cual facilita la limpieza de ambas partes.

El ducto de ventilación se sujeta al cuerpo contenedor mediante pernos para facilitar el desmontaje de este y poder realizar limpieza. El filtro de aire se acopla a la entrada de aire del ventilador mediante un cierre de forma debido a las dimensiones propias de diseño.

### 3.3 Prueba de funcionamiento

Se realizó la instalación de un punto eléctrico en el lugar de operación del equipo, se energizó el equipo y se llenó hasta su capacidad máxima (Ver figura 3.10). Luego se realizó una prueba de funcionamiento del sistema de control, para de esta forma verificar la correcta integración del ventilador con los sensores del microcontrolador.

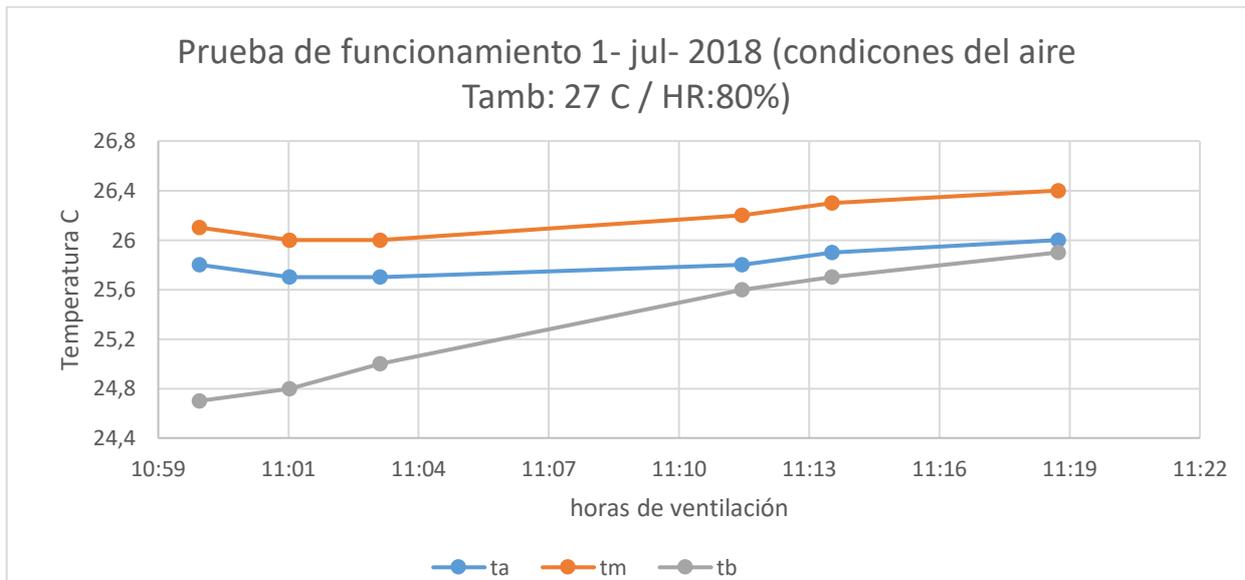
Esta prueba consiste en registrar la variación de temperatura debido al encendido del ventilador en condiciones desfavorables y luego su posterior apagado de forma automática cuando llegue a condiciones favorables (Ver figura 3.11). En anexo D

se encuentran fotos de la instalación y prueba del equipo. En Anexo E se encuentra un manual de uso y mantenimiento del equipo.



**Figura 3.10. Equipo instalado en lugar de operación [Xavier Mantilla, 2018]**

En la figura 3.11 se obtiene un gráfico de variación de temperaturas en tres zonas del interior del silo a diferentes alturas (ta: temperatura en parte alta, tm: temperatura en parte media, tb: temperatura en parte baja).



**Figura 3.11. Prueba de funcionamiento del equipo de almacenamiento [Xavier Mantilla, 2018]**

En la figura 3.11 se puede apreciar que el equipo logra disminuir la máxima diferencia de temperatura de 1.5 C a 0.5C en un tiempo de 19 minutos con un aire a 27C y humedad del 80%. Si bien aumenta la temperatura se mantienen en un

rango aceptable sin modificar su humedad de grano, pero este efecto permite cumplir requerimientos de uniformidad de temperatura.

Adicionalmente el componente de ingeniería industrial propuso mejoras al proceso entre las cuales incluyó limpiar la semilla mediante una zaranda antes de almacenarla, y el componente agrícola realizó pruebas de validación de las mejoras propuestas, obteniendo los porcentajes de germinación y humedad de grano (tabla 3.9).

**Tabla 3.9 Validación agrícola [Xavier Mantilla, 2018]**

Pruebas	Almacenamiento tradicional	Almacenamiento propuesto
% Germinación (optimo mayor valor)	51.67	66.33
% de humedad de grano (12 - 13%)	13 -15	12.5

En la tabla 3.9, se muestran las mejoras del almacenamiento propuesto vs el almacenamiento tradicional, primero tenemos un aumento en el porcentaje de germinación, y segundo se tiene un porcentaje de humedad dentro del rango recomendado. Con lo cual se puede validar los procesos de mejora.

### **3.4 Análisis de costos**

En esta sección se analiza todos los costos relacionados con el equipo, tanto en la construcción del equipo y respecto al funcionamiento de este. Luego se presenta un análisis de factibilidad económica del proyecto, realizado por el componente de ingeniería industrial.

#### **3.4.1 Costos de construcción**

Los gastos de materiales y construcción del equipo se encuentran de forma detallada en Anexo G. En la tabla 3.10 se encuentran un resumen de los gastos

incurridos para tener el equipo construido y funcionando tal y como se define en el diseño.

**Tabla 3.10 Resumen de gastos incurridos [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	Costo
Materiales y construcción de estructura metálica	\$ 1.210,00
Equipos electrónicos	\$ 126,69
Ventilador centrífugo	\$ 440,00
Instalación y materiales eléctricos	\$ 68,13
Filtro para el ventilador	\$ 12,00
Total	\$ 1.856,82

Finalmente, el precio total de construcción e instalación del equipo es de \$1856,82.

### 3.4.2 Costos de funcionamiento

Debido a que el equipo funciona de manera autónoma, el único costo que se debe incurrir es respecto al consumo energético. Se tomaron mediciones de corriente y voltaje de operación del equipo, para poder tener una aproximación de los costos de operación.

En la tabla 3.11 se considera el funcionamiento del equipo en condiciones desfavorables, es decir cuando se encuentra encendido el microcontrolador y el ventilador.

**Tabla 3.11 Costo de funcionamiento en condiciones no favorables [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	Valor
Mediciones de voltaje [v]	105
Mediciones de corriente [A]	2,3
Potencia eléctrica calculada [W]	242
Horas de funcionamiento al día [h]	0,33
Cálculo de consumo energético del equipo [kW-h]	0,080
Costo mensual de energía eléctrica [\$]	0,091
Costo mensual de funcionamiento del equipo [\$]	0,22

El costo de funcionamiento en condiciones no favorables por cada mes es de 22 centavos de dólares. En la tabla 3.12 se considera el funcionamiento en condiciones favorables, es decir cuando se encuentra encendido solo el microcontrolador.

**Tabla 3.12 Costo de funcionamiento en condiciones favorables [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalle	Valor
Mediciones de voltaje [v]	105
Mediciones de corriente [A]	0,05
Potencia eléctrica calculada [W]	5
Horas de funcionamiento al día [h]	12,00
Cálculo de consumo energético del equipo [kW-h]	0,063
Costo mensual de energía eléctrica [\$]	0,091
Costo mensual de funcionamiento del equipo [\$]	0,17

El costo de funcionamiento en condiciones favorables por cada mes es de 0.17 centavos de dólares. De forma total se tiene un costo mensual total de funcionamiento de 0.39 centavos, donde si se asume que el ciclo de cultivo se realiza cada seis meses, representaría ese valor se multiplicaría a un costo de \$2.34 por cada ciclo de cultivo.

### 3.4.3 Factibilidad económica del proyecto

Se realizó un flujo de caja proyectado, basándonos en que un agricultor tiene como ingresos la venta del arroz, quien decide comprar el equipo mediante un préstamo a 10 semestres. Obteniendo valores de flujo positivos desde el primer semestre hasta el último semestre. Junto con un van positivo de \$1833,47 y un TIR de 15% considerando una Tmar de 5.40%.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado, en base a los resultados obtenidos. Así también se presenta una base para posibles trabajos futuros.

### 4.1 Conclusiones

- Se establecieron parámetros para el diseño y construcción de un sistema de almacenamiento de semillas de arroz basado en el euro código 1 y el estándar D2723 de la ASAE.
- Se cumplió con el objetivo principal de construir un sistema de almacenamiento de semillas de arroz que permite mantener la calidad de la semilla mediante el control de parámetros como temperatura y humedad de grano, el cual tiene como innovación su sistema de control automático el cual es un aporte para el desarrollo de maquinaria agroindustrial en el país.
- El diseño cumple con el requerimiento del euro código 1 en base al cálculo de cargas, así también cumple con todos los factores de seguridad exigidos para el uso con personas en un sector agrícola alimenticio.
- La capacidad del equipo permite guardar hasta 100 lb de semillas de arroz, lo cual corresponde a la necesidad del agricultor en estudio, quien siembra en un terreno de 0.43 hectáreas.

- Con los diagramas de temperatura y humedad relativa ambiental de la zona en estudio, se implementó un sistema automático de aireación en el silo para conservar condiciones favorables en el manejo de semilla.
- Se realizó la configuración de ventilación en base a un estudio de las condiciones de aire ambiente desde meses desde abril 2018 a julio 2018 teniendo parcialmente cubierto meses de invierno y de verano.
- Se concluyó con un manual de operación del equipo y se dio a conocer a través de una transferencia de conocimientos realizada en el sector.

## **4.2 Recomendaciones**

- Modificaciones en el equipo deberán ser realizadas según el lugar de operación debido a que el sistema de acondicionamiento de la semilla depende de las condiciones climáticas de la zona.
- El equipo necesita las mejores condiciones del aire, por esto se desea que el aire circundante al equipo no vaya a ser contaminado sobre todo en las horas de funcionamiento.
- Para construir un equipo de mayor capacidad se deberá considerar usar un microcontrolador acorde al número de sensores y de ventiladores que tenga el equipo.
- Se recomienda hacer una medición de consumo energético usando un equipo permanente para poder comprobar el consumo real que se tienen debido a los picos de voltaje principalmente, los cuales no fueron considerados en el análisis de costos.
- Se recomienda hacer un análisis termodinámico que compruebe el correcto funcionamiento del sistema de ventilación.

# BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (1998). UNE-ENV 1991-4. En A. E. Certificación, *Parte 4: Acciones en silos y depósitos*.
- Air Control Industries Ltd. (2018). *ACI*. Obtenido de <https://www.aircontrolindustries.com/technical/industrial-fan-selection-guide/>
- ASABE. (1996). ASAE D272.3 MAR1996 (R2011). En A. S. Engineers, *Resistance to Airflow of grains, seeds, other agricultural products and perforated metal sheets* (págs. 1-7).
- Badiali, O. J. (2012). Manejo Poscosecha de Granos. En *Guía de trabajos prácticos: Unidad 4, 7, 8*.
- Calderon, M. (1972). Aeration of grain - Benefit and limitation. *OEPP/EPPO*, 6, 83-94.
- Catalam, J. R. (1977). Silos. En *Teoría, investigación, construcción*. Barcelona: Editores técnicos asociados, S.A.
- Clement, G. V. (2006). Estructuras de acero. Introducción al diseño. En U. N. Colombia, *Uniones Soldadas* (pág. 54). Bogotá.
- Galbarro, R. (29 de Julio de 2018). *Ingemecánica*. Obtenido de Soldadura de los aceros inoxidables: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>
- Hogan, J. T., & Karon, M. L. (1955). Hygroscopic equilibria of rough rice at elevated temperatures. *Souther Regional Research Laboratory*, 3(10), 855-860.
- IMINOX. (22 de Julio de 2018). *Acero Inoxidable Ferrítico: AISI 430 matizado mexinox*. Obtenido de Aplicaciones en techos: <http://iminox.org.mx/blog/sites/all/themes/theme669/images/Rosario/FOLLETO%20TECHOS..pdf>
- IMPORINOXSA. (28 de Julio de 2018). *Calidades y acabados del acero inoxidable*. Obtenido de <https://www.imporinox.com/acero-inoxidable/calidades-y-acabados>
- INDURA. (2010). Manual: Aceros inoxidables. En INDURA, *Soldadura de aceros inoxidables austeníticos* (págs. 37-45,47). Cerrillos: 2M Impresores Ltda.
- Iturricha, E., & Vaca, E. (2005). Manual de cosecha y poscosecha en la producción de arroz. En CIAT, *Capítulo 10: Almacenamiento* (págs. 35-43). Santa Cruz.
- Lucia, M. D., & Assennato, D. (1993). *La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. Roma: FAO.

- Martin Sprocket and Gear, Inc. (2013). El gran catálogo 4000. En *Manejo de materiales* (págs. H6-H7). Arlington, TX.
- Norton, R. L. (2009). Diseño de maquinaria. México: Mc Graw Hill.
- Onaga, G., & Phiri, N. A. (2010). Quality rice seed production manual. En G. Onaga, *Rice Seed Production* (págs. 7-13). Uganda: National Crops Resources Research Institute.
- Ravenet, J. (1977). Silos: Teoría, investigación, construcción. En J. Ravenet, *Capítulo 4: Silos metálicos* (págs. 203-228). Barcelona: Editores técnicos asociados s.a.
- Spinning, W. M. (22 de Julio de 2018). *Galvanized vs Stainless Steel Cost*. Obtenido de Strength & Weight Differences: <https://www.wenzelmetal spinning.com/galvanized-steel-vs-stainless.html>
- Structurals, S. (22 de Julio de 2018). *Stainless Steel vs. Galvanized Steel*. Obtenido de Stainless Product: <https://www.stainless-structurals.com/blog/stainless-steel-galvanized-steel/>

# **ANEXOS**

# ANEXO A

## Diseño de forma del control

### A1. Microcontrolador

Para este proyecto se ha considerado usar software y hardware libre para disminuir los costos del sistema en general. Se decide trabajar con un microcontrolador Arduino (ver figura A1), debido a que presenta mayor facilidad de uso, adicionalmente existe más disponibilidad de sensores y otros componentes necesarios para el proyecto.



Figura A1. Foto de microcontrolador Arduino [Arduino, 2018]

### A2. Sensores de temperatura y humedad

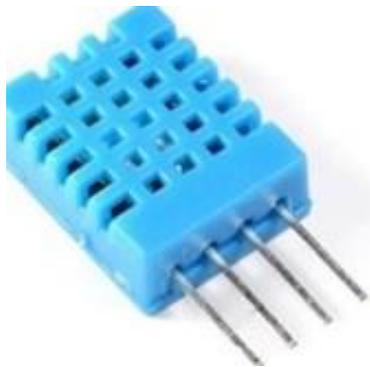
Se va a necesitar de tres sensores de temperatura de grano que van a ir en el interior del contenedor, en contacto con la masa de grano a diferentes alturas. También un sensor de temperatura ambiental y de humedad ambiental. Se seleccionan sensores que sean compatibles con el microcontrolador Arduino.

Se decide usar el sensor digital de temperatura DS18B20 (figura A2) para poder medir la temperatura en el interior del contenedor, debido a que brinda características de ser impermeable, resolución menor a 1 grado centígrado, y permite integrar varios sensores de forma simultánea. (Geekbot Electronics, 2018)



**Figura A2. Foto de sensor digital de temperatura DS18B20 [Geekbot Electronics, 2018]**

Para las mediciones del aire ambiental se decide usar un sensor digital DHT11 (figura A3), el cual consiste en un sensor capacitivo de humedad y un termistor que mide temperatura. Este sensor presenta buena resolución a bajo costo (Geekbot Electronics, 2018).

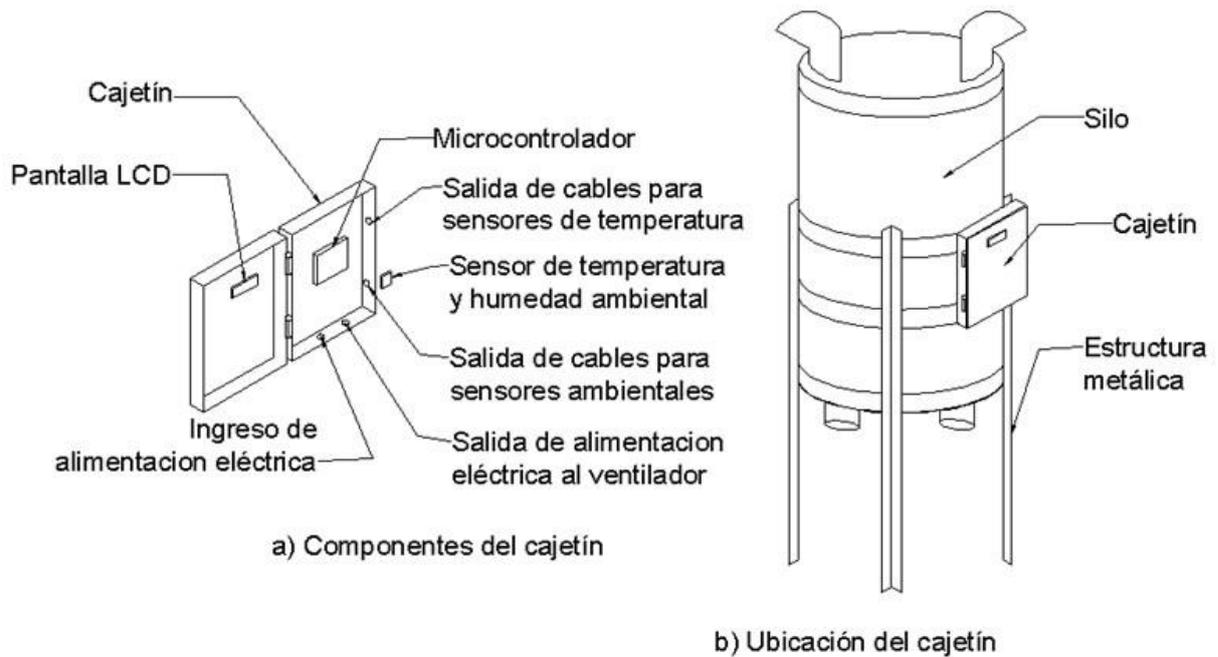


**Figura A3. Foto de sensor de humedad y temperatura DHT11 [Geekbot Electronics, 2018]**

### **A3. Adecuaciones**

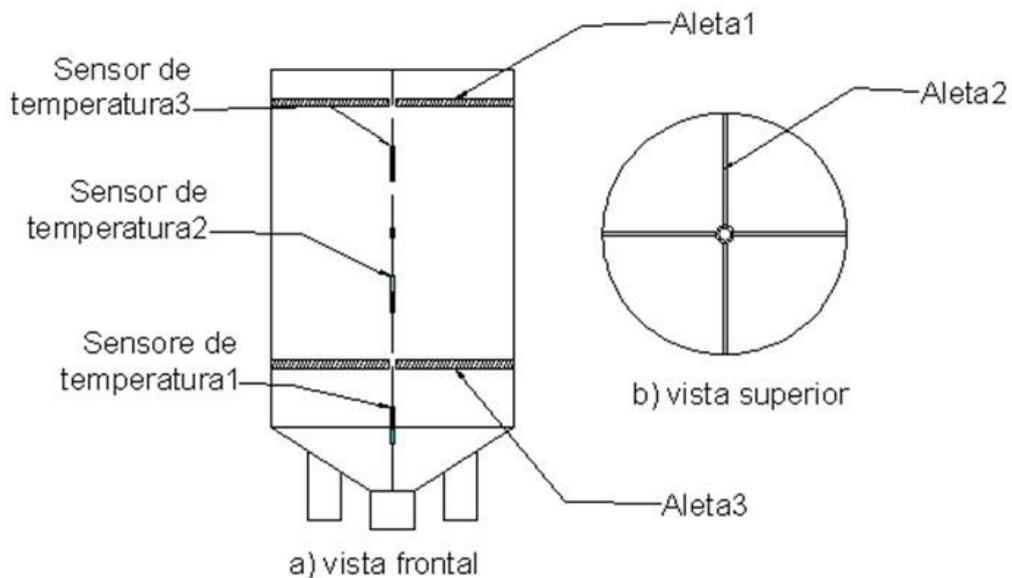
El microcontrolador debe recibir las señales dadas por cada sensor por tal motivo deberá estar lo más cerca al silo, adicionalmente es delicado por lo que necesitará de protección. Se decide añadir un cajetín a la estructura que soporta el silo para que este sirva de almacén al microcontrolador, considerando los ingresos y salidas de cables, la configuración se puede apreciar en la figura A4.

Será necesario instalar una pantalla que muestre las mediciones tomadas por los sensores para asegurar al cliente su correcto funcionamiento.



**Figura A4. Cajetín de componentes eléctricos y electrónicos [Xavier Mantilla, 2018]**

Para la colocación de sensores en la parte interna del silo, se ubican tres aletas desfasadas entre ellas 180 grados, con un agujero central donde pueda pasar el cable del sensor como se aprecia en la figura A5.



**Figura A5. Aletas internas al silo [Xavier Mantilla, 2018]**

## ANEXO B

### DISEÑO DETALLADO DEL CONTROL

#### B1. Secuencia lógica

Se desarrolla un diagrama de flujo en la figura B1 el cual indica la secuencia lógica que debe seguir el microcontrolador. Considerando que existen 2 retroalimentaciones: una cuando el ventilador no ha sido encendido y otra cuando el ventilador ya ha sido encendido.

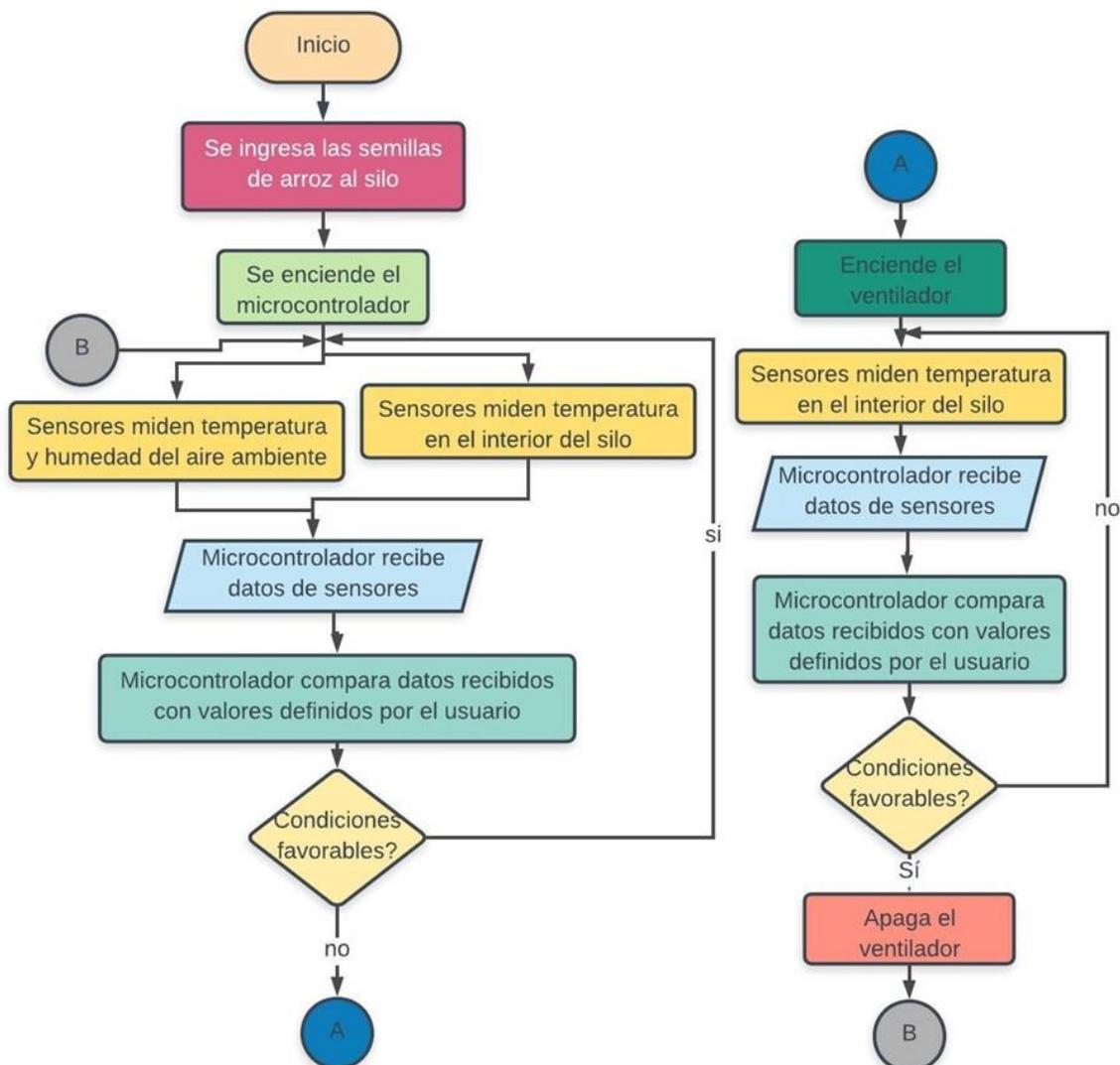


Figura B1. Diagrama de flujo del sistema de control retroalimentado [Xavier Mantilla, 2018]

## B2. Hardware

Para el encendido y apagado del ventilador se va a necesitar un relé, pero considerando la alta carga inductiva del ventilador se decide que el relé accione un contactor eléctrico, el cual va a encender y apagar el ventilador.

Para mostrar resultados de operación se decide instalar una pantalla LCD que muestre mediciones de temperatura y humedad ambiental, junto con temperatura de grano de las tres alturas diferentes. Adicionalmente se instala un módulo del tiempo para poder contabilizar el tiempo en que permanece encendido el ventilador, con el fin de poder realizar la verificación de mejor manera.

Todos los componentes utilizados deben ser compatibles con el microcontrolador Arduino, se realiza la conexión de hardware y software en base a recomendaciones halladas en internet (Valle, 2018). En la figura B2 se muestra el esquema de conexión de cada uno de los componentes descritos obtenido de Fritzing (software gratuito).

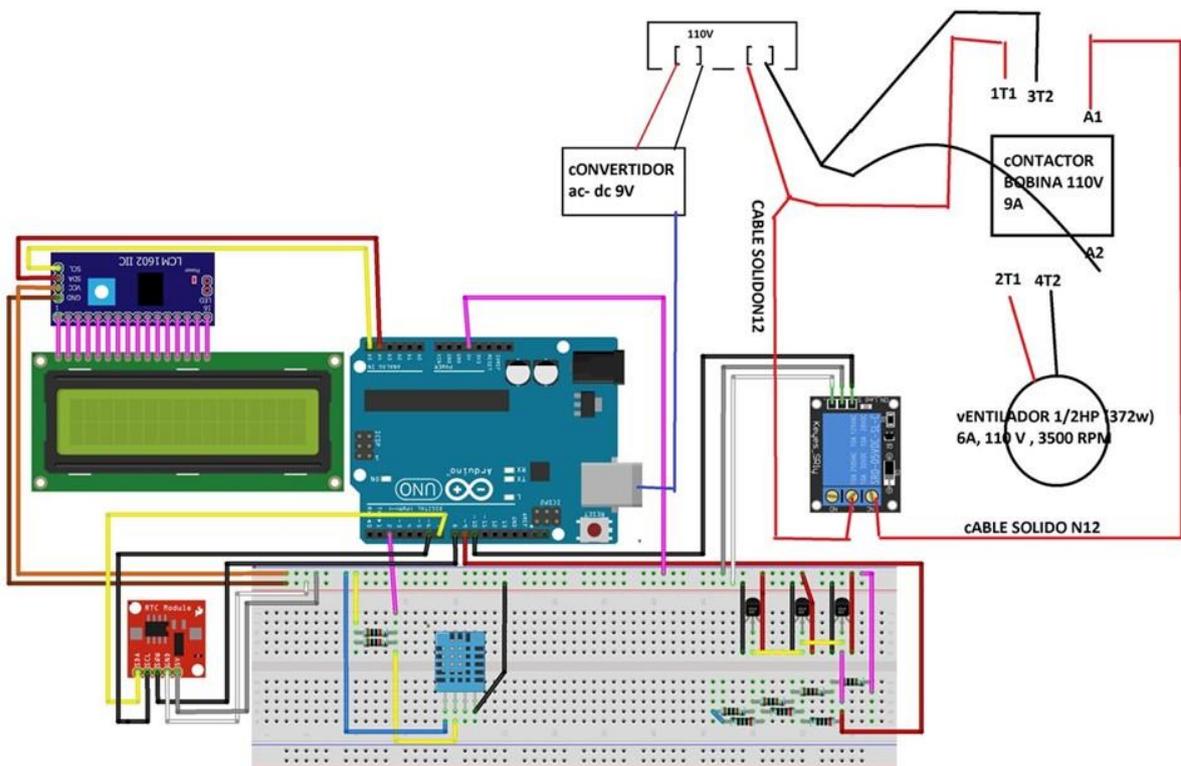


Figura B2. Esquema de conexión de componentes Arduino [Xavier Mantilla, 2018]

### B3. Software

El código del microcontrolador Arduino requiere al inicio una lectura de cada una de las variables como tiempo, fecha, temperatura y humedad. Luego por medio de un comando “while” se ingresa a un bucle donde no va a poder salir hasta que se rompa la condición definida.

La condición definida va a permitir encender el ventilador del equipo cada vez que se cumplan ciertos parámetros deseados. Como primer punto se requiere que se llegue a una misma temperatura en toda la masa del grano, para esto se define una variable que mida la diferencia de temperaturas entre el sensor de la parte superior y la parte inferior.

Como segundo punto se requiere definir la hora de ventilación, basados en las tablas 1.3 y 1.4, se selecciona las 14h00 del día para los meses de invierno y las 15h00 del día para los meses de verano.

El código completo se encuentra a continuación:

```
#include          LiquidCrystal_I2C          dht.begin();
<LiquidCrystal_I2C.h>          lcd(0x27,16,2);
#include <DHT.h>          OneWire          sensorDS18B20.begin();
#include          oneWireObjeto(pinDatos          pinMode(control,
<DallasTemperature.h>          DQ);          OUTPUT);
#define DHTPIN 2          DallasTemperature          #ifndef ESP8266
#define          DHTTYPE          sensorDS18B20(&oneW          while (!Serial); // for
DHT11          ireObjeto);          Leonardo/Micro/Zero
#include "RTClib.h"          const int control = 10 ;          #endif
#include<Wire.h>          delay(3000); // wait for
RTC_DS3231 rtc;          void setup() {          console opening
DHT          dht(DHTPIN,          Serial.begin(9600);          if (! rtc.begin()) {
DHTTYPE);          lcd.init();
const int pinDatosDQ =          lcd.backlight();          Serial.println("Couldn't
9;          lcd.clear();          find RTC");
```

```

while (1);
}
if (rtc.lostPower()) {
  Serial.println("RTC
lost power, lets set the
time!");
  // following line sets
the RTC to the date &
time this sketch was
compiled

rtc.adjust(DateTime(F(_
_DATE_),
F(_TIME_)));
  // This line sets the
RTC with an explicit date
& time, for example to set
  // January 21, 2014 at
3am you would call:
  //
rtc.adjust(DateTime(201
4, 1, 21, 3, 0, 0));
}
}
float Difmax;
float t101;
float t102;
void loop() {
  //MEDICIONES
  DateTime now =
rtc.now();
  float hu =
dht.readHumidity();

float te =
dht.readTemperature();

sensorDS18B20.request
Temperatures();
//INGRESAR EN
VARIABLES
float y = now.year();
float mo = now.month();
float d = now.day();
float h = now.hour();
float m = now.minute();
float s = now.second();
float Ta =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(0);
float Tm =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(1);
float Tb =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(2);
//OPERACIONES
float h1 = hu + 0;
float t1 = te - 0;
Difmax = Ta - Tb;
float Tbb = Tb + 0.5;
//SERIAL PRINT
MEDICIONES
Serial.print('a');
Serial.print(Ta);
Serial.print(' ');
Serial.print('m');
Serial.print(Tm);

Serial.print(' ');
Serial.print('b');
Serial.print(Tb);
Serial.print(' ');
Serial.print('d');
Serial.print(Difmax,1);
Serial.print(' ');
Serial.print('T');
Serial.print(t1,0);
Serial.print(' ');
Serial.print("H");
Serial.print(h1,0);
Serial.print(' ');
//SERIAL PRINT
TIEMPO Y FECHA
Serial.print(d,0);
Serial.print('/');
Serial.print(mo,0);
Serial.print('/');
Serial.print(y,0);
Serial.print(' ');
Serial.print(h,0);
Serial.print(':');
Serial.print(m,0);
Serial.print(':');
Serial.print(s,0);
Serial.print(' ');
Serial.print('v');
Serial.print("OFF");
Serial.print(' ');
Serial.print("Tbb");
Serial.println(Tbb);
//MOSTRAR EN LCD
lcd.clear();

```

```

lcd.setCursor(0,0);          DateTime   now   =   Serial.print('a');
lcd.print("TA:");          rtc.now();          Serial.print(Ta);
lcd.print(t1,0);          float     hu     =   Serial.print(' ');
lcd.setCursor(5,0);      dht.readHumidity(); Serial.print('m');
lcd.print("HR:");          float     te     =   Serial.print(Tm);
lcd.print(h1,0);          dht.readTemperature(); Serial.print(' ');
lcd.print(" ");           Serial.print('b');
lcd.setCursor(11,0);     sensorDS18B20.request Serial.print(Tb);
lcd.print(h,0);          Temperatures();    Serial.print(' ');
lcd.setCursor(13,0);     //INGRESAR         EN   Serial.print('d');
lcd.print(":");          VARIABLES          Serial.print(Difmax,2);
lcd.print(m,0);          float y = now.year(); Serial.print(' ');
lcd.setCursor(0,1);     float     mo     =   Serial.print("T");
lcd.print("Ta:");        now.month();        Serial.print(t1,0);
lcd.print(Ta,0);         float d = now.day(); Serial.print(' ');
lcd.setCursor(5,1);     float h = now.hour(); Serial.print("H");
lcd.print("Tm:");        float     m     =   Serial.print(h1,0);
lcd.print(Tm,0);        now.minute();       Serial.print(' ');
lcd.setCursor(10,1);    float s = now.second(); //SERIAL   PRINT
lcd.print("Tb:");        float     Ta     =   TIEMPO Y FECHA
lcd.print(Tb,0);        sensorDS18B20.getTem Serial.print(d,0);
lcd.print("C");          pCByIndex(0);      Serial.print('/');
//ssave time           float     Tm     =   Serial.print(mo,0);
t101=h;                 sensorDS18B20.getTem Serial.print('/');
t102=m;                 pCByIndex(1);      Serial.print(y,0);
//ventilación         de   float     Tb     =   Serial.print(' ');
mantenimiento          sensorDS18B20.getTem Serial.print(h,0);
while(Difmax >= 0 &&    pCByIndex(2);      Serial.print(':');
Ta >= Tbb && h >= 14   //OPERACIONES      Serial.print(m,0);
&& h <= 16){          float h1 = hu + 0;  Serial.print(':');
    //MEDICIONES      float t1 = te - 0;  Serial.print(s,0);
    Difmax = Ta - Tb; Serial.print(' ');
digitalWrite(control,HIG //SERIAL   PRINT    Serial.print('v');
H);                   MEDICIONES          Serial.print("ON ");

```

```

Serial.print(' ');
//SERIAL PRINT
VENTILADOR
Serial.print("Tbb");
Serial.print(Tbb);
Serial.print(' ');
//start time
Serial.print("Start");
Serial.print(t101,0);
Serial.print(':');
Serial.print(t102,0);
Serial.println(' ');
//MOSTRAR EN LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ON");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(t101,0);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print(t102,0);
lcd.print("-");
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print(h,0);
lcd.setCursor(12,0);
lcd.print(":");
lcd.print(m,0);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("a");
lcd.print(Ta,1);
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("m");
lcd.print(Tm,1);
lcd.setCursor(10,1);

lcd.print("b");
lcd.print(Tb,1);
lcd.print(" ");
delay(10000);
}
while(Difmax >= 0 &&
h1 <= 65 && t1 <= 32){
//MEDICIONES
digitalWrite(control,HIGH);
DateTime now =
rtc.now();
float hu =
dht.readHumidity();
float te =
dht.readTemperature();

sensorDS18B20.request
Temperatures();
//INGRESAR EN
VARIABLES
float y = now.year();
float mo =
now.month();
float d = now.day();
float h = now.hour();
float m =
now.minute();
float s = now.second();
float Ta =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(0);

float Tm =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(1);
float Tb =
sensorDS18B20.getTem
pCByIndex(2);
//OPERACIONES
float h1 = hu + 0;
float t1 = te - 0;
Difmax = Ta - Tb;
//SERIAL PRINT
MEDICIONES
Serial.print('a');
Serial.print(Ta);
Serial.print(' ');
Serial.print('m');
Serial.print(Tm);
Serial.print(' ');
Serial.print('b');
Serial.print(Tb);
Serial.print(' ');
Serial.print('d');
Serial.print(Difmax,2);
Serial.print(' ');
Serial.print('T');
Serial.print(t1,0);
Serial.print(' ');
Serial.print("H");
Serial.print(h1,0);
Serial.print(' ');
//SERIAL PRINT
TIEMPO Y FECHA
Serial.print(d,0);
Serial.print("/");

```

```

Serial.print(mo,0);
Serial.print('/');
Serial.print(y,0);
Serial.print(' ');
Serial.print(h,0);
Serial.print(':');
Serial.print(m,0);
Serial.print(':');
Serial.print(s,0);
Serial.print(' ');
Serial.print('v');
Serial.print("ON ");
Serial.print(' ');
//SERIAL PRINT
VENTILADOR
Serial.print("Tbb");
Serial.print(Tbb);
Serial.print(' ');
//start time

Serial.print("Start");
Serial.print(t101,0);
Serial.print(':');
Serial.print(t102,0);
Serial.println(' ');
//MOSTRAR EN LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("ON");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(t101,0);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(6,0);
lcd.print(t102,0);
lcd.print("-");
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print(h,0);
lcd.setCursor(12,0);
lcd.print(":");

lcd.print(m,0);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("a");
lcd.print(Ta,1);
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("m");
lcd.print(Tm,1);
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("b");
lcd.print(Tb,1);
lcd.print(" ");
delay(10000);
}

digitalWrite(control,LOW);
delay(10000);
}

```

## ANEXO C

### Desarrollo de cálculos

#### C1. Cálculos desarrollados en el cuerpo principal

El enfoque de esta sección requiere el cálculo de presiones del silo para así obtener cual sería el espesor mínimo por considerar para la construcción del cuerpo principal. En la figura C1 se aprecia las presiones originadas por el producto almacenado, junto con los espesores a considerar.

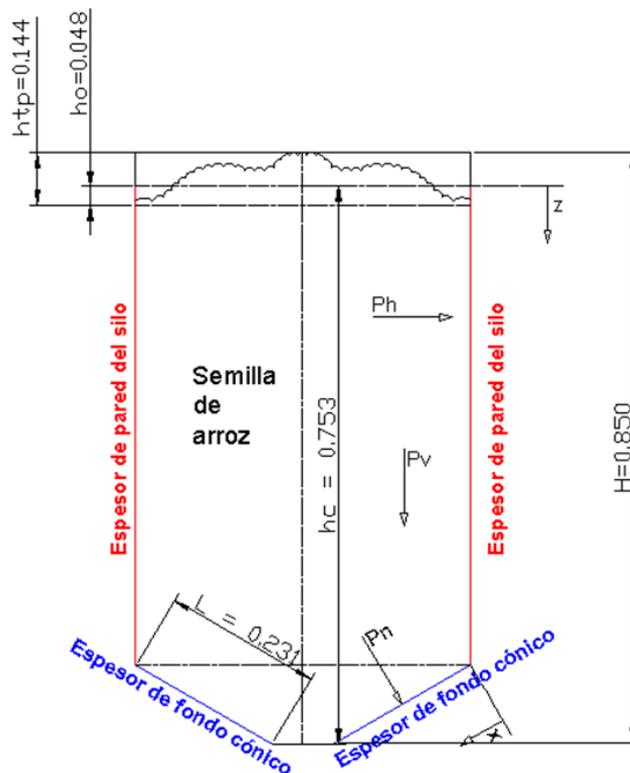


Figura C1. Gráfico de espesor a calcular y presiones [Xavier Mantilla, 2018]

La altura útil se calcula por medio de un análisis geométrico y la ayuda del ángulo de reposo del producto. Se desarrolla las siguientes ecuaciones:

$$h_c = H + h_o - h_{tp}$$

Donde:

$$h_o = \frac{D}{6} * \tan(\alpha)$$

$$h_o = \frac{0.5}{6} * \tan(30) = 0.048$$

$$h_{tp} = 3 * h_o$$

$$h_{tp} = 3 * 0.048 = 0.14$$

Entonces conociendo que las paredes del silo se encontraban definidas con una altura de 850 cm, la altura útil queda calculada como:

$$h_c = 0.850 + 0.048 - 0.14 = 0.754$$

Se calcula la presión horizontal con la ecuación 2.1:

$$p_{hf}(z) = \frac{\gamma * A}{\mu * U} * C_z(z)$$

El perímetro interior lo he obtenido con el diámetro del silo:

$$U = \pi * \phi = 3.1416 * 0.5 = 1.57 [m]$$

El área transversal obtenido con el diámetro del silo es el siguiente:

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4} = \frac{\pi * 0.5^2}{4} = 0.196 [m^2]$$

En base al flujo del arroz cascara C1/2-35N, dado que no se tiene el mismo material se decide seleccionar los factores que asemejen el flujo y propiedades del producto: se asemejan el Clinker de cemento y el trigo. El trigo con código

c1/2-25N se asemeja en flujo y en tamaño de grano, los factores asociados a este material son los siguientes:

$$K_{s,m} = 0.5175$$

$$\mu_m = 0.45$$

El coeficiente de fricción en base a tablas del estándar es el siguiente:

$$\mu = 0.9 * \mu_m = 0.9 * 0.45 = 0.405$$

La relación de presiones se obtiene mediante lo siguiente:

$$K_s = 1.15 * K_{s,m} = 1.15 * 0.5175 = 0.5175$$

El coeficiente de Jansen se calcula en base a la altura dentro del silo:

$$C_z(z) = 1 - e^{\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

El valor de  $z_0$  se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$z_0 = \frac{h_c}{2} = 0.376 \text{ [m]}$$

Para la máxima altura 0.69m:

$$C_z(max) = 1 - e^{\left(\frac{0.75 \text{ [m]}}{0.37 \text{ [m]}}\right)} = 0.86$$

Con una densidad máxima de 576 kg/m<sup>3</sup>:

$$p_{hf}(máx) = \frac{576 \left[\frac{kg}{m^3}\right] * 0.196 \text{ [m}^2\text{]}}{0.405 * 1.57 \text{ [m]}} * 0.86$$

$$p_{hf}(m\acute{a}x) = 62 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Espesor de pared en base a la presi3n horizontal m\acute{a}xima:

$$t_p = \frac{p_{hf} * D}{20 * \sigma_{adm}}$$

El esfuerzo admisible se obtiene en base a la selecci3n del material:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} = \frac{2400 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]}{1.57} = 1528 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Usando la ecuaci3n 2.7 se obtiene lo siguiente:

$$t_p = \frac{0.86 * 0.5}{20 * 1528} = 0.001 \text{ mm}$$

Se calcula la presi3n vertical mediante la ecuaci3n 2.2:

$$p_v(z) = \frac{\gamma * A}{K_s * \mu * U} * C_z(z)$$

La m\acute{a}xima presi3n se obtiene en la mayor altura:

$$p_v(max) = \frac{576 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0.196 [m^2]}{0.5175 * 0.405 * 1.57 [m]} * 0.86$$

$$p_v(max) = 297 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La presi3n normal se calcula mediante la ecuaci3n 2.3:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) * \frac{x}{I_h}$$

La presión normal 1 se halla con la ecuación 2.4 considerando un coeficiente de mayoración de 1.2 (según euro código) junto con el ángulo de tolva de 30 grados.

$$p_{n1} = p_{v0} * (C_b * \cos^2(\alpha) + \text{sen}^2(\alpha)) = 297 \left[ \frac{kg}{m^2} \right] * (1.2 * \cos(30)^2 + \text{sen}(30)^2)$$

$$p_{n1} = 341 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La presión normal 2 se obtiene con la ecuación 2.5:

$$p_{n2} = C_b * p_{v0} * \cos^2(\alpha) = 1.2 * 228 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] * \cos(30)^2$$

$$p_{n2} = 267 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La presión normal 3 se obtiene con la ecuación 2.6:

$$p_{n3} = 3.0 * \frac{A}{U} * \frac{\gamma * K_s}{\sqrt{u}} * \text{sen}^2(\alpha)$$

$$p_{n3} = 3.0 * \frac{0.196 [m^2]}{1.57 [m]} * \frac{576 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0.5175}{\sqrt{0.405}} * \text{sen}(30)^2$$

$$p_{n3} = 44 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La presión normal máxima se obtiene cuando la distancia es la máxima 0.231 igual que lh:

$$p_n = 44 + 267 + (341 - 267) * \frac{0.231}{0.231}$$

$$p_n = 385 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

El espesor de tolva se calcula en base a la presión normal con la ecuación 2.8:

$$t_t = \frac{p_n * D}{2 * \cos(\alpha) * 100 * \sigma_{adm}} = \frac{385 * 0.5}{2 * \cos(30) * 100 * 1528}$$

$$t_t = 0.00072 \text{ [mm]}$$

## C2. Cálculos desarrollados en soportes del sistema

Para calcular la carga total se utiliza la ecuación 2.9 considerando el peso de la semilla y el peso del tanque:

$$w_s = 76 \text{ kg}$$

$$w_t = 33 \text{ kg}$$

$$w = 76 + 33 = 109 \text{ kg}$$

Luego con la ecuación 2.10 se obtiene la carga por cada perfil:

$$w_i = \frac{w}{3} = \frac{(109 * 9.8)}{3} = 354 \text{ N}$$

Considerando material: Acero AISI 304 rolado en frio ángulo 2x 3/16 "  $S_y=1103$  MPa,  $S_{ut}=1276$  MPa. La forma geométrica del perfil es la siguiente (ver figura C2):  
 $E = 50 \text{ mm}$   $D = 50 \text{ mm}$   $F = 4 \text{ mm}$

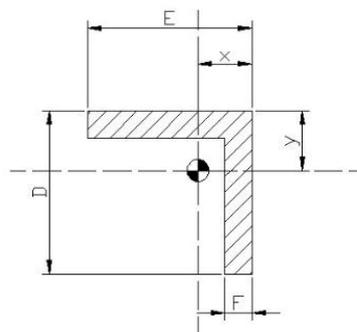


Figura C2. Forma geométrica del perfil [Xavier Mantilla, 2018]

Luego se realiza el cálculo la ubicación del centroide:

$$x = \frac{50 * 50 * 25 - 46 * 46 * 27}{50 * 50 - 46 * 46} = 13.97 \text{ mm}$$

También se realiza el cálculo del momento de inercia:

$$I = \left( \frac{50 * 50^3}{12} + 50 * 50 * (25 - 14.70)^2 \right) - \left( \frac{44 * 44^3}{12} + 44 * 44 * (22 - 8.7)^2 \right)$$

$$I = 92607 \text{ mm}^4$$

Calculamos la distancia del eje central hasta el centroide (ver figura C3):

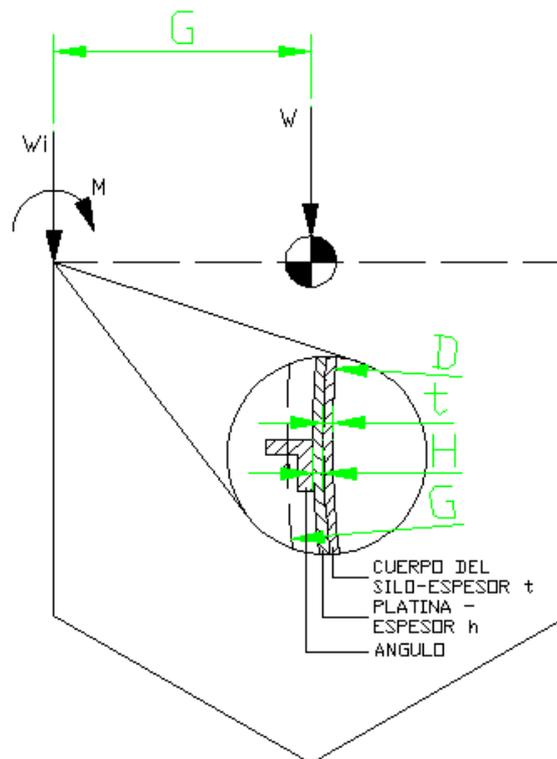


Figura C3. Calculo de brazo de momento [Xavier Mantilla, 2018]

Considerando una plancha de espesor  $t = 1.5 \text{ mm}$  y una platina de espesor  $H = 4 \text{ mm}$ :

$$G = \frac{500}{2} + 1.5 + 4 + 14 = 269.5 \text{ mm}$$

Se calcula el momento con la ecuación 2.11:

$$M = 354 * 0.269.5 = 96 Nm$$

Se calcula el esfuerzo a la compresión mediante la ecuación 2.13:

$$\sigma_c = \frac{W_i}{A} = \frac{354}{380 \times 10^{-6}} = 0.923 MPa$$

El esfuerzo de flexión en la parte de compresión se calcula mediante ecuación 2.14 y la parte de tensión mediante ecuación 2.15:

$$\sigma_{fc} = \frac{M * c}{I} = \frac{96 * 0.0147}{9.3 \times 10^{-8}} = 14.4 MPa$$

$$\sigma_{ft} = \frac{Mc}{I} = \frac{96 * (0.05 - 0.0147)}{9.3 \times 10^{-8}} = 37.2 MPa$$

El esfuerzo interno es calculado con la ecuación 2.16 y el esfuerzo externo con la ecuación 2.17:

$$\sigma_{ext} = 37.2 - 0.923 = 36.2 MPa$$

$$\sigma_{int} = 14.4 + 0.927 = 15.3 MPa$$

Calculamos el factor de seguridad externo con ecuación 2.18:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{ext}} = \frac{1103 MPa}{36.2 MPa} = 30$$

Calculamos el factor de seguridad interno con ecuación 2.19:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{1103 MPa}{15.3 MPa} = 72$$

### C3. Cálculos desarrollados en sistema de ventilación

Basado en el curso de manejo de postcosecha ing. Agr. Orlando., la presión estática por metro de altura de la capa de granos se obtiene mediante la relación de Shedd con la ecuación 2.20:

$$\Delta P' = \frac{a * Q_a^2}{\ln(1 + b * Q_a)}$$

Donde:

$Q_a$  : es el caudal por unidad de superficie de piso del silo

$a, b$  : son constantes para airear cada tipo de grano

Para el arroz con cascara  $a=25700$ ,  $b=13.2$  (en unidades del sistema internacional) El flujo requerido para poder enfriar la masa de semillas se debe encontrar en el rango de 3 a 15 m<sup>3</sup>/h/ton.

El área del piso se calcula con la ecuación 2.21:

$$A_p = \frac{\pi * 0.5^2}{4} = 0.1963 \text{ m}^2$$

El área perforada para la ventilación es calculada con la ecuación 2.22:

$$A_v = 3 * (0.1 * 0.08) = 0.024 \text{ m}^2$$

El porcentaje de área perforada es la siguiente:

$$\% = \frac{0.024}{0.1963} = 13.2 \%$$

Donde si este valor es mayor al 10% las perdidas en los conductos no se consideran significativos.

Para que un sistema sea eficiente la razón entre altura y diámetro de silo debe ser menor o igual a 1.5, en nuestro caso se tiene lo siguiente:

$$\frac{\text{altura}}{\emptyset} = \frac{0.742}{0.55} = 1.34$$

Para un flujo de  $11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  /ton o  $101 \text{ CFM}$  , se tiene un caudal por unidad de superficie de  $Q_a = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{s}}$  y por medio de la formula de sheed tomando en cuentas las consideraciones para airear arroz con cascara se tiene la perdida de presión por metro de altura:

$$\Delta P' = \frac{25700 * 0.21^2}{\ln(1 + 13.2 * 0.21)} = 831 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Si consideramos una altura útil de 0.735 m. Obtenemos la caída de presión máxima que deberá romper el ventilador centrifugo instalado:

$$\Delta P = \Delta P' * m = 831 * 0.735 = 611 \text{ Pa}$$

La potencia del ventilador requerida es calculada con la ecuación 2.23, considerando un caudal de 2.40 m<sup>3</sup>/min:

$$HP = \frac{\Delta P * Q}{45 * 60}$$

$$HP = \frac{611 * 2.40}{45 * 60} = 0.5$$

## ANEXO D

### Fotos de construcción, instalación y prueba del equipo

#### D1. Construcción del equipo

A continuación, se tienen fotos de la construcción de cada una de las diferentes partes que componen el equipo:



Figura D1. Tapa de tanque contenedor con respiraderos instalado [Xavier Mantilla, 2018]



Figura D2. Tanque contenedor junto con base cónica y agujeros [Xavier Mantilla, 2018]



**Figura D3. Platinas que abrazan al tanque contenedor [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D4. Perfiles que forman parte de la estructura de soporte [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D5. Cajetín eléctrico listo para ubicar en la estructura de soporte [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D6. Unión de ventilador junto con su integración con el control [Xavier Mantilla, 2018]**

## **D2. Instalaciones del equipo**

Se presentan fotos de la instalación de los diferentes componentes electrónicos y la instalación de un punto eléctrico para poder energizar el equipo:



**Figura D7. Creación de un punto de corriente eléctrica [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D8. Ubicación del silo en la vivienda del agricultor [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D9. Equipo energizado e instalado en su lugar de operación [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D10. Pantalla Lcd muestra datos ambientales y temperatura de grano [Xavier Mantilla, 2018]**

### D3. Prueba de funcionamiento

A continuación, se tienen fotos de las pruebas de funcionamiento y del equipo terminado instalado en su lugar de operación:



Figura D11. Equipo en su capacidad máxima de almacenamiento [Xavier Mantilla, 2018]



Figura D12. Prueba de funcionamiento, medición de flujo de corriente [Xavier Mantilla, 2018]



Figura D13. Prueba de funcionamiento, medición de voltaje [Xavier Mantilla, 2018]



Figura D14. Prueba de funcionamiento, medición de corriente [Xavier Mantilla, 2018]



**Figura D15. Medición de humedad de grano con un equipo digital [Xavier Mantilla, 2018]**



**Figura D16. Toma de muestra para realizar pruebas de germinación [Xavier Mantilla, 2018]**



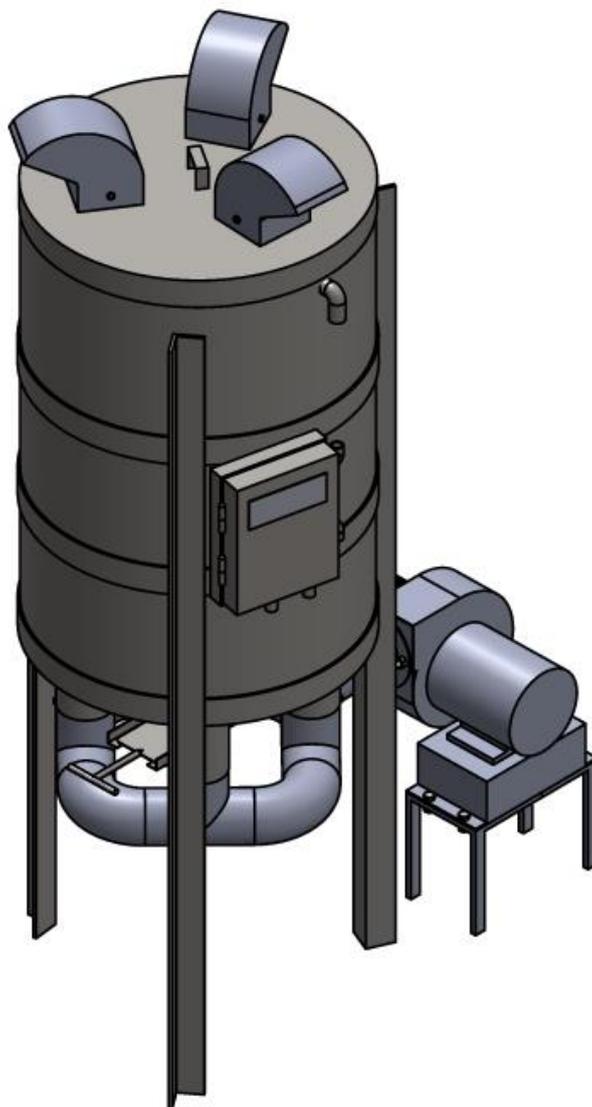
**Figura D17. Entrega del equipo junto con manual de funcionamiento [Xavier Mantilla, 2018]**

## ANEXO E

### Manual de instrucción del operador

Sistema de almacenamiento de semillas de arroz

Modelo 001



Advertencia

Leer y entender este manual antes de usar el equipo

## Contenido

- E1. Introducción
- E2. Medidas de seguridad
- E3. Características generales
- E4. Descripción de partes
- E5. Instrucciones de operación
- E6. Mantenimiento del equipo
- E7. Reemplazo de partes

## **E1. Introducción**

Se tiene un sistema de almacenamiento de semillas de arroz, dado a su construcción de acero inoxidable me va a dar aislación térmica junto a su cierre hermético que impide le ingreso de aire ambiente y de insectos o plagas.

El sistema de conservación se basa en la ventilación, consiste en ingresar aire ambiente que realice un enfriamiento de la semilla, reduciendo el crecimiento de plagas, manteniendo la calidad de la semilla, evitando la migración de humedad y la formación de puntos calientes.

## **E2. Medidas de seguridad**

Para evitar posibles lesiones personales, y daños al equipo, a continuación, se detallan las siguientes reglas:

- No conectar mas voltaje que el requerido por el equipo.
- No manipular el cajetín eléctrico del equipo, a pesar de que maneja valores bajo de corriente, podría causar un choque eléctrico en las personas.
- No tirar agua en el lugar donde se encuentra el equipo, recordemos que se tiene un equipo que funciona con electricidad y dado a su condición metálica puede comunicar fácilmente la electricidad con el potencial de producir un accidente.
- No contaminar el aire circundante al equipo. Si se va a realizar alguna tarea de soldadura o pintura se debería considerar apagar el equipo por si el control automático decida encender el ventilador. Este aire contaminado va a llegar a afectar a la semilla, reduciendo su tiempo de vida.

### E3. Características generales

Dimensiones	:170x94x69 cm
Peso (sin producto)	: 75 kg
Suministro de energía	:110v
Tamaño de pantalla LCD	:17x2cm
Temperatura ambiental de operación	: 25 -40 C
Humedad relativa ambiental de operación	:50-100%HR
Humedad de grano a mantener	:12-13%
Temperatura de grano a mantener	:20-30 C

### E4. Descripción de partes

En general el equipo puede ser dividido en tres partes (ver figura E1): 1. Cuerpo principal, 2. Soportes del sistema y 3. Sistema de ventilación.

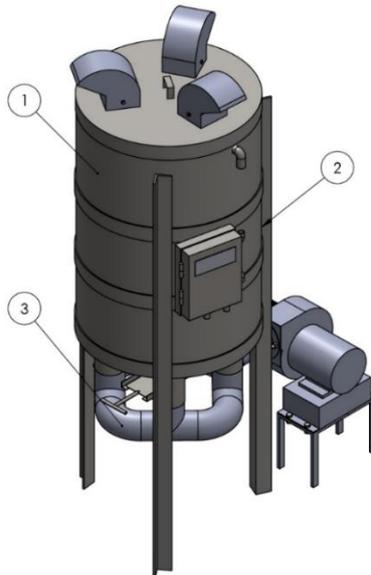
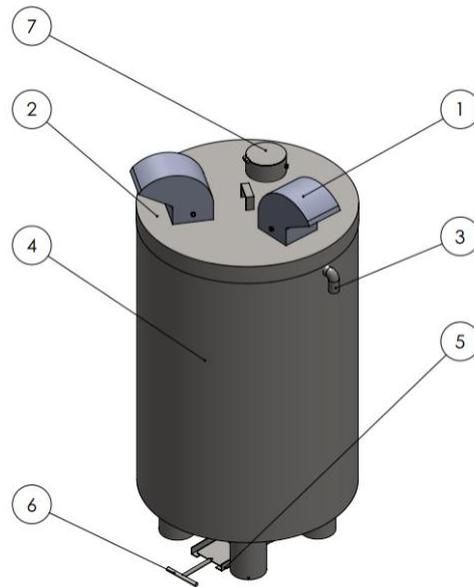


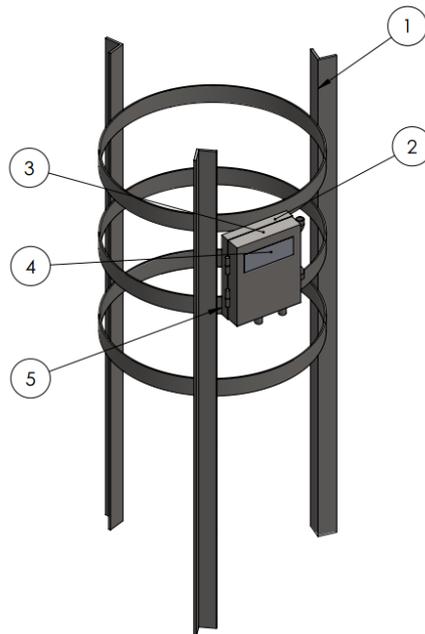
Figura E1. Dibujo general del equipo [Xavier Mantilla,2018]

El cuerpo principal puede ser dividido en 7 partes (Ver figura E2): 1. Respiradero del silo, 2. Tapa superior del silo, 3. Codo termometría del silo, 4. Cuerpo contenedor, 5. Válvula de compuerta, 6. Guillotina y 7. Tapas de respiraderos.



**Figura E2. Dibujo del cuerpo principal [Xavier Mantilla, 2018]**

Los soportes del sistema pueden ser subdivididos en 7 partes (Ver figura E3): 1. Estructura de soporte, 2. Base del cajetín eléctrico, 3. Tapa del cajetín eléctrico, 4. Acrílico visor del cajetín y 5. Acrílico base del cajetín.



**Figura E3. Dibujo del soporte del sistema. [Xavier Mantilla,2018]**

El cajetín eléctrico (ver figura E4) presenta una pantalla led que puede dar información muy importante para la conservación de la semilla, exponiendo parámetros como temperatura y humedad.



**Figura E4. Cajetín eléctrico [Xavier Mantilla, 2018]**

La pantalla del sistema de control como se aprecia en la figura E5 se inicia y muestra en dos filas de información. En la primera fila presenta la temperatura ambiental, la humedad relativa ambiente y la hora actual, mientras que en la segunda fila muestra las tres diferentes temperaturas en el interior del cuerpo contenedor (alta, media y baja).



**Figura E5. Pantalla led presentación 1 [Xavier Mantilla, 2018]**

Cuando se encuentra condiciones desfavorables el ventilador debe encender de forma automática y la pantalla del sistema de control cambia de forma como se aprecia en la figura E6. En la primera fila muestra la palabra ON (en español encendido) que indica que el ventilador ha sido encendido, luego muestra la hora de inicio de la ventilación, por último, presenta la hora actual. En la segunda fila muestra cada una de las temperaturas (alta media y baja) pero con mayor resolución para poder obtener una mejor diferencia de temperatura.



**Figura E6. Pantalla led presentación 2 [Xavier Mantilla, 2018]**

El sistema de ventilación puede ser subdividido en 7 partes (Ver figura E7): 1. Filtro de aire, 2. Ductos de ventilación, 3. Ventilador centrífugo ½ HP y 4. Estructura del ventilador.

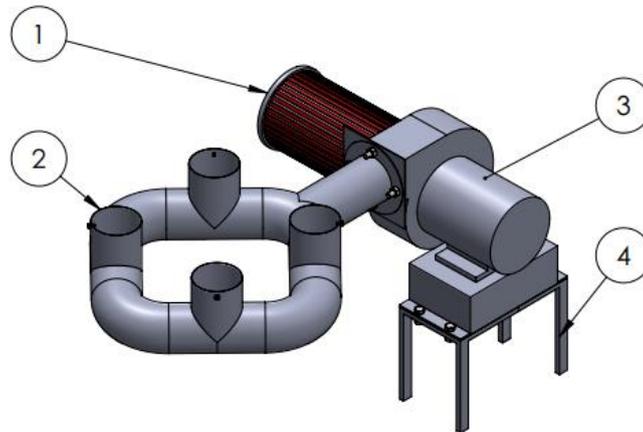


Figura E7. Dibujo del sistema de ventilación [Xavier Mantilla, 2018]

#### E5. Instrucciones de operación

1. Ubicar en un lugar bajo sombra donde exista poco tránsito de personas.
2. Levantar la tapa superior del tanque contenedor.
3. Ingresar las semillas de arroz al tanque esparciéndolo de manera uniforme por todo el volumen, luego colocar la tapa en su lugar.
4. Conectar el enchufe color negro a un tomacorriente de 110v.
5. Verificar en pantalla los datos de temperatura sean consistentes con lo explicado en ese manual
6. Conectar el enchufe de color amarillo a un tomacorriente de 110 v.
7. El equipo funciona de manera automática, no necesita de algún paso de operación adicional.
8. En casos normales de operación el equipo encenderá el ventilador durante 15 a 20 min una vez por día entre 2pm y 3pm.

## **E6. Mantenimiento del equipo**

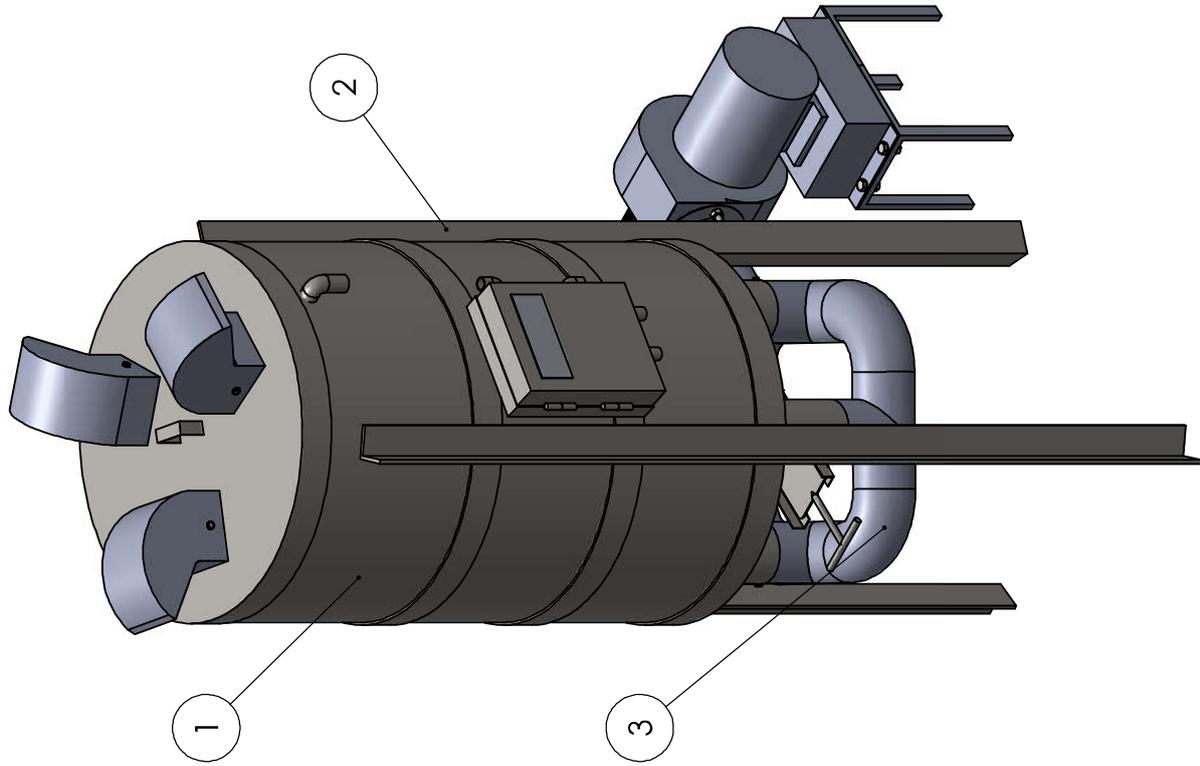
El equipo fue diseñado de tal forma que el usuario tengo que realizar el mínimo de mantenimiento al equipo. A continuación, se detallan varios ítems que se deben revisar para tener el correcto funcionamiento del equipo:

- Verificar que filtro de aire se encuentre fijo y embonado en el orificio de entrada de aire, es decir que no exista un espacio donde pueda ingresar aire sin pasar por el filtro.
- Cada seis meses o cada ciclo de cosecha, antes de ingresar la nueva semilla al equipo se debe limpiar el tanque de almacenamiento con un paño limpio y seco, y adicionalmente se debe limpiar el filtro de aire con una brocha o aire comprimido.
- Anualmente se debe realizar el cambio de filtro de aire, como máximo año y medio depende de las condiciones en que se encuentre el filtro.
- Se debe revisar el motor del ventilador anualmente en especial si se nota un sonido diferente al del funcionamiento normal.

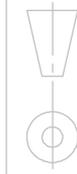
## **E7. Reemplazo de partes**

- El filtro de aire es de marca SHOGUN, se lo encuentra comercialmente como un filtro de aire de camión con código RBA198. Fue adquirido en el centro de la ciudad de Guayaquil, local Su filtro, dirección: 10 de agosto #1728 y José de Mascote esquina. Telf.: 2374945 -2378341 correo: jorg.garcia69@hotmail.com, cel.: 0998161179.
- El ventilador fue adquirido en la importadora china Forever S.A., dirección: Av. Juan Tanca Marengo km 0.5 Coop. Guayaquil Mz 19 solar 11 edificio Taiwán, telf.: 2291278 -2287308.
- El equipo en general fue diseñado y construido por Xavier Mantilla, celular: 0983651240, correo: xmantill@espol.edu.ec.

**ANEXO F**  
**Planos de fabricación**

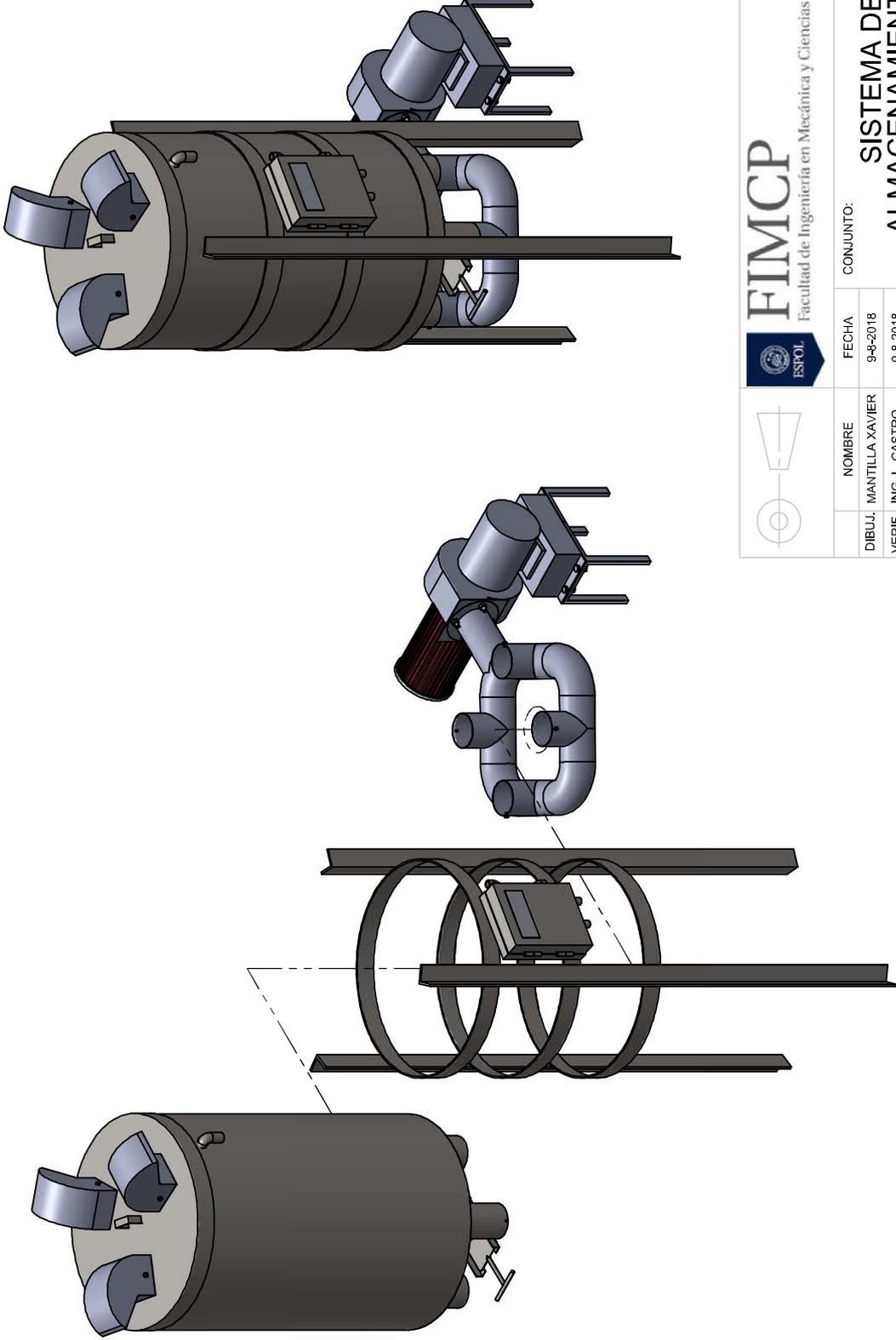


N. DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
1	CUERPO PRINCIPAL
2	SOPORTES DEL SISTEMA
3	SISTEMA DE VENTILACIÓN



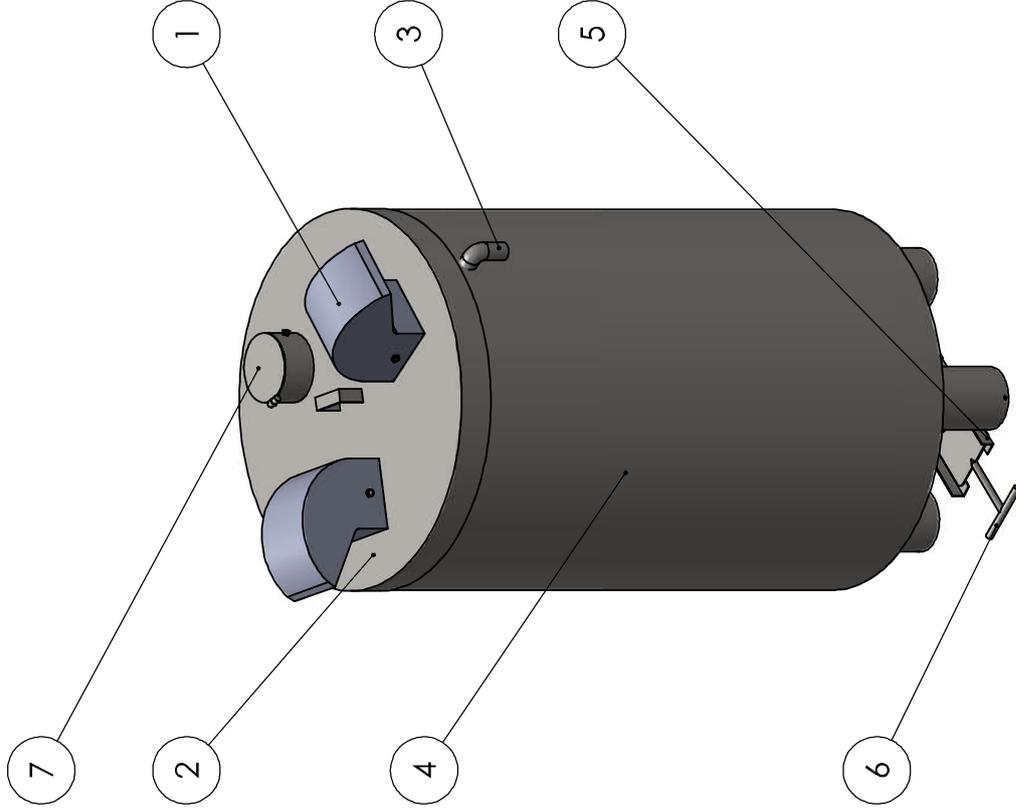
**FIMCP**  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

CONJUNTO:		TÍTULO:	
NOMBRE	FECHA	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	A4
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018		
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	ENSAMBLE GENERAL	1
PLANO GENERAL		ESCALA: 1:10 HOJA 1 DE 1	



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

NOMBRE		FECHA	
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018	
VERIF.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
CONJUNTO:			
<b>SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ</b>			
VISTA EXPLOSIONADA		TITULO:	
		ENSAMBLE GENERAL	
		A4	
		2	
		ESCALA: 1:15	
		HOJA 1 DE 1	



N DE ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL
1	RESPIRADEROS DEL SILO	3	ACERO INOX. 304 2B
2	TAPA SUPERIOR DEL SILO	1	ACERO INOX. 304 2B
3	CODO TERMOMETRÍA DEL SILO	1	ACERO INOX. 304 2B
4	CUERPO CONTENEDOR	1	ACERO INOX. 304 2B
5	VALVULA DE COMPUERTA	1	ACERO INOX. 304 2B
6	GUILLOTINA.	1	ACERO INOX. 304 2B
7	TAPA DE RESPIRADERO	3	ACERO INOX. 304 2B



Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ**

PLANO GENERAL

TITULO:

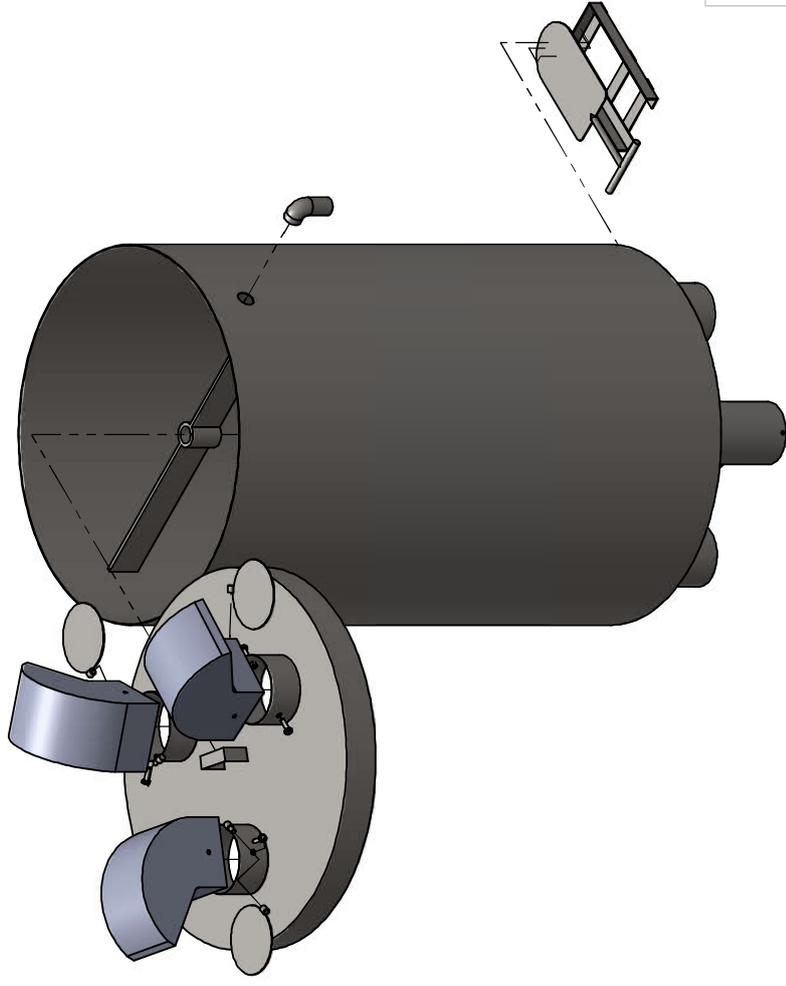
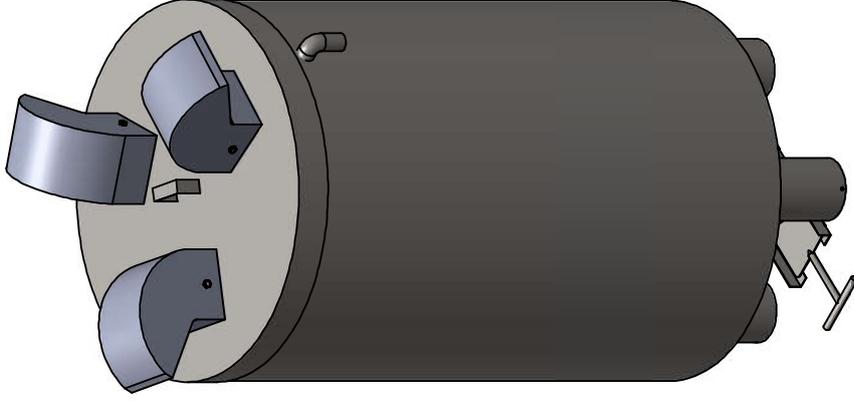
CUERPO PRINCIPAL

A4

3

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1



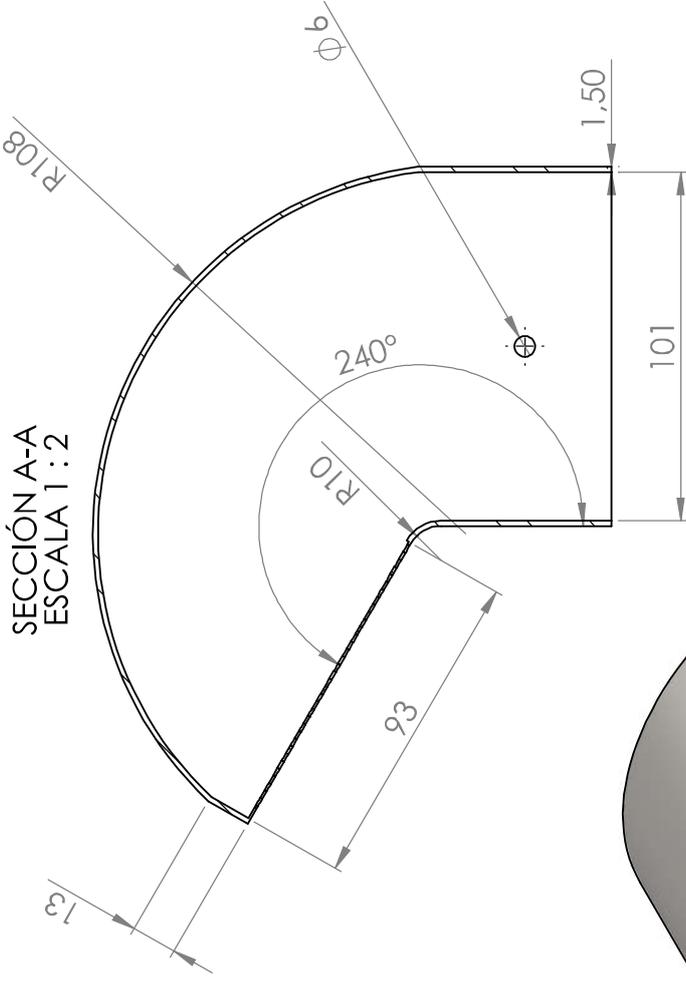
CONJUNTO:	
NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

TITULO:	CUERPO	A4
	PRINCIPAL	4
ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1

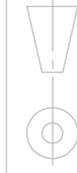
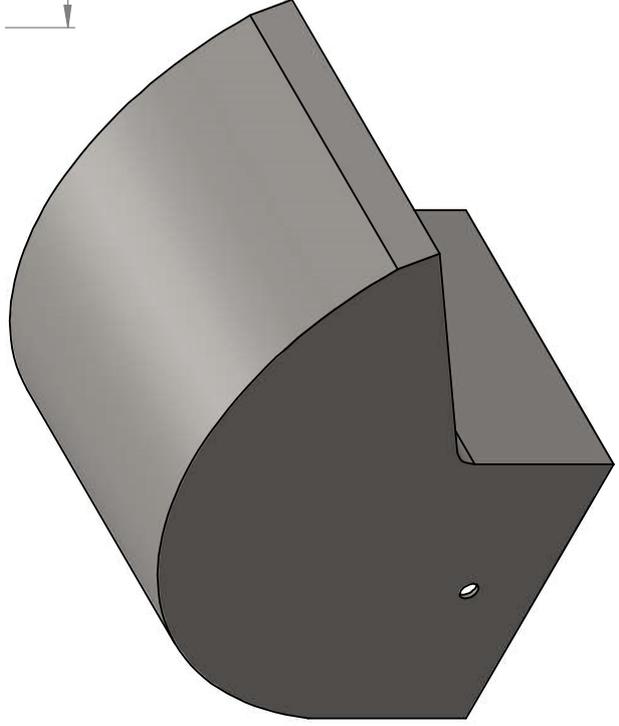
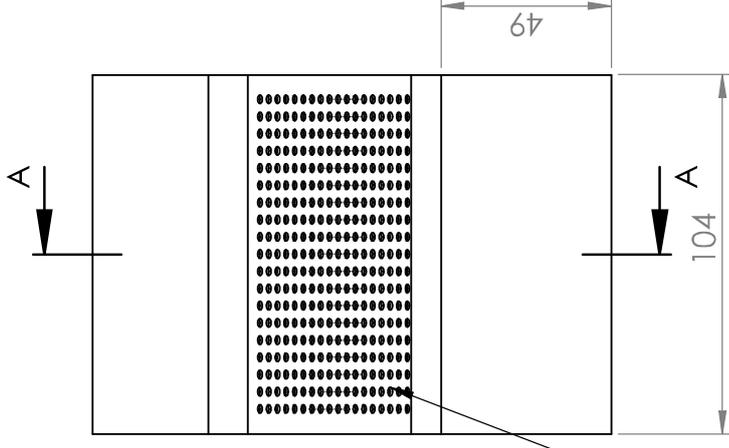
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ

VISTA EXPLOSIONADA

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:2



PLANCHA PERFORADA  
 $\varnothing$  3.36mm 19X18 AGUJEROS



**FIMCP**

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

**SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE  
SEMILLA DE ARROZ**

MATERIAL:  
**ACERO INOX.  
304 2B**

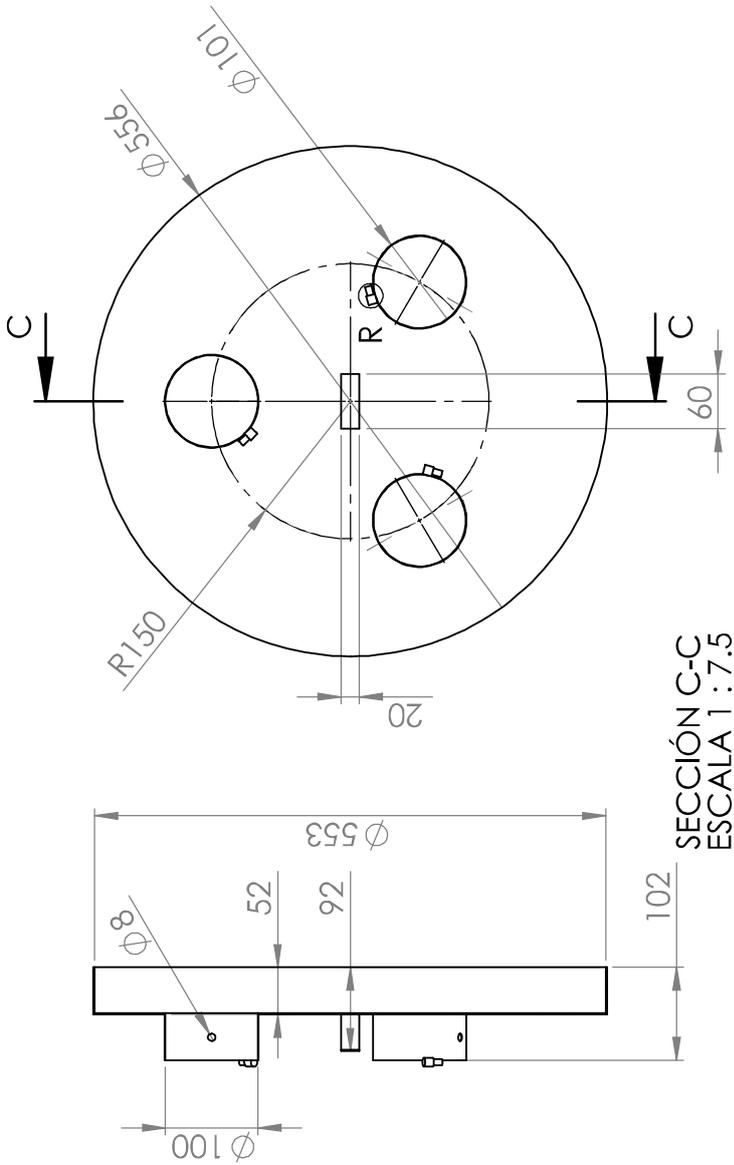
TITULO:  
**RESPIRADEROS  
DEL SILO**

**A4**

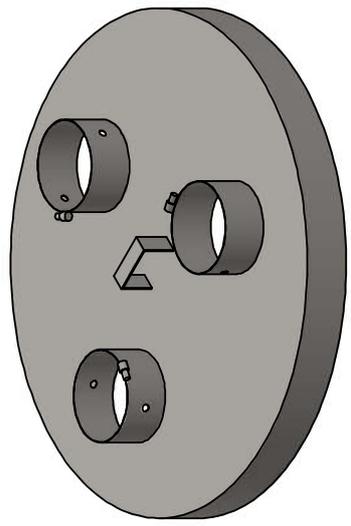
**5**

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

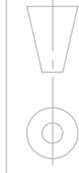
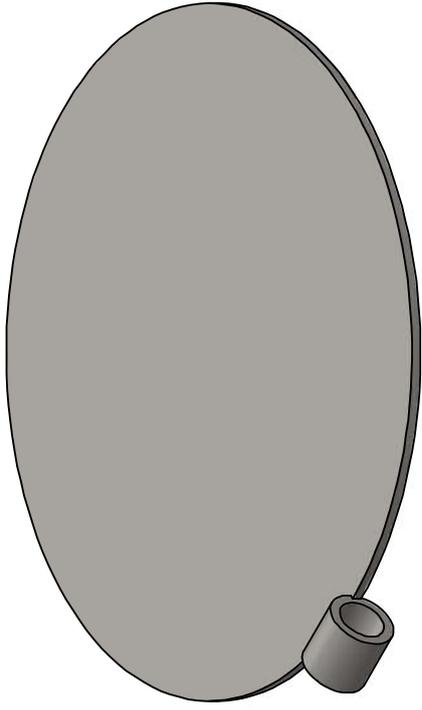
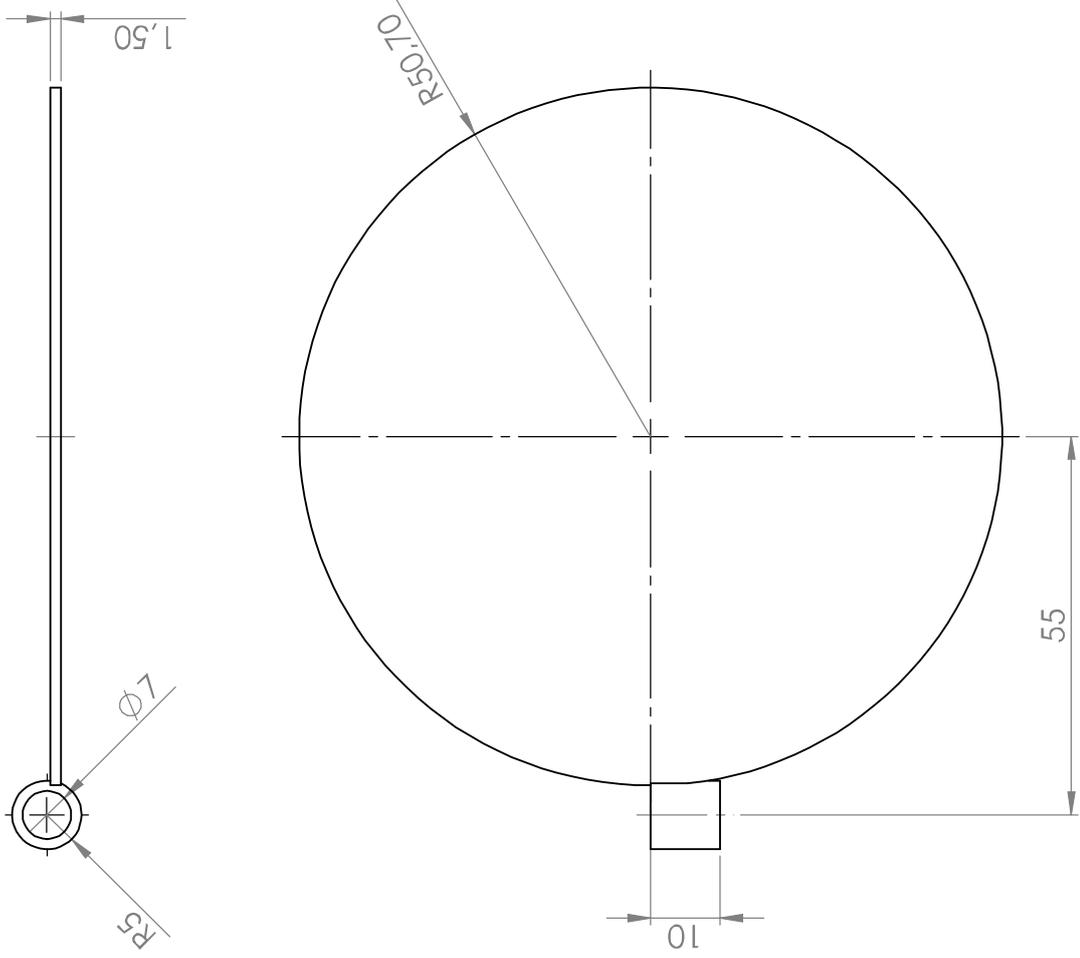


DETALLE R  
ESCALA 2 : 7.5



CONJUNTO:		FECHA:	
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018	NOMBRE	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018	DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
MATERIAL: ACERO INOX. 304 2B		TÍTULO: TAPA SUPERIOR DEL SILO	
ESCALA: 1:7.5		A4	
HOJA 1 DE 1		6	

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ



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

ESPOL

NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

**SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE  
SEMILLA DE ARROZ**

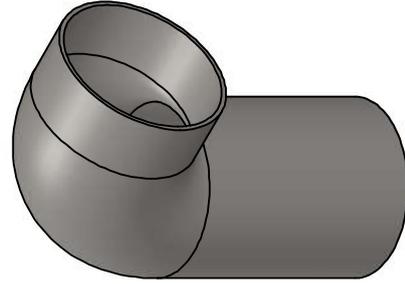
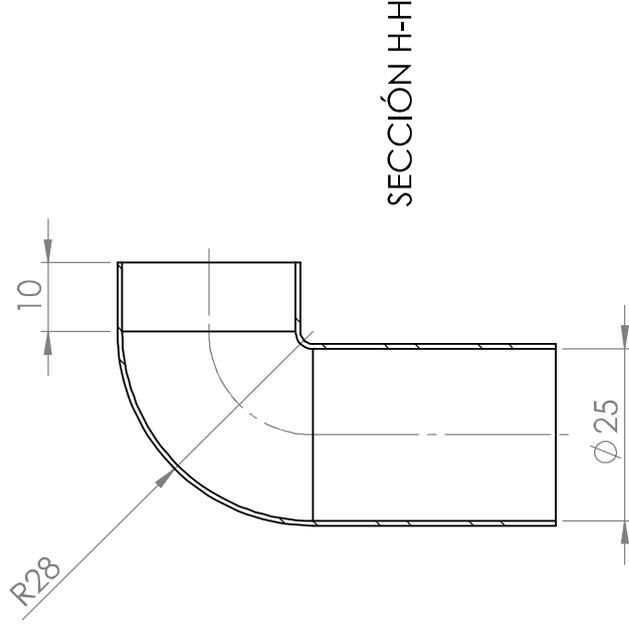
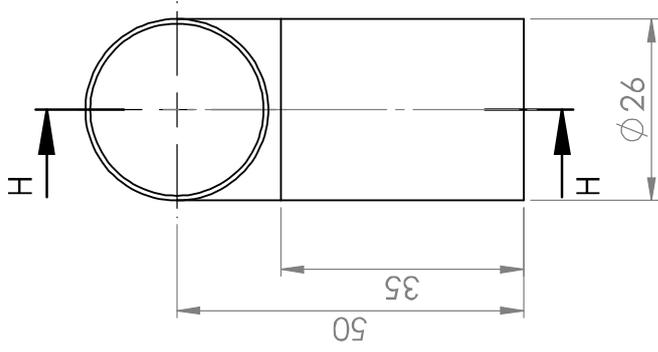
MATERIAL:  
**ACERO INOX.  
304 2B**

TÍTULO:  
**TAPA DE  
RESPIRADEROS**

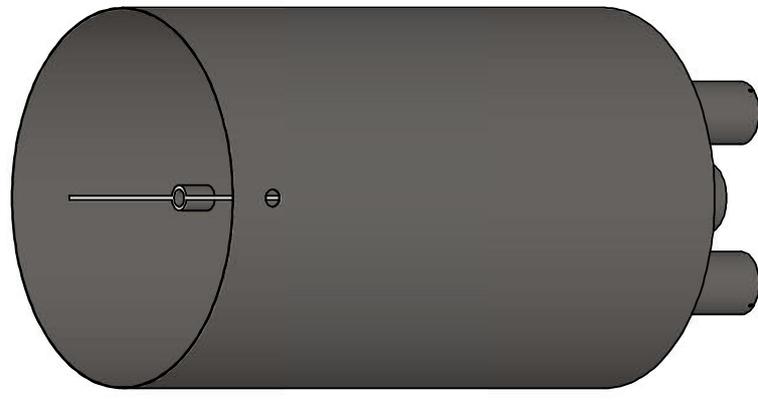
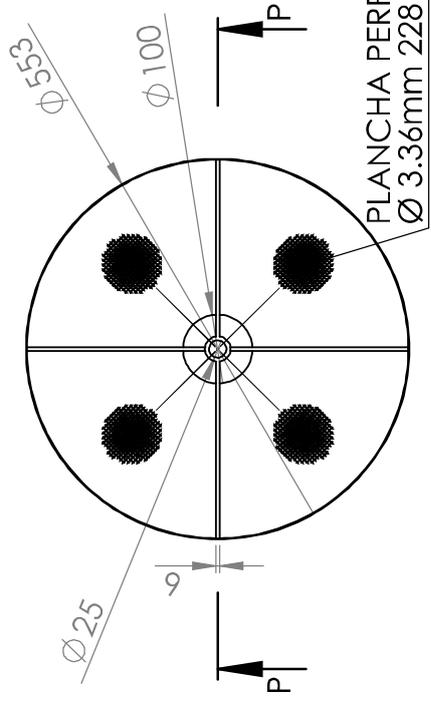
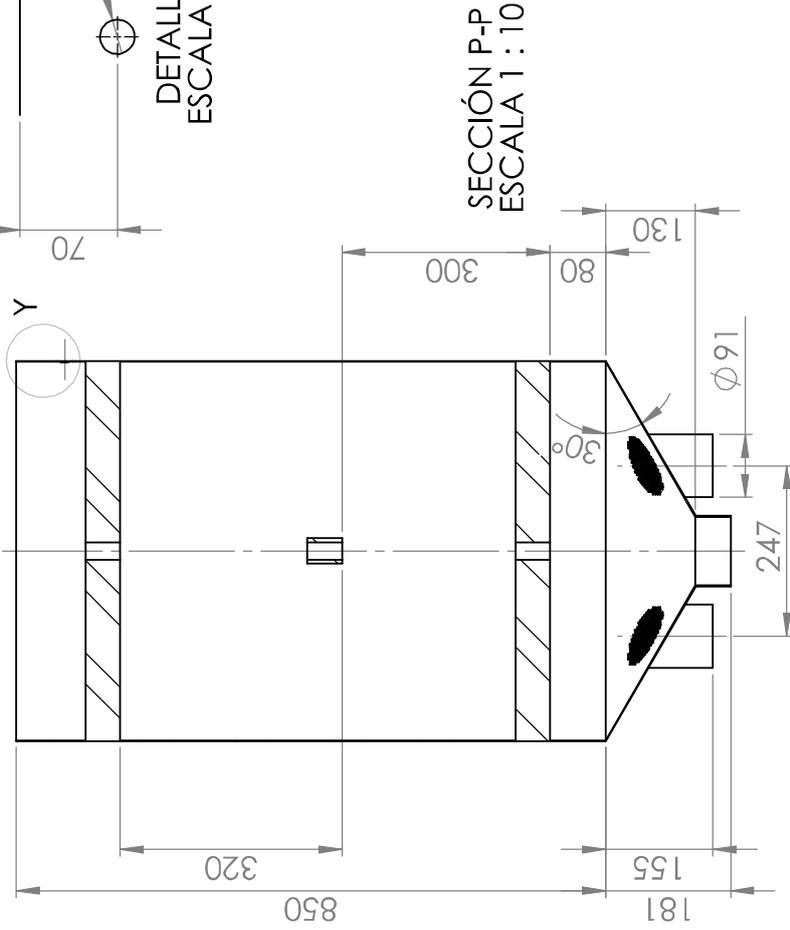
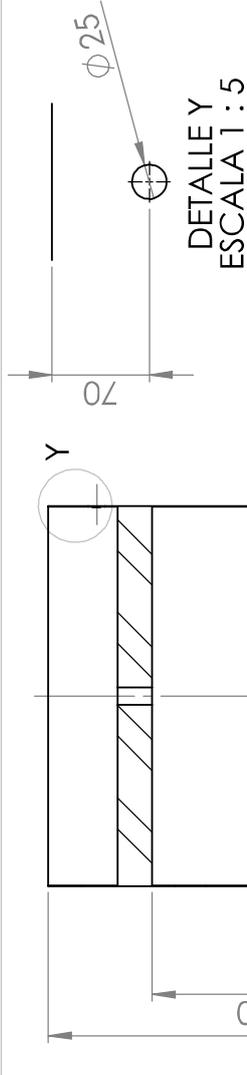
ESCALA: 1:1

A4  
7

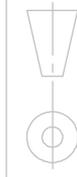
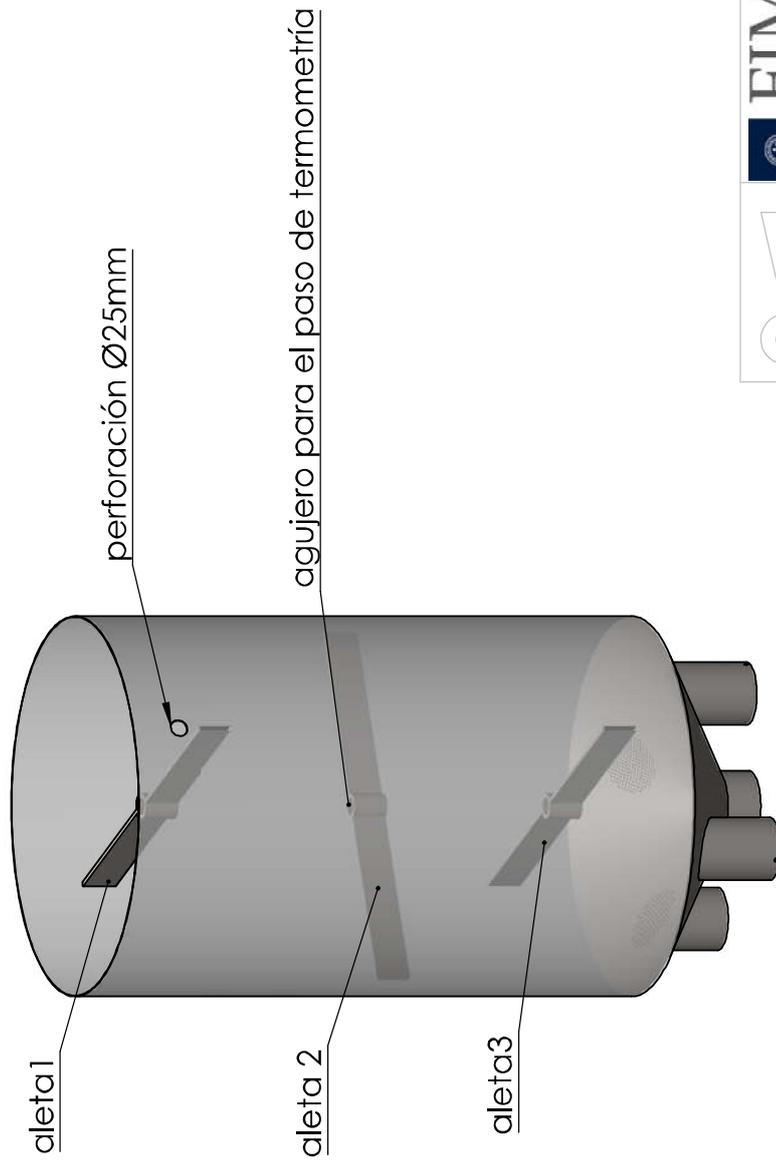
HOJA 1 DE 1



CONJUNTO:		NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER		9-8-2018
VERIF.	ING. L. CASTRO		9-8-2018
APROB.	ING. L. CASTRO		9-8-2018
MATERIAL:		ACERO INOX. 304 2B	
TITULO:		CODO TERMOMETRÍA DEL SILO	
ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1	
		A4	8



CONJUNTO:		SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018	CUERPO	A4
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018	CONTENEDOR	9
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	ESCALA: 1:10	
MATERIAL:		HOJA 1 DE 1	
ACERO INOX. 304 2B			



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

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF.	ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

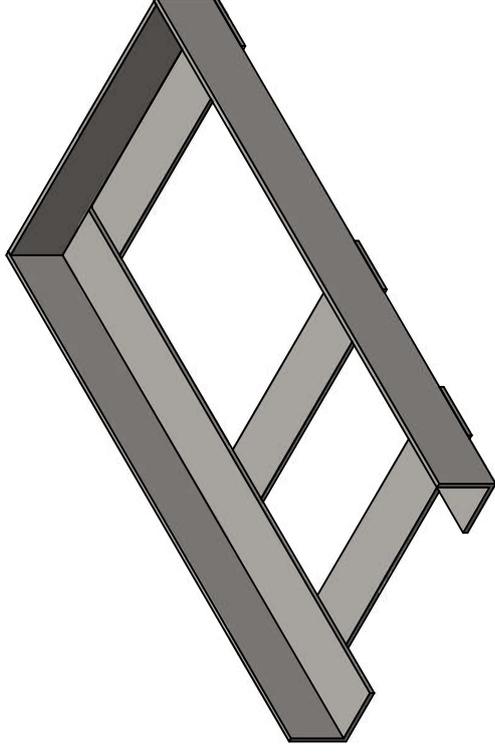
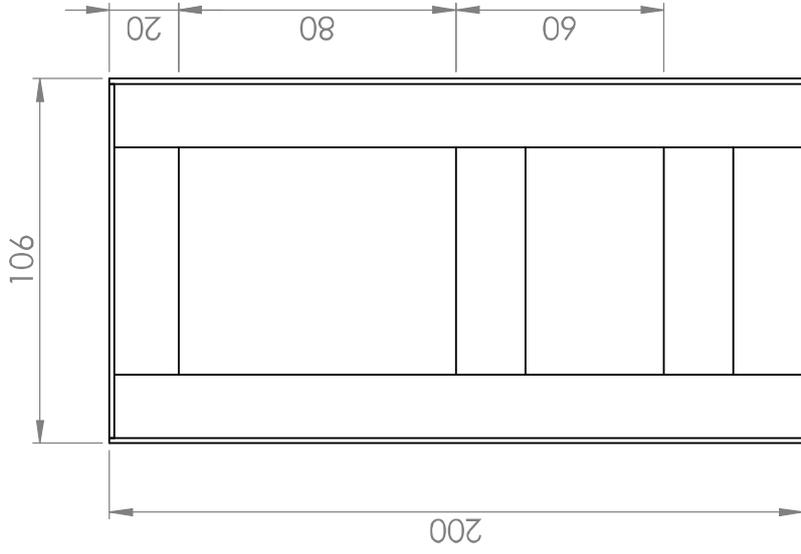
**SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE  
SEMILLA DE ARROZ**

MATERIAL:  
**ACERO INOX.  
304 2B**

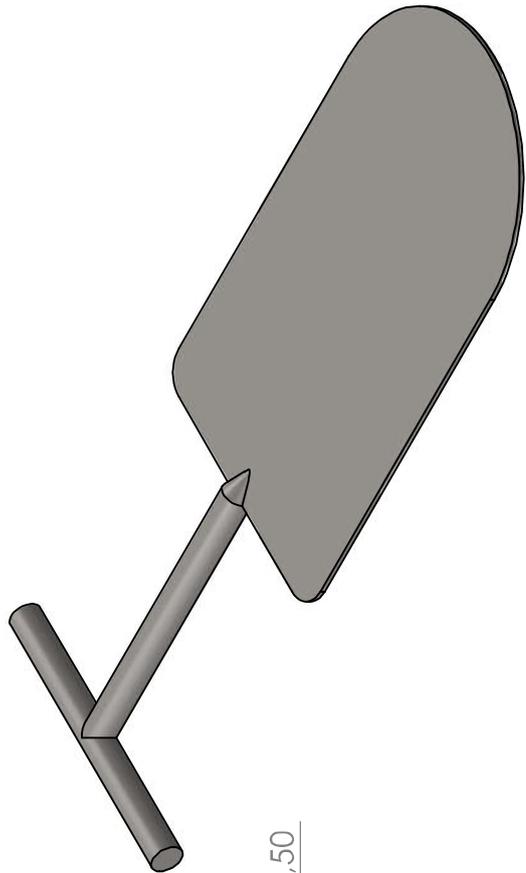
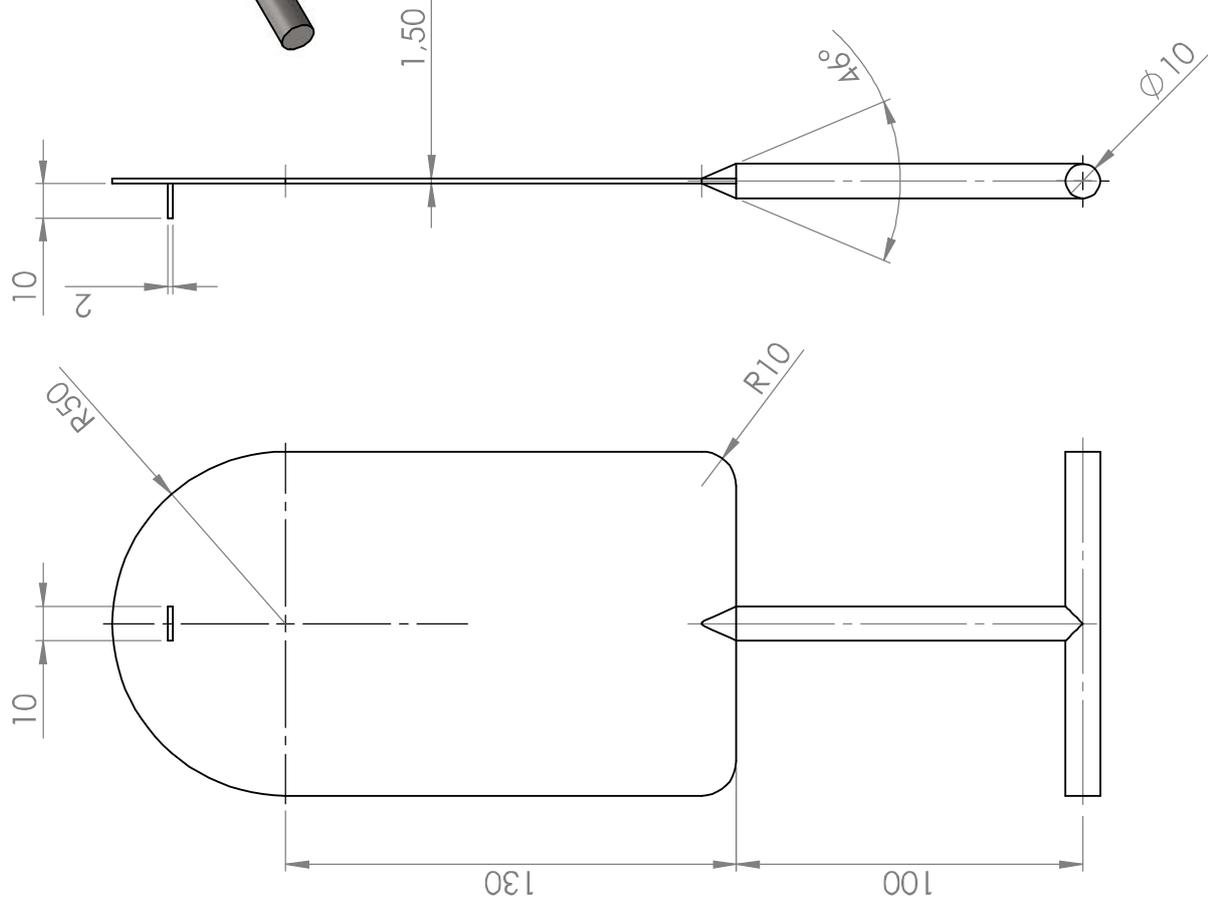
TITULO: **CUERPO CONTENEDOR-  
PARTE INTERNA**

**A4  
10**

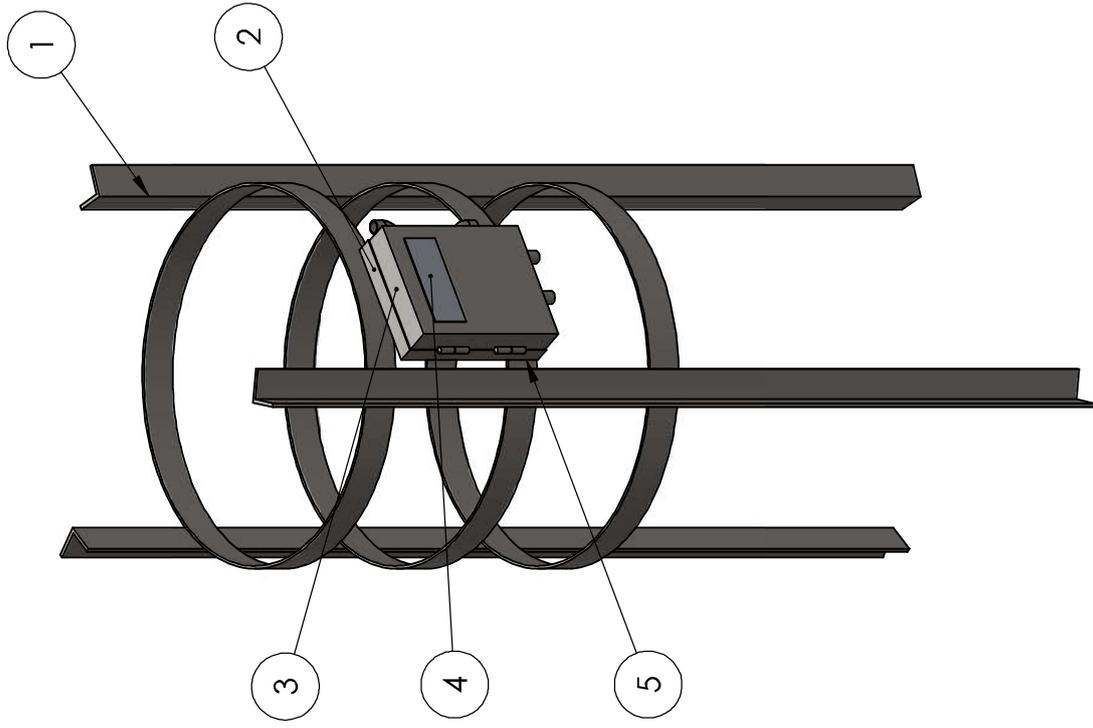
ESCALA: 1:10  
HOJA 1 DE 1



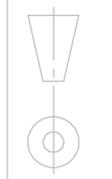
CONJUNTO:		TÍTULO:	
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	FECHA 9-8-2018	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018	VÁLVULA DE COMPUERTA	
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	A4	
MATERIAL: ACERO INOX. 304 2B		ESCALA: 1:2	
		HOJA 1 DE 1	



CONJUNTO:		SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018	GUILLOTINA	
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018	A4	
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	12	
MATERIAL: ACERO INOX. 304 2B		ESCALA: 1:2	
		HOJA 1 DE 1	



N DE ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL
1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	1	ACERO INOX. 304 2B
2	BASE DEL CAJETÍN ELÉCTRICO	1	ACERO INOX. 304 2B
3	TAPA DEL CAJETÍN ELÉCTRICO	1	ACERO INOX. 304 2B
4	ACRÍLICO VISOR DEL CAJETÍN	1	PLÁSTICO ACRÍLICO
5	ACRÍLICO BASE DEL CAJETÍN	1	PLÁSTICO ACRÍLICO



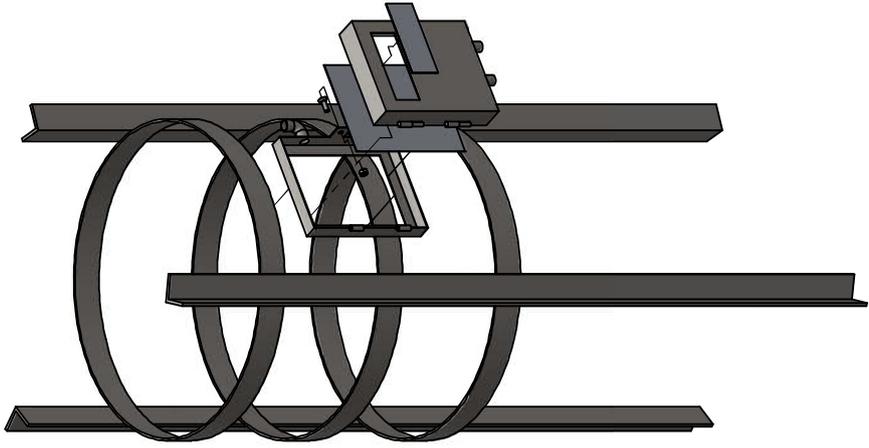
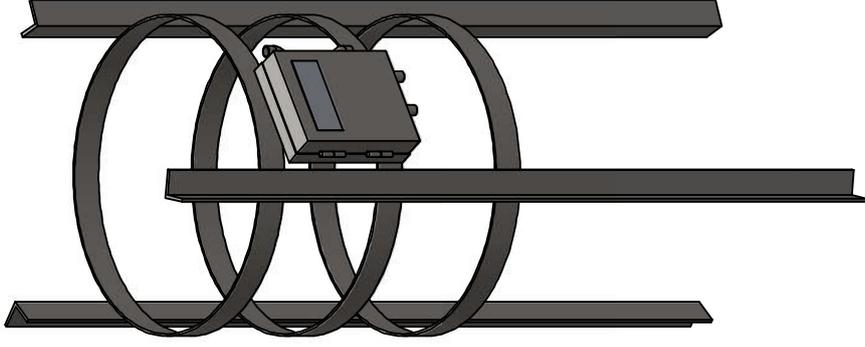
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

NOMBRE		FECHA	
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018	
VERIF.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	

CONJUNTO:

**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ**

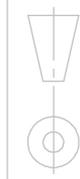
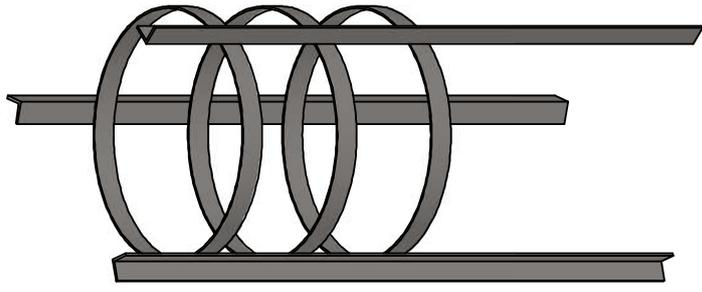
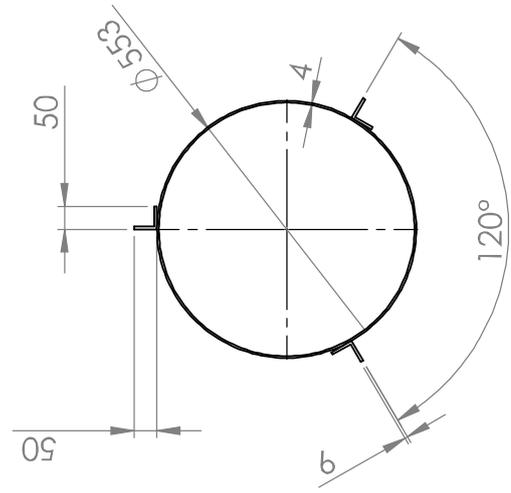
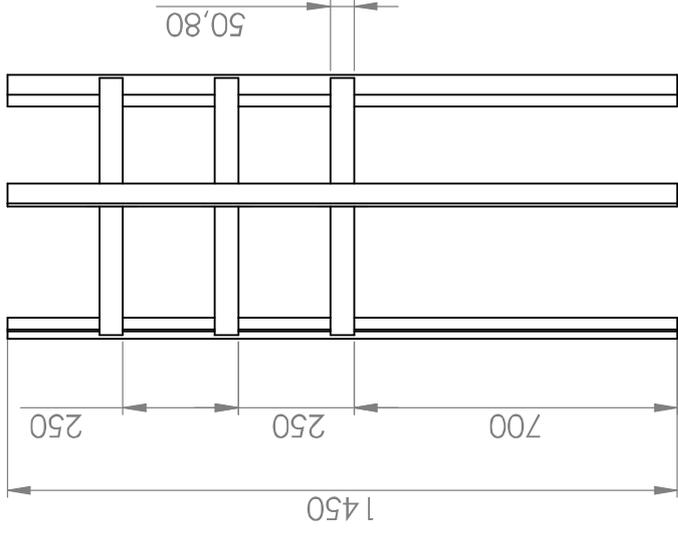
TÍTULO:		SOPORTES DEL SISTEMA	
PLANO GENERAL		A4	13
		ESCALA: 1:10 HOJA 1 DE 1	



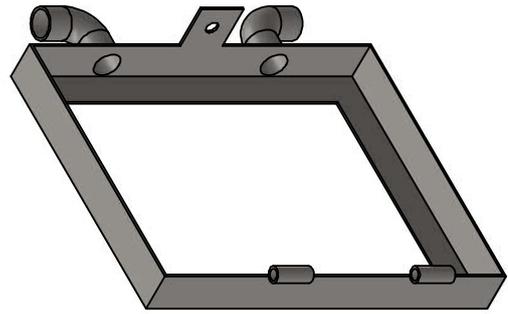
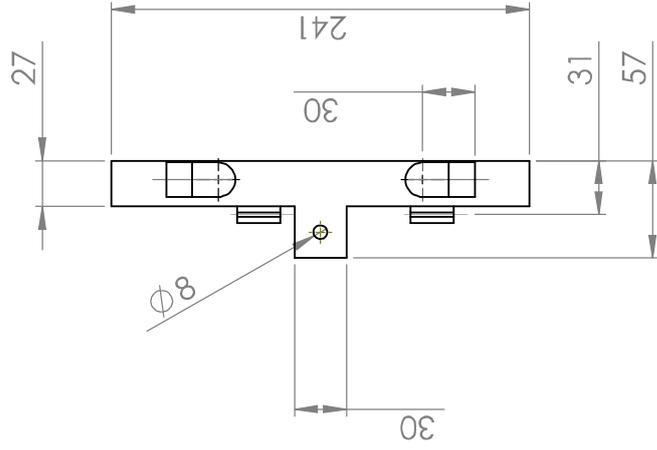
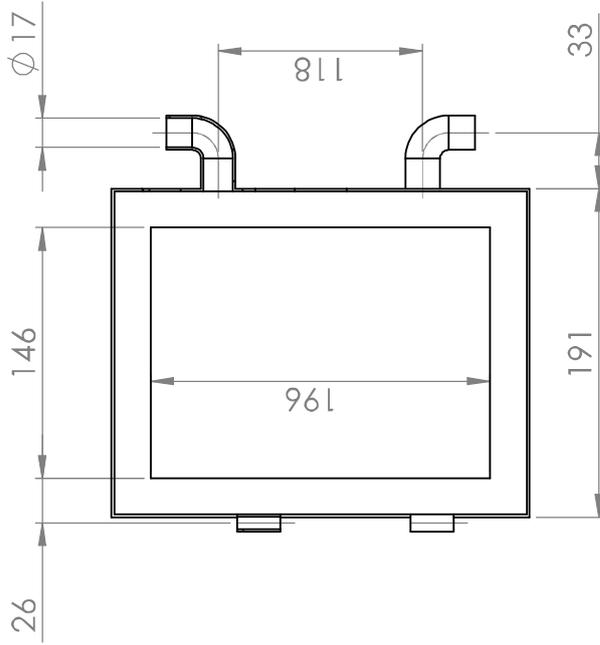
**FIMCP**  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

DIBUJ.		CONJUNTO:	
NOMBRE	FECHA	SISTEMA DE SOPORTES DEL SISTEMA	
MANTILLA XAVIER	9-8-2018	ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018		

VISTA EXPLOSIONADA	TITULO:	SOPORTES DEL SISTEMA	A4
	ESCALA: 1:12		14
			HOJA 1 DE 1



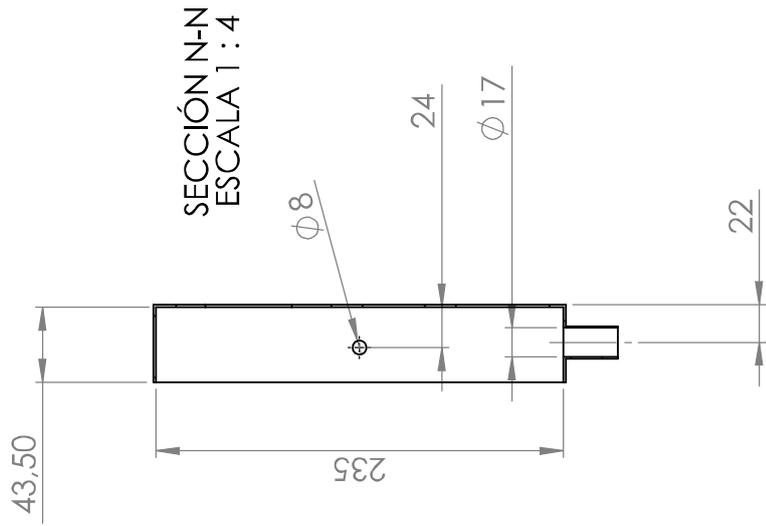
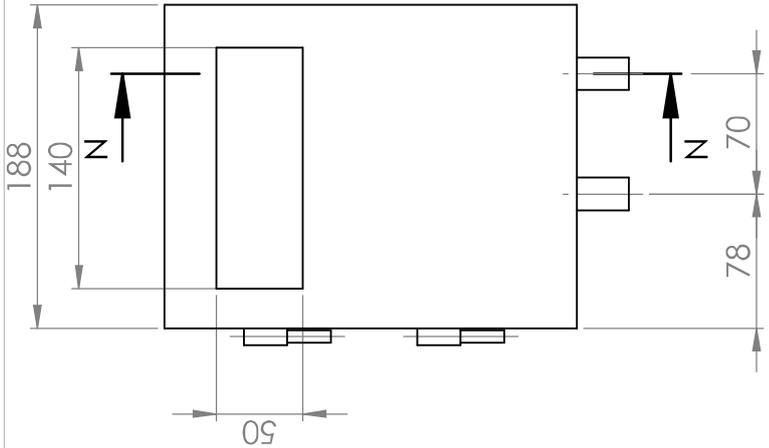
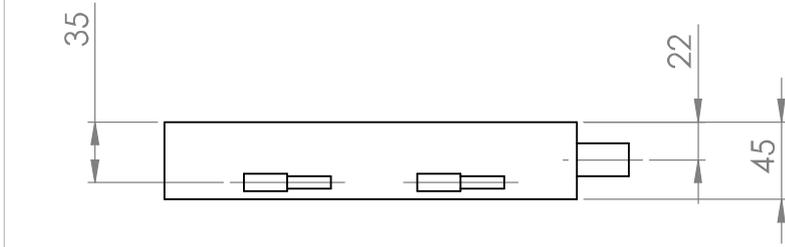
CONJUNTO:		SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ		
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	FECHA 9-8-2018	TITULO: ESTRUCTURA DE SOPORTE		
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018			A4
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018			15
MATERIAL: ACERO INOX. 304 2B		ESCALA: 1:15		
		HOJA 1 DE 1		



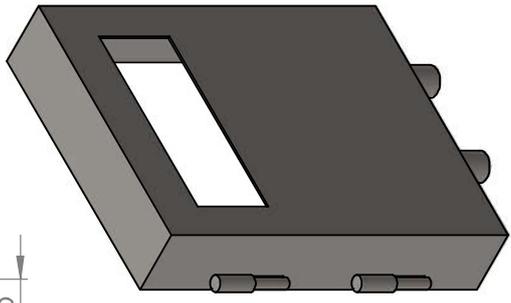
FIMCP  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

CONJUNTO:		SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
NOMBRE	FECHA		
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018		
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
MATERIAL: ACERO INOX. 304 2B		TITULO: BASE DEL CAJETIN ELECTRICO	
		ESCALA: 1:4	
		HOJA 1 DE 1	

A4  
16



SECCIÓN N-N  
ESCALA 1 : 4



NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

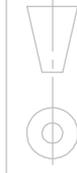
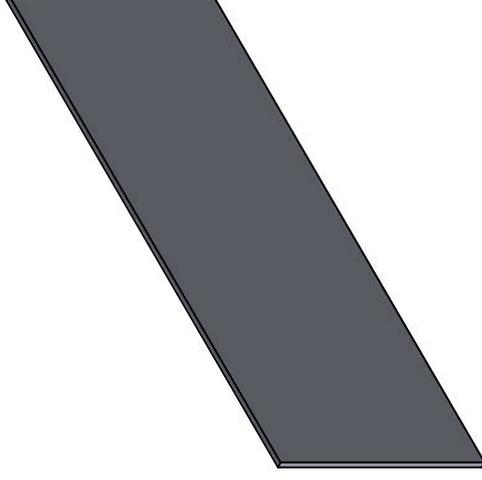
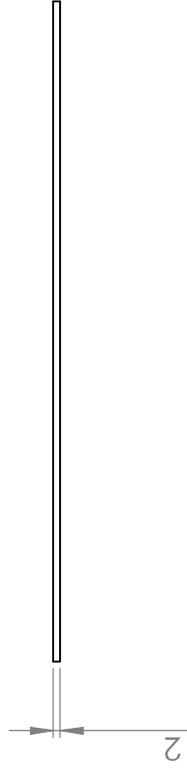
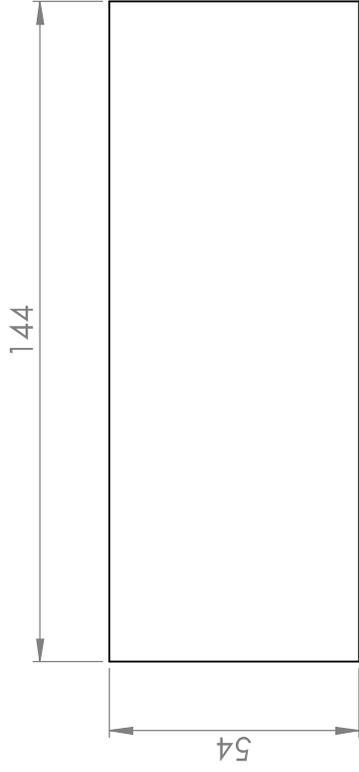
**SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE  
SEMILLA DE ARROZ**

MATERIAL:  
**ACERO INOX.  
304 2B**

TÍTULO:  
**TAPA DEL CAJETIN  
ELECTRICO**

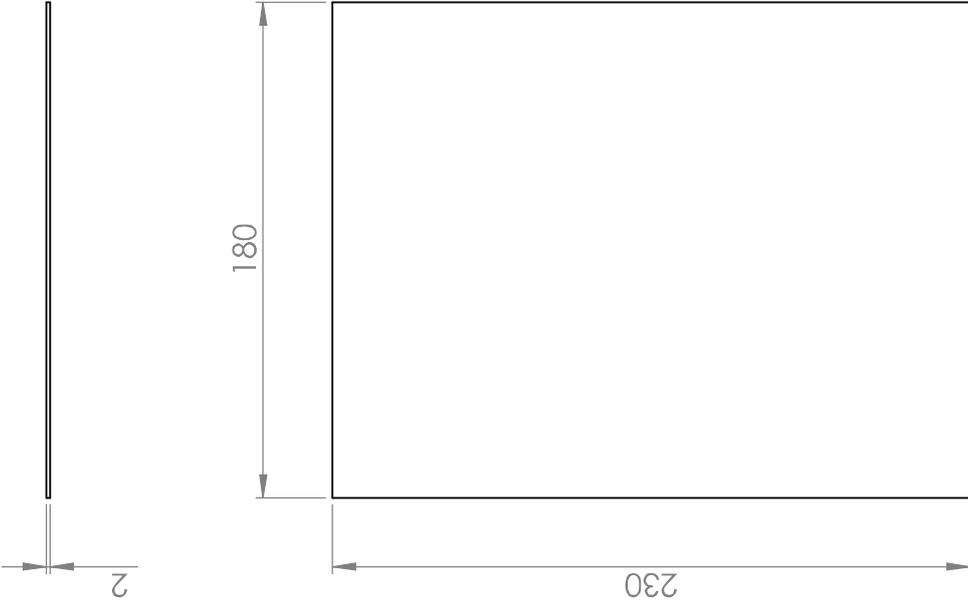
A4  
17

ESCALA: 1:5  
HOJA 1 DE 1



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

NOMBRE		FECHA	
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018	
VERIF.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
CONJUNTO:			
<b>SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ</b>			
MATERIAL:		TITULO:	
PLÁSTICO ACRÍLICO		ACRÍLICO VISOR DE CAJETÍN	
		A4	18
		ESCALA: 1:1.5	
		HOJA 1 DE 1	



DIBUJ.	NOMBRE	FECHA
VERIF.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018
	ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

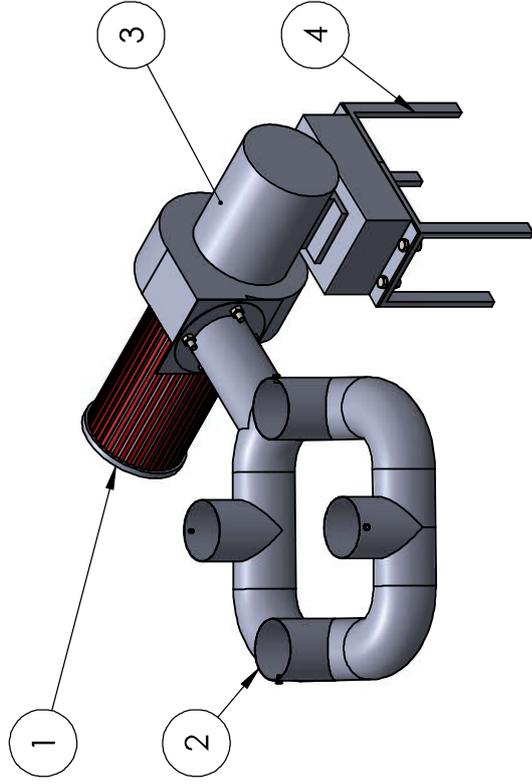
**SISTEMA DE  
ALMACENAMIENTO DE  
SEMILLA DE ARROZ**

MATERIAL:  
**PLÁSTICO  
ACRÍLICO**

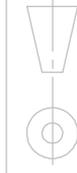
TÍTULO:  
**ACRÍLICO BASE  
DEL CAJETÍN**

**A4  
19**

ESCALA: 1:2.5  
HOJA 1 DE 1



N DE ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	CANT.	MATERIAL
1	FILTRO DE AIRE	1	VARIOS
2	DUCTOS DE VENTILACIÓN	1	ACERO INOX. 304 2B
3	VENTILADOR CENTRÍFUGO 1/2 HP	1	VARIOS
4	ESTRUCTURA DEL VENTILADOR	1	ACERO INOX. 304 2B



Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

NOMBRE	FECHA
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018

CONJUNTO:

**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ**

PLANO GENERAL

TÍTULO:

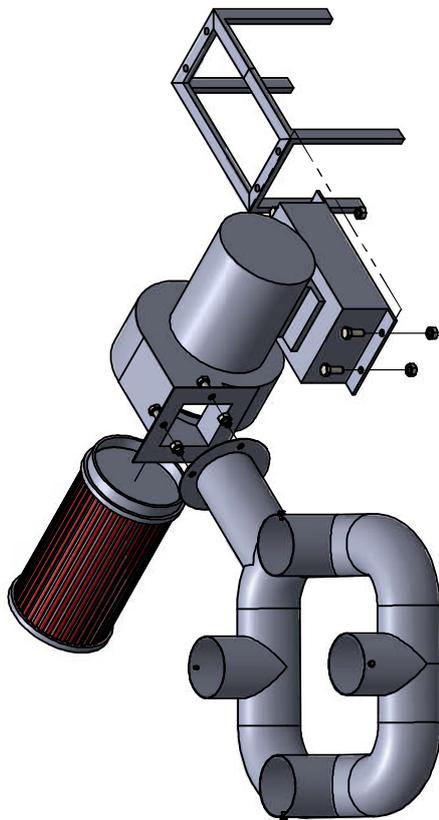
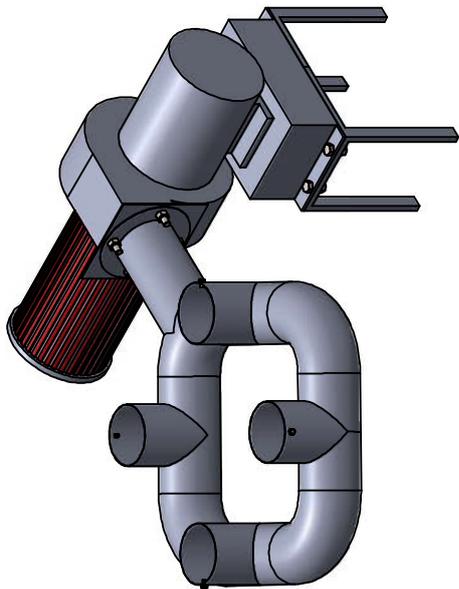
SISTEMA DE VENTILACIÓN

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1

A4

20

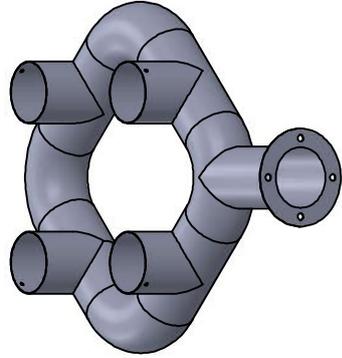
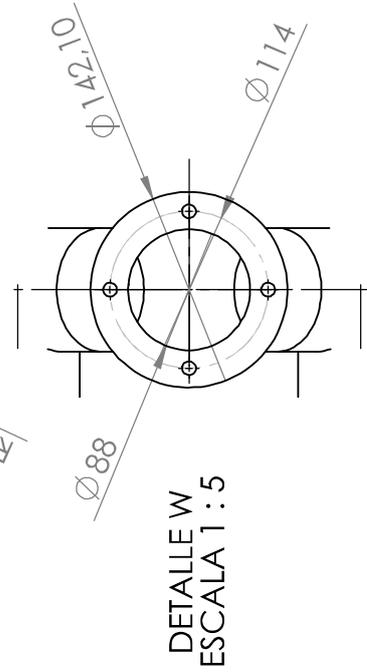
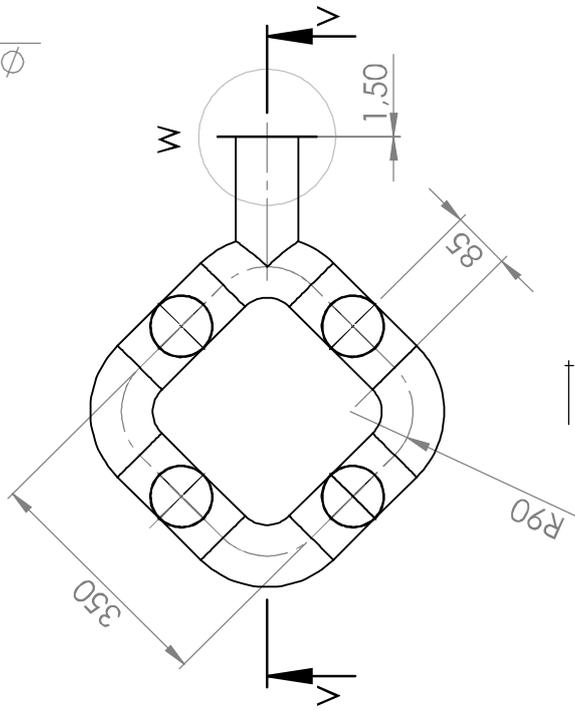
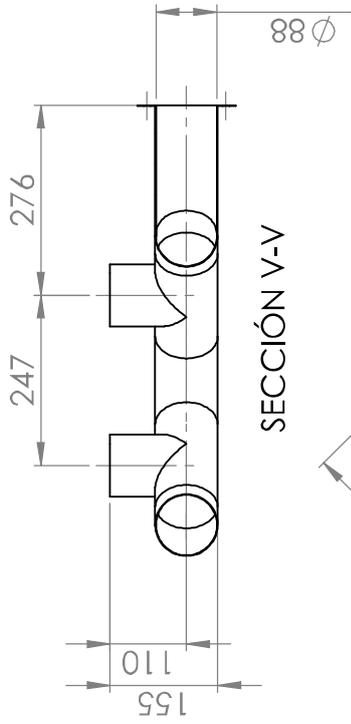


Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

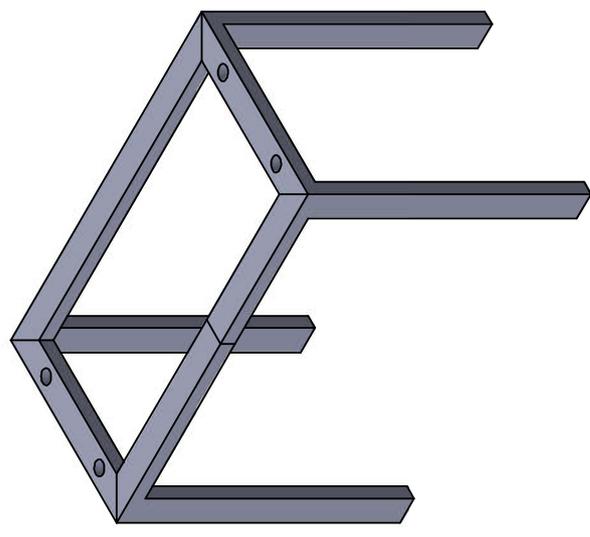
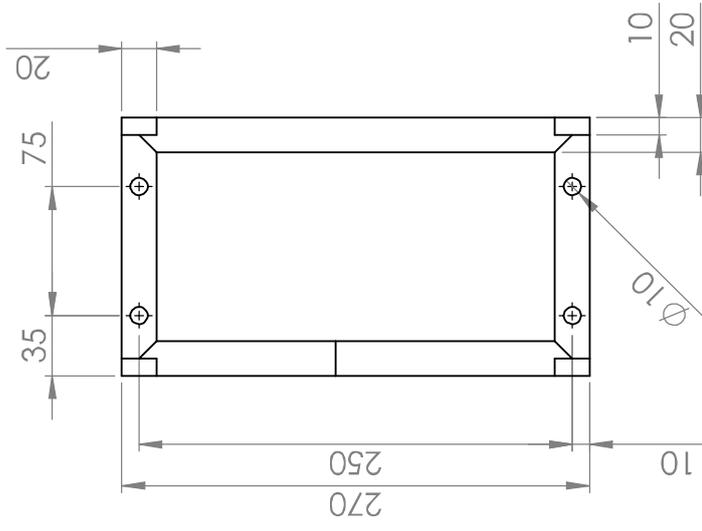
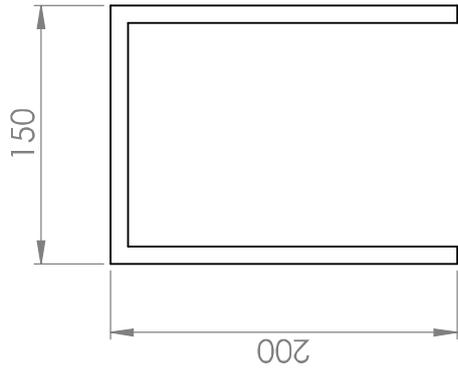
NOMBRE		FECHA	
DIBUJ.	MANTILLA XAVIER	9-8-2018	
VERIF.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	
APROB.	ING. L. CASTRO	9-8-2018	

CONJUNTO:		SISTEMA DE VENTILACIÓN	
TÍTULO:		SISTEMA DE VENTILACIÓN	
VISTA EXPLOSIONADA		A4	
		21	
		ESCALA: 1:10	
		HOJA 1 DE 1	

# SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ



NOMBRE	FECHA	CONJUNTO:	
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018	SISTEMA DE	
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018	ALMACENAMIENTO DE	
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018	SEMILLA DE ARROZ	
MATERIAL:		TITULO:	
ACERO INOX. 304 2B		DUCTOS DE	
		VENTILACIÓN	
		ESCALA: 1:7.5	
		HOJA 1 DE 1	
		A4	22



CONJUNTO:		SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE ARROZ	
NOMBRE	FECHA		
DIBUJ. MANTILLA XAVIER	9-8-2018		
VERIF. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
APROB. ING. L. CASTRO	9-8-2018		
MATERIAL:		TITULO:	
ACERO INOX. 304 2B		ESTRUCTURA DEL VENTILADOR	
		ESCALA: 1:20	
		HOJA 1 DE 1	
		A4	
		23	

## **ANEXO G**

### **Costos de construcción**

#### **G1. Costos de materiales y construcción del equipo**

En la tabla G1 se encuentran los costos involucrados en la construcción de todos los componentes metálicos junto con su ensamble de los mismo, contratando mano de obra para poder realizar los trabajos de soldadura, corte y rolado de plancha.

En la tabla G2 se encuentran los costos de cada componente electrónico que permiten la implementación del sistema de control, estos fueron conseguidos en el exterior, por lo cual se detalla el impuesto de compra por internet y la tasa de envío.

En la tabla G3 se encuentran los costos de materiales eléctricos necesarios del equipo y los correspondientes a la instalación de un punto eléctrico, lo cual fue necesario en el lugar donde iba a operar el equipo por temas de seguridad.

**Tabla G1 Listado de gastos y materiales en proyecto (parte metálica) [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalles	Lugar de cotización	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Codo de 90 AISI 304 0.5mm d25mm	DOMUS	\$ 1,20	3,0	\$ 3,60
Codo de 90 AISI 304 0.8mm d90mm	DOMUS	\$ 4,00	4,0	\$ 16,00
Perfil angular AISI 304 20x2mm	DOMUS	\$ 30,00	0,2	\$ 4,65
Perfil angular AISI 304 50x4mm	MULTIMETALES S.A.	\$ 132,12	1,0	\$ 132,12
Perno cabeza hexagonal M10x1.5x25	SUMIPERNOS	\$ 1,50	8,0	\$ 12,00
Perno cabeza hexagonal M5x0.8x8mm	SUMIPERNOS	\$ 0,80	4,0	\$ 3,20
Perno cabeza hexagonal M6x1.0x20	SUMIPERNOS	\$ 0,90	8,0	\$ 7,20
Plancha metálica AISI 304 2B 1220x2440mmx1.5mm	MULTIMETALES S.A.	\$ 140,17	1,0	\$ 140,17
Plancha perforada AISI 304 d3.36mm 1.5mm	MULTIMETALES S.A.	\$ 90,00	0,3	\$ 27,00
Platinas AISI 304 19x3mm	DOMUS	\$ 4,64	0,1	\$ 0,23
Platinas AISI 304 50x4mm	MULTIMETALES S.A.	\$ 62,08	1,0	\$ 62,08
Tronillo Allen M8x1.25x25mm	SUMIPERNOS	\$ 0,30	1,0	\$ 0,30
Tubo cuadrado AISI 304 10x20mm x1.20mm	DOMUS	\$ 23,21	0,3	\$ 6,19
Tubo AISI 304 1,2mm d25mm	DOMUS	\$ 29,46	0,0	\$ 0,10
Tubo AISI 304 1,2mm d90mm	DOMUS	\$ 84,36	0,3	\$ 21,51
Tuerca cabeza hexagonal M10x1.5	SUMIPERNOS	\$ 0,10	8,0	\$ 0,80
Tuerca cabeza hexagonal M6x1.0	SUMIPERNOS	\$ 0,10	8,0	\$ 0,80
Tuerca cabeza hexagonal M8x1.25mm	SUMIPERNOS	\$ 0,10	1,0	\$ 0,10
			subtotal materiales metálicos	\$ 438,05
			Mano de obra (incluye rolado, soldado cortado y ensamblado)	\$ 642,30
			Subtotal construcción	\$ 1.080,36
			Iva 12%	\$ 129,64
			Costo final de materiales más construcción metálica	\$ 1.210,00

**Tabla G2 Listado de gastos y materiales en proyecto (parte electrónica) [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalles	Lugar de cotización	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Flash memory card ts1gsdc transcend 1gb sd	Amazon	\$ 14,95	1,0	\$ 14,95
Kit for Arduino Uno r3 sun founder project	Amazon	\$ 25,99	1,0	\$ 25,99
Módulo de Arduino extra	DTech	\$ 8,33	1,0	\$ 8,33
Power adapter for Arduino 9v 1.5a ac/dc	Amazon	\$ 8,50	1,0	\$ 8,50
Sd card and tf card shield for Arduino Uno r3Hiletgo stackable	Amazon	\$ 6,99	1,0	\$ 6,99
Waterproof temperature sensor ds18b20, temp digital thermal probe 3m 118.1 inch for Arduino	Amazon	\$ 15,99	3,0	\$ 47,97
Impuesto de compra online	Amazon	\$ 1,99	1,0	\$ 1,99
Shipping and handling	Amazon	\$ 11,97	1,0	\$ 11,97
Subtotal materiales metálicos				\$ 126,69

**Tabla G3 Listado de gastos y materiales en proyecto (parte eléctrica) [Xavier Mantilla, 2018]**

Detalles	Lugar de cotización	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Amarres 25 cm	Ferretería el eléctrico	\$ 0,05	24,0	\$ 1,34
Breaker 2x30	Ferretería el eléctrico	\$ 13,50	1,0	\$ 15,12
Cable flexible 2x12	Ferretería Espinoza	\$ 1,40	4,0	\$ 5,60
Cable concéntrico 2x10	Ferretería el eléctrico	\$ 1,00	15,0	\$ 16,80
Cable concéntrico n12	Ferretería Espinoza	\$ 1,95	4,0	\$ 7,80
Cable sólido n12	Ferretería Espinoza	\$ 0,60	0,5	\$ 0,30
Caja porta tomacorriente	Ferretería el eléctrico	\$ 1,80	1,0	\$ 2,02
Contactador eléctrico 10 A 110v	Ferretería el eléctrico	\$ 10,00	1,0	\$ 10,00
Enchufe eléctrico	Ferretería Espinoza	\$ 0,75	1,0	\$ 0,75
Enchufe eléctrico imper	Ferretería Espinoza	\$ 3,00	1,0	\$ 3,00
Grapas de 1/2in	Ferretería el eléctrico	\$ 0,10	5,0	\$ 0,56
Manguera flexible	Ferretería Espinoza	\$ 0,65	4,0	\$ 2,60
Prensa estopa 1/2 in	Ferretería el eléctrico	\$ 0,50	1,0	\$ 0,56
Toma corriente plc usa	Ferretería el eléctrico	\$ 1,50	1,0	\$ 1,68
Subtotal materiales metálicos				\$ 68,13