

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño de un secador de arroz con capacidad de diez quintales para la  
comunidad de Paipayales del Cantón Santa Lucía”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Coquinche García Norvi Leonel

Naula Rodas Cesar David

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación está dedicado a mi papá, mamá, hermanos, abuelos y a toda mi familia porque han confiado en mí y me han apoyado durante todos estos años de estudio. También dedico este proyecto de manera especial a tía Roció García, por acogerme en su hogar y apoyarme a cumplir este sueño. Y a cada uno de mis profesores que contribuyeron con sus conocimientos y enseñanzas para mi formación académica. Finalmente, a todos mis amigos y futuros colegas que han sido parte de esta grata trayectoria.

**Coquinche García Norvi Leonel**

De todo corazón dedico el presente proyecto de titulación especialmente a mis padres, quienes fueron un pilar fundamental en el transcurso de mis estudios, muy agradecido por haberme apoyado desde el primer día. A mis hermanos que fueron parte de esta trayectoria, y supieron ayudarme en todo lo que pudieron. Por último, a los profesores que tienen vocación por la enseñanza y a todos mis amigos.

**Naula Rodas Cesar David**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a Dios por haberme dado la fuerza y la valentía de luchar día a día a lo largo de mi vida universitaria. Agradecer a mi familia por confiar en mí y apoyarme durante mi carrera universitaria. Finalmente, agradecer a mi tía Roció García, por haberme acogido en su hogar y ser un empujón en los inicios de mi carrera.

**Coquinche García Norvi Leonel**

Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado la sabiduría para lograr mi objetivo, a mis abuelos por haberme dado unos excelentes padres a quienes estaré eternamente agradecido por haberme ayudado económicamente y emocionalmente a salir adelante a pesar de las adversidades, a mis hermanos, especialmente a Over quien me ayudó todo el tiempo de mi carrera universitaria, finalmente a mi novia quien supo apoyarme y ayudarme todo el tiempo.

**Naula Rodas Cesar David**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; y *nosotros COQUINCHE GARCIA NORVI LEONEL y NAULA RODAS CESAR DAVID* 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"



---

Coquinehe García Norvi Leonel



---

Naula Rodas Cesar David

## **EVALUADORES**

.....  
**PhD. Delgado Plaza Emérita**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**PhD. Martínez Lozano Ernesto**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En el año 2020 según datos de INEC la superficie sembrada a nivel nacional fue de 315023 hectáreas, donde la mayor producción de arroz se concentra en la provincia del Guayas con el 65.84%. El presente proyecto va dirigido para la comunidad de Paipayales del Cantón Santa Lucía perteneciente a la provincia del Guayas, es una comunidad que se dedica exclusivamente a la siembra y cosecha de arroz. La inadecuada transferencia de tecnología en las comunidades, no permiten el desarrollo socio productivo de las comunidades. Con el objetivo de que las comunidades agrícolas de pequeña producción mejoren su rentabilidad económica a partir del secado de arroz se plantea el diseño de un secador de arroz con capacidad de diez quintales. Para el diseño del secador de arroz se utilizó un modelo matemático y transferencia de calor para su análisis y además para la validación del prototipo se utilizó un software de simulación. Los resultados que se obtuvieron en la validación del prototipo nos demostraron que la temperatura en la cámara de secado se mantiene a una temperatura promedio 53 °C y se distribuye de manera uniforme en la misma. Además, obtuvimos un porcentaje de error del 11% entre los resultados teóricos y los de la simulación. Finalmente, podemos afirmar que la implementación del prototipo en la comunidad de Paipayales, beneficiara a que la comunidad mejore su producción y su rentabilidad económica.

**Palabras Clave:** Humedad, validación del prototipo (simulación), temperatura, implementación.

## **ABSTRACT**

*In 2020, according to INEC data, the area sown at the national level was 315,023 hectares, where the largest rice production is concentrated in the province of Guayas with 65.84%. This project is aimed at the Paipayales community of the Canton Santa Lucía belonging to the province of Guayas, it is a community that is dedicated exclusively to the planting and harvesting of rice. The inadequate transfer of technology in the communities does not allow the socio-productive development of the communities. In order for small-scale agricultural communities to improve their economic profitability from rice drying, the design of a rice dryer with a capacity of ten quintals is proposed. For the design of the rice dryer, a mathematical model and heat transfer were used for its analysis, and simulation software was also used for the validation of the prototype. The results obtained in the validation of the prototype showed us that the temperature in the drying chamber is maintained at an average temperature of 53 °C and is distributed uniformly in it. In addition, we obtained an error rate of 11% between the theoretical results and those of the simulation. Finally, we can affirm that the implementation of the prototype in the community of Paipayales will benefit the community to improve its production and its economic profitability.*

**Keywords:** *Humidity, prototype validation (simulation), temperature, implementation.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Importancia del secado de arroz.....	4
1.4.2 Efectos de la humedad en el arroz .....	4
1.4.3 Curva de velocidad de secado.....	5
1.4.4 Tiempo de velocidad de secado creciente.....	5
1.4.5 Tiempo de velocidad de secado constante.....	6
1.4.6 Periodo de velocidad de secado decreciente .....	6
1.4.7 Tiempo de secado .....	6
1.4.8 Temperatura de bulbo seco .....	7
1.4.9 Temperatura de bulbo húmedo.....	7

1.4.10	Humedad relativa.....	7
1.4.11	Humedad absoluta.....	7
1.4.12	Entalpia.....	7
1.4.13	Tipos de secadores de arroz .....	8
1.4.14	Sistema de secado .....	12
1.4.15	Normas .....	13
CAPÍTULO 2.....		14
2.	Metodología .....	14
2.1	Condiciones iniciales para el diseño de forma .....	14
2.1.1	Proceso de diseño .....	17
2.1.2	Situación geográfica de la comunidad arroceras.....	18
2.1.3	Temperatura promedio anual de la comunidad.....	19
2.1.4	Requerimientos del cliente (Parámetros de diseño) .....	20
2.2	Criterios de selección .....	20
2.3	Alternativas de diseño .....	21
2.4	Matriz de selección.....	23
2.5	Diseño del secador.....	24
2.6	Simulación del equipo .....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	30
3.1	Resultados del diseño teórico .....	30
3.2	Resultados de la simulación.....	30
3.3	Planos .....	34
3.4	Costos .....	35
3.4.1	Costo de materiales .....	35
3.4.2	Costos de mano de obra.....	36

3.4.3	Costos de diseño .....	36
3.4.4	Costos totales del equipo.....	36
CAPÍTULO 4.....		37
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	37
4.1	Conclusiones.....	37
4.2	Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICE		

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEM	Instituto Ecuatoriano de Normalización
GLP	Gas Licuado de Petróleo
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos

## SIMBOLOGÍA

$m_a$	Masa de arroz	$H_{a,c}$	Humedad bulbo seco
$\delta_a$	Densidad del arroz con cascara	$H_w$	Humedad bulbo húmedo
$V_a$	Volumen de arroz	$Q_s$	Calor de secado
$A_c$	Área de la cámara de secado	$h_2$	Entalpia bulbo seco
$h_a$	Altura de arroz en la cámara	$h_1$	Entalpia bulbo húmedo
$T_\infty$	Temperatura ambiente	$\dot{m}_{ac}$	Flujo másico aire caliente
$T_s$	Temperatura de secado	$C_{pair}$	Calor específico del aire
$T_f$	Temperatura de película	$Q$	Caudal
$L$	Longitud característica	$\phi_i$	Humedad inicial del arroz
$P$	Perímetro	$\phi_f$	Humedad final del arroz
$g$	Gravedad	$m_w$	Masa de agua
$Ra_L$	Número de Rayleigh	$m_s$	Masa seca
$N_u$	Número de Nusselt	$T_1$	Tiempo de secado periodo constante
$l$	Longitud de la cámara de secado	$T_2$	Tiempo de secado periodo decreciente
$h_i$	Coefficiente convectivo de transferencia de calor	$a$	ancho de banda
$\rho_a$	Densidad del aire	$b$	Altura de la banda
$v_a$	Velocidad del aire	$d$	Diámetro de polea
$R$	Constante de los gases	$L_p$	Longitud de paso
$M_A$	Masa molar del agua	$D$	Diámetro de polea
$\beta$	Coefficiente de expansión volumétrica	$n$	Rpm del motor
$\nu$	Viscosidad cinética	$P$	Potencia
$\alpha$	Difusión térmica	$V$	Velocidad del motor
$w$	Calor latente del agua	$C$	Distancia entre centros
$T_w$	Temperatura de bulbo seco	$H_a$	Potencia permitida
$R_c$	Constante de secado	$F_c$	Tensión centrífuga
$N$	Número de bandejas	$F_1$	Tensión mayor
$v_s$	Velocidad de secado	$F_2$	Tensión menor
$\dot{m}_a$	Flujo másico de aire	$T_p$	Torque requerido

$R_a$	Reacción en chumacera	$K_e$	Factor de confiabilidad
$R_b$	Reacción en chumacera	$K_f$	Factor de efectos varios
$s_{ut}$	Esfuerzo ultimo a la fatiga	$T_m$	Torque medio
$s_y$	Esfuerzo de fluencia	$M_T$	Momento flector total
$S_e$	Límite de resistencia a la fatiga	$\sigma_a$	Esfuerzo de flexión
$K_a$	Factor de forma	$\tau_m$	Esfuerzo cortante
$K_b$	Factor de tamaño	$\sigma_a'$	Esfuerzo alterno
$K_c$	Factor de carga	$\sigma_m'$	Esfuerzo medio
$K_d$	Factor de temperatura		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva de velocidad de secado de un sólido. ....	5
Figura 1.2 Esquema de una secadora de flujo continuo o caballete. ....	9
Figura 1.3 Esquema de una secadora de flujo cruzado o columna. ....	9
Figura 1.4 Esquema de una secado de flujo contracorriente.....	10
Figura 1.5 Esquema de una secadora de flujo concurrente. ....	10
Figura 1.6 Esquema de una secadora de tipo cascada.....	11
Figura 1.7 Sección transversal de secadora horizontal de columnas hexagonales...	11
Figura 1.8 Esquema de secadora horizontal plana. ....	12
Figura 2.1 Condiciones iniciales para el diseño de forma. ....	14
Figura 2.2 Diseño de forma del equipo.....	15
Figura 2.3 Metodología del diseño. ....	17
Figura 2.4 Ubicación Geográfica de la comunidad Paipayales en el Cantón Santa Lucía. .....	18
Figura 2.5 Medición anual de la temperatura en la ciudad de Guayaquil 2021. ....	19
Figura 3.1 Simulación del proceso de secado .....	31
Figura 3.2 Simulación de esfuerzos en cama de secado .....	32
Figura 3.3 Simulación de deflexión máxima de la cama de secado. ....	32
Figura 3.4 Simulación de esfuerzos en resortes.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Condiciones iniciales del diseño de forma.....	16
Tabla 2.2 Latitud y longitud de la comunidad Paipayales en el Cantón Santa Lucía.	19
Tabla 2.3 Temperaturas máximas y mínimas promedios por mes del 2021.....	20
Tabla 2.4 Ponderación de criterios de selección .....	21
Tabla 2.5 Variables a considerar en los diferente diseños de secadores.....	23
Tabla 2.6 Matriz de selección.....	23
Tabla 3.1 Resultados del diseño teórico.....	30
Tabla 3.2 Resultados de la simulación.....	31
Tabla 3.3 Costos de Materiales.....	35
Tabla 3.4 costos de mano de obra.....	36
Tabla 3.5 Costos de diseño.....	36
Tabla 3.6 Costos totales del equipo.....	36

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Extracción del secador de arroz.....	34
PLANO 2 Vistas de la cámara de secado.....	68
PLANO 3 Ensamble general del prototipo.....	69
PLANO 4 Estructura metálica del secador.....	70
PLANO 5 Estructura metálica de la cama de secado.....	71
PLANO 6 Ventilador Axial.....	72
PLANO 7 Chumacera.....	73
PLANO 8 Resorte.....	74
PLANO 9 Base de los resortes.....	75
PLANO 10 Eje de transmisión de movimiento en la cama de secado.....	76
PLANO 11 Motor eléctrico.....	77
PLANO 12 Base del motor.....	78
PLANO 13 Transmisión de bandas y poleas.....	79
PLANO 14 Plancha perforada.....	80
PLANO 15 Puerta de descarga.....	81
PLANO 16 Estructura de descarga.....	82

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador uno de los cereales más consumidos por su población es el arroz, dicho producto se cultiva en su mayoría en las provincias de Los Ríos y Guayas gracias a sus condiciones climáticas que van desde el trópico húmedo hasta el trópico seco, donde sus temperaturas siempre oscilan entre los 20°C a 30°C. Uno de los lugares que brindan estas condiciones es la comunidad de Paipayales que se encuentra ubicada aproximadamente a 3 km del cantón Santa Lucía perteneciente a la provincia del Guayas, dicha comunidad se dedica exclusivamente a la siembra y cosecha de arroz (*Oryza sativa*) por parte de un grupo de aproximadamente 25 agricultores llamados 'Dios con Nosotros'. Su producción se realiza en un espacio de 1 a 4 hectáreas, aparte del comercio, es el sustento para el autoconsumo de su comunidad. (Ávila, 2017)

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el arroz es uno de los alimentos que más se consumen en el Ecuador, no obstante, en el año 2020 por motivo de pandemia, la Corporación Nacional de Arroceros por medio de su presidente dio a conocer que una persona consumía anualmente 50 Kg, años anteriores el promedio era de 43 Kg (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2021). Debido a la alta demanda que tienen los agricultores de la comunidad mencionada anteriormente, y el lento proceso de secado que tienen actualmente, se ha propuesto el diseño de un secador artificial, el mismo que servirá para la comunidad con el fin de obtener un proceso de secado más eficiente y tener un arroz de mejor calidad y sanidad en el mercado. Teniendo en cuenta que para que el arroz pueda almacenarse por un buen tiempo sin que se deteriore su composición biológica el proceso de secado se convierte en una parte fundamental en la cosecha.

Con esto, lo que se pretende es obtener un arroz que presente un 14% de humedad y 1% de impureza como máximo según la norma INEM 186, condiciones que actualmente los agricultores de Paipayales no pueden lograr debido a su tradicional proceso de secado porque dependen mucho de las condiciones climáticas, lo cual los lleva a obtener una humedad mayor al 14% y un proceso lento de secado, aparte

que generan mayores impurezas en el arroz mayor a lo permitido en la normativa. El arroz al tener un exceso de humedad, ésta se puede eliminar por varios procesos mecánicos entre ellos: centrifugación, filtración. Otra manera, de eliminar la humedad puede ser por evaporación, es decir un secador térmico con ayuda de un combustible, GLP o Diésel.

Por ello, el diseño a proponer se basa en un sistema que permita a los agricultores cumplir con las normativas y que el proceso sea más rápido, para ello se analizan los diferentes tipos de secadores que existen: verticales, de cascada y horizontales. Considerando el tipo de combustible con el cual operarían, los más comunes: gas licuado de petróleo o diésel. En base a un respectivo análisis y proceso de diseño se seleccionará el modelo adecuado para nuestros agricultores.

Para consideraciones de diseño se debe tener en cuenta que el arroz una vez cosechado se tiene de 12 a 48 horas como máximo para realizar el secado, pero ¿Por qué hacer el secado de arroz?, el secado de arroz se hace principalmente por los siguientes motivos: inhibir la germinación de semillas, evitar reacciones de deterioración y reducir el contenido de la humedad con el fin de evitar crecimiento de hongos y preservar el arroz en buenas condiciones por un periodo de tiempo mientras se comercializa para llegar a los consumidores en buenas condiciones.

## **1.1 Descripción del problema**

La inadecuada transferencia de tecnología de las comunidades de la zona de Santa Lucía como es el caso de Paipayales, no permiten el desarrollo socio productivo de la comunidad. La problemática nace en que los pequeños agricultores de la comunidad, han presentado problemas en la comercialización de la gramínea de arroz, debido a su bajo costo, por lo que se ven obligados a almacenar su producto a esperas de encontrar un mejor precio en el mercado, el cual les represente ganancias a los pequeños agricultores. Los agricultores optan por almacenar la gramínea de arroz improvisando bodegas en sus hogares. El improvisar bodegas en sus hogares no es recomendable, ya que la humedad que presenta el arroz con cascara acelera los procesos bioquímicos, provocando la descomposición de la

gramínea. Por otro lado, la comunidad de Paipayales realiza el secado del arroz de manera artesanal, con tendales y a esperas de un clima soleado. Además, en este tipo de secado está expuesto a contaminación por gases de combustión de transporte, heces de animales y por el propio proceso de tendido y recolección el agricultor al pisar la gramínea de arroz. Por lo antes mencionado, se propone el diseño y construcción de un secador de arroz, con capacidad de diez quintales, de fácil mantenimiento y bajo costo de construcción, aplicando la metodología de economía circular con materiales que se encuentren disponibles en el CDTSFIMCP.

## **1.2 Justificación del problema**

El arroz es uno de los granos más importantes en la dieta de los ecuatorianos, según la corporación de industrias arroceras del Ecuador el consumo promedio de un ecuatoriano de este cereal es de 43 y 45kg. En los últimos meses del 2020 el consumo ha llegado hasta los 50 kg por persona. El arroz se encuentra dentro de los productos de la canasta básica del país, al ser un producto de primera necesidad, este debería tener un precio oficial en el mercado, pero lamentablemente el precio de comercialización para los agricultores en el mercado en 2016 fue de 0.40 USD/kg, mientras que en 2020 presentó una disminución del 2%, dicha caída del precio en muchas ocasiones representa pérdidas para los agricultores (Sánchez, Vayas, Mayorga, & Freire, 2020). Por lo antes mencionado, se propone el diseño y construcción de un secador de arroz con capacidad de diez quintales, con el objetivo de procesar la gramínea de arroz y obtener un mejor precio de comercialización en el mercado.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un secador de arroz con una capacidad de diez quintales tipo semi-artesanal que permita que las comunidades agrícolas de pequeña producción mejoren su rentabilidad económica a partir del secado de arroz.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un secador de bandeja para una capacidad de diez quintales aplicando conceptos de transferencia de calor, mecánica de fluidos y termodinámica.
- Simular la cámara de secado para determinar las temperaturas y velocidades óptimas del sistema de secado.

Elaborar planos constructivos utilizando software como Inventor que permita la construcción a detalle del equipo.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Importancia del secado de arroz**

Los pequeños agricultores de la comunidad de Paipayales siguen aplicando métodos tradicionales en la producción de la gramínea de arroz la cual presenta pérdidas antes y durante el almacenamiento. Uno de los principales problemas en las pérdidas de los agricultores se presenta por la falta de un secado adecuado, ya que estos optan por secar el arroz con la ayuda de tendales, expuestos a la intemperie y a ataques de animales e insectos. Este tipo de secado representa pérdidas para los agricultores, pero se sigue manteniendo el método de secado artesanal por su bajo y por los desconocimientos de otras técnicas de secado o por su alto costo.

### **1.4.2 Efectos de la humedad en el arroz**

El arroz cáscara se almacena con cierto contenido de humedad (normalmente el 14%). En los sitios de almacenamiento, el arroz se puede alterar o destruir por causas físico-químicas o bien puede ser invadido por parásitos animales y vegetales. Las causas que pueden favorecer la modificación y deterioro del arroz, como de otros productos alimenticios, se atribuyen esencialmente, y, en primer lugar, al exceso de humedad del producto o de los locales en los que se almacena; este factor provoca y aumenta el desarrollo de parásitos, promueve la proliferación, vegetación

de hongos y bacterias e inicia alteraciones enzimáticas provocando la descomposición de la gramínea. (Monteza, 2019)

### 1.4.3 Curva de velocidad de secado

A partir de las curvas de velocidad de secado de un material, se puede obtener el tiempo de secado del producto, el consumo de energía, el mecanismo de migración de humedad, las condiciones de transferencia de calor, pérdida de masa y la influencia que tiene la velocidad de secado. (Delgado, 2014)

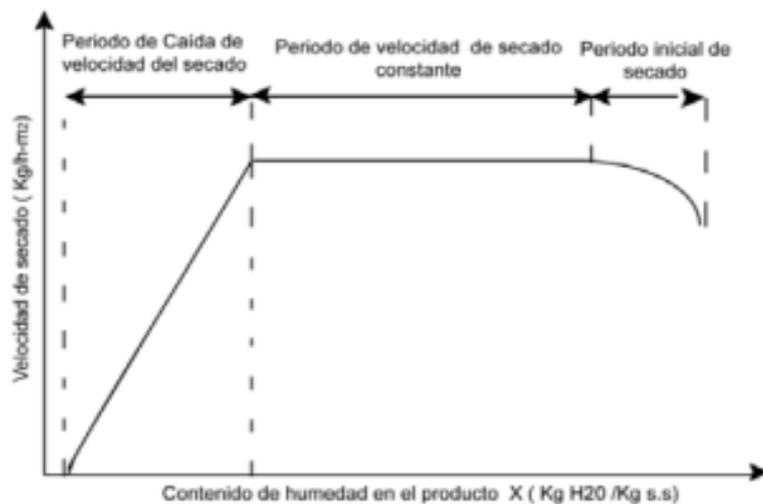


Figura 1.1 Curva de velocidad de secado de un sólido.

[Fuente: Diseño, Modelo matemático y construcción de un secadero optimizado con energías limpias (p,23), (Delgado, 2014)]

### 1.4.4 Tiempo de velocidad de secado creciente

Empieza en el tiempo cero, con una temperatura inferior a la que se someterá a medida que el tiempo transcurre la velocidad de evaporación va en aumento, el producto se calienta y aumenta la temperatura de interface produciendo una adaptación del material a las condiciones de secado. (Delgado, 2014)

#### **1.4.5 Tiempo de velocidad de secado constante**

Durante este periodo la superficie del sólido se encuentra muy mojada inicialmente y sobre ella una película de agua continua. La velocidad de evaporación del agua en la superficie del sólido es menor que la velocidad con que el agua del interior del sólido llega a la superficie del mismo. Llegando a un punto donde la velocidad de secado será igual a la velocidad de evaporación del agua y proporcional a la velocidad de flujo de calor de aire caliente que pasa por el sólido hasta llegar a una temperatura constante. Al transcurso del tiempo la biomasa se irá secando hasta que la velocidad del agua del interior del sólido sea menor a la velocidad de evaporación. Es decir, entra a la etapa del punto crítico de humedad libre, a partir de este punto el proceso deja de ser una recta para convertirse en una curva. Por otra parte, si el sólido es poroso la mayor parte del agua que se evapora proviene de su interior. (Delgado, 2014)

#### **1.4.6 Periodo de velocidad de secado decreciente**

Este cumple con dos periodos de secado. La primera parte del contenido crítico de humedad libre, la porción mojada empieza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda totalmente seca. En el segundo periodo la superficie al estar completamente seca la evaporación empieza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie, el calor de evaporación se transfiere a través del sólido en la zona de evaporación. Este proceso continuo hasta llegar a la humedad de equilibrio del material, es decir al periodo proscritico. En esta etapa la eliminación del agua es bastante pequeña, a un largo tiempo. (Delgado, 2014)

#### **1.4.7 Tiempo de secado**

Considerado como el tiempo que debe durar el proceso de deshidratación de la muestra, y, depende exclusivamente del tipo de biomasa y la humedad a deshidratar, con la finalidad de evitar dañar su estructura. El tiempo de secado se puede determinar a partir de la ecuación de velocidad

de secado evaluándose en condiciones distintas de cada sección del periodo de la curva de secado, es decir, el tiempo total de secado será igual al periodo de secado constante más el periodo de velocidad decreciente. (Delgado, 2014)

#### **1.4.8 Temperatura de bulbo seco**

A la temperatura normal del aire atmosférico se le conoce como temperatura de bulbo seco. (Cengel & Boles, 2012)

#### **1.4.9 Temperatura de bulbo húmedo**

La temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo está cubierto con un material saturado con agua, y expuesto al aire sobre ella. La temperatura medida de esta manera se la denomina temperatura de bulbo húmedo. (Cengel & Boles, 2012)

#### **1.4.10 Humedad relativa**

El aire puede contener solo cierta cantidad de humedad, y la relación entre la cantidad real de humedad en el aire a una determinada temperatura y la máxima cantidad que el aire puede contener a esa temperatura se la denomina humedad relativa. (Cengel & Boles, 2012)

#### **1.4.11 Humedad absoluta**

A la relación de masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aires seco, es a lo que se denomina humedad absoluta. (Cengel & Boles, 2012)

#### **1.4.12 Entalpia**

Es la cantidad de energía calorífica que absorbe o libera un sistema termodinámico a una presión constante. (Cengel & Boles, 2012)

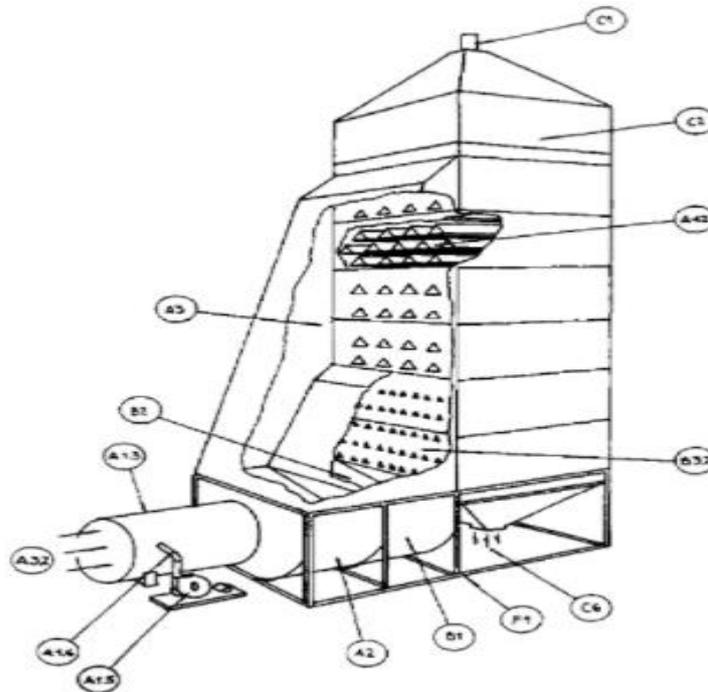
#### 1.4.13 Tipos de secadores de arroz

Existen varios tipos de secadores, que se clasifican en: secadoras de flujo continuo, secadoras en tandas y silos secadores. Los más utilizados en sector agrícola arrocerero son las secadoras de flujo continuo: verticales, cascada y horizontales. Estos diseños pueden ser de fácil movilidad, siempre y cuando se trate de plantas de acopio de pequeña y media producción. (De Dios, 1996)

Secadoras de flujo continuo son aquellas donde el arroz se agrega y se descarga de manera continua con el fin de tener llena la sección de secado (De Dios, 1996). Por lo tanto, se pueden clasificar a su vez en:

**Secadoras Verticales:** Conocidas también como tipo torre, se clasifican por el tipo de flujo: mixto o cruzado. En ambos tipos el grano de arroz ingresa por la parte superior para realizar su recorrido (De Dios, 1996). Las secadoras verticales se clasifican de acuerdo al tipo de flujo:

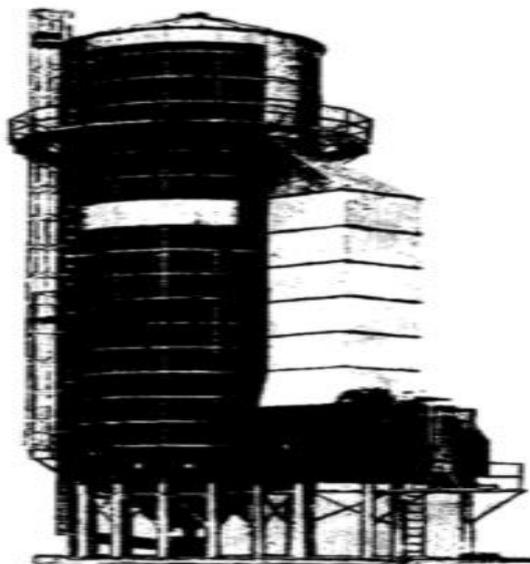
**Flujo mixto o caballetes:** los conductos son en forma de V invertida, estos canales permiten el plazo del flujo de aire con la finalidad de secar o enfriar los granos de arroz. (De Dios, 1996)



**Figura 1.2** Esquema de una secadora de flujo continuo o caballete.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,34), (De Dios, 1996)]

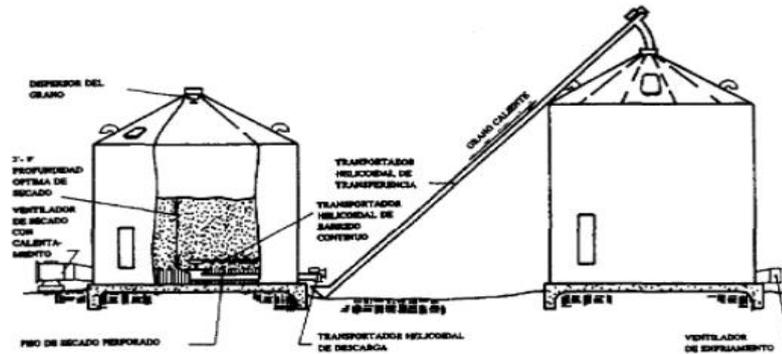
**Flujo cruzado o columnas:** este tipo se basa en canales circulares en los cuales el flujo de aire ingresa perpendicular a los conductos. (De Dios, 1996)



**Figura 1.3** Esquema de una secadora de flujo cruzado o columna.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,37), (De Dios, 1996)]

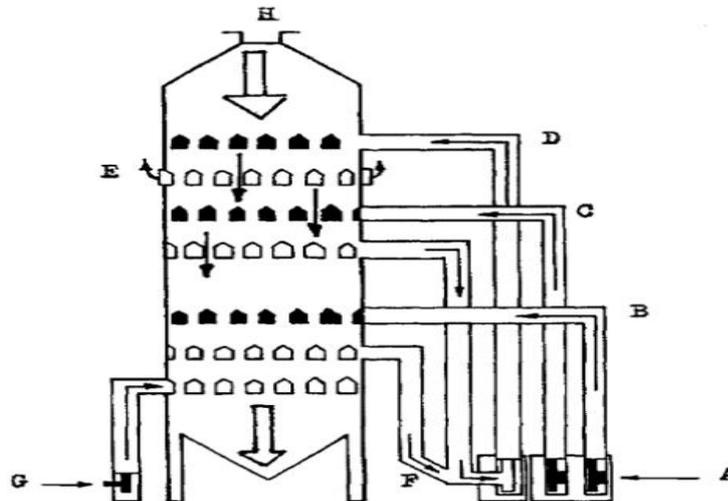
**Flujo contracorriente:** en estos diseños el flujo de aire y los granos de arroz se mueven en direcciones opuestas. (De Dios, 1996)



**Figura 1.4** Esquema de una secadora de flujo contracorriente.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,39), (De Dios, 1996)]

**Flujo concurrente:** en este diseño tanto los granos de arroz como el flujo de aire van en la misma dirección. (De Dios, 1996)



**Figura 1.5** Esquema de una secadora de flujo concurrente.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,40), (De Dios, 1996)]

**Secadoras de cascadas:** este tipo de diseño tiene planos inclinados, con el fin de que los granos vayan cayendo en forma de cascada. En este tipo de secadoras el flujo de aire pasa por persianas. (De Dios, 1996)

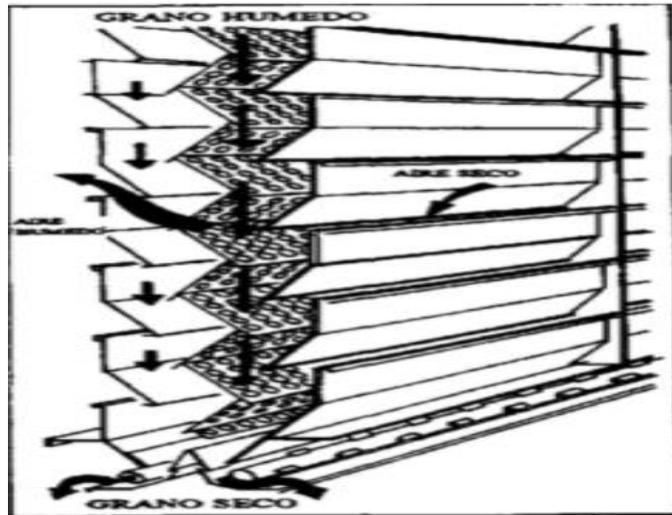


Figura 1.6 Esquema de una secadora de tipo cascada.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,38), (De Dios, 1996)]

**Secadoras Horizontales:** este tipo de secadoras se clasifican en dos tipos:

**Hexagonales:** son modelos más largos y suelen ser más complejas, al ser más largas por ende su capacidad aumenta, e incluso llegan a tener niveles. (De Dios, 1996)

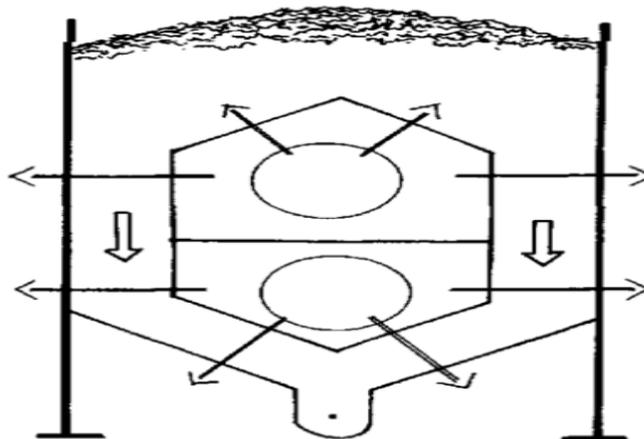
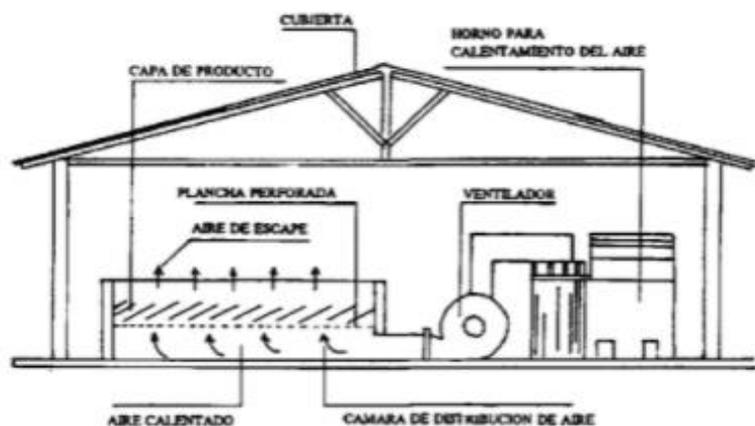


Figura 1.7 Sección transversal de secadora horizontal de columnas hexagonales.

[Fuente: Secado de granos y secadoras(p,46), (De Dios, 1996)]

**Planas:** tienen una sección de secado y de enfriamiento, estas secciones van de forma horizontal. (De Dios, 1996)



**Figura 1.8 Esquema de secadora horizontal plana.**  
 [Fuente: Secado de granos y secadoras(p,49), (De Dios, 1996)]

#### 1.4.14 Sistema de secado

Sistema de secado natural: este tipo de sistema es utilizado en su mayoría cuando se carece de equipos para el secado, se hace por medio del aire y de la radiación solar, del cual son dependientes. La desventaja de este tipo de secado, es que los agricultores dependen de la condición climática, es menos eficiente y demora mucho el secado, al igual que puede existir contaminación por el medio en donde es colocado el arroz. (De Dios, 1996)

Sistema de secado solar rotativo: se trata de sistema manual, el mecanismo se basa en una caja de madera que tiene un apoyo el cual le permite mantener la caja a cierta altura para aprovechar el viento y sol para un secado rápido, sin embargo, lo complicado de este diseño al igual que el sistema de secado natural depende de las condiciones climáticas y a su vez depende en que una persona tiene que estar rotando el modelo con el fin de tener radiación solar directa. (De Dios, 1996)

Sistema de secado artificial: El método más utilizado y más eficiente en las pequeñas, medianas y grandes empresas. Se trata del uso de equipos mecánicos con combustibles, uno de ellos el gas licuado de petróleo. No depende de las condiciones climáticas, puede operar en cualquier hora del día y a su vez es más eficiente en el tiempo de secado. (De Dios, 1996)

#### 1.4.15 Normas

**Norma INEN 186-GRANOS Y CEREALES. ARROZ EN CASCARA** “Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el arroz en cascara (*Oryza Sativa* L) en cualquiera de sus variedades destinadas al consumo humano”. Esta norma nos indica los requisitos que debe cumplir el arroz en cascara, para la implementación de un proceso de secado del mismo. (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 1986)

**Norma INEN 1235-GRANOS Y CEREALES. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (METODO DE RUTINA)** “Esta norma establece el método de rutina para la determinación del contenido de humedad en granos y cereales”. Esta norma nos habla de la preparación y acondicionamiento del arroz en el proceso de secado, así como los aparatos que intervienen en este proceso. Además, nos indica los procesos que intervienen en el secado y métodos para el cálculo de la humedad del grano. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986)

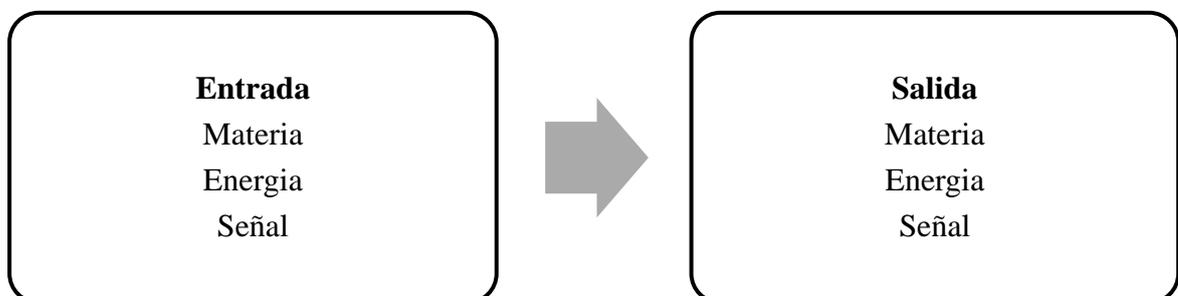
**Norma INEN 1515-GRANOS Y CEREALES. CIBRAS METALICAS O ZARANDAS Y TAMICES. TAMANO NOMINAL DE LA ABERTURA** “Esta norma establece los tamaños nominales de las aberturas de los tamices de ensayo y de las cribas metálicas o zarandas que se usan para separar los materiales susceptibles de clasificarlos según el tamaño de sus partículas”. Esta norma nos da a conocer los requisitos y características de tipo de tamiz o malla a utilizar en el proceso de secado del arroz. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se detalla la metodología aplicada para dar solución a este proyecto, se hizo una recopilación de información con personas de la comunidad quienes forman parte de la Asociación 'Dios con nosotros' la misma que cuenta con 29 socios. Con el fin de dar solución a varias de las familias del sector Paipayales, quienes actualmente venden su producto después de realizar la cosecha a un precio muy bajo, debido a que no pueden secar el arroz de una manera adecuada y eficiente. Primeramente, se dialogó con el cliente, permitiendo obtener información del proceso de cultivo, proceso de secado con el cual ellos lo hacen actualmente, y planificando la solución a su problema. Una vez obtenida información importante y en base a datos brindados por el mismo cliente, se investigó los tipos de secadores de arroz más comunes y utilizados en la agroindustria, con la finalidad de optar por cual se adapta a las condiciones del cliente. Para todo esto, se realizó un proceso de diseño, el cual es fundamental para la elaboración de cualquier producto, recopilando información necesaria e importante, debido a que el diseño presentado debe ser eficiente y económico en su proceso de fabricación, implementando conocimientos de transferencia de calor, manufactura, termodinámica, dibujo, entre otras.

### 2.1 Condiciones iniciales para el diseño de forma



**Figura 2.1 Condiciones iniciales para el diseño de forma.**

[Fuente: Autores]

## Entrada

Materia: Arroz con humedad

Energía: Para accionar el ventilador y para el quemador

Señal: Señal de luces al inicio de su funcionamiento

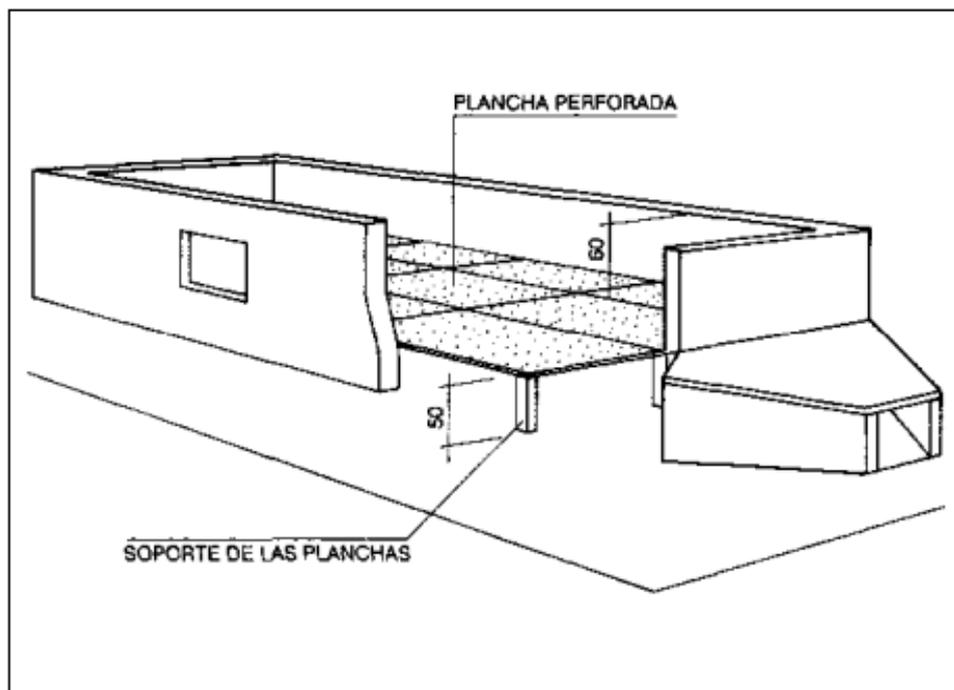
## Salida

Materia: Arroz con menor humedad

Energía: Calor y sonido

Señal: Señal de luces que indique que el sistema está funcionando

Para el inicio del proceso de secado de arroz se empieza con el llenado de la cámara de secado en la bandeja de manera que la gramínea quede de forma homogénea. La generación de calor se produce por un quemador que utiliza gas licuado de petróleo con el objetivo de calentar el aire del ambiente hasta obtener una temperatura idónea para el secado y con la ayuda de un ventilador transporta el aire caliente hasta la cámara de secado. Después del secado del arroz se procede a la descarga del mismo.



**Figura 2.2** Diseño de forma del equipo.

[Fuente: Autores]

Después de conversar con el cliente, y ver las necesidades que presenta la organización de arroceros de Paipayales, nos han solicitado que el diseño presente las siguientes condiciones:

**Tabla 2.1 Condiciones iniciales del diseño de forma.**

[Fuente: Autores]

<b>Condiciones Iniciales del proyecto</b>	
<b>Necesidad o problema:</b>	Diseño de una secadora de arroz
<b>Condiciones</b>	
<b>Funcionales</b>	Secadora de arroz, cuyo producto presente una humedad de 22% al 25%. Capacidad máxima de diez quintales.
<b>Constructivas</b>	Materiales del CDTS-FIMCP y repuestos fáciles de conseguir.
<b>Económicas</b>	Bajo costo de construcción.
<b>Ergonómicas</b>	Fácil operación y mantenimiento.
<b>Ecológicas</b>	Gases no contaminantes de la combustión.
<b>Seguridad</b>	Garantizar la seguridad de los operadores.

### 2.1.1 Proceso de diseño

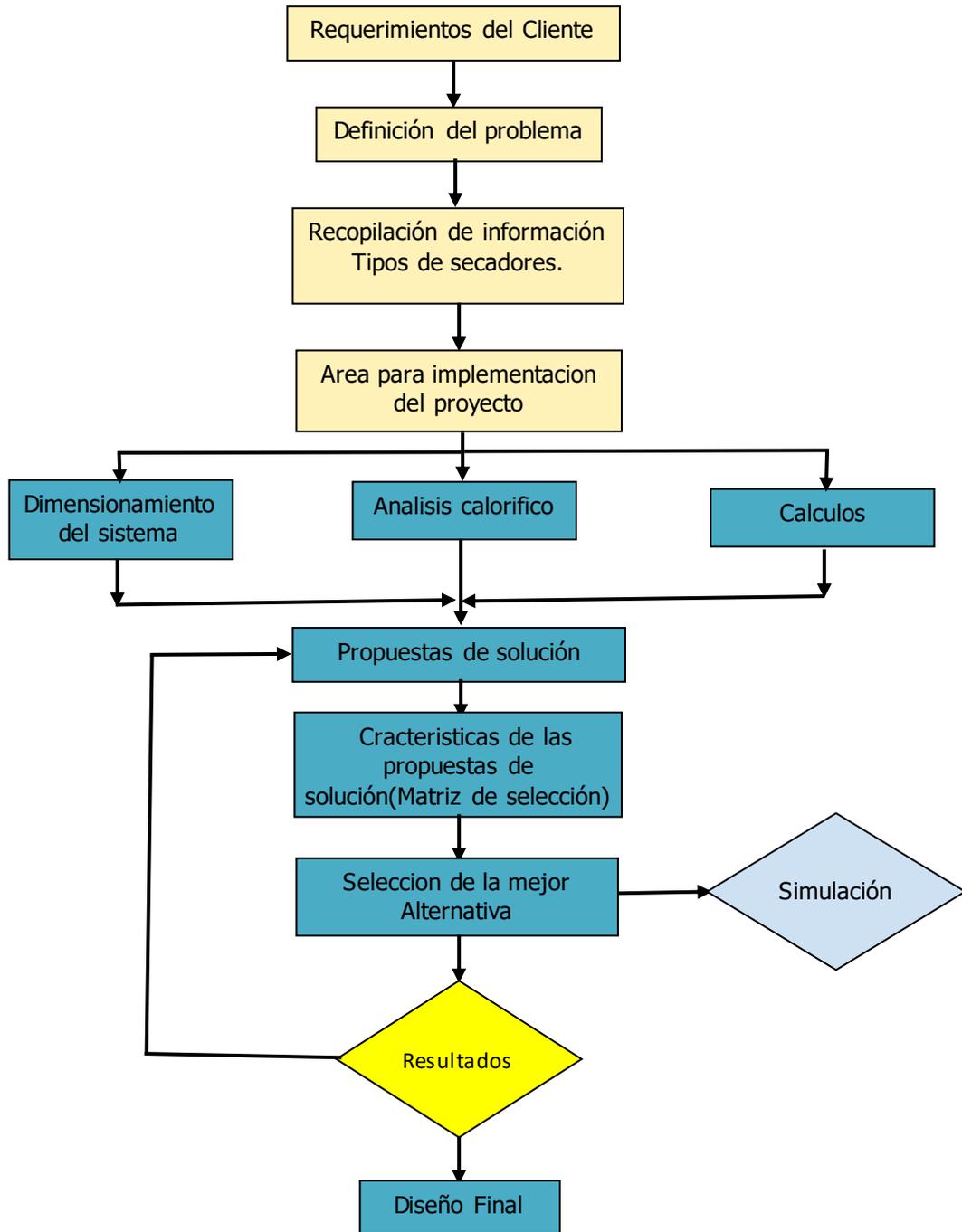
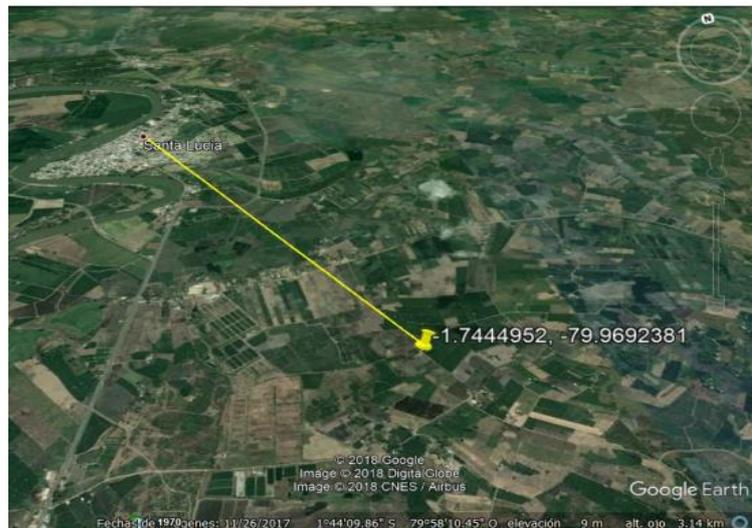


Figura 2.3 Metodología del diseño.

[Fuente: Autores]

### 2.1.2 Situación geográfica de la comunidad arrocera

Este proyecto se llevará a cabo en la República del Ecuador, Cantón Santa Lucía de la provincia del Guayas. Se encuentra ubicada a 6 metros sobre el nivel del mar, con temperatura promedio de 25°C. En general, el terreno tiene un nivel lo suficientemente plano, también se conoce que el Río Daule atraviesa el territorio. El cantón Santa Lucía como unidad territorial cuenta con recursos naturales que han sido intervenidos por una continua y persistente intervención antropogénica sobre los recursos naturales. El diseño y fabricación de un secador de arroz de capacidad 10 quintales se implementará en la comunidad de Paipayales. La comunidad está ubicada aproximadamente a 3 km del cantón Santa Lucía, se dedica exclusivamente a la siembra y cosecha de arroz por parte de un grupo de aproximadamente 25 agricultores llamado Dios con Nosotros. (Ávila, 2017)



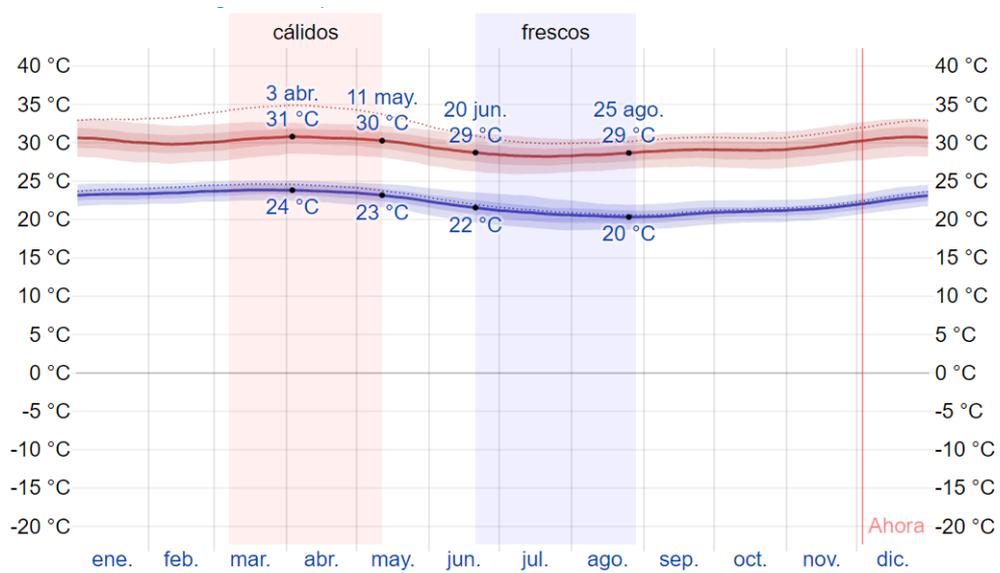
**Figura 2.4 Ubicación Geográfica de la comunidad Paipayales en el Cantón Santa Lucía.**  
[Fuente: Vínculos con la sociedad valoración de microempresas en la comunidad Paipayales del Cantón Santa Lucía(p,1), (Ávila, 2017)]

**Tabla 2.2 Latitud y longitud de la comunidad Paipayales en el Cantón Santa Lucía.**

[Fuente: Autores]

Coordenadas		Altitud (m)
Grados Decimales (DD)		
Latitud	Longitud	
-1.744	-79.969	9

### 2.1.3 Temperatura promedio anual de la comunidad



**Figura 2.5 Medición anual de la temperatura en la ciudad de Guayaquil 2021.**

[Fuente: Autores]

La figura 2.5 presenta las mediciones de las temperaturas anuales de la ciudad de Guayaquil. La línea roja hace referencia a la temperatura máxima promedio por mes, y la línea azul hace referencia a la temperatura mínima promedio por mes del año 2021.

A continuación, tenemos la tabla de temperaturas:

**Tabla 2.3 Temperaturas máximas y mínimas promedios por mes del 2021.**

[Fuente: Autores]

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	Mar	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	T Anual [°C]
T máx. [°C]	30	30	30	31	30	29	28	29	29	29	30	31	25.0
T mín. [°C]	23	24	24	24	23	22	21	20	21	21	22	23	

#### 2.1.4 Requerimientos del cliente (Parámetros de diseño)

1. El diseño garantice la seguridad de los operadores.
2. Capacidad del secador de 10 quintales.
3. Eficiencia y optimización del tiempo de secado.
4. Fácil operación y mantenimiento del equipo.
5. Facilidad en la carga y descarga de la gramínea.
6. Repuestos y accesorios del equipo se puedan encontrar con facilidad en el mercado nacional.
7. Fácil mantenimiento del equipo.
8. Bajo costo de fabricación.

## 2.2 Criterios de selección

**Construcción:** La construcción del diseño se realizó pensando en aplicar la economía circular, es decir darles una segunda vida a materiales del CDTS-FIMCP. Además, los componentes, materiales y equipos del diseño para la construcción se los puede encontrar con facilidad en el mercado local, para ser exactos en la provincia del Guayas.

**Operación:** El equipo va dirigido al sector arrocero rural, donde el conocimiento de este tipo de tecnología es empírico por lo que el secador de granos debe ser de fácil de operar.

**Mantenimiento:** Los equipos hoy en día se les debe dar un mantenimiento periódico para evitar daños y el paro del equipo. El secador fue diseñado con la finalidad de que las partes puedan desmontarse en caso de que sea necesario para el mantenimiento y su limpieza del mismo.

**Costo:** La creación del equipo debe ser inferior a los equipos que hay en el mercado y garantizar la eficiencia del secado.

**Tiempo de secado:** El secado de todo el producto debe realizarse en un máximo de dos días, debido a que es el tiempo máximo que resiste el arroz húmedo antes de dañarse.

**Tabla 2.4 Ponderación de criterios de selección**

[Fuente: Autores]

CRITERIOS	Operación	Tiempo de secado	Mantenimiento	Costo	Construcción
<b>Operación</b>	-	0.25	0.75	0.50	0.50
<b>Tiempo de secado</b>	0.25	-	0.25	0.50	1.00
<b>Mantenimiento</b>	0.75	0.25	-	0.50	0.75
<b>Costo</b>	0.50	0.25	0.50	-	1.00
<b>Construcción</b>	0.50	1.00	0.75	1.00	-
<b>Total</b>	2.00	1.75	2.25	2.50	3.25
<b>Ponderación</b>	0.17	0.15	0.19	0.21	0.28

Donde los valores de importancia se consideran:

0.25 es poco importante.

0.50 es regular.

0.75 es importante.

1.00 es muy importante

### 2.3 Alternativas de diseño

Secadoras verticales (Alternativa A): El sistema se forma por una torre, donde encontramos la cámara de secado que a su vez está conformada por un sistema

de bandejas perforadas tan pequeños que los granos de arroz no la atraviesen. La torre en su parte inferior está conectada a un ventilador que se encarga de transportar el flujo de aire caliente que extrae del quemador continuo y llevándolo hacia la torre de secado. Estos sistemas son muy utilizados a niveles industriales y una de las desventajas sería que sus costos de fabricación son altos.

Secadoras verticales tipo cascada (Alternativa B): Este tipo de sistema está formado por una torre al igual que la alternativa A, pero con algunos cambios en la cámara de secado encontramos planchas metálicas inclinadas en forma de zigzag por donde cae el arroz formando una cascada en la caída y en su parte inferior podemos encontrar una banda transportadora que traslada el arroz a un sistema de bandejas conectadas a un motor que simulan un elevador y repiten el proceso. Además, en su parte inferior a un costado encontramos conectado un ventilador que transporta el flujo de aire caliente que extrae del quemador continuo. Este tipo de proyecto son muy replicados a escala industrial ya que su costo es elevado y su mantenimiento.

Secadores horizontales (Alternativa C): El sistema está formado por la cámara de secado que es totalmente horizontal o acostada, con una bandeja con perforaciones tan pequeñas de modo que el arroz no las atraviese, la cual se encuentra en la parte superior. El costado de la cámara de secado se conecta un ventilador que su objetivo es transportar el flujo de aire caliente que extrae del quemador llevándolo a la parte inferior de la cámara de secado. Las ventajas de este sistema es que cuenta con un sistema muy sencillo de implementación y su costo de fabricación sería menor en comparación con las demás alternativas.

**Tabla 2.5 Variables a considerar en los diferentes diseños de secadores.**

[Fuente: Autores]

<b>Variables</b>	<b>SECADORA VERTICAL</b>	<b>SECADORA CASCADA</b>	<b>SECADORA HORIZONTAL</b>
<b>Motor</b>	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
<b>Combustible Cámara</b>	GLP o Diésel, Biomasa	GLP o Diésel	GLP o Diésel
<b>Transmisión para transportar la materia prima</b>	Catalina y cadena	Catalina y cadena	Ninguna
<b>Elemento Transmisión</b>	Tornillo sin fin	Tornillo sin fin	Eje
<b>Cámara de secado</b>	Canales en forma de 'V' invertidos	Planos Inclinaados	Tambor o Rectangular
<b>Limpieza interna</b>	Difícil	Difícil	Normal

## 2.4 Matriz de selección

**Tabla 2.6 Matriz de selección.**

[Fuente: Autores]

<b>Criterios</b>	<b>Ponderación</b>	<b>SECADORA VERTICAL</b>	<b>SECADORA HORIZONTAL</b>
<b>Operación Secadora Vertical</b>	0.17	4.0	3.0
<b>Tiempo de secado Secadora en Cascada</b>	0.15	3.0	4.0
<b>Mantenimiento Secadora Horizontal</b>	0.19	2.0	3.0
<b>Costo</b>	0.21	1.0	2.0
<b>Construcción</b>	0.28	2.0	3.0
<b>TOTAL</b>	1.00	2.28	<b>2.94</b>

Donde los valores se consideran:

1.0 Malo

2.0 Regular

3.0 Bueno

4.0 Muy bueno

Finalmente concluyendo con el proceso de diseño, y después de haber analizado las posibles opciones de secadores, se ha decidido realizar el diseño de una secadora horizontal, con capacidad de diez quintales y capaz de abastecer toda la demanda de la cosecha de arroz.

## 2.5 Diseño del secador

Para el diseño del secador de arroz, se procedió a realizar los cálculos de la cámara de secado, cuanto calor se necesita para llevar el arroz desde una humedad inicial hasta la humedad final. Con una masa de diseño de 10 quintales se procedió a obtener el volumen del arroz mediante la siguiente ecuación:

### Volumen del arroz

$$V_a = \frac{m_a}{\delta_a} \quad (2.1)$$

Donde:

$V_a$ : Volumen de arroz [ $m^3$ ]

$m_a$ : Masa de arroz [Kg]

$\delta_a$ : Densidad del arroz [ $kg/m^3$ ]

### Dimensiones de la cámara de secado

Se toma el área de la plancha de acero perforada con medidas de 1.22\*2.44 metros.

### Temperatura de película

Obtenemos la temperatura de película que nos sirve para evaluar las propiedades del fluido mediante la siguiente ecuación:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2.2)$$

Donde:

$T_f$ : Temperatura de película [ $^{\circ}K$ ]

$T_s$ : Temperatura de secado [ $^{\circ}K$ ]

$T_{\infty}$ : Temperatura ambiente [ $^{\circ}K$ ]

### Número de Rayleigh

Con las propiedades del fluido evaluadas en su temperatura de película son  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\nu$  y además la gravedad obtenemos el número de Rayleigh mediante la siguiente ecuación:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\gamma\alpha} \quad (2.3)$$

Donde:

$g$ : Aceleración de la gravedad [ $m^2/s$ ]

$\beta$ : Coeficiente de expansión térmica [ $1/^{\circ}K$ ]

$T_s$ : Temperatura de secado [ $^{\circ}K$ ]

$T_{\infty}$ : Temperatura ambiente [ $^{\circ}K$ ]

$L$ : Longitud [ $m$ ]

$\gamma$ : Viscosidad cinemática [ $m^2/s$ ]

$\alpha$ : Difusión térmica [ $m^2/s$ ]

### Número de Nusselt

$$Nu = 0.27 * Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (2.4)$$

Donde:

$N_u$ : Número de Nusselt

$Ra_L$ : Número de Rayleigh

### Coefficiente convectivo de transferencia de calor

$$h_i = k \frac{Nu}{l} \quad (2.5)$$

Donde:

$h_i$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor [ $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ ]

$N_u$ : Número de Nusselt

$k$ : Conductividad térmica del aire húmedo [ $W/m \text{ } ^\circ K$ ]

$l$ : Longitud de la cámara de secado [ $m$ ]

### Velocidad del aire

Con el coeficiente de convección natural, se procede a obtener la velocidad del viento. La ecuación de la velocidad del viento es válida en un rango de 0.61 a 7.6 m/s (Delgado, 2014). Por lo tanto, a partir de este rango se procedió a iterar con la velocidad del aire para obtener el mejor resultado.

$$v_a = \frac{\left(\frac{h_i}{0.0204}\right)^{\frac{1}{0.8}}}{3600 * \rho_a} \quad (2.6)$$

Donde:

$v_a$ : Velocidad del aire [ $m/s$ ]

$h_i$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor [ $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ ]

$\rho_a$ : Densidad del aire a  $50^\circ C$  [ $kg/m^3$ ]

### Calor latente del agua

El calor latente lo obtenemos mediante la siguiente ecuación:

$$w = \frac{R}{M_A} [6547.1 - 4.23(T + 273.16)] \quad (2.7)$$

Donde:

$w$ : calor latente del agua [ $J/kg$ ]

$R$ : Constante de los gases [ $J/Kmol \text{ } ^\circ K$ ]

$T$ : Temperatura ambiente [ $^\circ K$ ]

$M_A$ : Masa molar del agua [ $kg/kmol$ ]

### Constante de secado

$$R_c = \frac{h_i}{w} (T_s - T_w) * 3600 \quad (2.8)$$

Donde:

$R_c$ : Constante de secado [J/kg]

$h_i$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor [ $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ ]

$w$ : calor latente del agua [J/kg]

$T_s$ : Temperatura de bulbo seco [ $^\circ K$ ]

$T_w$ : Temperatura de bulbo húmedo [ $^\circ K$ ]

### Velocidad de secado

$$v_s = R_c * A_c * N \quad (2.9)$$

Donde:

$v_s$ : Velocidad de secado [kg/h]

$R_c$ : Constante de secado [J/kg]

$A_c$ : Area de la camara de secado [ $m^2$ ]

$N$ : Numero de bandejas

### Flujo másico del aire

$$\dot{m}_a = \frac{v_s}{H_{a,c} - H_w} \quad (2.10)$$

Donde:

$\dot{m}_a$ : Flujo masico del aire [ $Kg_{aire,seco}/h$ ]

$v_s$ : Velocidad de secado [kg/h]

$H_{a,c}$ : Humedad de temperatura de bulbo seco [ $Kg_{humedad}/Kg_{aire,seco}$ ]

$H_w$ : Humedad de temperatura de bulbo húmedo [ $Kg_{humedad}/Kg_{aire,seco}$ ]

### Calor de secado

$$Q_s = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad (2.11)$$

Donde:

$Q_s$ : Calor de secado [MJ/h]

$\dot{m}_a$ : Flujo masico del aire [ $kg_{aire,seco}/h$ ]

$h_2$ : Entalpía de temperatura de bulbo seco [kJ/ $kg_{aire,seco}$ ]

$h_1$ : Entalpía de temperatura de bulbo húmedo [kJ/ $kg_{aire,seco}$ ]

### Flujo másico de aire caliente

$$\dot{m}_{ac} = \frac{Q_s}{C_{pair} \Delta T} \quad (2.12)$$

Donde:

$\dot{m}_{ac}$ : Flujo masico del aire caliente [kg/h]

$Q_s$ : Calor de secado [MJ/h]

$C_{pair}$ : Calor especifico del aire [kJ/kgK]

$\Delta T$ : diferencia de temperaturas [°K]

### Caudal de aire

$$Q = \frac{\dot{m}_{ac}}{\rho} \quad (2.13)$$

Donde:

$Q$ : Caudal de aire [ $m^3/s$ ]

$\dot{m}_{ac}$ : Flujo masico del aire caliente [kg/h]

$\rho$ : Densidad del aire [ $kg/m^3$ ]

## 2.6 Simulación del equipo

Actualmente, existe en el mercado una gran cantidad de software para realizar simulaciones o evaluar procesos. Para la simulación del equipo se utilizó el software

ANSYS, el cual nos permite simular fluidos en movimiento obteniendo parámetros de interés del equipo. Las simulaciones de equipos en la actualidad es un método muy utilizado debido a que nos permite validar prototipos antes de su construcción y de esta manera corregir ciertos errores presentes en el diseño evitando pérdidas económicas en la construcción del equipo. Uno de los objetivos de validar los prototipos es corregir errores en una etapa temprana del diseño y además de comparar los resultados obtenidos en el software con los cálculos del diseño

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se procede a realizar el análisis de viabilidad del prototipo y su posterior implementación. Para ello se realizó la validación de datos y además de comparar los resultados de la simulación con los datos teóricos del diseño.

### 3.1 Resultados del diseño teórico

Tabla 3.1 Resultados del diseño teórico.

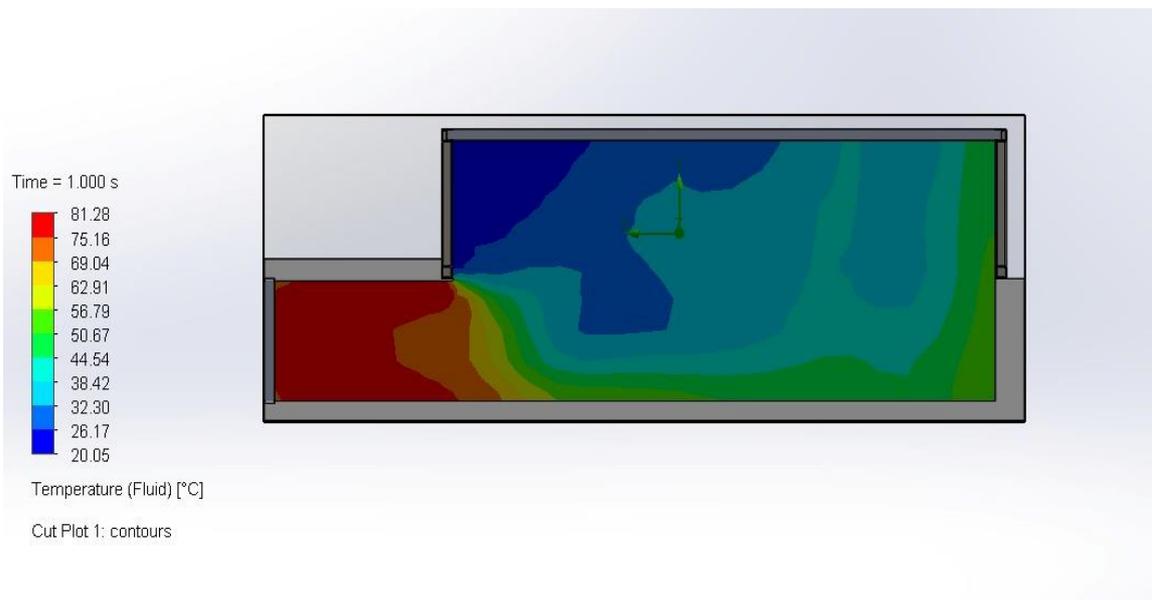
[Fuente: Autores]

Ecuación	Nomenclatura	Simbología	unidad	Resultado
2.6	Coeficiente de transferencia de calor	$h_i$	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$	76.35
2.13	Caudal de aire caliente	$Q$	$m^3/h$	7740
2.12	Flujo másico de aire caliente	$\dot{m}_{ac}$	$kg/s$	2.34

### 3.2 Resultados de la simulación

Para validar el desempeño del equipo se procedió a realizar la simulación del prototipo en el programa ANSYS, con lo cual se consiguió validar los resultados teóricos tales como: el coeficiente de transferencia de calor, caudal y flujo másico del aire caliente en la cámara de secado. Además, se puede observar en la figura 3.1 que la temperatura de aire dentro de la cámara de secado es la esperada del diseño.

Para la simulación del prototipo se tomó como datos de entrada los valores obtenidos en el diseño teórico tabla 3.1.



**Figura 3.1 Simulación del proceso de secado**

[Fuente: Autores]

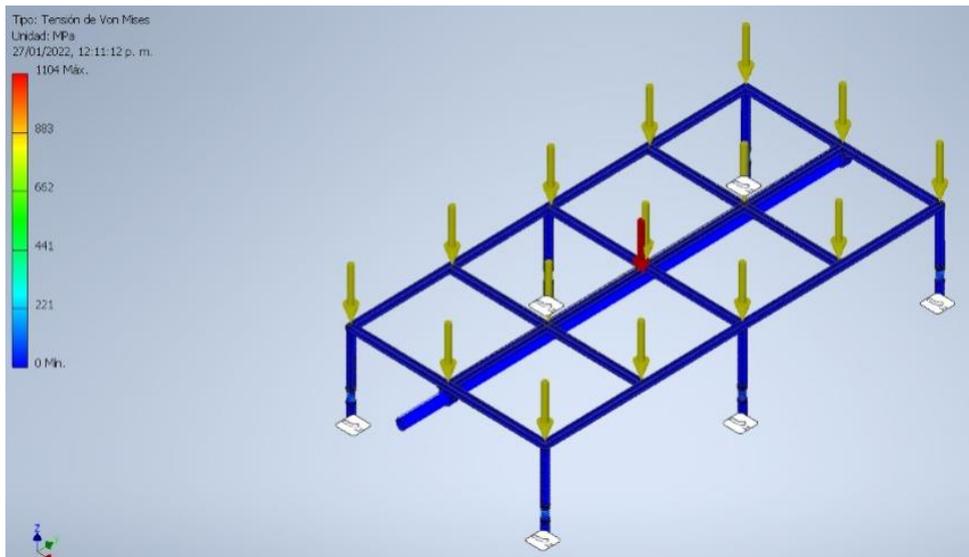
Los resultados obtenidos de la simulación los podemos observar en la tabla 3.2 donde se logra observar que el aire alcanza la temperatura promedio de 50°C 53 en la cámara de secado, además se distribuye de manera uniforme en toda la cámara y se mantiene constante.

**Tabla 3.2 Resultados de la simulación.**

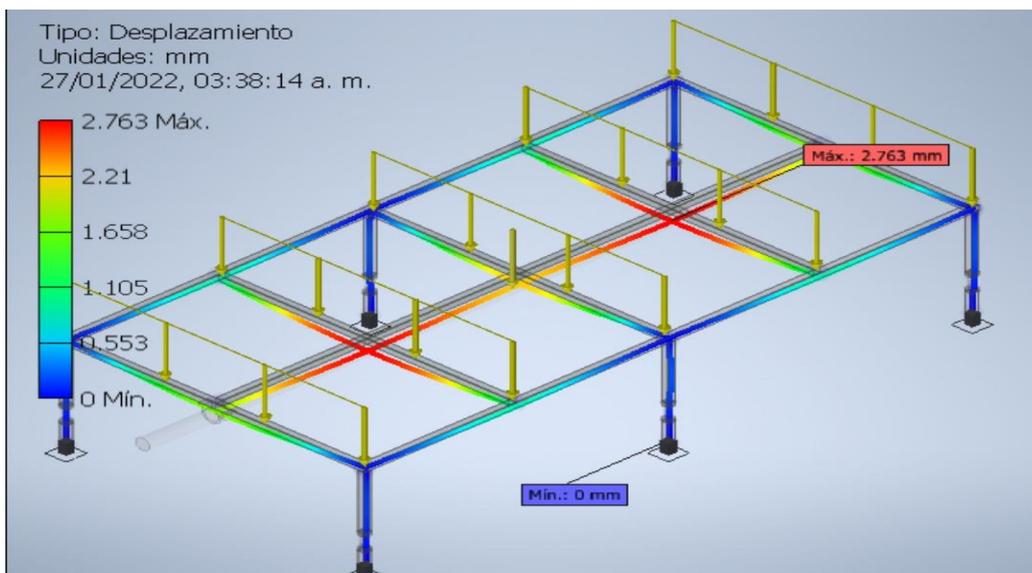
[Fuente: Autores]

Nomenclatura	Simbología	unidad	Resultado
Coefficiente de transferencia de calor	$h_i$	$W/m^2 \text{ } ^\circ K$	85
Caudal de aire caliente	$Q$	$m^3/h$	9400
Flujo másico de aire caliente	$\dot{m}_{ac}$	$kg/s$	2.61
Temperatura de secado	$T_s$	$^\circ C$	50

Los resultados obtenidos de la simulación de análisis de esfuerzos no muestran que los esfuerzos presentes en la cama de secado son menores al esfuerzo de fluencia del material (250MPa). Además, la deflexión que presenta la cama de secado es mínima de 2.76 mm.



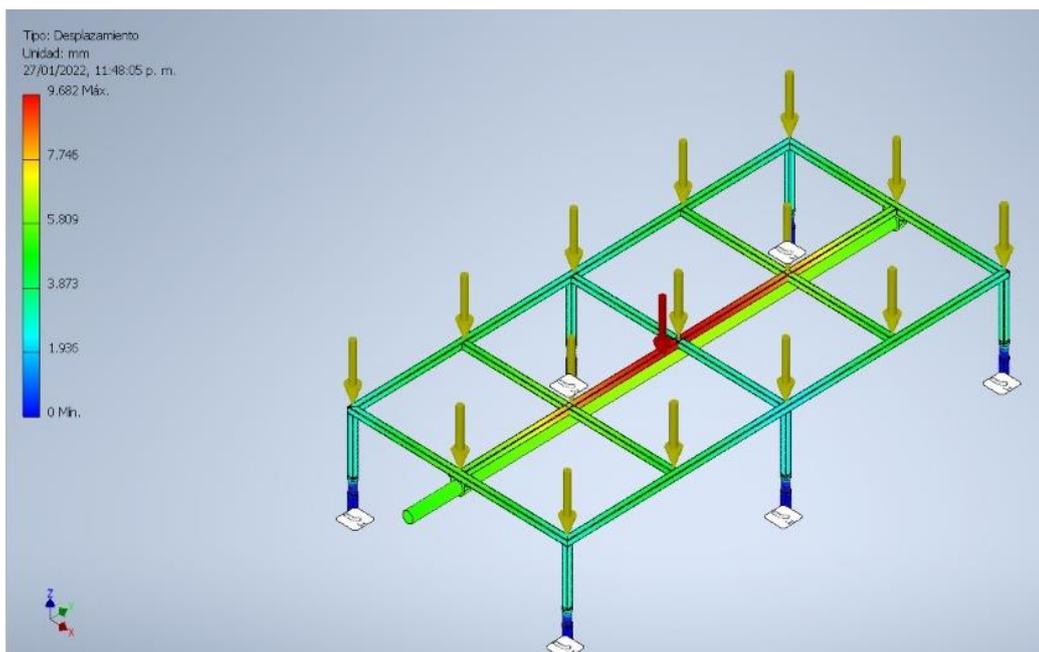
**Figura 3.2 Simulación de esfuerzos en cama de secado**  
[Fuente: Autores]



**Figura 3.3 Simulación de deflexión máxima de la cama de secado.**  
[Fuente: Autores]

Los resultados obtenidos de la simulación de esfuerzos en los resortes podemos observar en la figura 3.4, donde los resortes soportan la carga presente en la cámara de secado y además de validar el sistema de vibración para conseguir la vibración de la cama de secado obteniendo un secado homogéneo de la masa de arroz. El funcionamiento del sistema de vibración funcionará cada 30 minutos cuya función es remover el arroz para un secado homogéneo.

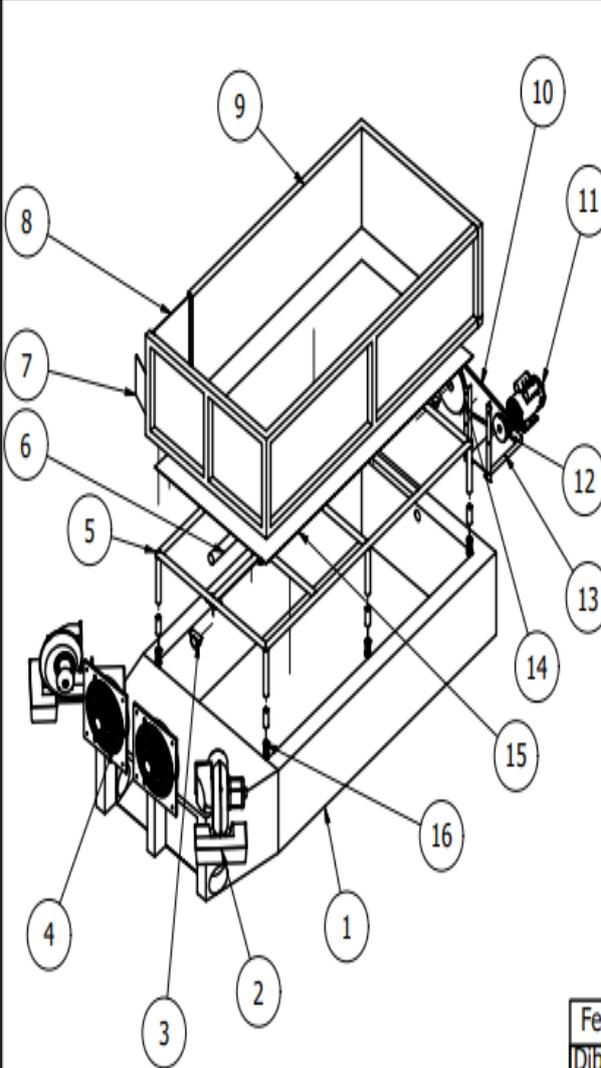
Los resortes soportarán una carga máxima de 107 Kg, tomando en cuenta el peso de la malla, estructura y de la masa de arroz, para ello se selecciona un resorte por catálogo que cumpla tanto con el peso máximo y el coeficiente de elasticidad.



**Figura 3.4 Simulación de esfuerzos en resortes.**

[Fuente: Autores]

### 3.3 Planos



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Base	ladrillo artesanal
2	2	Quemadores	Monoblock
3	2	Chumaceras	2 1/4 in
4	2	Ventiladores	5100 mc/h a 2500 rpm
5	1	Cama	Tubos de 30*30*2 mm
6	1	Eje	ASTM A36
7	1	Salida	Acero Inoxidable
8	1	Puerta	Acero inoxidable
9	1	Estructura	Tubos de 50*50*1.5 mm
10	1	Correa	modelo en V
11	1	Motor	Trifásico
12	1	Polea Peque	Dext 136 mm
13	1	Base motor	Acero ASTM A36
14	1	Polea Grande	Dext 300 mm
15	1	Malla	Perforación redonda
16	6	Resortes	Acero inoxidable

Fecha:	24/01/2021	Unidades	Material	
Dibujado por:	Coquinche L.	mm	Acero	
por:	Naula C.	Cantidad	Inoxidable	
Aprobado por:	Martinez Ernesto	1	Ladrillo ASTM A36	
Escala	Plano correspondiente a:		SECADORA DE ARROZ	
1:20	Plano de Extrucción			
			Lámina: 1	

**PLANO 1 Extrucción del secador de arroz.**

[Fuente: Autores]

### 3.4 Costos

#### 3.4.1 Costo de materiales

Los costos de los materiales y equipos para la construcción del secador se cotizaron en el mercado local para ser más exactos en la ciudad de Guayaquil para una futura construcción en la comunidad de Paipayales.

**Tabla 3.3 Costos de Materiales.**

[Fuente: Autores]

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ladrillo	Unidad	195	\$0.19	\$37.05
Cemento 50kg	Kilogramo	1	\$8.00	\$8.00
Planchas de acero inoxidable 304: 1.22*2.44 m Espesor 1.5 mm	Unidad	1	\$130.00	\$130.00
Planchas de acero inoxidable 304: 1.22*1.22 m Espesor 1.5 mm		1	\$70.00	\$70.00
Chumacera de 2 1/4 in	Unidad	2	\$20.00	\$40.00
Ventilador 5100 mc/h 2500 rpm	Unidad	2	\$480.00	\$960.00
Resortes Cr-Si o ASTM A36	Unidad	6	\$15.00	\$90.00
Cama ASTM A36 tubos de 30*30*2 mm	Unidad	4	\$30.00	\$120.00
Eje AISI 1045	Unidad	1	\$50.00	\$50.00
Banda en V B83	Unidad	1	\$20.53	\$20.53
Motor de 4 hp trifásico	Unidad	1	\$250.00	\$250.00
Polea pequeña Dext 136 mm	Unidad	1	\$15.00	\$15.00
Polea grande Dext 300 mm	Unidad	1	\$25.00	\$25.00
Malla perforada de acero inoxidable de diámetro de agujero de 1.25 mm	Unidad	1	\$150.00	\$150.00
Estructura acero inoxidable 50*50*1.5 mm	Unidad	7	\$40.00	\$280.00
Soldadura 6018 kg	Kilogramo	2	\$6.00	\$12.00
Quemadores monoblock	Unidad	2	\$200.00	\$400.00
<b>Total</b>				<b>\$2657.58</b>

### 3.4.2 Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra fueron cotizados con maestros de la ciudad de Guayaquil y el valor total a cancelar representa el valor de construcción del equipo y los encontramos en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4 costos de mano de obra.**

[Fuente: Autores]

Descripción	Horas	Valor hora/ hombre	Valor total
Soldador	12	\$6.25	\$75.00
Albañil	16	\$4.38	\$70.08
<b>Total</b>			<b>\$145.08</b>

### 3.4.3 Costos de diseño

Los costos del diseño representan el costo total de los diseñadores del proyecto y los encontramos en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Costos de diseño.**

[Fuente: Autores]

Diseñador	Costo
Leonel Coquinche	\$300.00
Cesar Naula	\$300.00
<b>Total</b>	<b>\$600.00</b>

### 3.4.4 Costos totales del equipo

El costo total del equipo lo encontramos en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Costos totales del equipo.**

Costos	Valor
Costos de materiales	\$2657.58
Costos de mano de obra	\$145.08
Costos de diseño	\$600.00
<b>Total</b>	<b>\$3402.58</b>

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La validación del presente proyecto se lo realizo con el objetivo de implementar este sistema de secado en la comunidad de Paipayales del cantón Santa Lucía y sus lugares aledaños. Además, de incentivar a los pequeños agricultores a utilizar este tipo de tecnología, con la finalidad de evitar pérdidas de sus cosechas ya que la humedad presente en el arroz es la principal causa de descomposición en la gramínea.

La importancia del presente proyecto radica en el análisis teórico y una simulación con resultados muy aproximados, por lo que equipo tiene una lata confiabilidad y una gran viabilidad al momento de su construcción.

### 4.1 Conclusiones

Las validaciones de prototipos mediante simulaciones en la actualidad reemplazan a las pruebas de funcionamiento luego de su construcción. Por tal motivo las simulaciones son una herramienta muy importante en el proceso de diseño, debido a que representa una reducción de gastos que se podrían presentar al realizar una construcción con errores. Al realizar una comparación entre los resultados obtenidos de forma teórica y la simulación nos podemos dar cuenta que los resultados tienen una diferencia de un 12%.

El diseño del secador de arroz es de tipo horizontal, donde el equipo está compuesto de una precámara de combustión y su respectiva cámara de secado las cuales serán construidas de ladrillo artesanal tipo sogá con el fin de que las pérdidas de calor sean insignificantes, para aislar térmicamente la cámara de secado y las demás partes del equipo serán construida en acero inoxidable al tratarse de un producto de grado alimenticio. En los cálculos teóricos de energía obtuvimos que se necesita 23550 Wh, para deshidratar 454.55 kg de arroz con cascara y de este modo eliminar la mayor cantidad de agua presente en el producto.

El costo total del equipo de secado es de 3402.58 USD, donde están incluidos costos de materiales, mano de obra y costos de diseños, teniendo un costo bajo en comparación con otros equipos del mercado local, además de que nuestro diseño tiene un sistema de vibración en la cama de secado para obtener de esta manera un secado homogéneo del producto.

Para determinar el tiempo de secado del producto de forma teórica se tomó en cuenta el secado del producto en los periodos de velocidad constante y velocidad decreciente donde se obtuvo un tiempo de secado de aproximadamente 6 horas. Además, para el secado del arroz se calculó el flujo másico de aire caliente y su velocidad obteniendo los siguientes resultados 2.34 kg/s y 15.33 m/s respectivamente.

En el sistema de secado de arroz se definió una temperatura óptima de secado de 50°C para la cámara de secado, obteniendo de la simulación una temperatura promedio de 50.53°C, la cual se mantiene constante en la cámara de secado de forma homogénea.

Los resultados obtenidos de la simulación de esfuerzos no muestran que los esfuerzos presentes en la cama de secado son menores al esfuerzo de fluencia del material (250MPa). Además, la deflexión que presenta la cama de secado es mínima de 2.76 mm. Por lo tanto, podemos afirmar que el prototipo va a soportar la carga de la masa de arroz.

Para el dimensionamiento del secador de arroz, el punto de partida fue conocer el volumen de cosecha de la comunidad de Paipayales, por lo que fue importante el levantamiento de información, la cual nos sirvió para obtener la capacidad del diseño.

Aplicando conocimientos del proceso diseño matriz de decisión, elegimos la mejor opción de diseño, cumpliendo con los requerimientos del cliente y además de su posterior validación mediante un software para su simulación, y cumpliendo una meta que se realice con el menor gasto posible.

Para garantizar la calidad y la sanidad del producto al ser de grado alimenticio, el diseño en las partes que están en contacto directo con el producto se utilizó acero inoxidable de grado alimenticio.

La seguridad del operador es uno de los requerimientos del cliente por ello para evitar accidentes o quemaduras se diseñó una precámara donde los mecheros están dentro de la misma y de esta manera también aprovechar de mejor manera la flama.

## **4.2 Recomendaciones**

Debido a la falta de datos a la llama de los mecheros se recomienda la instalación de un sensor de temperatura en la precámara con el fin de poder regular la llama del mechero y obtener una temperatura de 90°C en la precámara.

Se recomienda la instalación de un sensor de temperatura en la cámara de secado para monitorear la temperatura y que esta se encuentre dentro de la temperatura de secado.

Se recomienda que la malla perforada vaya ajustada con pernos en la cama de secado y de esta manera poder desmontarla cuando se necesite realizar el mantenimiento o limpieza del equipo.

Debido a que los resultados teóricos difieren de los resultados de la simulación para la selección del ventilador se lo realizo con el valor del caudal obtenido en la simulación para mejor el sistema de secado.

Se recomienda utilizar palas de madera para la descarga del arroz seco de esta manera evitamos posibles daños de la malla perfora, ya que al usar palas de metal podría causar cualquier daño a la malla o alguna fisura y tendríamos caída del producto dentro de la cámara de secado.

Se recomienda la implementación de un sistema de automatización para el diseño de vibración que se implementó para conseguir un secado homogéneo del producto.

Se recomienda al operador realizar la descarga del producto rodeando equipo, con la finalidad de evitar que el operador tenga que ingresar a la cama de secado y evitar cualquier accidente.

Se recomienda cargar el secador a la capacidad de 10 quintales, siendo esta la capacidad máxima, si se desea aumentar la capacidad del secador se recomienda realizar la misma metodología ya que al aumentar la capacidad del secador se necesita seleccionar nuevos ventiladores para satisfacer el flujo de aire caliente para la nueva capacidad.

Se recomienda revisar periódicamente la banda en V, del sistema de vibración para el secado homogéneo ya que siempre debe tener una distancia entre centros de las poleas de 728.98 mm, a esta distancia la banda se mantendrá templada.

Se recomienda realizar un análisis de flujo de los quemadores para ver el comportamiento de la flama.

Se recomienda realizar un análisis de costos para la automatización del sistema de secado homogéneo con el que cuenta el secador.

En caso de que la secadora tenga una masa menor a 10 quintales se recomienda utilizar un variador de velocidad con el fin de que el mecanismo vibratorio no oscile demasiado, sino en relación al peso. La temperatura se distribuye uniformemente por toda la cámara de secado como se puede observar en el software de simulación gracias a que se añadió una precámara, sin embargo, al notar que el calor no llegase a distribuirse uniformemente, se recomienda agregar baffles para una mejor distribución.

Al tratarse de una secadora de máximo 10 quintales, dado que su altura volumétrica será de 25 cm aproximadamente, por seguridad y en base a que se verán tentados de colocar más carga de lo normal, se recomienda tubo 40\*40\*2 mm para la cama.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, A., & Ávila, W. (2018). *Diseño de un horno intercambiador de biomasa y gas para la generación de calor utilizada en el proceso de secado de arroz*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Ávila, W. (2017). *Valoración del Microempresas en la comunidad de Paipayales del Cantón Santa Lucía*. Guayaquil.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Caballero, J. (2015). *Diseño de una secadora de cacao para almacenaje con capacidad de 2 T/DA*. Lima: Pontifica Universidad Catolica del Perú.
- Cardenas, J., & Salinas, D. (2019). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UNA PILADORA EN EL RECINTO PAIPAYALES* . Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL .
- Cely, T. (2018). *Listado de maquinarias agrícola utilizada y combustible*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica* . México D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICA EDITORES, S.A .
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos*. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Cueva, O., & Saquina, L. (2017). *Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 Kg*. Riobamba : Escuela Superior politécnica del Chimborazo.
- De Dios, C. A. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Santiago: Oficina Reigional para America Latina y el Caribe.
- Delgado, E. (2014). *Diseño, Modelo matematico y construcción de un secadero optimizado con energias limpias*. Coruña: Universidad de Santiago de Compostela.
- Espinosa, C., & Buitron, R. (2015). *Diseño y construccion de una maquina secadora de cacao para aplicacion agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas .
- Guano, V., & Rocha, A. (2013). *Diseño de una maquina secadora vertical para maíz con una capacidad de 2000 kg*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

- Hidalgo, R., & Pozzolo, O. (2010). *Tempering en arroz*. Buenos Aires: Asociación correntina de plantadores de arroz.
- Incropera, F. p. (2007). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Jefferson City: John Wiley & Sons.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (1986). *GRANOS Y CEREALES ARROZ EN CASCARA*. Guayaquil: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1986). *Granos y cereales cribas metalicas o zarandajas y tamices*. Guayaquil: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1986). *Granos y cereales determinacion del contenido de humedad* . Guayaquil: INEN.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). *Encuesta de Superficie y Produccion Agropecuaria continua 2020*. Guayaquil: INEC.
- Jimbo, C., & Arboleda, F. (2016). *Diseño mecanico y construcción de un secador de cacao al vacio para medianos y grandes productores en la provincia de Manabí*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Monteza, C. (2019). *Relación entre la humedad inicial del arroz en cascara y método de secado en la industria arrocera*. Lambayeque : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Revista Científica . (2013). *Influencia de la temperatura del grano, durante el proceso de secado, en la calidad del arroz Blanco* . Cuba : Revista Científica .
- Rodríguez, M. (2007). *Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz*. Valdivia: Universidad Austral de Chile .
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2020). *El arroz en Ecuador*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Tacuri, L., & Quintana, M. (2010). *Diseño concurrente de una secadora vertical intermitente para arroz*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo

# APÉNDICE

## APÉNDICE A

### Cálculos

#### Masa de arroz a secar

$$m_a = 10 \text{ quintales} = 1000 \text{ lb}$$

#### Densidad aparente del arroz con cascara

$$\delta_a = 580 \text{ kg/m}^3$$

#### Volumen a secar

$$V_a = \frac{m_a}{\delta_a}$$
$$V_a = \frac{(1000 \text{ lb} * \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}})}{580 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_a = 0.78 \text{ m}^3$$

#### Dimensiones de la cámara de secado

Se toma el área de plancha de acero de perforada con medidas de 1.22x2.44 metros.

#### Área de la cámara de secado

$$h_a = \frac{V_a}{A_c}$$
$$h_a = \frac{0.78 \text{ m}^3}{(1.22 * 2.44) \text{ m}^2}$$
$$h_a = 0.26 \text{ m}$$

#### Temperatura de película

Temperatura ambiente de  $T_\infty = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de secado de  $T_s = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$
$$T_f = \frac{(323 + 298)^\circ\text{K}}{2}$$
$$T_f = 310.5 \text{ }^\circ\text{K}$$

Longitud característica es la relación entre el área superficial y el perímetro de la cámara de secado.

$$L = \frac{A_c}{P}$$

$$L = \frac{(1.22 * 2.44) m^2}{7.32 m}$$

$$L = 0.41 m$$

Con la temperatura de película de  $T_f = 310.5 \text{ }^\circ K$  encontramos las propiedades correspondientes  $\beta, \nu, \alpha$  y además g el valor de la gravedad de la tierra.

Tabla A.1 Propiedades de la temperatura de película

[Fuente: Autores]

Propiedades de la temperatura de película	
Coeficiente de expansión volumétrica ( $\beta$ )	$3.22 * 10^{-3} \text{ }^\circ K$
Viscosidad cinemática ( $\nu$ )	$16.94 * 10^{-6} m^2/s$
Difusión térmica ( $\alpha$ )	$24.13 * 10^{-6} m^2/s$
Gravedad ( $g$ )	$9.81 m/s^2$

$$\beta = T_f^{-1} = 3.22 * 10^{-3} \text{ }^\circ K$$

El número de Rayleigh

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{(9.81 \frac{m^2}{s})(3.22 * 10^{-3} \text{ }^\circ K)(323 \text{ }^\circ K - 298 \text{ }^\circ K)(0.41 m)^3}{(16.94 * 10^{-6} m^2/s)(24.13 * 10^{-6} m^2/s)}$$

$$Ra_L = 1.33 * 10^8$$

El número de Nusselt

$$Nu = 0.27 * Ra_L^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0.27(1.33 * 10^8)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 28.99$$

Coeficiente convectivo de transferencia de calor

$$k = 27.10 * 10^{-3} W/m \text{ }^\circ K$$

$$l = 2.44 m$$

$$h_i = k \frac{Nu}{l}$$

$$h_i = (27.10 * 10^{-3} W/m \text{ }^\circ K) \frac{(28.99)}{2.44 m}$$

$$h_i = 0.32 W/m^2 \text{ }^\circ K$$

A partir del coeficiente de convección natural obtenido anteriormente junto con la densidad del aire a la temperatura de secado, se evalúa la velocidad del aire a la que ocurrió el proceso.

$$\rho_a = 1.16 \left( \frac{T_a + 273}{T + 273} \right)$$

$$\rho_a = 1.16 \left( \frac{25 + 273}{50 + 273} \right)$$

$$\rho_a = 1.07 \text{ kg/m}^3$$

$$v_a = \frac{\left( \frac{h_i}{0.0204} \right)^{\frac{1}{0.8}}}{3600 * \rho_a}$$

$$v_a = \frac{\left( \frac{0.32 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}{0.0204} \right)^{\frac{1}{0.8}}}{3600(1.07 \text{ kg/m}^3)}$$

$$v_a = 8.1 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

La velocidad que se obtuvo es muy baja por lo que alargara el tiempo de secado. El proceso de secado en condiciones normales varia de 0.61 a 7.6 m/s, por lo que trabajamos con una velocidad de 7.6 m/s, para cumplir con nuestro objetivo de obtener un producto con una humedad de 12%.

Para velocidad de 7.6 m/s

Con la velocidad calculamos el coeficiente de convección natural.

$$h_i = 0.0204(3600 * v_a * \rho_a)^{0.8}$$

$$h_i = 0.0204(3600 * 7.6 \text{ m/s} * 1.07 \text{ kg/m}^3)^{0.8}$$

$$h_i = 76.35 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calor latente del agua

Tabla A.2 Variables del calor latente

[Fuente: Autores]

Variables del calor latente	
Constante de los gases ( $R$ )	8314 J/Kmol °K
Masa molar del agua ( $M_A$ )	18 kg/kmol

$$w = \frac{R}{M_A} [6547.1 - 4.23(T + 273.16)]$$

$$w = \frac{8314 \text{ J/Kmol } ^\circ\text{K}}{18 \text{ kg/kmol}} [6547.1 - 4.23(25 + 273)]$$

$$w = 2441803.32 \text{ J/kg}$$

### Constante de secado

$T_w = \text{temperatura de bulbo humedo} = 24^\circ\text{C}$

$$R_c = \frac{h_i}{w} (T_s - T_w) * 3600$$

$$R_c = \frac{76.35 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}{2441803.32 \text{ J/kg}} (323 \text{ } ^\circ\text{K} - 297 \text{ } ^\circ\text{K}) * 3600$$

$$R_c = 2.93 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

### Velocidad de secado

$$A_c = (1.22 * 2.44) \text{ m}^2$$

$N = \text{numero de bandejas} = 1$

$$v_s = R_c * A_c * N$$

$$v_s = (2.93 \text{ kg/m}^2\text{h})(1.22 * 2.44) \text{ m}^2(1)$$

$$v_s = 8.72 \text{ kg/h}$$

### Flujo másico de aire

$$\dot{m}_a = \frac{v_s}{H_{a,c} - H_w}$$

$$\dot{m}_a = \frac{8.72 \frac{\text{Kg humedad}}{\text{h}}}{8 * 10^{-3} \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg aire, seco}} - 4.4 * 10^{-3} \frac{\text{Kg humedad}}{\text{Kg aire, seco}}}$$

$$\dot{m}_a = 2422.22 \frac{\text{Kg aire, seco}}{\text{h}}$$

### Calor de secado

$$Q_s = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

$$Q_s = 2422.22 \frac{\text{Kg aire, seco}}{\text{h}} \left( 72.5 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg aire, seco}} - 37.5 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg aire, seco}} \right)$$

$$Q_s = 84.78 \text{ MJ/h}$$

$$Q_s = 84.78 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 23.55 \text{ kW}$$

### Flujo másico de aire caliente

$$\dot{m}_{ac} = \frac{Q_s}{C_{p\text{air}} \Delta T}$$
$$\dot{m}_{ac} = \frac{23.55 \text{ kW}}{(1.005 \text{ kJ/kgK}) (333 - 323) \text{ K}}$$
$$\dot{m}_{ac} = 2.34 \text{ kg/s}$$

### Velocidad del aire caliente

$$v = \frac{\dot{m}_{ac}}{\rho A}$$
$$A = \pi r^2$$
$$A = \pi (0.21)^2 = 0.14 \text{ m}^2$$
$$\rho(50^\circ \text{C}) = 1.09 \text{ kg/m}^3$$
$$v = \frac{2.34 \text{ kg/s}}{(1.09 \text{ kg/m}^3)(0.14 \text{ m}^2)}$$
$$v = 15.33 \text{ m/s}$$

### Caudal de aire

$$Q = Av$$
$$Q = (15.33 \text{ m/s})(0.14 \text{ m}^2)$$
$$Q = 2.15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 7740 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$
$$Q = 2.15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 4555.59 \text{ cfm} \approx 5000 \text{ cfm}$$

### Cantidad de agua a remover

Humedad inicial del grano ( $\phi_i$ ) = 22%

Humedad final del grano ( $\phi_f$ ) = 12 %

$m_a = 10 \text{ quintales} = 454.55 \text{ kg}$

$$m_w = m_a \left[ \frac{\left( \frac{\phi_i}{100} - \frac{\phi_f}{100} \right)}{1 - \frac{\phi_f}{100}} \right]$$
$$m_w = 454.55 \text{ kg} \left[ \frac{\left( \frac{22}{100} - \frac{12}{100} \right)}{1 - \frac{12}{100}} \right]$$
$$m_w = 51.65 \text{ kg}$$

## Masa seca

$$\begin{aligned}m_s &= m_a - m_w \\m_s &= 454.54 \text{ kg} - 51.65 \text{ kg} \\m_s &= 402.89 \text{ kg}\end{aligned}$$

## Tiempo de secado

### Tiempo de secado en el periodo constante

$$\begin{aligned}T_1 &= \frac{m_s}{A_c * R_c} \left( \frac{\phi_i}{100} - \frac{\phi_f}{100} \right) \\T_1 &= \frac{402.89 \text{ kg}}{(2.97 \text{ m}^2)(2.81 \text{ kg/m}^2 \text{ h})} \left( \frac{22\%}{100} - \frac{12\%}{100} \right) \\T_1 &= 4.81 \text{ h}\end{aligned}$$

### Tiempo de secado en el periodo decreciente

$$\begin{aligned}T_2 &= \frac{m_s}{A_c * R_c} \left( \frac{\phi_f}{100} - \frac{\phi_{fi}}{100} \right) \\T_2 &= \frac{402.89 \text{ kg}}{(2.97 \text{ m}^2)(2.81 \text{ kg/m}^2 \text{ h})} \left( \frac{12\%}{100} - \frac{10\%}{100} \right) \\T_2 &= 0.96 \text{ h}\end{aligned}$$

## Tiempo total de secado

$$\begin{aligned}T_T &= T_1 + T_2 \\T_T &= 4.81 \text{ h} + 0.96 \text{ h} \\T_T &= 5.77 \text{ h} \approx 6 \text{ h}\end{aligned}$$

## Comprobando el tiempo de secado

con el valor de la velocidad de secado y con la cantidad de agua a remover realizamos una regla de tres:

$$m_w = 51.65 \text{ kg}$$

$$v_s = 8.72 \text{ kg/h}$$

$$\begin{aligned}T_s &= \frac{(51.65 \text{ kg})(1 \text{ h})}{8.72 \text{ kg}} \\T_s &= 5.92 \text{ h} \approx 6 \text{ h}\end{aligned}$$

## Selección del material

Se seleccionó acero inoxidable del tipo alimenticio para mantener la asepsia de la gramínea de arroz.

Características del material:

Espesor de 1.5 mm

Dimensiones estándar en el mercado de:

1220 mm x 2440 mm

Sin embargo, los proveedores nos facilitan planchas de:

1220 mm x largo especial

Por lo tanto, en base a las dimensiones de la cámara, se necesitan:

- 2 planchas de 1220 mm x 2440 mm
- 1 plancha de 1220 mm x 1220 mm

### **Selección de Malla para la colocación del grano de arroz**

Según el INEN el arroz se clasifica 5 clases según su longitud:

Clase 1: Extra largo: 9.00 mm en adelante

Clase 2: Largo: de 8.00 mm a 8.99 mm

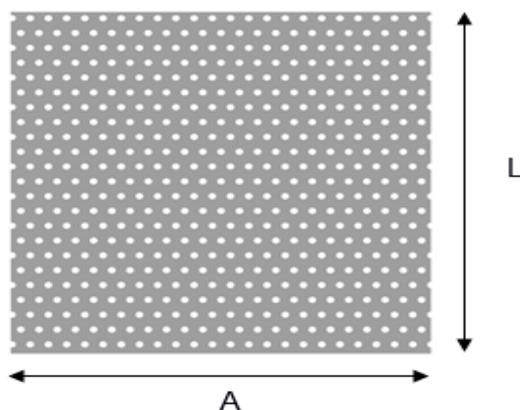
Clase 3: Medio: de 7.00 mm a 7.99 mm

Clase 4: Corto: menor a 7.00 mm

Clase 5: es la mezcla de las cuatro clases mencionadas anteriormente.

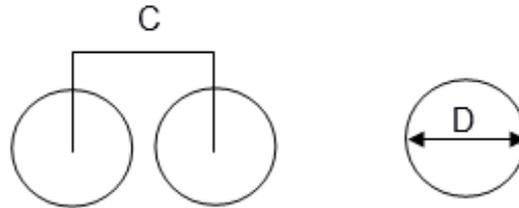
En base a la información obtenida con el cliente, supo manifestar que el arroz que ellos cosechan es arroz largo o mediano. Sin embargo, para la selección del mallado para la cama de secado, se ha considerado un arroz corto con el fin de que la malla pueda servir tanto para arroz corto y extra largo.

Por lo tanto, para la malla de la cama de secado se utilizará acero inoxidable con perforaciones redondas, tal como podemos observar en la figura A.1:



**Figura A.1 Malla de la cámara de secado.**

[Fuente: <http://acerimallas.com.ec/pdf/Catalogo-Acerimallas.pdf>]



**Figura A.2 Distancia entre centros y diámetro de la malla.**

[Fuente: Autores]

Largo de la plancha:  $L = 2.44$  m

Ancho de la plancha:  $A = 1.22$  m

Distancia entre centros:  $C = 3.22$  mm

Diámetro del agujero: 1.25 mm

### **Base de la cámara y precámara**

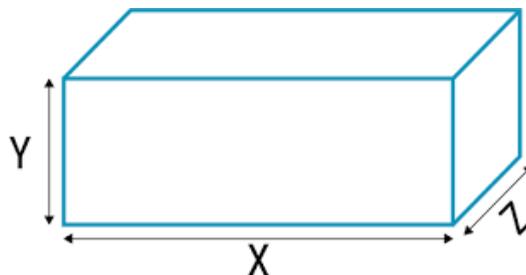
La base de la cámara y precámara se realizará de ladrillo, parcial y total respectivamente, eso con la finalidad de que las pérdidas de calor sean bajas.

Por lo tanto, se tendrá:

2 paredes de 2.44 m de largo x 0.50 m de alto.

2 paredes de 1.22 m de largo x 0.50 m de alto.

### **Material para la cámara**



**Figura A.3 Dimensiones del ladrillo.**

[Fuente: Autores]

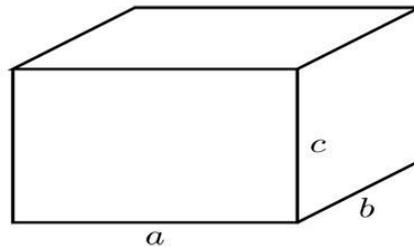
Dimensiones de ladrillo:

x: largo:  $l = 26.0$  cm

y: alto:  $h = 7.0$  cm

z: ancho:  $13.0$  cm

### Cuarto de cámara de calentamiento



**Figura A.4 Dimensiones de la cámara de secado.**

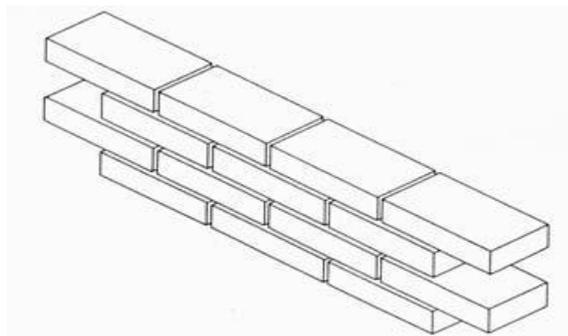
[Fuente: Autores]

a: largo de pared:  $L = 2.44$  m

b: ancho de pares:  $A = 1.22$  m

c: alto de pares:  $H = 0.5$  m

Una vez obtenido las medidas se selecciona el tipo de pared, en esta ocasión se seleccionó el tipo Soga, con el fin de tener una menor pérdida de calor, y de esta manera asegurar la parte externa para los operarios:



**Figura A.5 Aparejo de ladrillo tipo soga.**

[Fuente: Autores]

$$\#ladrillos = \frac{1}{(J_h + l)(J_v + h)}$$

Donde:

$J_h$ : junta horizontal [m]

$l$ : largo del ladrillo [m]

$J_v$ : junta vertical [m]

$h$ : alto del ladrillo [m]

La junta se conoce como a la distancia que separa los ladrillos, es decir es la distancia de la mezcla de cemento. Dicha distancia se trabajó bajo la norma INEN del Código de Práctica Ecuatoriano (CPE) CPE INEN 5 – PARTE 4, donde nos sugiere que el espesor debe considerarse entre 10 mm y 15 mm. Por consideraciones de diseño y una mejor pega se seleccionó 15 mm de junta.

$$\#ladrillos = \frac{1}{(0.015 \text{ m} + 0.26 \text{ m})(0.015 \text{ m} + 0.07)}$$

$$\#ladrillos = 42.78 \frac{\text{ladrillos}}{\text{m}^2}$$

Considerando pérdidas del 5%

$$\#ladrillos = 44.92 \frac{\text{ladrillos}}{\text{m}^2}$$

**Volumen de Mortero/m<sup>2</sup> de muro.**

$$V_{pared} = Area * a$$

Donde:

Área: se considera 1 metro cuadrado [m<sup>2</sup>]

$a$ : ancho del ladrillo [m]

$$V_{pared} = (1 \text{ m})(1 \text{ m})(0.13 \text{ m})$$

$$V_{pared} = 0.13 \text{ m}^3$$

$$V_{ladrillo} = l * h * a * \#ladrillos$$

Donde:

$l$ : largo de ladrillo [m]

$h$ : alto de ladrillo [m]

$a$ : ancho de ladrillo [m]

$$V_{ladrillo} = 0.26 \text{ m} * 0.07 \text{ m} * 0.13 \text{ m} * 44.92$$

$$V_{ladrillo}: 0.106 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mortero}}: V_{\text{pared}} - V_{\text{ladrillo}}$$

$$V_{\text{mortero}} = 0.130 \text{ m}^3 - 0.106 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{mortero}} = 0.024 \text{ m}^3$$

**Cálculo del área total de los muros:**

Pared 1: 1.22 m de largo x 0.50 m de alto

Pared 2: paredes de 2.44 m de largo x 0.50 m de alto

$$A_{p1} = (2 \text{ paredes})(1.22 \text{ m})(0.50 \text{ m}) = 1.22 \text{ m}^2$$

$$A_{p2} = (2 \text{ paredes})(2.44 \text{ m})(0.50 \text{ m}) = 2.44 \text{ m}^2$$

$$A_{TP} = 1.22 \text{ m}^2 + 2.44 \text{ m}^2 = 3.66 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_{p1}$ : área pared 1 [m<sup>2</sup>]

$A_{p2}$ : área pared 2 [m<sup>2</sup>]

Por lo tanto, aplicando una regla de tres:

$$1 \text{ m}^3 \text{ --- --- --- } 0.024 \text{ m}^3$$

$$3.66 \text{ m}^2 \text{ --- --- --- } X$$

$$X = 0.0878 \text{ m}^3$$

Donde:

$X$ : volumen de mortero en las paredes [m<sup>3</sup>]

**Cálculo de materiales:**

Basado en la norma NTE INEN 2 518: Morteros para unidades de mampostería

Lo que se sugiere es tener una relación de proporción cemento-arena 1:3

Cantidades cmt - ar	Cemento (Kg) cmt	Arena (mt3) ar	Agua (Lts)
1:2	610	0,97	250
1:3	454	1,10	250
1:4	364	1,16	240
1:5	302	1,20	240
1:6	261	1,20	235

**Figura A.6 Dosificación de cemento-arena.**

[Fuente: norma NTE INEN 2518]

finalmente aplicando regla de tres

### Numero de ladrillos

$$1 \text{ m}^2 - - - -44.92 \frac{\text{ladrillos}}{\text{m}^2}$$

$$3.66 \text{ m}^2 - - - -\text{cantidad de ladrillos}$$

*cantidad de ladrillos = 165 ladrillos aproximadente.*

### Cemento

$$1 \text{ m}^3 - - - -454 \text{ Kg}$$

$$0.0878 \text{ m}^3 - - - -\text{Cantidad de cemento}$$

*Cantidad de cemento = 39.86 kg sin considerar pérdidas.*

### Agua

$$1 \text{ m}^3 - - - -250 \text{ lts}$$

$$0.0878 \text{ m}^3 - - - -\text{Cantidad de agua}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 21.95 \text{ lts}$$

### Arena

$$1 \text{ m}^3 - - - -1.10 \text{ m}^3$$

$$0.0878 \text{ m}^3 - - - -\text{Cantidad de arena}$$

*Cantidad de arena = 0.09 m<sup>3</sup> sin considerar pérdidas*

Una vez que se obtuvo el cálculo del material para la cámara de secado, realizamos el mismo análisis para la precámara, teniendo como resultado total de material:

**Tabla A.3 Cantidad total de material de la precámara y cámara de secado.**

[Fuente: Autores]

Material	Cantidad
Ladrillos	195
Cemento de 55.5 kg	1

### Ecuación del movimiento vibratorio

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_0 \sin(\omega t)$$

M: masa [Kg]

c: coeficiente de amortiguamiento

k: constate de elasticidad

**El movimiento vertical está relacionado con la siguiente ecuación:**

$$y = \text{Resp. Transitoria} + \text{Resp. Estacionaria}$$

Se toma en cuenta solo la respuesta estacionaria debido a que se trata de un tiempo prolongado de oscilaciones.

**Por lo tanto:**

$$y = \frac{F_o \sin(\omega t + \Phi)}{\sqrt{(K_v - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}}$$

**Frecuencia Natural:**

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

Para calcular la constante elástica es recomendable utilizar velocidades menores a 1020 rpm, por lo tanto, por relación de poleas y velocidad del motor escogemos una velocidad de 800 rpm=83.77 rad/s.

**Relación de frecuencias recomendado para este tipo de mecanismo:**

$$\frac{\omega}{\omega_n} = 3.0$$

Por lo tanto:

$$\frac{83.77}{\omega_n} = 3.0$$

$$\omega_n = 27.92 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$k = \omega_n^2 M$$

**Sumando la masa de malla, la masa de la tubería y del arroz es de: 595 Kg**

$$k = \frac{(27.92 \frac{\text{rad}}{\text{s}})^2 (595 \text{ Kg})}{9810 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}}$$

$$k = 47.28 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$$

**Deflexión estática**

$$\delta = \frac{M}{k}$$

$$\delta = \frac{595 \text{ Kg}}{47.28 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}}$$

$$\delta = 12.6 \text{ mm}$$

por lo tanto, para la selección de resortes, se necesita:

$$k_i = \frac{k}{\#resortes}$$

$$k_i = \frac{47.28 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}}{6}$$

$$k_i = 7.88 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$$

Se debe tener en cuenta que tiene que soportar una carga de 595 Kg con una constante de 7.88 kg/mm.

Por lo tanto, en base a los catálogos se seleccionó, un resorte con los siguientes parámetros.

D: Diámetro exterior del resorte: 24.64 mm

Lo: Longitud libre del resorte: 50.80 mm

Ls: Longitud sólida del resorte: 34.90 mm

Na: Número de espiras activas del resorte:

d: diámetro del alambre:

G: módulo de rigidez: 7170.6 Kg/mm

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N_a}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{8kD^3N_a}{G}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{8 \left(7.88 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}\right) (24.64 \text{ mm})^3 (4.22)}{(7170.6 \frac{\text{kg}}{\text{mm}})}}$$

$$d = 4.85 \text{ mm}$$

**Índice de resorte:**

$$C = \frac{D}{d} = \frac{24.64 \text{ mm}}{4.85 \text{ mm}} = 5.08$$

**Factor de Wahl:**

$$\bar{k} = \frac{4C - 1}{4C + 4} + \frac{0.615}{C} = 0.915$$

**Por lo tanto, la carga máxima que actúa sobre el resorte es:**

$$P_{max} = k_i(\delta + y_{positivo})$$

$$P_{max} = 7.88 \frac{Kg}{mm} (12.6 mm + 0.1cm)$$

$$P_{max} = 107 Kg$$

Finalmente seleccionamos en base a un catálogo, el resorte adecuado, que cumple con los siguientes parámetros:

Do: diámetro de orificio del resorte: 25.40 mm

D: Diámetro exterior del resorte: 24.64 mm

Di: diámetro de poste: 12.70 mm

d: diámetro del alambre: 4.50 mm

Lo: Longitud libre del resorte: 50.80 mm

Ls: Longitud sólida del resorte: 34.90 mm

Na: Número de espiras activas del resorte: 4.22

Nt: Número de espiras totales del resorte: 6.22

k: Constante elástica: 8.39 Kg/mm

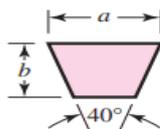
F: Carga aproximada para llegar a la altura sólida: 133.32 Kg

Material: Acero inoxidable

### **Diseño del eje de transmisión para el secado homogéneo**

De la figura B.1 seleccionamos una banda V, además, nos recomienda el diámetro mínimo de polea y un rango de potencia para el motor.

Secciones de bandas  
en V estándar



**Figura A.7 Banda en V.**

[Fuente: Autores]

$$a = \frac{21}{32} in = 16.67 mm$$

$$b = \frac{7}{16} \text{ in} = 11.11 \text{ mm}$$

$$d = 5.4 \text{ in} = 137.16 \text{ mm}$$

$$P = 4 \text{ hp}$$

$$D = 11.81 \text{ in} = 300 \text{ mm}$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

Ademas, de la figura B.2 se selecciona la medida de la circunferencia de la banda. Con todos estos datos la banda que se selecciono fue V-B83.

### Longitud de paso

De la figura B.3 seleccionamos el valor de  $L_c$

$$L_c = 1.8''$$

$$L_p = L + L_c = 83 + 1.8 = 84.8 \text{ in} = 2153.92 \text{ mm}$$

### Velocidad del motor

$$V = \frac{\pi dn}{12} = \frac{\pi(5.4)(1500)}{12} = 2120.57 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \approx 2000 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

### Distancia entre centros

$$C = 0.25 \left\{ \left[ 84.8 - \frac{\pi}{2} (11.81 + 5.4) \right] + \sqrt{\left[ 84.8 - \frac{\pi}{2} (11.81 + 5.4) \right]^2 - 2(11.81 - 5.4)^2} \right\}$$

$$C = 28.70 \text{ in} = 728.98 \text{ mm}$$

### Potencia permitida

De la figura B.4 con los valores de  $V$  y  $d$  seleccionamos la potencia tabulada, y además de las figuras B.5 y B.6 encontramos  $k_1$  y  $k_2$  respectivamente.

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab}$$

$$H_a = (0.99)(1.05)(2.69) = 2.80 \text{ hp}$$

### Fuerza centrífuga

De la figura B.7 encontramos el valor  $k_c$  y con la velocidad del motor, procedemos a obtener la fuerza centrífuga mediante la siguiente relación.

$$F_c = K_c \left( \frac{V}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 0.965 \left( \frac{2120.57}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 4.34 \text{ lb} = 19.31 \text{ N}$$

$$\Delta F = F_1 - F_2 = \frac{63025 H_a}{n \left( \frac{d}{2} \right)}$$

$$\Delta F = \frac{63025(2.80)}{1500 \left( \frac{5.4}{2} \right)} = 43.57 \text{ lb} = 193.81 \text{ N}$$

### Torque y Fuerzas en la polea

$$T_p = \frac{D}{2} (F_1 - F_2)$$

$$T_p = \frac{11.81}{2} (59.91 - 16.34)$$

$$T_p = 257.28 \text{ lb in} = 29.07 \text{ Nm}$$

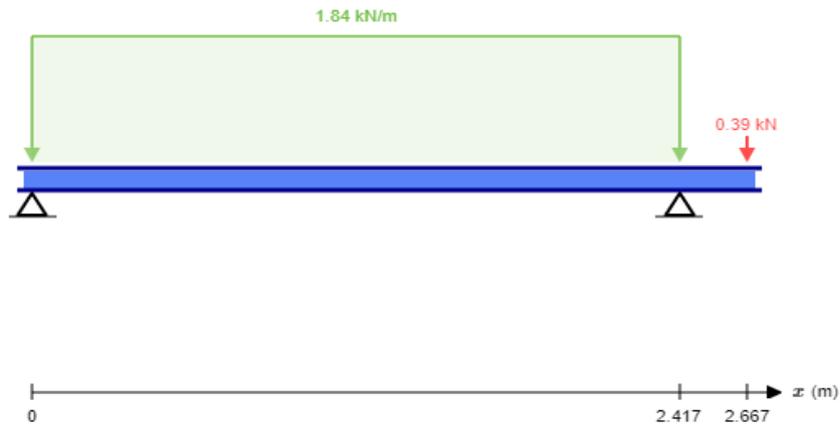
$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F e^{f\phi}}{e^{f\phi} - 1}$$

$$F_1 = 4.34 + \frac{43.57(4.63)}{4.63 - 1} = 59.91 \text{ lb} = 266.49 \text{ N}$$

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

$$F_2 = 59.91 - 43.57 = 16.34 \text{ lb} = 72.68 \text{ N}$$

### Cálculo de fuerzas en el eje



**Figura A.8 Reacciones en el eje de transmisión.**  
 [Fuente: <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>]

$$\curvearrowright (+) \Sigma M_0 = 0$$

$$R_b(2.417 \text{ m}) - 4.46 \text{ kN}(1.2085 \text{ m}) - (0.39 \text{ kN})(2.667 \text{ m}) = 0$$

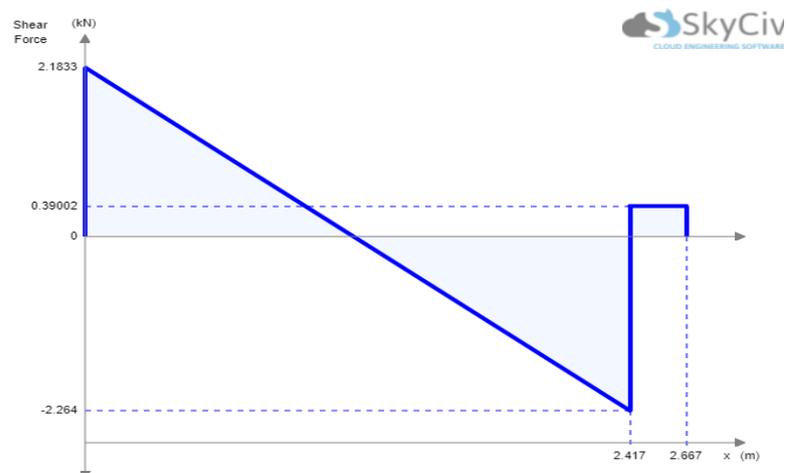
$$R_b = 2.654 \text{ kN}$$

$$\uparrow (+) \Sigma y = 0$$

$$R_a + R_b - 4.45 \text{ kN} - 0.39 \text{ kN} = 0$$

$$R_a = 2.183 \text{ kN}$$

### Gráfica de esfuerzo cortante



**Figura A.9 Gráfica de esfuerzo cortante.**  
 [Fuente: <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>]

## Gráfica de momento flector

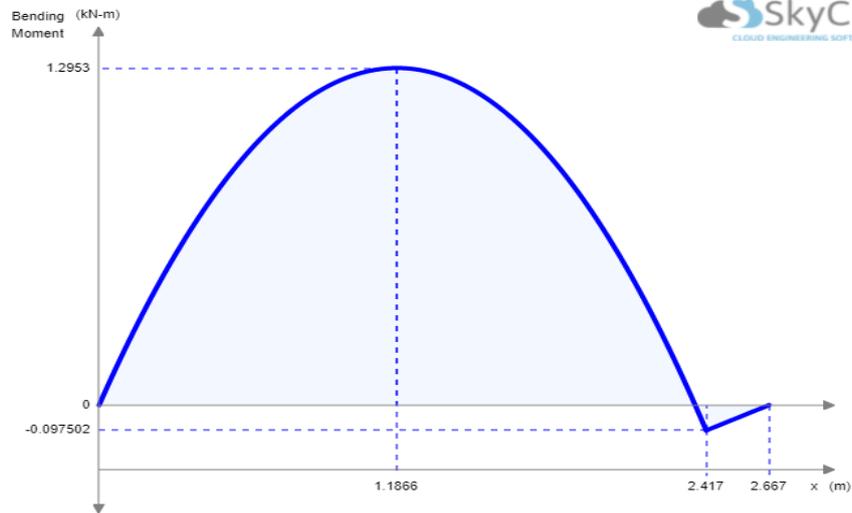


Figura A.10 Gráfica de momento flector.

[Fuente: <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>]

## Análisis a la fatiga

Asumimos el material del eje AISI 1045.

$$s_{ut} = 91 \text{ kpsi}$$

$$s_y = 77 \text{ kpsi}$$

Empezamos por encontrar las constantes de forma:

$$K_a = a s_{ut}^b$$
$$K_a = 2.70(91)^{-0.265}$$
$$K_a = 0.82$$

Además, consideramos:

$$K_b = 0.9$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1.014$$

$$K_e = 0.814$$

$$K_f = 1$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f (0.5 s_{ut})$$
$$S_e = (0.82)(0.9)(1)(1.014)(0.814)(1)(0.5)(91)$$
$$S_e = 27.72 \text{ kpsi} = 191.12 \text{ MPa}$$

## Esfuerzo de von Mises

$$K_f = 1.7, K_{fs} = 1.5$$

$$T_m = 29.07 \text{ Nm}$$

$$M_T = 1.295 \text{ kNm}$$

$$(\sigma_a)_{flexion} = \left( \frac{32M_T}{\pi d^3} \right) = \frac{32(1.295 \text{ kNm})}{\pi d^3}$$

$$(\sigma_a)_{flexion} = \frac{13190.76}{d^3}$$

$$\tau_m = \left( \frac{16T_m}{\pi d^3} \right) = \frac{16(29.07 \text{ Nm})}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = \frac{148.05}{d^3}$$

$$\sigma_a' = \{ [K_f(\sigma_a)_{flexion}]^2 \}^{1/2}$$

$$\sigma_a' = \left\{ \left[ (1.7) \left( \frac{13190.76}{d^3} \right) \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\sigma_a' = \frac{22424.29}{d^3}$$

$$\sigma_m' = \{ 3[K_{fs}\tau_m]^2 \}^{1/2}$$

$$\sigma_m' = \left\{ 3 \left[ (1.5) \left( \frac{148.05}{d^3} \right) \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\sigma_m' = \frac{666.23}{d^3}$$

## Goodman Modificado

Aplicamos goodman para encontrar el diametro del eje, y ademas se asume un factor de seguridad de 1.55

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}}$$

$$\frac{1}{1.55} = \frac{1.17 * 10^{-3}}{d^3} + \frac{1.06 * 10^{-6}}{d^3}$$

$$d = 56 \text{ mm}$$

## APÉNDICE B

### Figuras

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

**Figura B.1 Secciones de bandas en V estándar.**

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,879), (Budynas & Nisbett, 2008)]

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

**Figura B.2 Circunferencias interiores de bandas en V estándar.**

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,879), (Budynas & Nisbett, 2008)]

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

**Figura B.3 Dimensiones de conversión de longitud.**

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,879), (Budynas & Nisbett, 2008)]

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7	
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5

Figura B.4 Potencias nominales de bandas en V estándar.

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,881), (Budynas & Nisbett, 2008)]

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

Figura B.5 Factor de corrección del ángulo de contacto.

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,882), (Budynas & Nisbett, 2008)]

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

**Figura B.6 Factor de corrección de longitud de banda.**

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,882), (Budynas & Nisbett, 2008)]

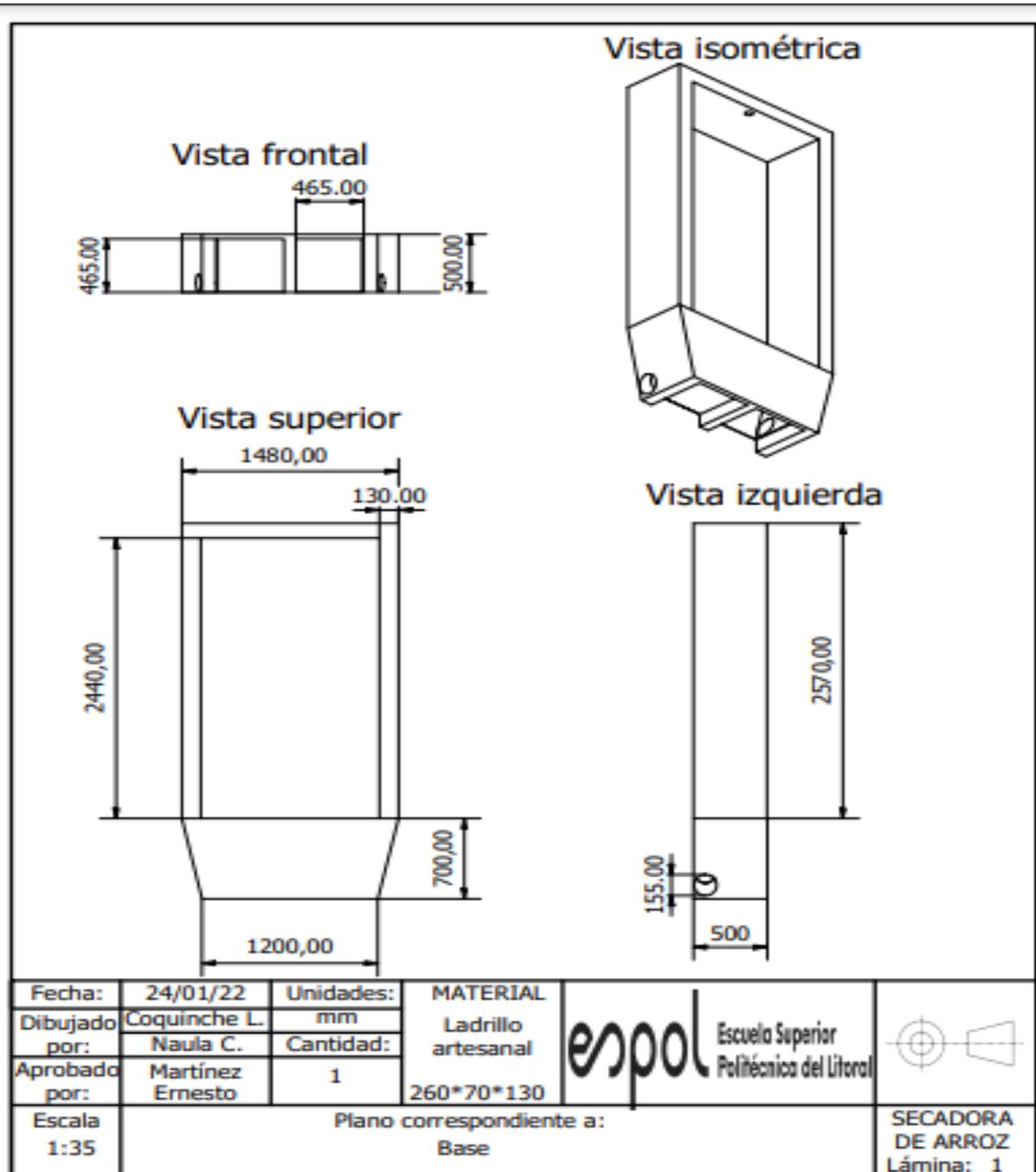
Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

**Figura B.7 Parámetros de bandas en V.**

[Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley(p,882), (Budynas & Nisbett, 2008)]

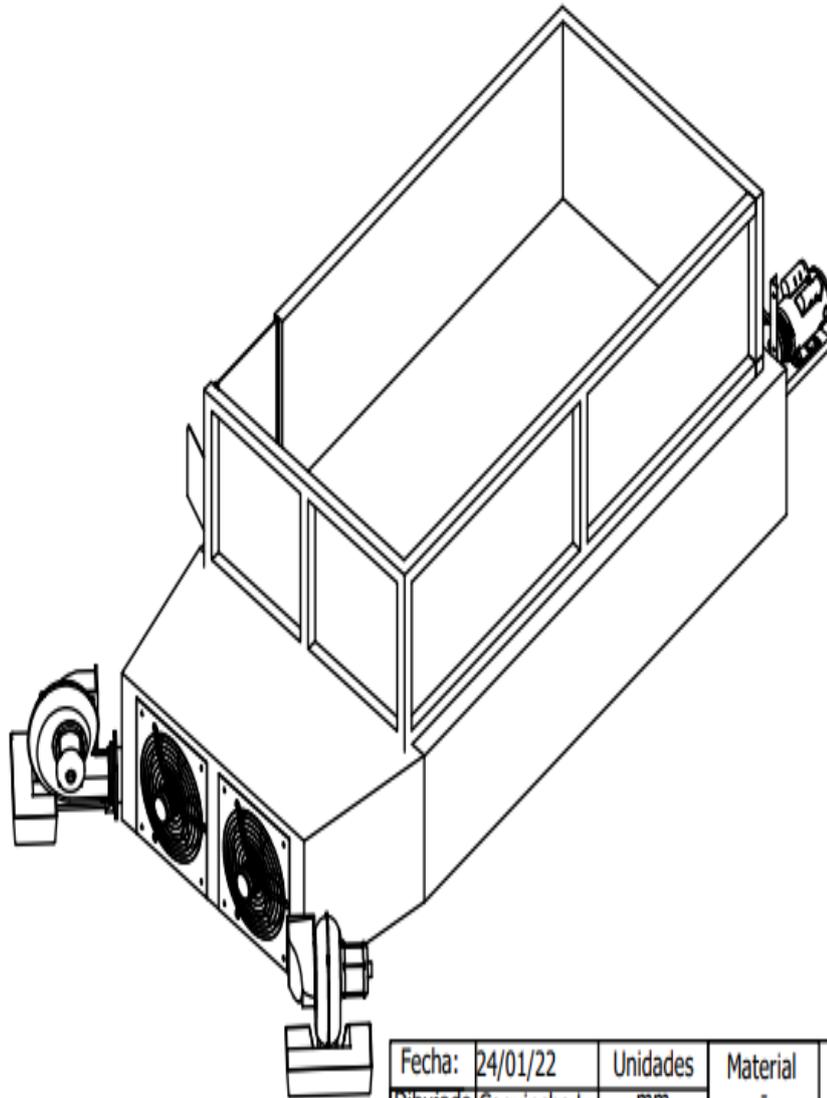
# APÉNDICE C

## Planos



PLANO 2 Vistas de la cámara de secado.

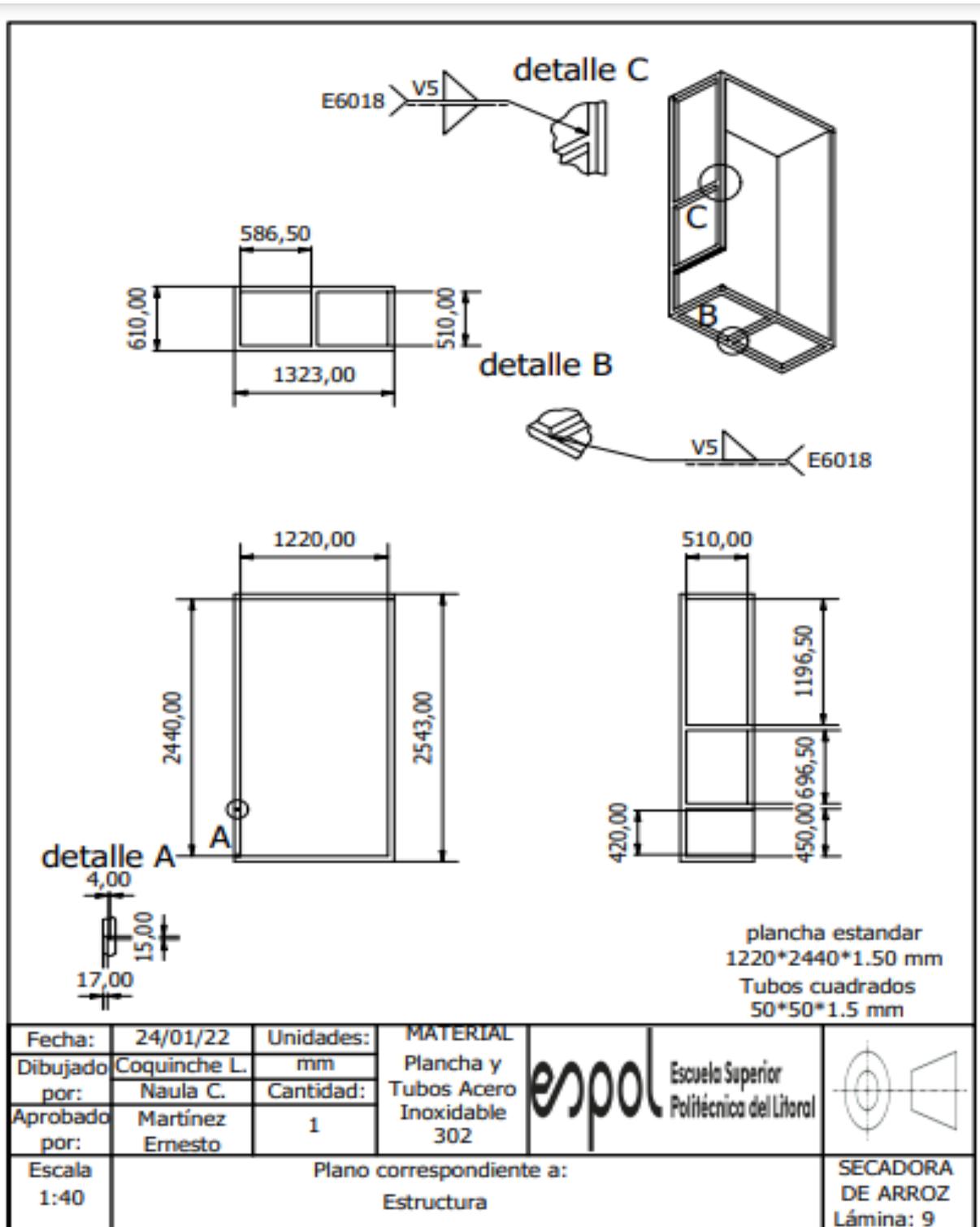
[Fuente: Autores]



Fecha:	24/01/22	Unidades	Material	
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	-	
Aprobado por:	Martínez Ernesto	Cantidad	1	
Escala 1:20	Plano correspondiente a:		SECADORA DE ARROZ	Lámina:
	Secadora Capacidad 10 Quintales			

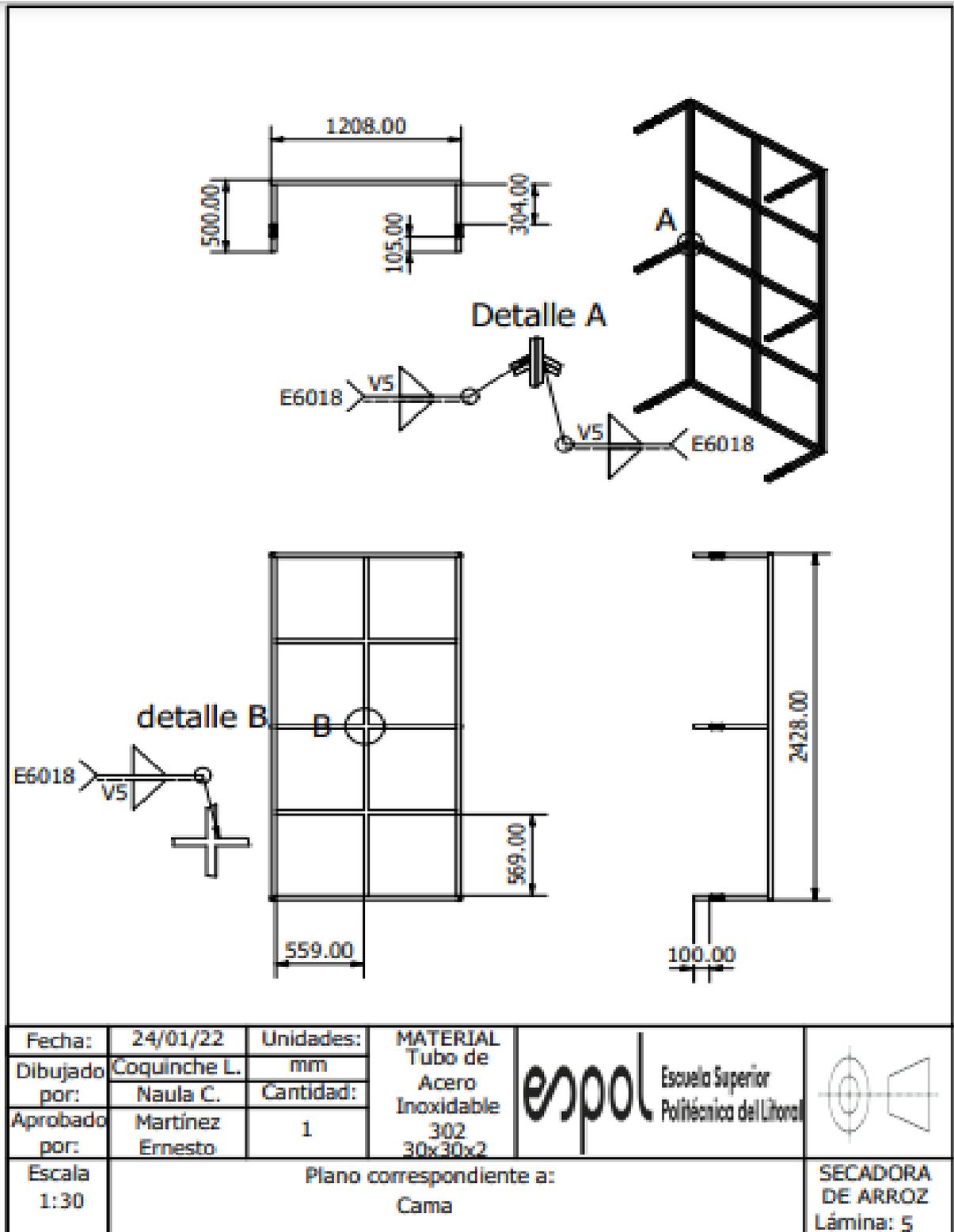
**PLANO 3 Ensamble general del prototipo.**

[Fuente: Autores]



PLANO 4 Estructura metálica del secador.

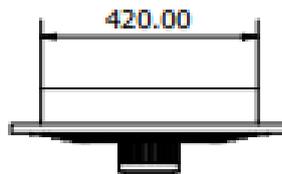
[Fuente: Autores]



PLANO 5 Estructura metálica de la cama de secado.

[Fuente: Autores]

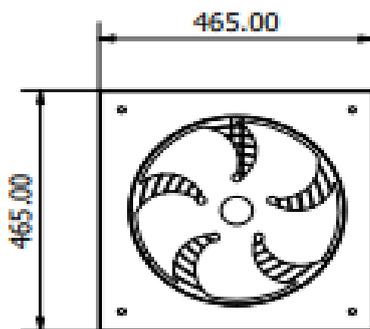
Vista superior



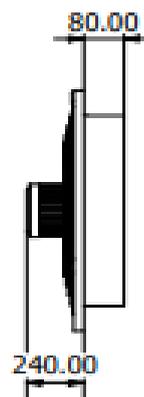
Vista Isométrica



Vista Frontal



Vista izquierda

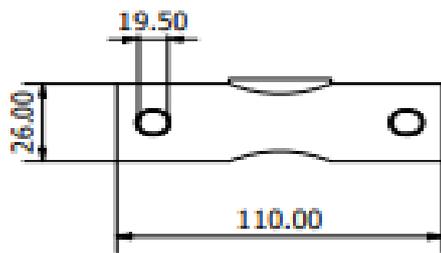


Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L.	mm	aluminio		
Aprobado por:	Naula C.	Cantidad:	selección por catálogo		
	Martines Ernesto	2			
Escala 1:10	Plano correspondiente a: Ventilador Axial 5100 mc/h a 2500 rpm				SECADORA DE ARROZ Lámina: 4

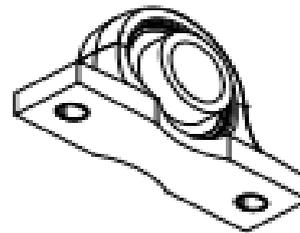
**PLANO 6 Ventilador Axial**

[Fuente: Autores]

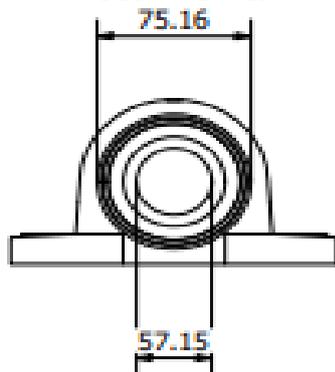
Vista superior



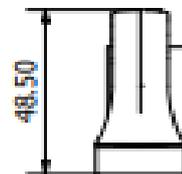
Vista isométrica



Vista frontal



Vista izquierda

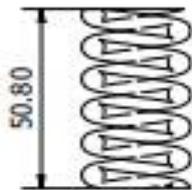


Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	Selección por catálogo		
Aprobado por:	Martinez Ernesto	Cantidad:	2		
Escala 1:4	Plano correspondiente a: Chumacera				SECADORA DE ARROZ Lámina: 3

PLANO 7 Chumacera.

[Fuente: Autores]

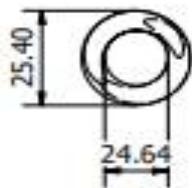
Vista superior



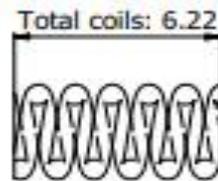
Vista isométrica



Vista frontal



Vista izquierda

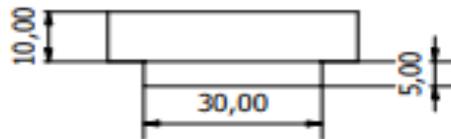


Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	Acero		
Aprobado por:	Martínez Ernesto	Cantidad:	Inoxidable 302 selección por catálogo		
Escala 1:2	Plano correspondiente a:		Resorte		
				SECADORA DE ARROZ	Lámina: 5

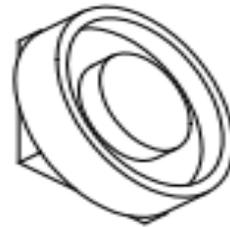
PLANO 8 Resorte

[Fuente: Autores]

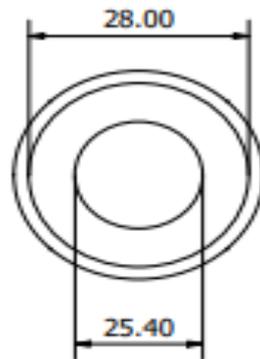
Vista superior



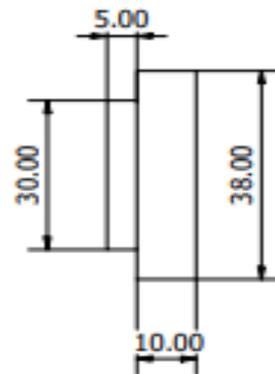
Vista isométrica



Vista frontal



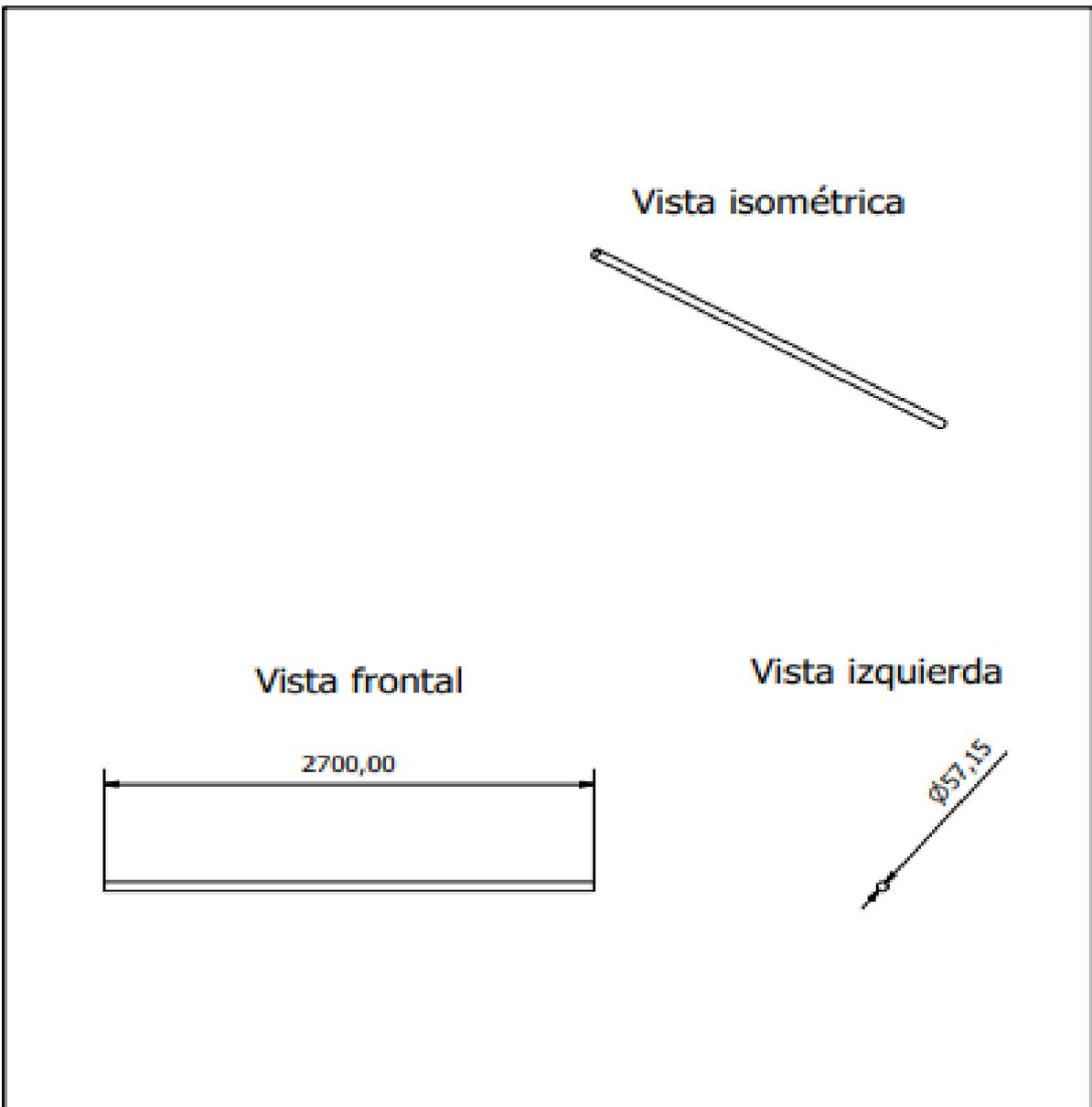
Vista izquierda



Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L.	mm	ASTM A36		
Aprobado por:	Naula C.	Cantidad:	12		
Escala 1:1	Plano correspondiente a: Base para resorte				SECADORA DE ARROZ Lámina:16.1

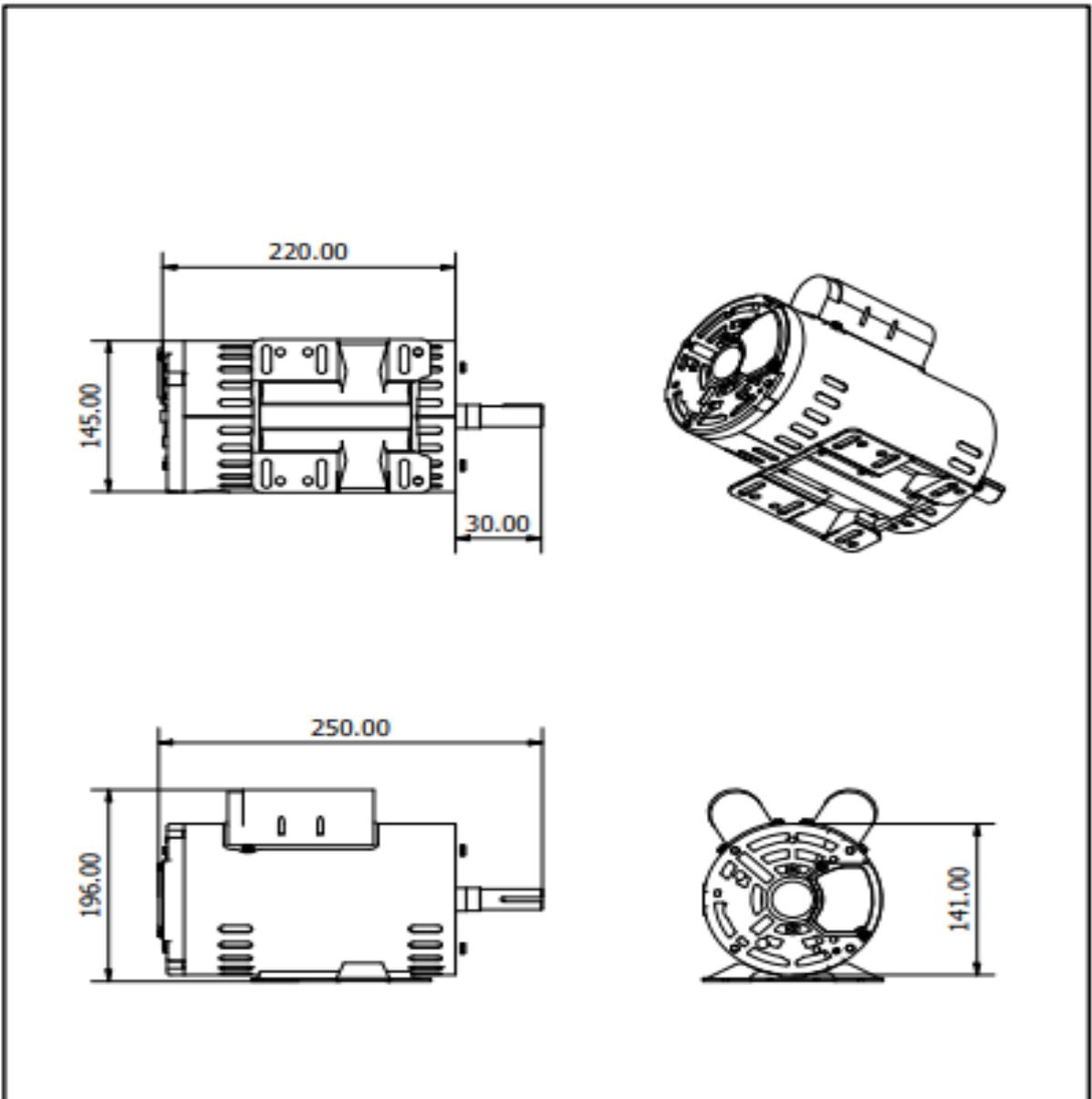
PLANO 9 Base de los resortes.

[Fuente: Autores]



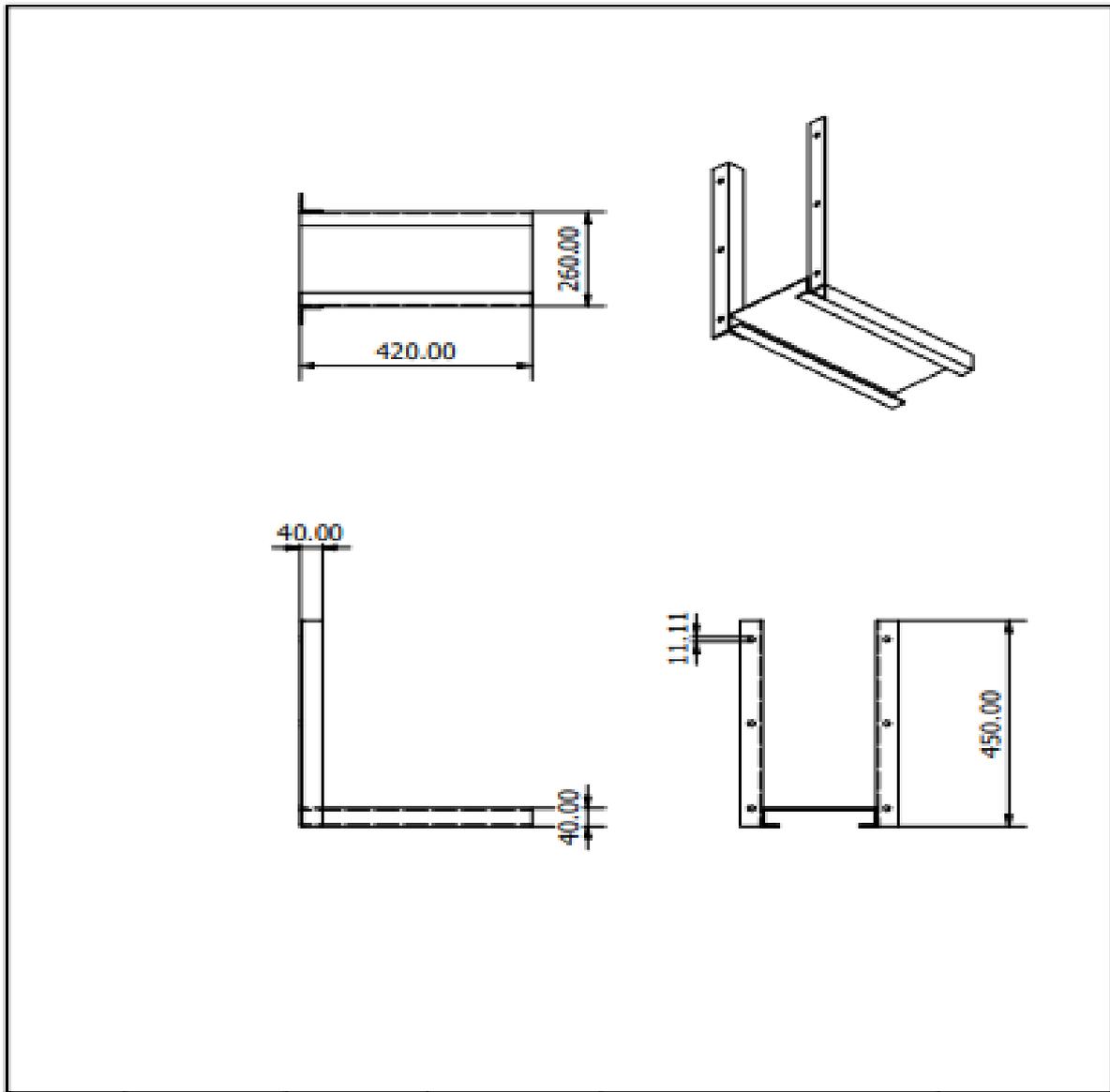
Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	ASTM A36		
Aprobado por:	Martinez Ernesto	Cantidad:	1		
Escala 1:30	Plano correspondiente a: Eje con discos excéntricos				SECADORA DE ARROZ Lámina: 6

**PLANO 10 Eje de transmisión de movimiento en la cama de secado**  
[Fuente: Autores]



Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	Selección		
Aprobado por:	Martínez Ernesto	Cantidad:	por catálogo adjuntar ficha técnica		
Escala 1:5	Plano correspondiente a: Motor Eléctrico			SECADORA DE ARROZ Lámina: 11	

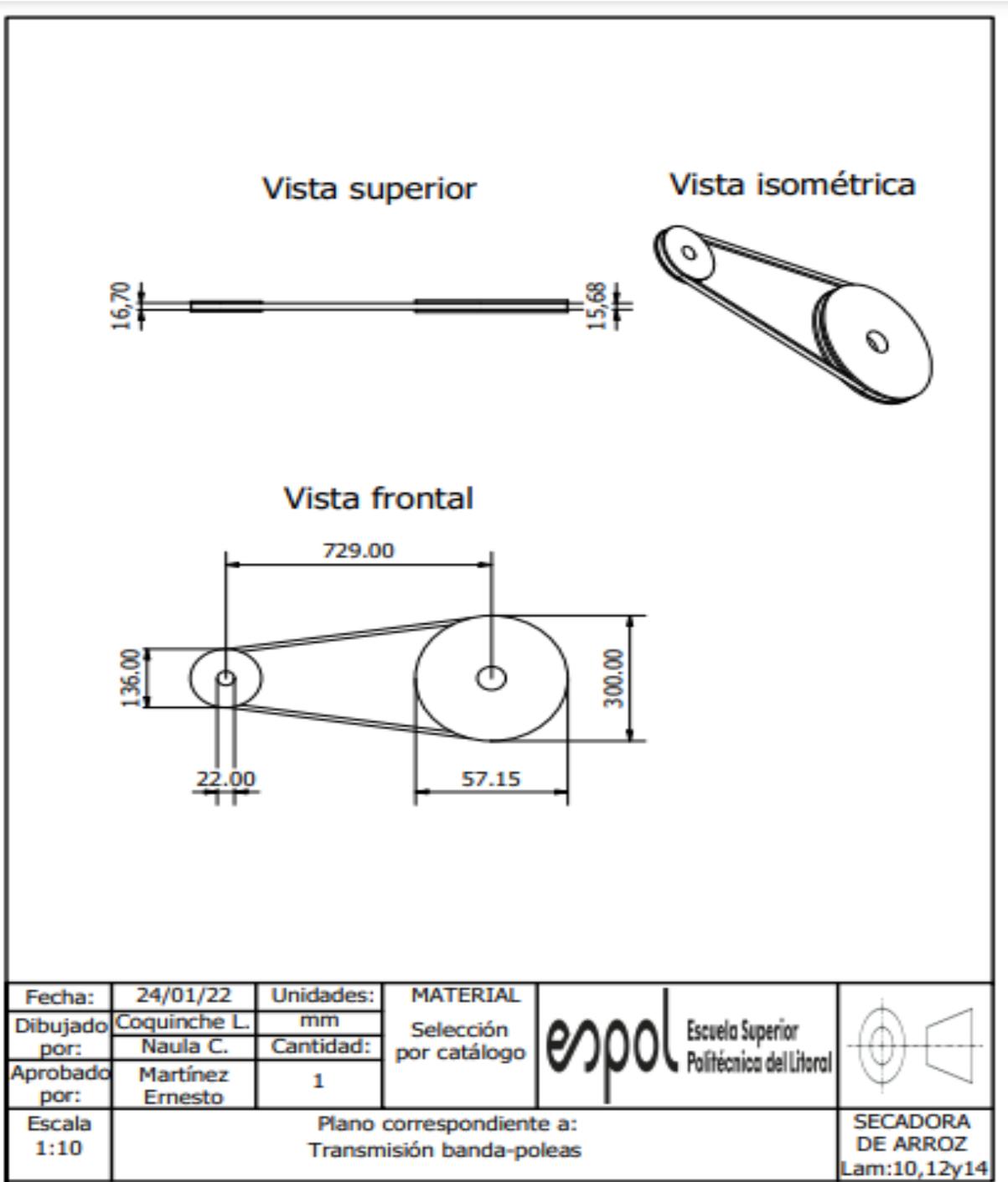
PLANO 11 Motor eléctrico.  
[Fuente: Autores]



Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L.	mm	Acero ASTM A36		
Aprobado por:	Naula C.	Cantidad:			
Escala	Plano correspondiente a:			SECADORA	
1:10	BASE MOTOR			DE ARROZ	
				Lámina: 13	

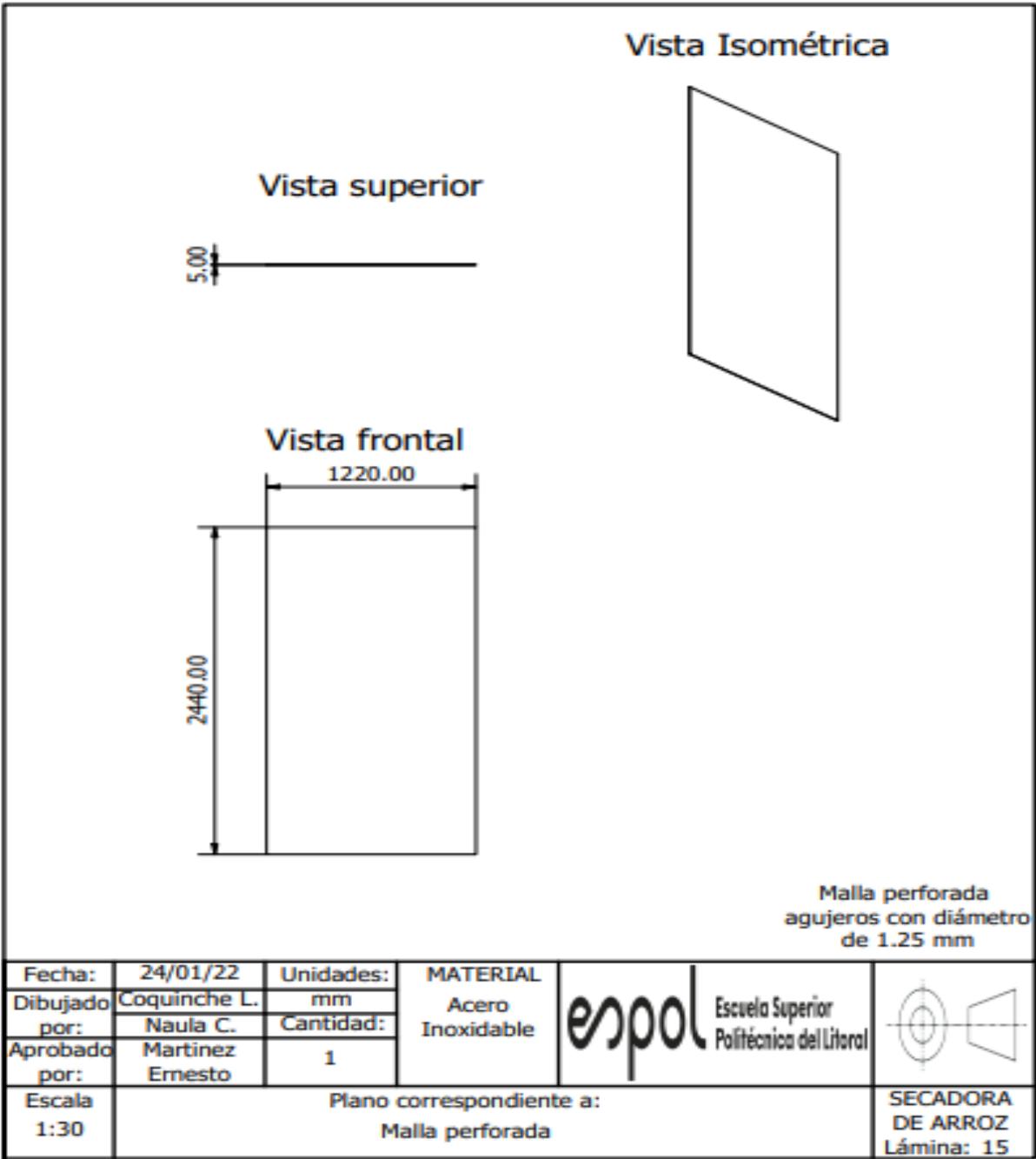
**PLANO 12 Base del motor.**

[Fuente: Autores]



PLANO 13 Transmisión de bandas y poleas

[Fuente: Autores]



PLANO 14 Plancha perforada.

[Fuente: Autores]

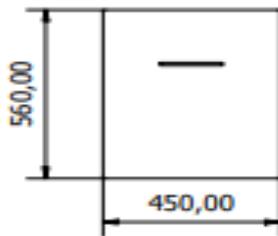
Vista superior



Vista isométrica



Vista frontal



Vista izquierda

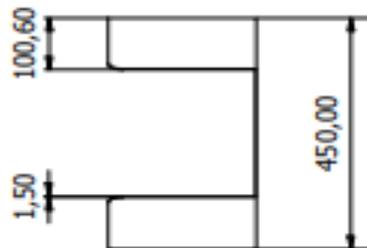


Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L.	mm	Acero		
Aprobado por:	Naula C.	Cantidad:	Inoxidable		
	Martínez Ernesto	1	302 espesor 4 mm		
Escala 1:15	Plano correspondiente a: Puerta estructura				SECADORA DE ARROZ Lámina: 8

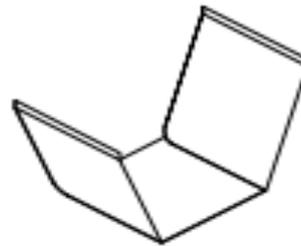
PLANO 15 Puerta de descarga.

[Fuente: Autores]

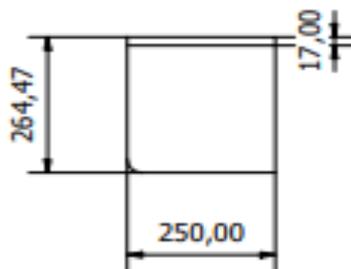
Vista superior



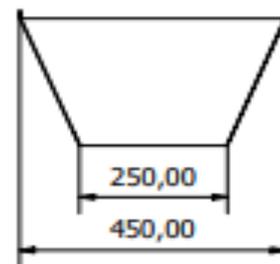
Vista isentrópica



Vista frontal



Vista izquierda



Fecha:	24/01/22	Unidades:	MATERIAL		
Dibujado por:	Coquinche L. Naula C.	mm	Acero		
Aprobado por:	Martinez Ernesto	Cantidad:	Inoxidable 302		
		1	espesor 1.5		
Escala 1:10	Plano correspondiente a: Salida estructura				SECADORA DE ARROZ Lámina: 7

PLANO 16 Estructura de descarga.

[Fuente: Autores]

# APÉNDICE D

## Cotización

PROFORMA

POR LO SIGUIENTE

DEBE

### Una SECADORA SIRCA Mod. SR-10-SI para arroz.

*Capacidad: 8 qq./parada (grano húmedo).*

**Incluye:**

**Soplador de aire** marca SIRCA.

Sistema de ventilación accionado por un **motor eléctrico de 2 HP. 220 v. Monofásico.**

Boca de transición de secador a mesa.

**Quemador de Gas GLP** marca SIRCA.

Una **MESA METALICA para secado del producto.** De 1,5 mts. x 2 mts.

Estructura metálica, construida de tubo galvanizado y varilla corrugada.

Plancha de Acero al Carbono, perforada de 1.5 mm. de espesor y 3 mm de diámetro de perforación.

Un **CERRAMIENTO METÁLICO** para la mesa, de 7 m. lineales x 1 mt. de alto. Construido de estructura de tubo cuadrado, y plancha galvanizada de 1/16" de espesor.

PRECIO TOTAL .....	\$ 4.400,00 + IVA
--------------------	-------------------

**Observaciones:**

- **Bajo consumo energético** (energía eléctrica y Combustible).
- **No contamina el producto al secar.**
- **Garantía SIRCA: 1 Año**
- **Ofrecemos: Servicio Técnico, Mantenimiento, Repuestos Originales.**
- **Tiempo de Fabricación:** 10 días laborables.
- **Forma de Pago:** 60% a la orden de compra, 40% a la entrega de la Secadora en taller SIRCA.
- **No se incluye transporte. Entrega del equipo en Fábrica SIRCA – Guayaquil.**
- **Validez de la pro forma:** 15 días.
- 

Att.

Figura D.1 Cotización competencia.

[Fuente: <https://sircaecuador.com/productos/secadora-a-gas-pequenas-y-medianas-capacidades/>]