

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de una planta para la producción de alimentos
destinados a ser reconstituidos”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Edwin Braulio Icaza Hidalgo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme la vida, la capacidad y la oportunidad de realizar este trabajo como un paso más hacia la culminación de mi carrera.

A mi amada mamá la Sra. Patricia Hidalgo por ser un pilar fundamental en mi vida quien con su exclusivo apoyo, amor y sacrificio supo guiarme para convertirme en la persona que soy y en el profesional que seré.

A familiares y amigo quienes con su cooperación y consejo me han ayudado a llegar hasta aquí.

Mi gratitud también al Msc. Galo Durazno Palacios quien desde un inicio me brindó su total apoyo, aportando consejos y directrices que me encaminaron en el desarrollo del presente proyecto.


DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Edwin Braulio Icaza Hidalgo* y mi 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"



Edwin Braulio Icaza Hidalgo

EVALUADORES



Ing. Rodolfo Paz Mora. Msc
PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Galo Durazno Palacios. Msc
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El secado de un sólido o materia es el proceso de eliminación parcial de la humedad que facilita la conservación del mismo, la manipulación en etapas posteriores y ayuda a crear subproductos, dándole un valor agregado a la materia prima.

El secado del plátano verde, “musa paradisiaca”, es el proceso que más tarda en la elaboración de harina de plátano. Partiendo de esta problemática, CORPICSUPAL ha determinado la necesidad de rediseñar el actual secador que poseen para disminuir el tiempo de secado.

El presente proyecto se basa en el diseño tecnológico de una máquina de secado para la producción de harina de plátano, donde se detallan los cálculos, selección y dimensionamiento de cada una de las partes constitutivas del secador.

Para la selección y posterior diseño de la maquina secadora y sus distintas partes se tomó como referencia el actual proceso de producción, teniendo como meta aumentar la capacidad del secador, disminuir el tiempo de secado y el consumo de energía, para obtener como resultados más producción en menos tiempo, con bajos costos energéticos y operativos, generando mayores ventas e ingresos.

En el capítulo uno ponemos en conocimiento las generalidades de la fruta, el proceso de elaboración y las propiedades de la harina de plátano, también damos a conocer los diferentes tipos de secadores que existen en el mercado.

El capítulo dos se basa en el diseño de la máquina de secado de acuerdo a los requerimientos del cliente, teniendo como referencia normativas y estándares de calidad en la selección y dimensionamiento de los componentes.

En el capítulo tres, ya con los resultados obtenidos del diseño del equipo, se comparan la solución con el diseño original, determinando un secador de lecho estacionario con mayor capacidad que el actual, con un menor tiempo de secado y que usa GLP como combustible para genera calor es la solución adecuada.

Se finaliza con recomendaciones para mejorar y completar el proceso de producción de la harina de plátano, con la adquisición de máquinas automáticas que puedan complementar dicho proceso y así poder tener una línea de producción más eficiente.

Palabras claves: Harina de plátano / Tiempo de secado / Diseño / Mayores ingresos

ABSTRACT

The drying of a solid or material is the process of partial elimination of the humidity that facilitates the conservation of the same one, the manipulation in later stages and helps to create by-products, giving him a value added to the raw material.

The drying of the green banana, "musa paradisiaca", is the process that takes the longest to produce banana flour. Based on this problem, CORPICSUPAL has determined the need to redesign the current dryer they have to reduce the drying time.

The present project is based on the technological design of a drying machine for the production of banana flour, where the calculations, selection and dimensioning of each of the constituent parts of the dryer are detailed.

For the selection and subsequent design of the drying machine and its different parts, the current production process was taken as a reference, having as a goal to increase the capacity of the dryer, decrease the drying time and the energy consumption, to obtain as a result more production in less time, with low energy and operational costs, generating higher sales and income.

In chapter one, we will explain the generalities of the fruit, the elaboration process and the properties of the banana flour, and we will also introduce the different types of dryers that exist in the market.

Chapter two is based on the design of the drying machine according to the customer's requirements, taking as a reference regulations and quality standards in the selection and dimensioning of the components.

In chapter three, already with the results obtained from the design of the equipment, the solution is compared with the original design, determining that a stationary bed dryer with a higher capacity than the current one, with a shorter drying time and using GLP as fuel to generate heat is the adequate solution.

It ends with recommendations to improve and complete the production process of banana flour, with the acquisition of automatic machines that can complement the process and thus have a more efficient production line.

Key words: *Banana flour / Drying time / design / Higher income*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Justificación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Marco teórico.....	3
1.4.1. ¿Qué es el plátano verde?.....	3
1.4.2. ¿Qué es la harina?.....	4
1.4.3. Procedimiento para la elaboración de la harina de plátano en CORPICSUPAL.....	4
1.4.4. Secado, deshidratación y humedad.....	5
1.4.5. Métodos de secado.....	6
1.4.6. Parámetros del secado artificial.....	6
1.4.7. Tipos de secadores.....	8
CAPÍTULO 2.....	14
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	14
2.1. Consideraciones generales del diseño.....	14
2.2. Diseño conceptual.....	15
2.2.1. Árbol de objetivos.....	15
2.2.2. Criterios de selección.....	16
2.2.3. Comparación por pares.....	16
2.2.4. Tabla morfológica.....	18
2.2.5. Descripción de alternativas.....	18

2.2.6. Matriz de decisión.....	19
2.3. Diseño detallado del secador.....	21
2.3.1. Dimensionamiento de la cámara de secado.....	21
2.3.2. Selección de la plancha perforada.....	22
2.3.3. Diseño de vigas soportes.....	23
2.3.4. Selección del ventilador.....	26
2.3.5. Caída de presión en la distribución de aire de secado.....	27
2.3.6. Potencia del motor para el ventilador.....	30
2.3.7. Tiempo de secado.....	31
2.3.8. Razón de evaporación y Flujo masico de aire total.....	34
2.3.9. Selección de la capacidad del quemador.....	35
CAPÍTULO 3.....	37
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
3.1. Comparación de diseños.....	37
3.1.1. Secador actual.....	38
3.1.2. Diseño mejorado.....	38
3.2. Análisis de costos operativos.....	40
3.3. Costo del secador.....	41
3.4. Análisis de los ODS.....	42
CAPÍTULO 4.....	44
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
4.1. Conclusiones.....	44
4.2. Recomendaciones.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
APÉNDICE.....	49

ABREVIATURAS

AISC	American Institute of Steel Construction
ASTM	American Society of Testing Materials
FAO	Food and Agriculture Organization
GLP	Gas Licuado de Petróleo
ONG	Organización no Gubernamental
HP	Caballos de potencia
KW	Kilovatios
Pa	Pascal
MPa	Megapascales
USD	United State Dollars
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
CAD	Computer Aided Design
PCS	Poder calorífico superior
° C	Grados centígrados
K	Grados Kelvin
mm c.a.	Milímetros de columna de agua
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
N	Newton
N.m	Newton por metro
m ²	Metro cuadrado
mm ³	Milímetro cúbico
ha	Hectárea
m ³	Metro cúbico
Kg	Kilogramo
gr	Gramo
mg	Miligramo
qq	Quintal

Kcal	Kilocalorías
Tm	Tonelada métrica
Ppm	Partículas por millón
$\frac{m^3}{s}$	Metros cúbicos por segundo
$\frac{m^3}{min}$	Metros cúbicos por minutos
$\frac{m^3}{h}$	Metros cúbicos por hora
$\frac{m}{s}$	Metros por segundo
$\frac{m}{s^2}$	Metros sobre segundos al cuadrado
$\frac{Kg}{s}$	Kilogramo sobre segundo
$\frac{Kg}{h}$	Kilogramo sobre hora
$\frac{KJ}{Kg}$	Kilojoule sobre kilogramo
$\frac{KJ}{s}$	Kilojoule sobre segundo
$\frac{Kg}{m^3}$	Kilogramo sobre metro cúbico
$\frac{m^3}{Kg}$	Metro cúbico sobre kilogramo
$\frac{W}{m^2K}$	Watt sobre metro cuadrado Kelvin
$\frac{N \cdot s}{m^2}$	Newton segundo sobre metro cuadrado
$\frac{Kg \text{ agua}}{Kg \text{ aire seco}}$	Kilogramo de agua sobre kilogramo de aire seco
$\frac{Kg \text{ aire}}{s}$	Kilogramo de aire sobre segundo
$\frac{KW}{h}$	Kilowatt sobre hora
$\frac{Kg}{h}$	Kilogramo sobre hora
$\frac{Kg}{m^2s}$	Kilogramo sobre metro cuadrado segundo

SIMBOLOGÍA

φ	Humedad
φ_c	Humedad crítica del plátano verde
φ_i	Humedad inicial del plátano verde
φ_f	Humedad final del plátano verde
φ_e	Humedad de equilibrio del plátano verde
φ_a	Humedad relativa del ambiente
ρ_{pv}	Densidad del plátano verde
D_{fpv}	Diámetro final plátano verde
D_{ipv}	Diámetro inicial plátano verde
D_{mpv}	Diámetro medio plátano verde
ε	Porosidad en el lecho de plátano
T_s	Temperatura de secado
T_{abs}	Temperatura ambiente de bulbo seco
T_{abh}	Temperatura ambiente de bulbo húmedo
ρ_a	Densidad del aire
S_{ut}	Esfuerzo máximo a la tracción del acero
S_y	Esfuerzo a la fluencia del acero
E	Módulo de elasticidad del acero
V_{cs}	Volumen de la cámara de secado
M_{max}	Momento flector máximo
q	Carga en soportar
L_v	Longitud de la viga
M_T	Masa total
η	Factor de seguridad
σ_f	Esfuerzo de flexión
S	Módulo de resistencia de la sección transversal
A_s	Área de secado
A_p	Área perforada
Q	Caudal
v_{ee}	Velocidad a la entrada de la expansión
v_{se}	Velocidad a la salida de la expansión
v_s	Velocidad de secado

D_{ee}	Diámetro a la entrada de la expansión
D_{se}	Diámetro a la salida de la expansión
ΔP_{eg}	Caída de presión en la expansión gradual
ΔP_{lpv}	Caída de presión en el lecho de plátano
ΔP_{pp}	Caída de presión en la plancha perforada
ΔP_T	Caída de presión total
\dot{m}_a	Flujo masico de aire
Re	Número de Reynolds
H_{lp}	Altura del lecho de plátano
μ_a	Viscosidad dinámica del aire
Pot_m	Potencia del motor
Pot_{req}	Potencia requerida
t_s	Tiempo de secado
m_{fpv}	Masa final plátano verde
m_{ipv}	Masa inicial plátano verde
A_{tc}	Área de transferencia de calor
R_s	Razón de secado
V_{pv}	Volumen unitario plátano verde
V_{Tpv}	Volumen solo plátano verde
N_p	Número de plátanos
h	Coefficiente de convección
n	Razón de evaporación
h	Entalpía
v	Volumen específico
Y	Contenido de humedad
FA	Flujo másico

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Valor nutricional del plátano verde.....	3
Tabla 1.2: Temperatura y tiempo de secado	7
Tabla 2.1: Comparación por pares entre los criterios de selección.	17
Tabla 2.2: Tabla morfológica con las posibles alternativas	18
Tabla 2.3: Matriz de decisión para el diseño del secador de plátano verde.	20
Tabla 2.4: Datos iniciales para el diseño.	21
Tabla 2.5: Características del ventilador.	26
Tabla 2.6: Valores de k'	28
Tabla 2.7: Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado.	31
Tabla 2.8: Datos de las propiedades del agua y aire a 50° C.....	32
Tabla 3.1: Tabla comparativa de ambos diseños.	37
Tabla 3.2: Tabla comparativa de consumo energético.	40
Tabla 3.3: Costo de construcción del secador.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Secador de platos perforado.	9
Figura 1.2: Recorrido del lecho permeable en un secador con circulación a través de sólidos de 3 unidades.	10
Figura 1.3: Secador rotatorio.	10
Figura 1.4: Turbo-secador.	11
Figura 1.5: Secador continuo de lecho fluidizado.	12
Figura 1.6: Secador de lecho fijo, de capa estática o estacionaria.	13
Figura 2.1: Metodología del diseño.	14
Figura 2.2: Árbol de objetivos.	15
Figura 2.3: Formula del volumen de un paralelepípedo rectangular.	22
Figura 2.4: Distribución de presión en la cámara de secado.	23
Figura 2.5: Estructura de asiento de la plancha perforada.	23
Figura 2.6: Diagrama de fuerza cortante y momento flector de una viga doblemente empotrada con carga uniformemente distribuida.	24
Figura 2.7: Distribución de vigas vista superior y frontal.	26
Figura 2.8: Configuración para la distribución de aire a) vista superior, b) vista lateral.	27
Figura 2.9: Curva de velocidad de secado.	31
Figura 3.1: Secador de lecho fijo o estacionario.	38
Figura 3.2: Rediseño del secador – Vista isométrica.	39
Figura 3.3: Rediseño del secador – Vista Superior.	39
Figura 3.4: Rediseño del secador – Vista isométrica en corte.	40
Figura 3.5: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.	42

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	68
Plano 2	69
Plano 3	70

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

El plátano verde de la variedad **barraganete** es cultivado en Ecuador especialmente en la provincia de Manabí, donde aproximadamente se cosechan 10 toneladas métricas (Tm) de esta fruta por hectárea (ha), éste es un alimento muy completo y saludable por su alto contenido en fibra, proteína, magnesio e hidratos de carbono.

Se puede destacar, que la harina elaborada a partir del plátano verde tiene una gran demanda tanto en el mercado nacional como internacional debido a que su proceso se realiza de forma natural, elaborando productos alimenticios variados, nutritivos y sin gluten. (Carbay Uyaguari, 2014)

También, se la utiliza como ingrediente en productos como bizcochos, sopas, cremas, puré, galletas y papillas para niños, entre otros; incluso un grupo de investigadores brasileños han desarrollado pastas a base de harina de plátano para personas que sufren de celiaca. (HERNÁNDEZ, 2015). Otra de las ventajas de reemplazar la harina de plátano por la harina de trigo es que carece de gluten, absorbe mayor cantidad de agua y gelifica con mayor rapidez por lo que es muy recomendada para espesar comidas. (Araya Jorge, 2014)

La elaboración de harina de plátano bajo estándares de calidad garantiza que el tiempo de vida útil de este alimento sea prolongado, la vida útil de un alimento es el periodo durante el cual se mantiene la calidad o estándar adecuado, esto depende de las características que posee el alimento y del modo de almacenamiento. (Flores Diego, 2018)

1.1. Descripción del problema.

En el cantón El Carmen provincia de Manabí existe una Asociación de Productores y Comercializadores de plátano verde llamada CORPICSUPAL, la cual produce harina de plátano a partir de los rechazos o plátanos que no pueden ser exportados por no pasar el control de calidad, utilizando maquinarias donadas por una Organización no gubernamental (ONG) española.

La asociación establece, la necesidad de mejorar el área donde se encuentran actualmente las máquinas y a su vez implementar un rediseño a la máquina secadora de plátano, ya que en este punto es donde se evidencia la problemática que hace muy demorado el proceso de producción e impide un crecimiento económico. Se puede señalar que la asociación cuenta con tres máquinas: un secador, una cortadora y un molino para la elaboración de la harina de plátano. La máquina secadora es de tipo lecho fijo o estacionario de 30 quintales (qq) de capacidad, de tipo semi industrial.

1.2. Justificación del problema.

En el presente proyecto integrador se evaluará el rendimiento de la máquina secadora actual, la cual debe cumplir con normativas para un óptimo desempeño y se analizarán opciones de mejora para la misma.

Determinar las condiciones del equipamiento es indispensable ya que, le permite a la asociación avanzar y mejorar la producción de harina de plátano, alcanzando mayores volúmenes de venta, logrando así ser competitiva y expandirse frente a otras marcas existentes en el mercado, diversificando sus productos en la zona con una calidad superior. Adicionalmente este proyecto puede servir de base para nuevos estudios o de ser el caso ser replicado en otras asociaciones.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Determinar las condiciones de área, equipamiento y calidad para una pequeña industria que elabora productos alimenticios en polvo.

1.3.2. Objetivos específicos.

1. Diseñar un secador con las capacidad y dimensiones adecuadas para la producción industrial de la harina de plátano.
2. Realizar la memoria de cálculos para la validación del diseño.
3. Estimar el costo de construcción de la máquina.
4. Modelar el diseño en Software CAD.

1.4. Marco teórico.

1.4.1. ¿Qué es el plátano verde?

El plátano verde es una planta herbácea que crece hasta seis metros de altura, de tronco fuerte, cilíndrico, succulento, que sale de un tallo bulboso, pulposo y grande, proviene de Asia, pero su cultivo se ha extendido por muchas regiones del planeta como América Central, América del Sur y África.

Constituye la base de alimentación de muchos países tropicales, dada su versatilidad y adaptación para diferentes preparaciones. Aunque, el plátano verde es sólo un plátano todavía inmaduro, contiene un almidón más resistente, un tipo de carbohidrato que no es absorbido por el cuerpo y puede generar muchos beneficios. (como el control de la glucosa, control de peso e incluso una disminución de los niveles de colesterol). (Unisima, 2019)

Tabla 1.1: Valor nutricional del plátano verde (Araya Jorge, 2014)

Componentes	Unidad	Valor
Energía	Kcal	122
Agua	%	66,6
Carbohidratos	%	32,3
Proteínas	%	1
Fibra	%	0,5
Grasa	%	0,3
Cenizas	%	0,8
Calcio	Ppm	310
Fósforo	Ppm	340
Hierro	Ppm	8
Potasio	Ppm	--
B-caroteno (vitamina A)	Ppm	1,75
Tiamina (vitamina B1)	Ppm	0,6
Riboflavina (vitamina B2)	Ppm	0,4
Piridoxina (vitamina B6)	Ppm	--
Niacina	Ppm	6
Ácido ascórbico (vitamina C)	Ppm	200

El plátano verde es una gran fuente de fibra (1 sola taza contiene 3,6 gr), vitaminas y minerales como el potasio (531 mg por taza), calcio, magnesio y vitaminas del complejo B. Por lo tanto, los beneficios del plátano verde van desde la prevención del estreñimiento hasta las formas más graves de cáncer, a través del consumo regular de este alimento en forma de harina de plátano o preparado al horno. (Metroecuador, 2018)

1.4.2. ¿Qué es la harina?

El término harina proveniente del latín farina, es el polvo fino que se obtiene del cereal molido (trigo, cebada, centeno y maíz) y de otros alimentos ricos en almidón como arroz, tubérculos y legumbres. También se le llama harina al polvo al que quedan reducidas ciertas materias sólidas al ser trituradas, machacadas o molidas, p. ej. harina de plátano. (Ecured, 2017)

La harina de plátano es un producto elaborado que tiene muchas posibilidades culinarias, aportando el rico sabor de la fruta e interesantes propiedades nutricionales. Esta harina es un alimento muy nutritivo, se elabora con plátano verde el cual es conocido en la región con el nombre de barraganete o macho, por lo que es necesario someterlo a un proceso de cocción para hacerlo digerible.

Esta harina es muy apreciada por sus propiedades nutricionales, carbohidratos, proteínas, es rica en vitaminas, minerales y fibra, además del denominado almidón resistente, llamado así porque es resistente a las enzimas digestivas del hombre, no es absorbido por el intestino delgado, considerando su actividad como la de la fibra dietética. (G&CIA, 2009)

1.4.3. Procedimiento para la elaboración de la harina de plátano en CORPICSUPAL

El procedimiento que sigue la asociación objeto de estudio se detalla a continuación:

1. **Recolección:** es el proceso de acopio de la materia prima, en este caso el plátano que no es apto para la exportación.
2. **Limpieza y desinfección:** en este paso al plátano se le hace un corte longitudinal en la cáscara y son inmersos en agua fría para eliminar la salvia pegajosa y ayudar al desprendimiento más rápido de la cascara.
3. **Pelado:** se retira la cascara o piel del plátano, esta puede ser ocupada como composta (abono para la tierra). En esta parte del proceso a cada unidad se le realiza el llamado “maquillaje”, que consiste en retirar la cáscara e imperfecciones en la superficie de la fruta, luego las unidades peladas y maquilladas son sumergidas en agua con ácido cítrico (limón).

4. Cortado o rebanado: una vez pelado el plátano se introduce cada unidad en un cortador eléctrico el cual los corta en rodajas de 0,1 a 3 cm de espesor para acelerar el proceso de secado.
5. Secado: consiste en colocar las rodajas del plátano en una bandeja de secado a gas con el fin de retirarle la humedad hasta un porcentaje óptimo para un adecuado procesamiento y almacenamiento.
6. Molido: ya con el plátano seco, las rodajas pasan por un molino eléctrico con el fin de reducir el plátano a polvo.
7. Mezclado: es el proceso de adición de componentes que contribuirán con el sabor y complementos vitamínicos necesarios de la harina, este proceso se realiza manualmente.
8. Cernido: en este paso se pasa la harina por un cernidor manual con el propósito de separar las partículas pequeñas de las más grandes que no tuvieron un buen proceso de mezclado y de esta forma tener un producto homogéneo.
9. Empacado: es el proceso de pesado, envasado, sellado y etiquetado antes de ser distribuido a sus destinos comerciales.

1.4.4. Secado, deshidratación y humedad.

Secado: es el proceso de eliminación parcial de la humedad de un sólido o materia por medio de calor natural o artificial. El cual se realiza para la conservación de alimentos extrayendo agua para inhibir la proliferación de microorganismos y manteniendo las características del producto tales como sabor, olor y consistencia.

Deshidratación: es la eliminación total de la humedad de un sólido o materia mediante la aplicación de calor artificial en condiciones controladas de temperatura, humedad y flujo de aire. (Muapoey, Andrés, Albors, & Barta, 2001)

Humedad: el contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda; pero en el secado de sólidos es más conveniente referir la humedad sobre base seca (masa de agua que acompaña al sólido seco).

El contenido de humedad podría ser reducido utilizando un aire con una humedad relativa menor. Pero para deshidratar totalmente el sólido debería emplearse aire totalmente seco, es decir con $\phi=0$.

Humedad de equilibrio (X^*): cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Logrando las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.

1.4.5. Métodos de secado.

- **Secado Natural o Solar:** en este tipo de secado se deja el producto expuesto a las corrientes de aire y temperatura del medio normalmente se lo realiza en plantas o patios de concreto, este proceso necesita que el producto haya alcanzado la madurez fisiológica. Como ventaja se puede señalar que tiene un costo muy reducido y que abarca grandes cantidades de producto de acuerdo con el área de secado, la desventaja es que no funciona en todas las épocas del año debido a cambios climáticos además de plagas de insectos que podrían afectar el producto.
- **Secado artificial:** de acuerdo con la demanda de producción agrícola los plazos de secado del producto deberán ser relativamente cortos y sin problemas con condiciones climáticas y ambientales, en estos casos se recurre al secado artificial el mismo que consiste en hacer circular aire caliente mediante un ventilador hacia una cámara llamada de secado que contiene el producto a procesar.

1.4.6. Parámetros del secado artificial.

Los parámetros que influyen en la tasa de secado son: temperatura y humedad del ambiente, la temperatura y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad del producto, y el movimiento de la materia dentro del secador. Estos parámetros no son independientes, sino que influyen en la tasa de secado como conjunto de factores y no de manera individual, el buen manejo de estos parámetros ayudará

en gran manera a la elección del equipo de secado. (FAO, Secado de granos a altas temperaturas, 1991)

Condiciones del aire ambiente: aunque la temperatura y humedad del aire ambiente no influyen en gran escala en la tasa de secado determinan la cantidad de energía a utilizarse en el proceso de secado, es decir que a menor temperatura ambiente será mayor la cantidad de energía y así mismo el costo de secado.

Temperatura de secado: este parámetro a pesar de su flexibilidad influye significativamente en la tasa de secado y su eficiencia y por ende en el resultado final y calidad del producto al aumentar la temperatura habrá menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y mejor tasa de secado, sin embargo, temperaturas muy elevadas pueden dañar la materia y en consecuencia la calidad de la producción final. Se puede establecer que la temperatura del aire de secado superiores a 60°C será perjudicial para la materia a transformar. (Cocimaniacos, 2020)

Tabla 1.2: Temperatura y tiempo de secado (Cocimaniacos, 2020)

Fruto	Temperatura en ° C	Tiempo en horas	Espesor Rebanada
Piña	55-65	10 - 21	Pele y rebane en cubitos
Manzana	55-65	5 - 12	Pele y corte a gusto
Plátano	55-65	8 - 12	Pele y corte en rodaja 3 a 4 mm
Per	55-65	8 - 12	Pele y rebane
Mango	55-65	10 - 20	Pele y rebane
Uva	55-65	12 - 21	No es necesario cortarlas
Melocotón	55-65	8 - 16	
fresa	55-65	7 - 15	

Presión estática y flujo de aire: la conocida resistencia de flujo de aire también denominada presión estática es la pérdida de carga de un flujo de aire a través de una capa de material la misma influye en el flujo de aire y en la tasa de secado, según el tamaño del ventilador, mientras menor sea el espesor de la capa de materia mayor será el flujo de aire y la tasa de secado.

El flujo de aire recomendado para el secado en los secadores de lecho fijo varía entre 400 y 5000 m³/min dependiendo del tamaño del secador y la potencia de los ventiladores. (Noboa, Palacios , 2010)

Velocidad de secado: la velocidad de secado es la velocidad con que el aire de secado pasa a través de la materia, es llamada también puntos de humedad que serán extraídos en una hora. La velocidad de secado depende también del tipo de materia en el caso de las rodajas de plátano las de menor grosor secaran con mayor facilidad, la velocidad recomendada para el plátano será de 3 a 10 m/s. (Carranza & Sánchez, 2002)

Humedad inicial del producto: la humedad inicial influye en la tasa de secado, cuando el contenido de humedad de un producto es más elevado la cantidad de agua evaporada por unidad de energía también será mayor.

Altura del lecho: la altura de la capa de materia a secarse en equipos de lecho fijo rectangular será entre 0.40 y 0.60 m si sobrepasa esta altura presentará falta de uniformidad en el secado. (FAO, Arias, 1993)

Secador artificial: la configuración básica de un secador artificial consiste en un sistema que genera aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas o quemador para generar calor, también debe contar con un colector y un alimentador. (Gonzalez Gutierrez, 2017)

1.4.7. Tipos de secadores.

Los secadores se clasifican según varios parámetros, contando siempre con el rendimiento y la economía para realizar la elección apropiada:

Secadores continuos: son aquellos que secan en menor tiempo mayor cantidad de producto en forma continua. (Muapoey, Andrés, Albors, & Barta, 2001)

Secadores Discontinuos: son aquellos que secan en pequeña y mediana escala, aquí el producto permanece en una cámara hasta ser secado.

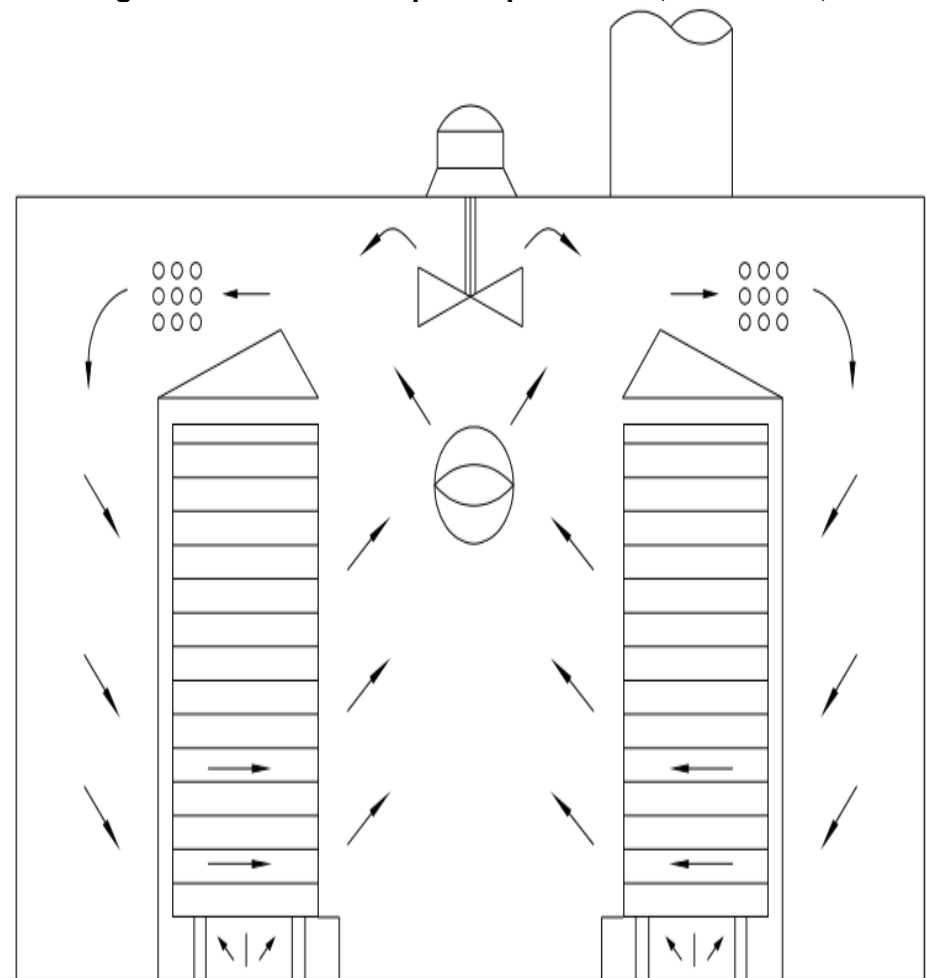
Dentro de los equipos de secado se puede señalar algunos de los más comerciales. (Andrade Lavanda, 2009)

Secadores de Plato perforado: Estos poseen una cámara rectangular de chapa metálica que posee dos carretones de soporte para los bastidores, cada bastidor tiene varios platos perforados de poca profundidad.

Las Placas deflectoras son las que distribuyen el aire de manera uniforme sobre los platos, parte del aire húmedo es expulsado continuamente por el conducto de descarga. Estos secadores son utilizados para pequeñas demandas de producción, secan cualquier tipo de producto con ayuda de mano de obra que manipule al ingreso y salida de la producción.

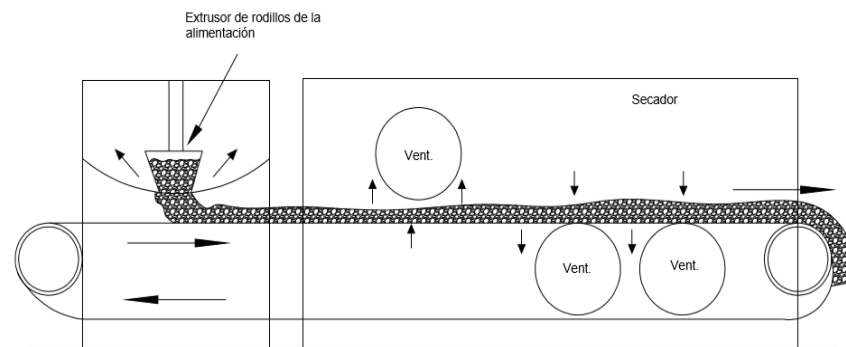
Este secado de sólidos por circulación de aire sobre capas estacionarias es lento en ciclos de 3 a 48 horas de secado por carga. (McCabe, 2007)

Figura 1.1: Secador de platos perforado. (McCabe, 2007)



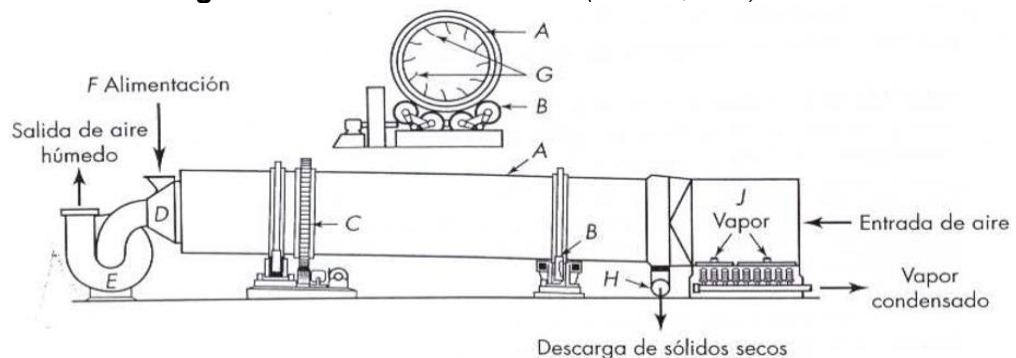
Secadores de Tamices transportadores: Aquí una capa de producto a secar se transporta de forma lenta sobre un tamiz metálico que se mueve a través de una cámara de secado la misma que consta de secciones separadas cada una de las cuales tiene su ventilador y calentador, estos secadores tienen unas dimensiones de 2m de ancho y 4,50 de largo, realizando el tiempo de secado desde 5 a 120 min, el tamaño mínimo del tamiz es de 30 mallas de esta manera todo tipo de materiales por gruesos, escamosos o fibrosos que sean podrán ser secados con circulación sin pretratamiento ni pérdida de material. (Espinoza Lenis, 2015)

Figura 1.2: Recorrido del lecho permeable en un secador con circulación a través de sólidos de 3 unidades. (McCabe, 2007)



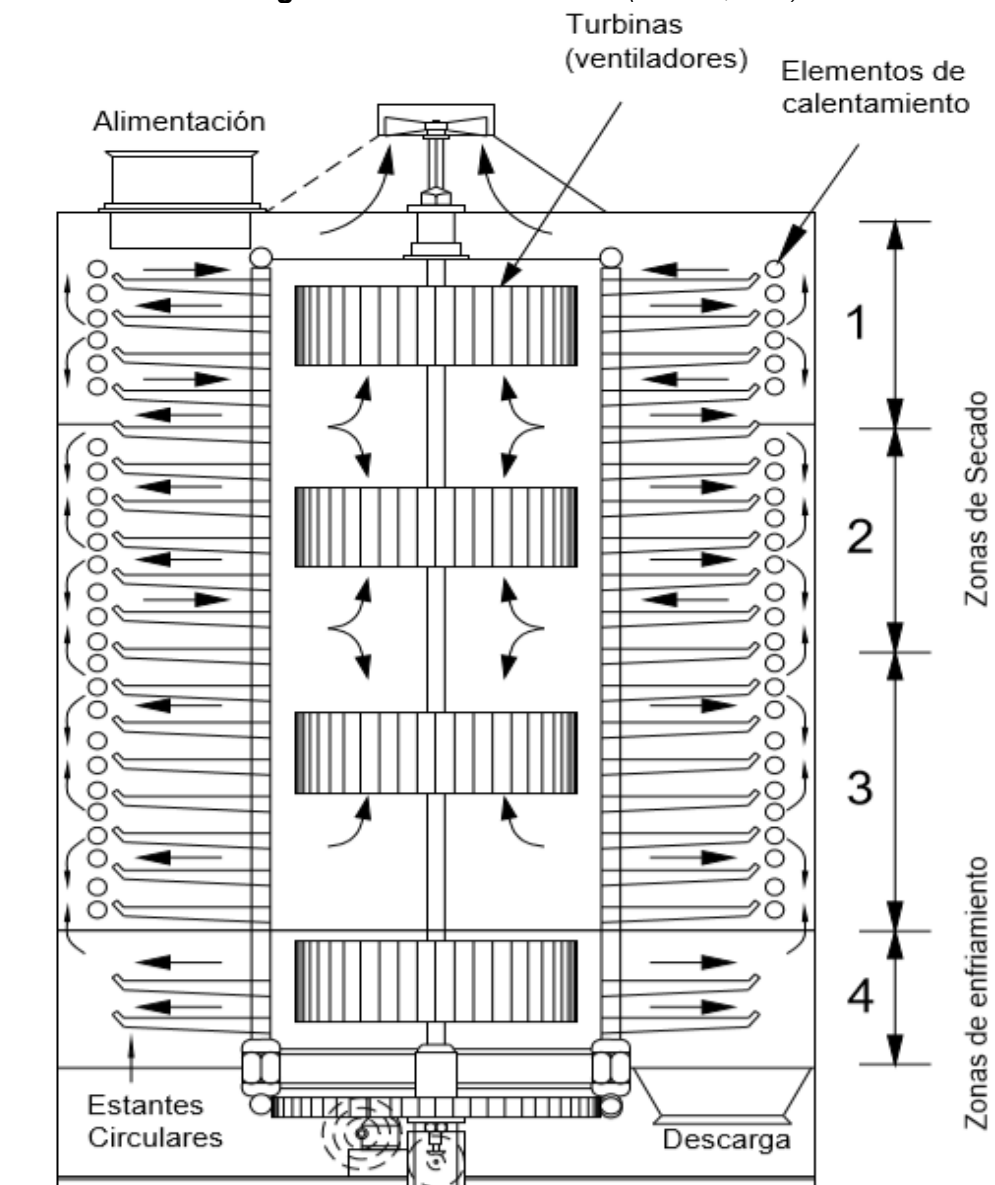
Secadores rotatorios: Poseen una carcasa cilíndrica giratoria, horizontal o ligeramente inclinada, al girar la carcasa unas pequeñas pestañas internas levantan los sólidos que caen en forma de lluvia dentro del cilindro. En la figura 1.3 se muestra un secador rotatorio adiabático que funciona con aire caliente en contracorriente, estos secadores se usan mayormente para materiales granulares y cristalinos se deberá dar limpieza y mantenimiento continuo y no se deben exponer a gases de combustión.

Figura 1.3: Secador rotatorio. (McCabe, 2007)



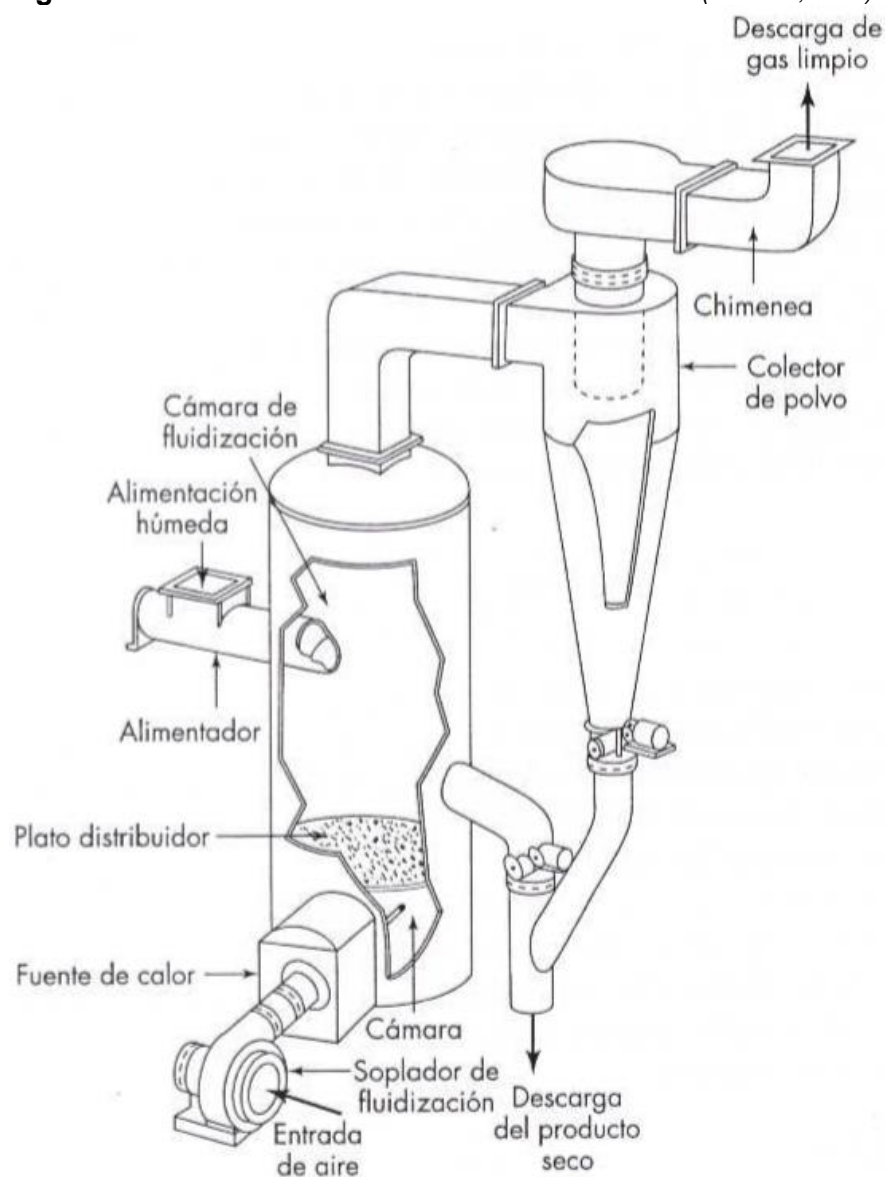
Torres de secado: Este tipo de secador tiene una serie de bandejas circulares montadas una sobre otra con un eje central rotatorio, el material se deposita en la bandeja superior y es sometido a la corriente de aire caliente a lo largo de la bandeja, luego el material cae a la siguiente bandeja y así sucesivamente hasta llegar al recipiente de recolección en la base del secador, el flujo de aire podrá ser paralelo o contracorriente de acuerdo a la figura 1.4 esta torre de secado promueve una recirculación interna del gas saliente, las velocidades del aire serán mayormente entre 0.6 a 2.4 m/s. (FAO, Capitulo VIII)

Figura 1.4: Turbo-secador. (McCabe, 2007)



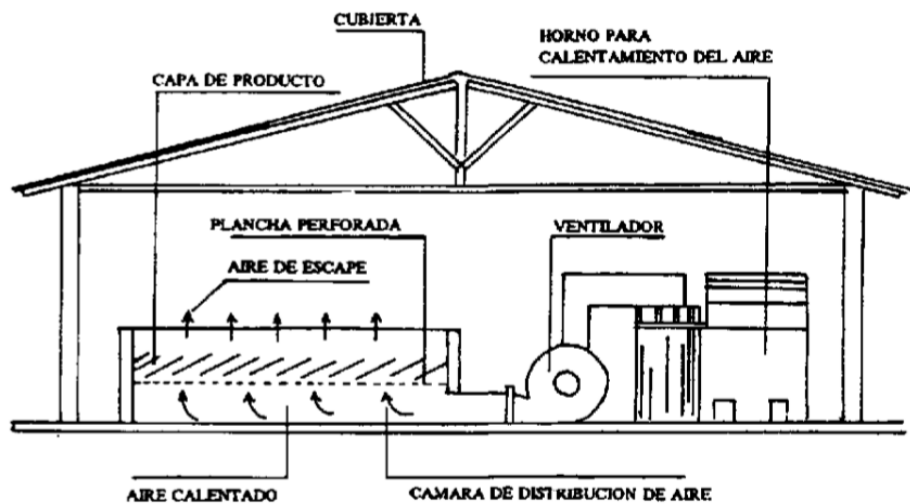
Secadores de lecho fluidizado: En este tipo de secador las partículas se fluidizan con aire en una unidad de lecho hirviente, las mezclas y transferencias de calor son rápidas, el producto se retira en el fondo por los laterales y se alimenta por la parte superior, en el secador que se ilustra en la figura 1.5 existe una distribución al azar de los tiempos de residencia, siendo el tiempo medio de permanencia de 30 a 120 s si solo se vaporiza agua superficial, pero si hay difusión interna durara de 15 a 30 min.

Figura 1.5: Secador continuo de lecho fluidizado. (McCabe, 2007)



Secadores de lecho fijo: Estos se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana, la cámara de secado tendrá dimensiones de acuerdo con la capacidad de secado, se llama también de capa estacionaria y trabaja en tandas, se coloca el material aun húmedo aquí se mantendrá mientras es secado y enfriado posteriormente se saca la producción y se inicia el proceso con una nueva tanda, la desventaja de este secador radica en que ocasiona un secado disparejo, en la figura 1.6 se muestra este tipo de secador. (Muapoe, Andrés, Albors, & Barta, 2001)

Figura 1.6: Secador de lecho fijo, de capa estática o estacionaria. (FAO, Arias, 1993)

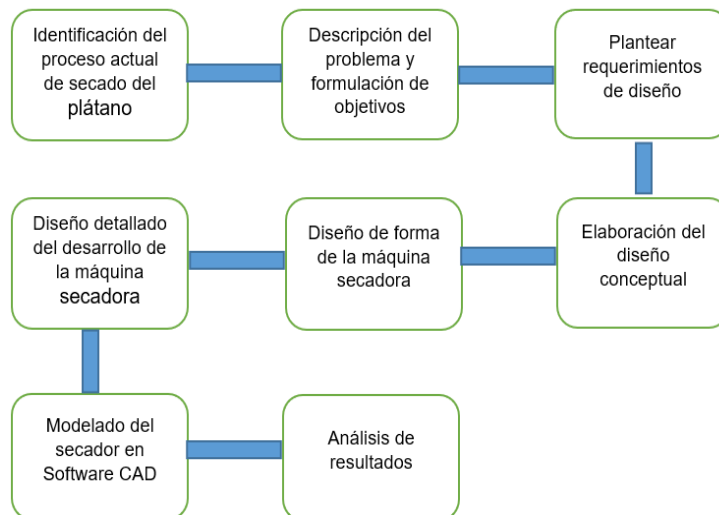


CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.

La asociación CORPICSUPAL, establece la necesidad de mejorar la infraestructura del área de operaciones, para la cual manifiesta la necesidad de realizar un rediseño de la máquina secadora de plátano verde **musa paradisiaca** con el objetivo de alcanzar un mayor volumen de ventas. La metodología a seguir para diseñar un secador con las capacidades y dimensiones adecuadas para la producción industrial de harina de plátano consideró los requerimientos del cliente. Para lo cual se utilizó, la metodología de diseño considerando 8 etapas secuenciales.

Figura 2.1: Metodología del diseño. (Elaboración propia)



2.1. Consideraciones generales del diseño.

En base a las condiciones actuales del secado del plátano verde, el cliente ha dado los siguientes requerimientos de diseño.

- **Disminuir el tiempo de secado.**

El mayor problema existente es el tiempo de secado que se encuentra en un rango entre 8 a 16 horas dependiendo del volumen a procesar, lo que provoca costos elevados en energía eléctrica, mano de obra y menor capacidad de producción.

- **Mejorar la capacidad del secador.**

Mejorar la capacidad del secador aumentando el volumen de producción y disminuyendo los tiempos en la entrega del producto terminado.

- **Bajo costo de construcción de la máquina.**

Que la maquinaria sea de bajo costo de construcción y operación, a la vez esté fabricada de materiales de buena calidad y amigables con el producto, es decir materiales de grado alimenticio.

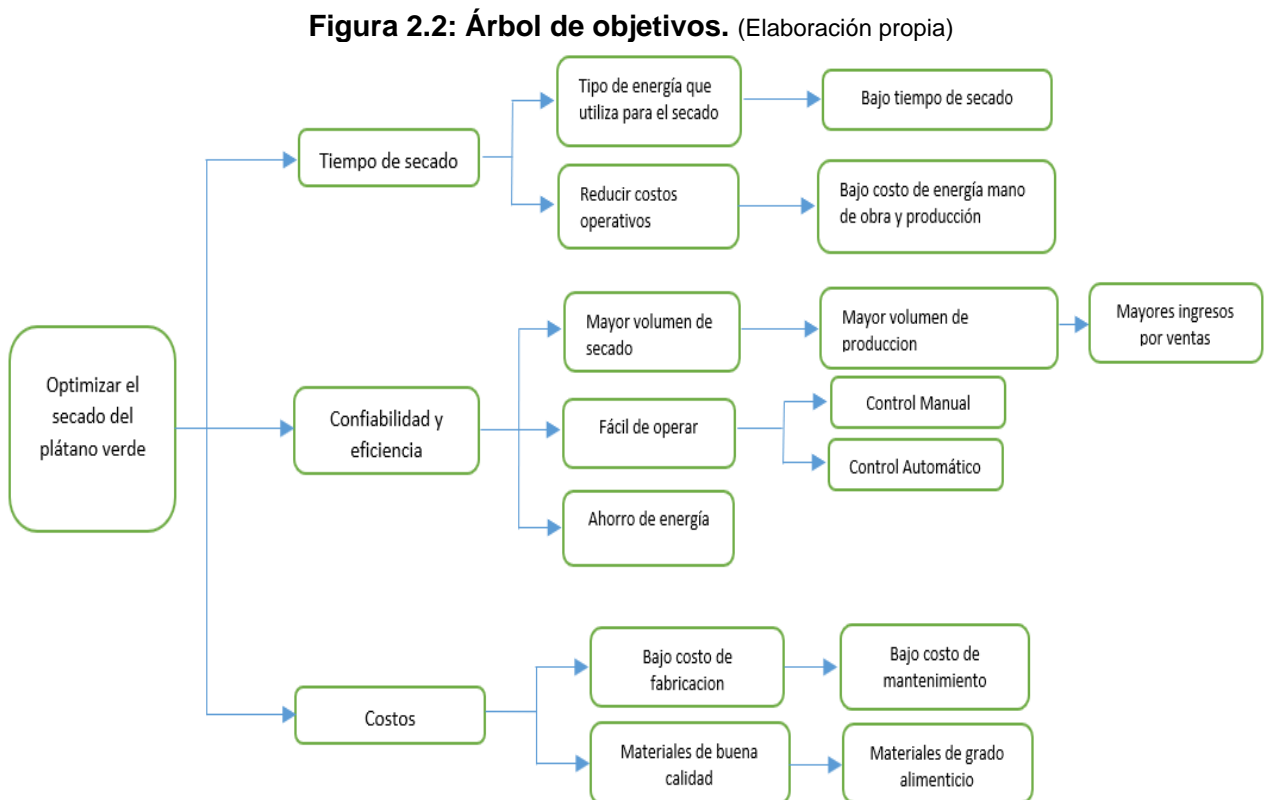
- **Conservar las características organolépticas de la fruta.**

Las propiedades organolépticas son aquellas descripciones de las características físicas de la fruta como por ejemplo sabor, textura, olor, color o temperatura.

2.2. Diseño conceptual.

2.2.1. Árbol de objetivos.

Se elaboró un árbol de objetivos a partir de los requerimientos del cliente y de los objetivos planteados hasta conseguir el diseño final de la máquina de secado. En la figura 2.2 se presenta de manera jerárquica los objetivos de diseño que se consideraron para llegar al producto final.



2.2.2. Criterios de selección.

Según los objetivos de diseño señalados en la figura anterior se definen los parámetros que influyen directamente en el diseño (selección y dimensionamiento).

- **Tipo de energía a utilizar:** las diferentes alternativas de energía a utilizar para un secador son energía eléctrica, solar o hidrocarbúrica (GLP o Diesel).
- **Capacidad del secador:** la capacidad del secador que requiere el cliente es de 100 qq o 4545,5 Kilogramos (Kg). Lo cual sirve para aumentar la producción y finalmente las ventas.
- **Tiempo de secado:** es necesario optimizar el tiempo de secado para conseguir disminuir los costos totales de producción, así mismo el resultado final es incrementar el volumen de producción e ingresos por ventas.
- **Costo del secador:** la máquina de secado deberá tener un bajo costo de fabricación usando materiales de buena calidad y de grado alimenticio conservando las propiedades de la fruta.
- **Dimensiones del secador:** de acuerdo con los requerimientos de volumen de secado que solicita el cliente, el secador debe tener las dimensiones adecuadas para cumplir con la producción y adecuarse al espacio físico disponible.
- **Operación y mantenimiento:** la máquina de secado debe ser de fácil operación y mantenimiento lo que reduce los costos y mejora la productividad.

2.2.3. Comparación por pares.

De acuerdo con los criterios de selección, se establece la importancia que tiene cada uno en comparación con los demás (comparación por pares), se utilizó una

escala de valores numéricos que va del 1 al 3 para comparar criterios de acuerdo a su relevancia siendo 1 el de menor, 2 de igual y 3 de mayor relevancia, según se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Comparación por pares entre los criterios de selección. (Elaboración propia)

Criterios de Selección	Tipo de energía a utilizar	Capacidad del secador	Tiempo de secado	Costo del secador	Dimensiones del secador	Operación y mantenimiento	Calificación	Peso
Tipo de energía a utilizar	-	1	1	3	2	1	8	0,13
Capacidad del secador	3	-	2	1	3	3	12	0,20
Tiempo de secado	3	2	-	1	3	3	12	0,20
Costo del secador	3	3	3	-	3	3	15	0,25
Dimensiones del secador	1	1	1	1	-	1	5	0,08
Operación y mantenimiento	3	1	1	1	3	-	9	0,15
Total							61	1,00

En la tabla 2.1 se observa que el criterio de mayor importancia corresponde al costo del secador y el criterio de menos importancia son las dimensiones. Los criterios de selección ordenados de acuerdo con el nivel de importancia son:

1. Costo del secador
2. Tiempo de secado
3. Capacidad del secador
4. Operación y mantenimiento
5. Tipo de energía a utilizar
6. Dimensiones

Después de ordenar los criterios de selección se establece que es necesario considerar los costos de fabricación, ya que de estos depende el tipo de máquina que se va a diseñar, de acuerdo con la capacidad económica del cliente. El segundo criterio en importancia fue el tiempo de secado, es decir el lapso durante el cual se remueve humedad de una cantidad específica de producto. Como un

tercer criterio se estableció la capacidad de secado para obtener una mayor producción y en consecuencia mayores ventas. El quinto criterio fue la energía a utilizar, es decir, debe de ser aquella que tenga una mayor capacidad calorífica para reducir el tiempo de operación, y el ultimo criterio en lista de importancia fue las dimensiones del secador

2.2.4. Tabla morfológica.

Teniendo en cuenta los parámetros ya definidos y los diferentes tipos de secadores que existen actualmente en el mercado, se construyó una tabla morfológica con la finalidad de obtener una visión más detallada de las diferentes alternativas que solucionen el problema que se plantea en este estudio.

Esta herramienta nos permitió analizar de manera visual las posibles opciones para una determinada solución.

En la tabla 2.2 se muestra el desarrollo de la tabla morfológica.

Tabla 2.2: Tabla morfológica con las posibles alternativas. (Elaboración propia)

Función	Medios			
	A	B	C	D
Secado	Natural	Artificial		
Energía calorífica para secar	Sol	Resistencias eléctricas	Quemador a gas (GLP)	Quemador a Diesel
Transferir calor	Rayos UV	Ventilación forzada	Ventilación forzada	Ventilación forzada
Retirar humedad	Exposición al sol	Alta temperatura	Aire caliente	Aire caliente
Movimiento del producto	Manual	Manual	Manual ó mecánico	Manual ó mecánico

2.2.5. Descripción de alternativas.

De acuerdo con la tabla morfológica planteada anteriormente se proponen cuatro alternativas de solución al problema.

Alternativa A.

Consiste en un sistema de secado de plátano verde por método natural el cual utiliza la energía solar, la medio transmisión del calor es por medio de rayos

ultravioleta, el tipo transferencia de calor es por radiación y el movimiento del producto se realiza de forma manual.

Alternativa B.

Consiste en el diseño de un sistema de secado de plátano verde por método artificial, el mismo que será a base de energía eléctrica, la generación de calor en este método se hace con de resistencias eléctricas, la transferencia de calor es por conducción y el movimiento del producto se realiza de forma manual.

Alternativa C.

Consiste en el diseño de una máquina de secado de plátano verde por método artificial, el mismo que será a base de energía hidrocarburífera (GLP), la generación de calor será a través de un quemador, el medio de transmisión de calor es el aire que emite un ventilador, el tipo de transferencia de calor es convección forzada y el movimiento del producto puede ser manual o mecánico.

Alternativa D.

Consiste en el diseño de una máquina de secado de plátano verde por método artificial, el mismo que será a base de energía hidrocarburífera (Diésel), la generación de calor será a través de un quemador, el medio de transmisión de calor es el aire que emite un ventilador, el tipo de transferencia de calor es convección forzada y el movimiento del producto puede ser manual o mecánico.

2.2.6. Matriz de decisión.

Para establecer la mejor solución entre las alternativas propuestas se debió elaborar una matriz de decisión. De acuerdo con lo que se muestra en la tabla 2.3, que es la comparación de las alternativas de solución frente a los criterios de selección señalados en la tabla 2.1, se estableció una tabla de calificación con parámetros desde uno (1) para la menor influencia del criterio, hasta diez (10) para la mayor influencia del criterio, los valores fueron asignados a cada criterio de acuerdo con los requerimientos del cliente.

Tabla 2.3: Matriz de decisión para el diseño del secador de plátano verde.
(Elaboración propia)

Criterios	Costo del secador	Tiempo de secado	Capacidad del secador	Operación y mantenimiento	Tipo de energía a utilizar	Dimensiones	Grado de satisfacción
Peso	0,25	0,20	0,20	0,15	0,13	0,08	1,0
Alternativa	Minímo	Bajo	Máxima	Sencillo	Económica	Estándar	Total
Solar	1,25 5	0,20 1	0,20 1	0,45 3	1,3 10	0,4 5	3,80
Eléctrico	0,75 3	1 5	0,6 3	0,75 5	0,13 1	0,8 10	4,03
A gas (GLP)	1,25 5	1,6 8	2 10	1,2 8	0,91 7	0,24 3	7,20
A Diesel	1,25 5	1 5	2 10	1,2 8	0,65 5	0,24 3	6,34

De acuerdo con la matriz de decisión se observa que la alternativa que más se adapta a los requerimientos del cliente y, por lo tanto, es la más adecuada para poder solucionar el problema que se plantea en este estudio, es la alternativa 3. ya que se nota que la opción A siendo la más sencilla de realizar y de dar mantenimiento no es la más conveniente cuando hablamos de rapidez de secado o incluso costos ya que depende del clima o sino deberá tener opciones extra para días nublados o lluviosos que demandan gastos elevados, Así mismo la opción B que siendo la más conveniente por el espacio es más costosa y menos rápida o con menor capacidad de secado lo que afecta la producción, y la opción D a pesar de ser muy similar a la opción ganadora tiene entre los contras el hecho de que es más costosa su utilización y el tiempo de secado más extenso.

Se realiza el diseño detallado del secador de lecho fijo o estacionario de forma rectangular en base a condiciones iniciales y parámetros necesarios por el cliente. Se describen las condiciones, parámetros y datos para el diseño y selección de cada elemento que conforma el secador, con el objetivo de mejorar el tiempo de secado y consumo de energía.

Los datos que se utilizan para el diseño se detallan en la tabla 2.4:

Tabla 2.4: Datos iniciales para el diseño. (freemeteo.ec, 2020) (catarina.udlap.mx, Cap 6)

Plátano verde	
Densidad del plátano	$\rho_{pv} = 905 \text{ Kg}/\text{m}^3$
Diámetro equivalente efectivo final del plátano	$D_{f_{pv}} = 0,035 \text{ m}$
Diámetro equivalente efectivo inicial del plátano	$D_{i_{pv}} = 0,04 \text{ m}$
Humedad crítica del plátano	$\varphi_c = 27\%$
Humedad de equilibrio del plátano	$\varphi_e = 9,7\%$
Humedad final del plátano	$\varphi_f = 5\%$
Humedad inicial del plátano	$\varphi_i = 66,6\%$
Porcentaje de espacios vacíos	$\varepsilon = 0,4$
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente de bulbo seco	$T_{abs} = 25^\circ \text{ C}$
Temperatura ambiente de bulbo húmedo	$T_{abh} = 28,2^\circ \text{ C}$
Velocidad de secado	$v_s = 4 \text{ m/s}$
Humedad relativa del ambiente	$\varphi_a = 80\%$
Acero	
Densidad del acero	$\rho_a = 7850 \text{ Kg}/\text{m}^3$
Esfuerzo de fluencia acero A-36	$S_y = 248,73 \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad del acero	$E = 196133 \text{ MPa}$
Esfuerzo máximo a la tracción	$S_{ut} = 414 \text{ MPa}$

2.3. Diseño detallado del secador.

2.3.1. Dimensionamiento de la cámara de secado.

Para el dimensionamiento de la cámara de secado se debe tener en cuenta la densidad del plátano verde y la capacidad requerida por el cliente.

$$\rho_{pv} = 905 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Capacidad}_{\text{secador}} = 4545,5 \text{ Kg}$$

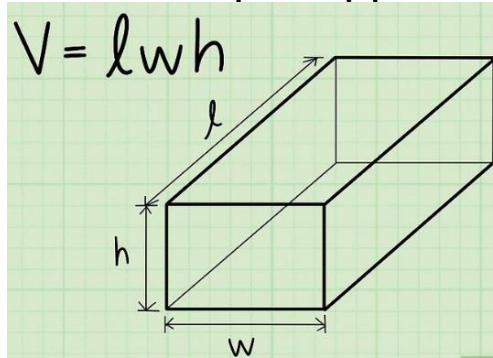
Para calcular el volumen de la cámara de secado usamos la fórmula de la densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

$$V_{cs} = 5,02 \text{ m}^3$$

La bandeja de secado tendrá la forma de un paralelepípedo rectangular el cual se muestra la fórmula de su volumen en la siguiente figura:

Figura 2.3: Formula del volumen de un paralelepípedo rectangular. (Google, 2020)



Donde w es el ancho, l es el largo y h es la altura de cámara respectivamente. Partiendo del valor del volumen de la cámara de secado y una altura de referencia $h = 0.4 \text{ m}$ dimensionamos el largo y ancho de la misma.

$$5,02 \text{ m}^3 = w \times l \times h \quad (2. 2)$$

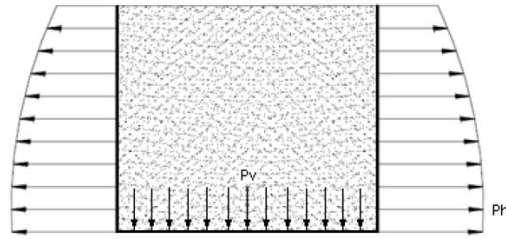
Entonces la cámara de secado tendrá las siguientes dimensiones:

- Ancho $A = 2,44 \text{ m}$
- Largo $L = 5,14 \text{ m}$
- Altura $H = 0,4 \text{ m}$

2.3.2. Selección de la plancha perforada.

Esta plancha soporta la presión vertical o presión sobre el fondo producida por la masa de plátano verde. Se considera que durante el secado la cámara se llenará hasta su máximo nivel a partir de esta premisa se hará la selección, tal como se muestra en la figura 2.4.

Figura 2.4: Distribución de presión en la cámara de secado. (Noboa, Palacios , 2010)



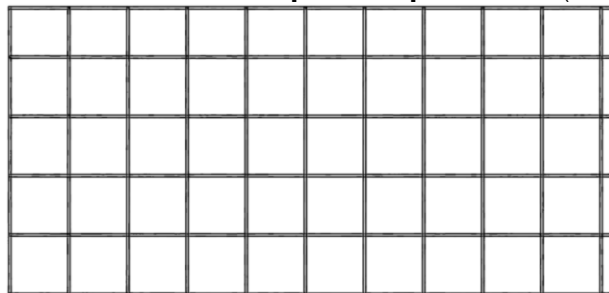
La FAO expone que la lámina de acero puede ser de 1,5 mm de espesor, debe tener perforaciones que permitan el paso del aire caliente y estas deben de ser circulares en un mínimo del 10 por ciento de su superficie total, sin embargo, otros autores enuncian que el diámetro de los orificios no debe ser superior a 6 mm y la distancia entre centros no debe superar los 20 mm. (FAO, Arias, 1993), (Costales , 1995)

De acuerdo con los criterios de la FAO y de varios autores, la plancha perforada seleccionada es 2 mm de espesor con agujeros de diámetro de 5 mm, distancia entre de centros de 8 mm y un porcentaje de área perforada del 35%. ANEXO B1.

2.3.3. Diseño de vigas soportes.

La plancha perforada se soportará por medio de una estructura que debe ser lo más simple posible para que no se convierta en un obstáculo para la distribución del aire de secado. La plancha perforada asienta sobre un esqueleto o estructura que se construirá de tubo cuadrado galvanizado (Anexo B2), ambas partes estarán soportadas en 5 vigas de perfil “L”, de 2,44 m de longitud que estarán empotradas a las paredes de la cámara de aire caliente, colocadas transversalmente a lo largo de la longitud de esta.

Figura 2.5: Estructura de asiento de la plancha perforada. (Elaboración propia)

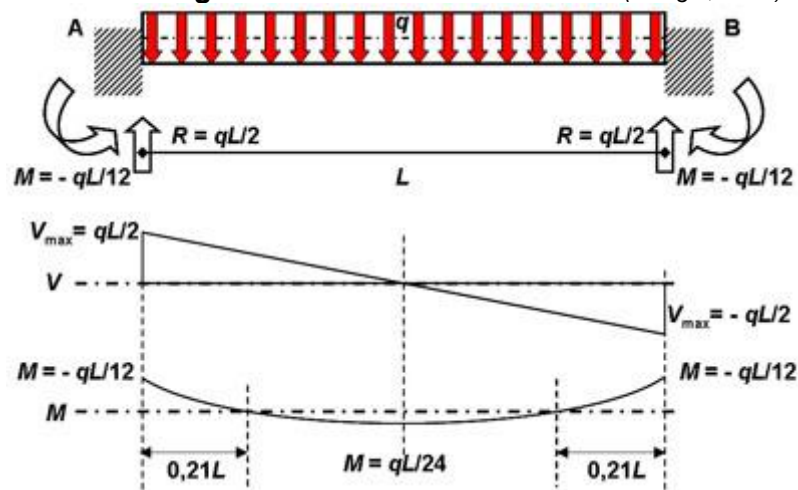


La masa total que van a soportar las vigas es la masa del plátano verde más la masa de la plancha perforada y la masa de la estructura donde asienta la plancha perforada.

La masa total para soportar es: $m_T = 4760,32 \text{ Kg}$

Para poder seleccionar correctamente la denominación del perfil "L" empotrado en ambos extremos y con una carga distribuida, debemos calcular su máximo momento flector.

Figura 2.6: Diagrama de fuerza cortante y momento flector de una viga doblemente empotrada con carga uniformemente distribuida. (Google, 2020)



El momento máximo flector viene dado por la ecuación:

(2. 3)

$$M_{max} = \frac{qL}{24}$$

Donde:

q: es la carga, [N]

L: longitud de la viga, [m]

$$q = \frac{4760,32 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{5} \quad (2. 4)$$

$$q = 9339,74 \text{ N}$$

24

$$M_{max} = \frac{9\,339,74\text{ N} \times 2,44\text{ m}}{24}$$

$$M_{max} = 949,54\text{ N.m}$$

El factor de seguridad viene dado por la ecuación:

$$\eta = \frac{S_{ut}}{\sigma_f} \quad (2.5)$$

Donde:

S_{ut} : Esfuerzo máximo a la tracción, [MPa]

σ_f : Esfuerzo de flexión, [MPa]

Asumiendo un factor de seguridad de 1.2 tenemos:

$$\sigma_f = 345\text{ MPa}$$

El esfuerzo de flexión viene dado por la ecuación:

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{S} \quad (2.6)$$

Donde:

S: Módulo de resistencia de la sección transversal, [mm³]

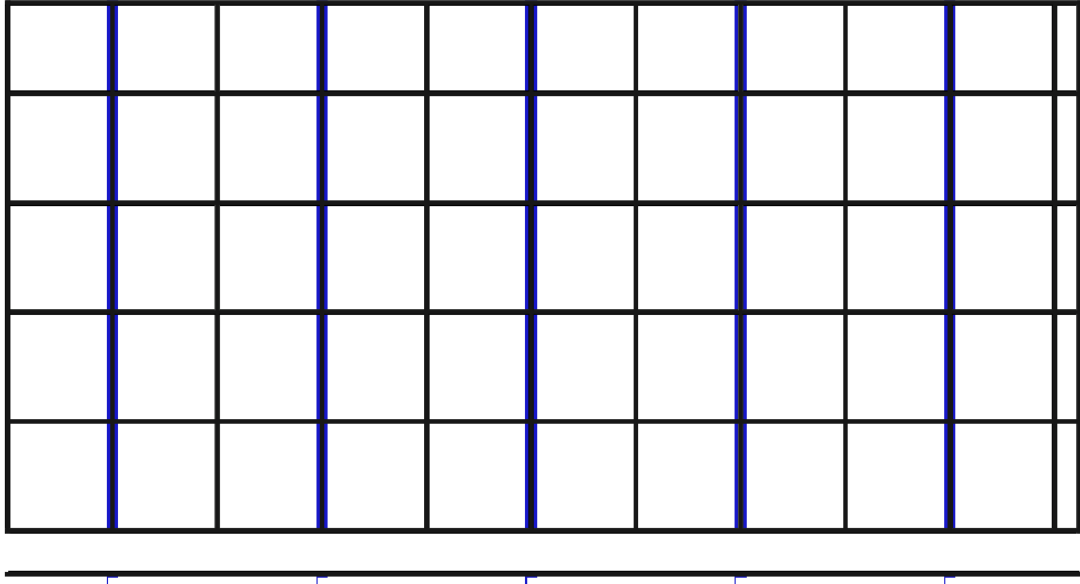
$$S = 2,75 \times 10^{-6}\text{ m}^3$$

$$S = 2,75 \times 10^3\text{ mm}^3$$

De acuerdo al resultado obtenido tenemos que la denominación del perfil "L" que más se acerca al valor de S es uno de lados iguales de (45X45X6) mm, que tiene un $S = 2,98 \times 10^3\text{ mm}^3$. (Pytel & Singer, 1994)

Comercialmente no existe un perfil L con esas dimensiones por lo que se escoge uno que cumpla con el valor de S requerido, para nuestro caso escogemos un perfil L de (50X50X5) mm, que tiene un $S = 3,10 \times 10^3 \text{ mm}^3$. Anexo B3

Figura 2.7: Distribución de vigas vista superior y frontal. (Elaboración propia)



2.3.4. Selección del ventilador.

El ventilador necesario para el secador debe ser un ventilador centrífugo de aspas inclinadas hacia atrás debido a la presión estática que debe vencer, la potencia se la transmitirá un motor por medio de banda - polea debido a la temperatura del aire de secado. Para seleccionar el ventilador es necesario conocer la caída de presión de todo el sistema y el caudal.

La caída de presión y el caudal de aire es función de la velocidad de secado, la misma que es de 4 m/s.

El ventilador debe cumplir con los requerimientos de la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Características del ventilador. (Elaboración propia)

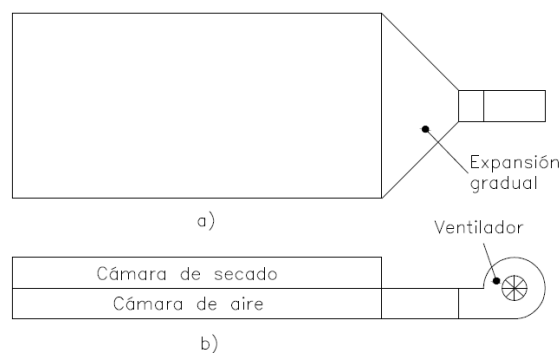
Caudal Q	17,56 [m³/s]	63.216 [m³/h]
Caída de presión	382,35 [Pa]	38,97 [mm c.a.]
Potencia motor	9,32 [KW]	12,5 [HP]

El ventilador seleccionado es un ventilador que entrega un caudal de 39 372 ft³/min (66 893 m³/h) y vence una caída de presión estática de 1.53" c.a. (39 mm c.a.), tal como indica el anexo B3.

2.3.5. Caída de presión en la distribución de aire de secado.

La configuración para la distribución de aire de secado se establece en la figura 2.8.

Figura 2.8: Configuración para la distribución de aire a) vista superior, b) vista lateral.
(Noboa, Palacios, 2010)



Caída de presión en la expansión gradual.

El área de secado es el área de la sección de la cámara de secado:

$$A_s = A \times L = 12,54 \text{ m}^2 \quad (2.7)$$

El área perforada es:

$$A_p = A_s \times 0,35 = 4,39 \text{ m}^2 \quad (2.8)$$

El área perforada es el área por la que va a fluir el aire de secado, por lo tanto, si la velocidad de secado es 4 m/s el caudal será:

$$Q = A_p \times V_s \quad (2.9)$$

$$Q = 17,56 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

El área a la entrada de la expansión es la misma que la boca de salida del ventilador y es igual a 0,25 m² por lo que la velocidad a la entrada de la expansión es: (ESPE, 2015).

$$v_{ee} = \frac{Q}{A_{ee}} = 70,24 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (2.10)$$

El área a la salida de la expansión es la altura de la cámara de aire caliente por el ancho de esta y es igual a 1,22 m² por lo que la velocidad a la salida de la expansión es:

$$v_{ss} = \frac{Q}{A_{se}} = 14,39 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (2.11)$$

Diámetro hidráulico a la entrada de la expansión es: (Fox, Mcdonald, 1995)

$$D_{ee} \cong \frac{4A}{P} = 0,5[m] \quad (2.12)$$

Diámetro hidráulico a la salida de la expansión es:

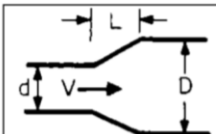
$$D_{se} \cong \frac{4A}{P} = 0,829[m] \quad (2.13)$$

La caída de presión se determina con la siguiente ecuación: (Mataix, 1982)

$$\Delta P_{eg} = \rho_a k' \left[1 - \left(\frac{D_{ee}}{D_{se}} \right)^2 \right]^2 \frac{v_m^2}{2} \quad (2.14)$$

La longitud de la expansión es 1,40 m y el coeficiente k' se toma de la tabla 2.5

Tabla 2.6: Valores de k'. (Avallone, 1996)

	(D-d)/2L	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,80
	k'		0,14	0,20	0,47	0,76	0,95	1,05

La relación entre los diámetros hidráulicos y la longitud de la expansión es igual a 0,12, por lo que interpolando obtenemos un valor de k' = 0,25

$$\Delta P_{eg} = 1,085 \frac{Kg}{m^3} \times 0,25 \times \left[1 - \left(\frac{0,5m}{0,829m} \right)^2 \right]^2 \times \frac{\left(42,32 \frac{m}{s} \right)^2}{2} = 98,32 Pa \quad (2. 15)$$

Caída de presión en el lecho de plátano.

La caída de presión en el lecho de plátano verde se determina cuando existen las condiciones de mayor obstáculo para el paso de aire, este caso se da cuando el plátano verde tiene el diámetro equivalente efectivo final de 0.035 m. (Mataix, 1982)

El flujo de aire para evaporación es:

$$\dot{m}_{aire} = \rho_a Q = 19,05 \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad (2. 16)$$

Reynolds es:

$$Re = \frac{\dot{m}_{aire} D_{fpv}}{A_s \mu_a} \quad (2. 17)$$

$$Re = \frac{19,05 \times 0,035}{12,54 \times 1,95 \times 10^{-5}} = 2726,65$$

$$\Delta P_{l_{pv}} = \left(\frac{H_{lp} Re \mu_a^2}{\rho_a^2 D_{mpv}^3} \right) \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left[\left(\frac{1,24 Re}{1 - \varepsilon} \right) + 368 \right] \quad (2. 18)$$

$$\Delta P_{l_{pv}} = \left(\frac{0,40 m \times 2726,65 \times \left(1,95 \times 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2} \right)^2}{\left(1,085 \frac{Kg}{m^3} \right)^2 \times (0,035m)^3} \right) \times \frac{(1 - 0,4)^2}{0,4^3} \left[\left(\frac{1,24 \times 2726,65}{1 - 0,4} \right) + 368 \right]$$

$$\Delta P_{l_{pv}} = 277,56 Pa$$

Caída de presión en la plancha perforada.

La caída de presión en la plancha perforada es aproximadamente igual al 10% de la caída de presión en el lecho de plátano verde. (Costales , 1995)

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \Delta P_{l_{pv}} \quad (2. 19)$$

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \times 277,56 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{pp} = 27,75 \text{ Pa}$$

Caída de presión total

La caída de presión total es:

$$\Delta P_T = \Delta P_{l_{pv}} + \Delta P_{pp} + \Delta P_{eg} \quad (2. 20)$$

$$\Delta P_T = 277,56 \text{ Pa} + 27,75 \text{ Pa} + 98,32 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_T = 403,63 \text{ Pa}$$

2.3.6. Potencia del motor para el ventilador.

La potencia máxima del motor debe ser 12,5 HP debido a que CORPICSUPAL no dispone de potencias eléctricas instaladas de gran capacidad. La velocidad de secado será de 4 m/s, el cálculo de la potencia para este caso se desarrolla a continuación.

$$Pot_m = Q \Delta P_T \quad (2. 21)$$

$$Pot_m = 17,56 \frac{m^3}{s} \times 403,63 \text{ Pa}$$

$$Pot_m = 7\,087,74 \text{ [W]} = 7,087 \text{ [KW]}$$

$$Pot_m = 7,087 \text{ KW} \times \frac{1,34102 \text{ HP}}{1 \text{ KW}} = 9,50 \text{ [HP]}$$

El factor de servicio del motor es 1,15 por lo tanto la potencia requerida es:

$$Pot_{req} = 9,50 \times 1,15 \quad (2. 22)$$

$$Pot_{req} = 10,93 \text{ [HP]} \cong 12,5 \text{ [HP]}$$

Tabla 2.7: Potencia requerida del motor en función de la velocidad de secado. (Elaboración propia)

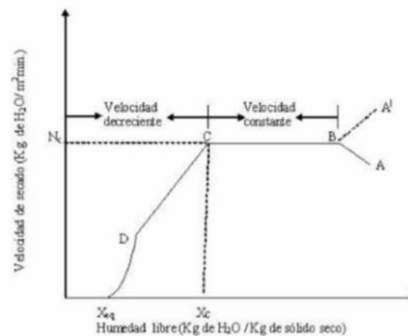
Velocidad de secado (m/s)	Caudal de aire (m ³ /s)	Caída de presión total (Pa)	Potencia del motor requerida (HP)
4	17,56	382,35	12,5

2.3.7. Tiempo de secado.

El tiempo de secado es función de la velocidad y temperatura de secado, la velocidad de secado se asume de 4 m/s, es decir que para disminuir el tiempo de secado se debe aumentar la temperatura de secado, entonces para cumplir uno de los objetivos del presente proyecto se asumirá que la temperatura de secado es 50° C.

El tiempo de secado se determina a partir de la curva de secado del plátano verde que se muestra en la figura 2.9.

Figura 2.9: Curva de velocidad de secado. (Barrena, Cruzalegui, Cárdenas, & Huanes, 2009)



Para estimar el tiempo de secado se utiliza la siguiente ecuación: (McCabe, 2007)

$$t_s = \frac{m_{f_{pv}}}{A_{tc} R_s} = \left(\phi_i + \phi_c + \phi_c \ln \frac{\phi_c}{\phi_f} \right) \quad (2.23)$$

Donde:

t_s : tiempo de secado, [h]

$m_{f_{pv}}$: masa de plátano verde "seco", [Kg]

A_{tc} : área de transferencia de calor, [m²]

R_s : velocidad de secado en el período de velocidad constante, [Kg/m².h]

\emptyset_i : humedad inicial del plátano, [%]

\emptyset_c : humedad crítica del plátano, [%]

\emptyset_f : humedad final del plátano, [%]

Los datos de las propiedades del agua y el aire a temperatura de secado se indican en la tabla 2.8. (Cengel & Boles, 2003) (Incropera, 1999).

Tabla 2.8: Datos de las propiedades del agua y aire a 50° C. (Cengel & Boles, 2003)

AGUA	
Entalpía de evaporación del agua a 50° C	$h_{fg} = 2\,382,7$ KJ/Kg
AIRE DE SECADO	
Calor específico del aire a 50° C	$C_p = 1,0079$ KJ/Kg.K
Coefficiente de conducción del aire a 50 ° C	$K_a = 0,028$ W/m ² .K
Densidad del aire de secado a 50° C	$\rho_a = 1,225$ Kg/m ³
Viscosidad dinámica del aire a 50°C	$\mu_a = 1,95 \times 10^{-5}$ N.s/m ²
Número de Prandtl a 50° C	$P_r = 0,70378$

Volumen unitario del plátano verde con un espesor de rodaja de 5 mm:

$$V_{pv} = \frac{\pi D^2 e}{4} = \frac{3,1416 \times 0,0375^2 \times 0,005}{4} = 5,52 \times 10^{-6} [m^3] \quad (2.24)$$

Volumen total solo del plátano:

$$V_{Tp} = V_s (1 - \varepsilon) \quad (2.25)$$

$$V_{Tp} = 5,02 \, m^3 (1 - 0,4) = 3,01 [m^3]$$

Número de plátanos en la cámara de secado:

$$N_p = \frac{V_{Tp}}{V_{pv}} = \frac{3,01 \, m^3}{5,52 \times 10^{-6} \, m^3} = 545\,289 [rodajas \, de \, plátanos] \quad (2.26)$$

Área de transferencia de calor del plátano:

$$A_{tc} = N_p \pi D \left(e + \frac{D}{2} \right) = 1525,70 \text{ [m}^2\text{]} \quad (2.27)$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_{mpv} v_s \rho_a}{\mu_a} = 10\,43,26 \quad (2.28)$$

La ecuación para obtener el coeficiente de convección en lechos con flujos perpendicular al lecho es: (McCabe, 2007)

$$N_{uD} = \frac{h D_{mpv}}{k} = 1,17 Re^{0,585} Pr^{1/3} \quad (2.29)$$

Donde:

N_{uD} : número de Nusselt

Despejando h y sustituyendo valores se obtiene un coeficiente de convección:

$$h = 453,12 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

La razón de secado:

$$R_s = \frac{h(T_s - T_{abh})}{h_{fg@T_s}} = 4,14 \times 10^{-3} \text{ [Kg/m}^2\text{s]} \quad (2.30)$$

De datos experimentales se obtiene que la humedad crítica del plátano es 27% por lo tanto el tiempo de secado es: (Barrena, Cruzalegui, Cárdenas, & Huanes, 2009).

$$t_s = \frac{1627,28}{1525,70 \times 4,14 \times 10^{-3}} \left(66,6 - 27 + 27 \ln \frac{27}{5} \right)$$

$$t_s = 21\,932,57 \text{ [s]} = 6,09 \text{ [h]}$$

2.3.8. Razón de evaporación y Flujo masico de aire total.

La razón de evaporación del agua contenida en el plátano es:

$$n = \frac{m_{aguaa}}{t_s} \quad (2.31)$$

$$n = \frac{2\,918,22\text{ Kg}}{6,09\text{ h}} \times \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 0,133 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Se asume un calentamiento adiabático a entalpía constante

$$Y_2 - Y_1 = \frac{n}{\dot{m}_a} \quad (2.32)$$

$Y_1 = 0,067\text{ Kg agua/Kg aire}$ por tabla psicrométrica @ 80% HR y $T_s = 50^\circ\text{ C}$

$$Y_2 = \frac{n}{\dot{m}_a} + Y_1$$

$$Y_2 = 0,074 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire}}$$

La entalpía del aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1,0054T + W(2501,3 + 1,8704T) \quad (2.33)$$

$$h = 224,12 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right], @ T_s \text{ y } Y_1$$

Con el valor de h y Y_2 hallo la T_2 (a la salida del lecho) por tabla psicrométrica:

$$T_2 = 37^\circ\text{ C}$$

Usando T_2 y Y_2 hallo el volumen específico 2 en la tabla psicrométrica:

$$v_2 = 0,98 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

El flujo masico de aire viene dado por la ecuación:

$$FA = \dot{m}_a + n \quad (2.34)$$

$$FA = 19,18 \frac{Kg \text{ aire}}{s}$$

El flujo volumétrico viene dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = FA \times v_2 \quad (2.35)$$

$$\dot{V} = 18,79 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V} = 39\,813,75 \frac{ft^3}{min}$$

2.3.9. Selección de la capacidad del quemador.

La capacidad del quemador es la cantidad de calor que se necesita para calentar el flujo de aire más las pérdidas calculadas y se determina mediante la ecuación. (Cengel & Boles, 2003)

$$\dot{Q}_{quemador} = \dot{m}_a (h_{@T_s} - h_{@T_{abs}}) \quad (2.36)$$

Donde:

$\dot{Q}_{quemador}$: capacidad del quemador, [KJ/s]

\dot{m}_a : flujo de aire a caleentar, [Kg/s]

$h_{@T_s}$: entalpía del aire a la temperatura de secado, [KJ/Kg]

$h_{@T_{abs}}$: entalpía del aire a temperatura ambiente, [KJ/Kg]

El flujo de aire es $\dot{m}_a = 8,53 \text{ Kg/s}$, el cálculo se desarrolla en los anexos.

La entalpía del aire se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1,0054T + W(2501,3 + 1,8704T) \quad (2.37)$$

Donde:

T : temperatura de bulbo seco del aire, [$^{\circ}C$]

W : humedad específica del aire, [Kg aire/Kg aire seco]

De aquí se calcula:

$$h_{@50^{\circ}C} = 224,2 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{@25^{\circ}C} = 67,0 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\dot{Q}_{quemador} = 8,53 \frac{Kg}{s} \times 157,2 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\dot{Q}_{quemador} = 1\,340,92 \frac{KJ}{s}$$

$$\dot{Q}_{quemador} = 4\,575\,406,76 \frac{Btu}{h}$$

Consumo de GLP.

El poder calorífico superior de GLP es PCS = 11 867 Kcal/Kg.

$$Q_q = \dot{m}_{GLP} \times PCS \quad (2.38)$$

$$\dot{m}_{GLP} = \frac{1\,340,92 \frac{KJ}{s} \times 0,239 \frac{Kcal}{KJ}}{11\,867 \frac{Kcal}{Kg}} = 0,027 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{m}_{GLP} = 97,22 \frac{Kg}{h}$$

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se analizan los resultados del diseño del secador de lecho fijo o estacionario a partir de los requerimientos del cliente y las alternativas existentes en el mercado.

Todas las modificaciones y cambios parten de los cálculos mostrados en el capítulo anterior cuyos resultados serán mostrados en el presente capítulo.

Para comprobar el buen funcionamiento del secador es necesario construirlo en base al diseño ya mostrado y realizar pruebas de secado hasta conseguir la temperatura y velocidad de secado más eficientes para un secado más rápido y homogéneo.

3.1. Comparación de diseños.

En esta sección haremos una comparación entre el actual secador y el diseño propuesto en este trabajo, para ver las diferencias entre ambos en una tabla comparativa de ambos en una tabla comparativa.

Tabla 3.1: Tabla comparativa de ambos diseños. (Elaboración propia)

Característica	Secador actual	Re - diseño
Medidas	L = 2,04 m h = 0,7 m A = 1,54 m H = 1,24 m	L = 5,14 m h = 0,4 m A = 2,44 m H = 0,90 m
Capacidad	30 qq = 1 363,63 Kg	100 qq = 4 545,5 Kg
Expansión gradual	NO	SI
Tipo de quemador	Exterior	Interior
Tipo de material	Acero A - 36	Acero inoxidable 304
Tiempo de secado	16 horas	6,09 horas
Consumo de energía eléctrica	4,23 KW/h	16,02 KW/h
Consumo de GLP	2,81 Kg/h	97,22 Kg/h

3.1.1. Secador actual.

Figura 3.1: Secador de lecho fijo o estacionario. (Instalaciones CORPICSUPAL)



De la tabla 3.1 y de la gráfica 3.1 podemos observar las características del secador actual y es claro que el principal problema es el tiempo de secado debido a sus mal seleccionados componentes como lo son el quemador y ventilador, así mismo no tiene una expansión gradual que ayuda a una mejor distribución del aire caliente.

Otra característica que le resta valor es la capacidad, solo tiene capacidad para 30 qq de plátano verde a pesar de tener una altura de cámara de secado de 0,7 m lo cual es incorrecto puesto que para este tipo de secadores estacionarios la altura máxima que se recomienda es de 0,5 m.

3.1.2. Diseño mejorado.

De la tabla 3.1 podemos observar que una ventaja del rediseño del secador es el tiempo de secado, ya que seca una cantidad de producto de veces mas secador

actual en un tiempo menor, debido a que tiene una mayor capacidad y sus elementos constitutivos como el ventilador secador son de mayor capacidad. Adicional a esto usa un tipo de material óptimo para el manejo de alimentos

Figura 3.2: Rediseño del secador – Vista isométrica. Elaboración propia

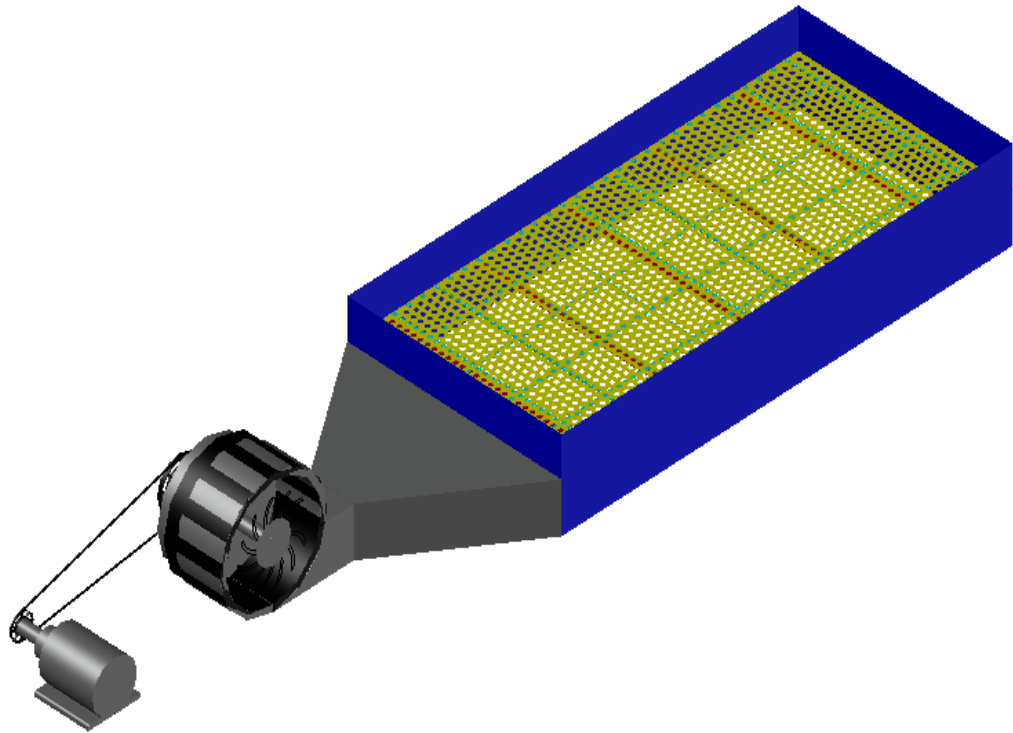


Figura 3.3: Rediseño del secador – Vista Superior. Elaboración propia

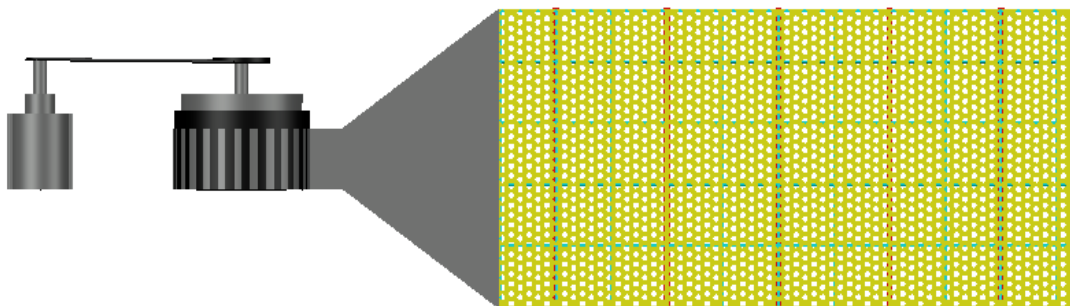
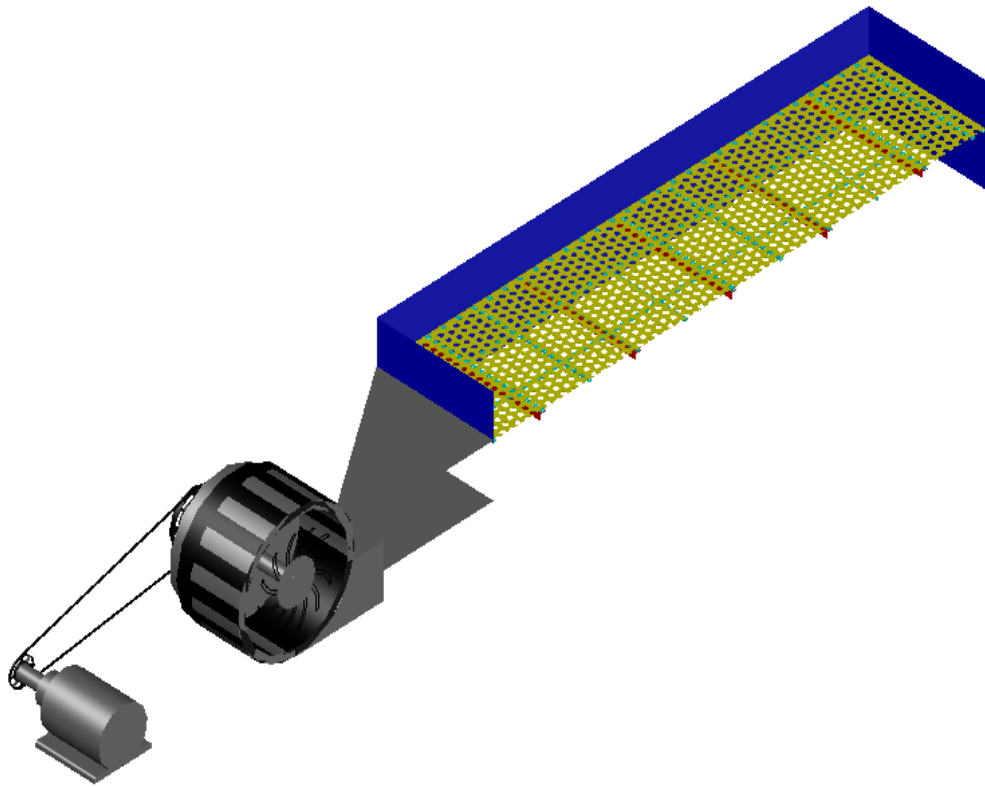


Figura 3.4: Rediseño del secador – Vista isométrica en corte. Elaboración propia



3.2. Análisis de costos operativos.

Tabla 3.2: Tabla comparativa de consumo energético. (Elaboración propia)

Característica	Secador actual	Re - diseño
Capacidad	30 qq = 1 363,63 Kg	4 545,5 Kg
Tiempo de secado	16 horas	6,09 horas
Consumo de energía eléctrica	4,23 KW/h	16,02 KW/h
Costo de energía eléctrica 9,2 ctvs / Kilovatio	62,26 USD	89,75 USD
Consumo de GLP	2,81 Kg/h	97,22 Kg/h
Costo de GLP 62 ctvs / Kg	27,90 USD	367,08 USD

Como se observa en la tabla 3.2, el consumo solo energético del secador actual es de 90,16 dólares para secar un promedio de 1 363, 63 Kg de plátano verde, lo que es equivalente a un valor de 6,61 centavos de dólar por cada Kg de plátano.

De igual manera podemos observar que el consumo solo energético del nuevo diseño es de 456,83 dólares para secar un promedio de 4 545,5 Kg de plátano verde, lo que significa un valor de 10,05 centavos de dólar por cada Kg de plátano.

Según valores mostrados se puede apreciar que el costo de secar cada Kg de plátano en el nuevo secador es 3,4 centavos de dólar más alto que el costo en el sacador actual, pero esta disminución en la utilidad de cada Kg procesado se puede compensar con un mayor volumen de producción lo que generará más ventas y más ganancias.

3.3. Costo del secador.

Tabla 3.3: Costo de construcción del secador. (Elaboración propia)

Descripción	Unidad	Cant	Precio unitario	Precio total
Plancha inox 304	m ²	13,65	\$ 70,00	\$ 955,50
Plancha perforada inox 304	m ²	12,55	\$ 124,00	\$ 1.556,20
Tubo cuadrado galvanizado	m	72,72	\$ 2,50	\$ 181,80
Tubo cuadrado inox 304	m	16	\$ 4,80	\$ 76,80
Plancha acero A - 36	m ²	5,52	\$ 13,00	\$ 71,76
Angulo de acero A - 36	m	13	\$ 5,83	\$ 75,79
Ventilador centrífugo de aspas hacia atrás, incluye motor y juego de bandas y poleas	u	1	\$ 3.850,00	\$ 3.850,00
Queamador interior	u	1	\$ 2.200,00	\$ 2.200,00
Variador de frecuencia con PLC integrado	u	1	\$ 1.350,00	\$ 1.350,00
Costos indirectos	glb	1	\$ 850,00	\$ 850,00
Mano de obra	glb	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Costo de diseño	glb	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Costo Total				\$ 15.667,85

3.4. Análisis de los ODS.

Figura 3.5: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. (Google, 2020)



El presente trabajo investigativo apoya activamente el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por medio del desarrollo de iniciativas, actividades y recursos ya que se acoge a 2 de los 17 ODS establecidos por la ONU como metas para conseguir un desarrollo sostenible, para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.



Promover el crecimiento económico, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos, el proyecto promueve una producción más elevada que permitirá un crecimiento económico que permitiría brindar plazas de empleo a personas de bajos recursos económicos en la zona.



Para 2030, lograremos una gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, este proyecto promulga con la meta trazada ya que al reducir el tiempo de secado se reduce el consumo de energía hidrocarburífera disminuyendo al mismo tiempo la producción de CO2 que contamina el ambiente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

- El tiempo de secado de rodajas de plátano verde depende de los siguientes factores: velocidad y temperatura de secado, altura de lecho fijo (condiciones físicas del secador), espesor de la rodaja (condición física del plátano) y la humedad del plátano (propiedad física del plátano).
- Al decir velocidad de secado nos referimos a la velocidad con que el aire caliente pasa por la cámara de secado, por lo que a mayor velocidad de secado menor tiempo de secado, pero a su vez esta velocidad no debe ser muy elevada, puesto que cuando es muy alta provoca que la evaporación del agua sea muy rápida, lo que a su vez produce una cristalización en la parte exterior de la fruta provocando que solo se remueva la humedad extrínseca del plátano, quedando atrapada la humedad intrínseca (humedad interior).
- La temperatura de secado es otro factor importante, a mayor temperatura, mayor cantidad de calor que se transfiere, lo que provoca una mayor tasa de evaporación de la humedad del plátano y esto se traduce en un menor tiempo de secado, pero así mismo esta temperatura no debe sobrepasar los 60° C para no dañar las propiedades químicas de la fruta como las vitaminas.
- La altura de lecho fijo o altura de la cama de plátano también es otro factor importante al momento del secado, a mayor altura del lecho de plátano se tendrá una mayor caída de presión y una disminución de la velocidad de secado, lo que se traduce en un mayor tiempo de secado. Por último, el espesor de las rodajas de plátano también influye en el tiempo de secado, a menor espesor tendremos una mayor área de contacto con el aire caliente por ende una mayor área de transferencia de calor.
- Cuando los 4 parámetros anteriores favorecen a un menor tiempo de secado se traduce en menores costos de producción.
- El secador de lecho fijo o estacionario es un tipo de secador abierto, lo que conlleva a grandes pérdidas de calor y combustible, puesto que este calor no es reutilizado si no que se pierde en el ambiente, para poder solucionar este problema se podría analizar alguna forma de recirculación del aire caliente que

sale del lecho, hacerlo pasar por un secador de aire para que le quite humedad y volverlo a ingresar al sistema, así se podría modelar un ciclo cerrado y sería mas eficiente.

4.2. Recomendaciones.

- Analizando el proceso actual para la elaboración de harina de plátano particularmente en el paso que corresponde a pelado y maquillado del plátano verde, la fruta es sumergida por varios minutos en agua lo que provoca que absorba más humedad de la contenida, esto significa mayor tiempo de secado, por lo que se recomienda: a) que el plátano sea sumergido en agua caliente sin cortar la cascara o b) utilizar vapor de agua caliente “baño María”. En ambos casos se ayuda con el desprendimiento limpio de la cascara y se evita la absorción de la humedad.
- En el proceso de cortado del plátano verde se recomienda reemplazar o rediseñar el actual cortador de tal manera que haga un corte tipo rodaja homogéneo y de un espesor adecuado para optimizar tiempos, entre 2mm y 5 mm máximo, puesto que el espesor de rodaja es un factor importante en el tiempo de secado.
- En el proceso de secado se recomienda realizar la implementación del rediseño del secador que se presenta en este estudio a fin de conseguir disminuir tiempos de secado, aumentar la producción y la calidad del producto final.
- En el proceso de mezclado se recomienda la implementación de una zaranda eléctrica a fin de ahorrar tiempo en el cernido, así mismo implementar un mezclador también eléctrico para que el mezclado de la harina de plátano con sus diferentes componentes sea más homogéneo y veloz de esta manera se conseguirá elevar la calidad.
- Una vez optimizados los anteriores procesos previos a la obtención de la harina de plátano en su forma comercial llegamos al empaclado, el mismo que debería ser modernizado también de tal forma que se conserve la calidad y rapidez en la producción final obteniendo un proceso limpio y eficaz en lo posible sin contacto humano con el producto terminado.
- Una vez señaladas cada una de las recomendaciones anteriores tomando en cuenta cada paso del proceso de obtención de harina de plátano comercial la

recomendación final será que se busque financiamiento para poder realizar las remediaciones propuestas a la vez y empezar la producción con todas las maquinarias en estado óptimo solo así se notará el progreso en el proceso total y los resultados esperados por el cliente.

- En caso de que el cliente decida construir un nuevo secador siguiendo el diseño detallado en este informe será necesaria una buena calibración del mismo haciendo pruebas de campo para poder seleccionar la velocidad y temperatura de secado adecuadas que se amolden a los requerimientos de producción del cliente, para ello es necesario la implementación de un termómetro para controlar la temperatura en el lecho de plátano y un variador de frecuencia para calibrar la velocidad de secado ideal que requiera el cliente.

BIBLIOGRAFÍA

- AISC. (1980). *AISC-Manual of Steel Construction*. Retrieved from https://www.academia.edu/10627165/AISC-Manual_of_Steel_Construction
- Andrade Lavanda, L. (2009). *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA*. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1880/1/CD-2454.pdf>
- Araya Jorge. (2014). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*. Retrieved from "Obtención de harina de plátano verde tipo HARTÓN (Musa AAB)":
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16340/1/T-UCE-0008-CQU-027.pdf>
- Avallone, E. (1996). *Marks standard handbook for Mechanical Engineers*. McGraw Hill.
- Barat Baviera, J. (2001). *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VAENCIA*. Retrieved from https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true
- Carbay Uyaguari, E. (2014). *Repositorio Digital UTMACH*. Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/browse?type=author&value=Carbay+Uyaguari%2C+Edwin+Efr%C3%A9n>
- Cengel, Y. (2003). *EPN*. Retrieved from https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=18222&query_desc=au%3A%22Cengel%2C%20Yunus%20A.%22
- Cocimaniacos. (2020). *COCIMANIACOS.COM*. Retrieved from <https://cocimaniacos.com/temperaturas-y-tiempos-de-deshidratacion-de-alimentos-en-un-deshidratador/>
- Costales, R. (1995). *EPN*. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/182983842/INTRODUCCION-A-LA-MECANICA-DE-FLUIDOS-Robert-W-FOX-Alan-T-McDonald-Cap-3-segunda-edicion>
- Ecured. (2017). *ECURED.com*. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Harina>
- Escobar, L. (2016). *UTA*. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23070>
- ESPE. (2015). *Universidad de las Fuerzas armadas*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11459/1/T-ESPE-049184.pdf>
- Espinoza Lenis, B. (2015). *UNIVERSIDAD ESTATAL DE GUAYAQUIL*. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12702/1/TESIS%20-%20REINGENIERIA%20DEL%20SECADOR%20ROTATORIO.pdf>
- FAO. (2018). *FAO.ORG*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/x5059S/x5059S0e.gif>
- FAO. (Capítulo VIII). Retrieved from <http://www.fao.org/3/x5028s/X5028SOC.HTM>
- Flores Diego. (2018). *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16340/1/T-UCE-0008-CQU-027.pdf>
- Fox, Mcdonald, R. (1995). *INTRODUCCION A LA MECANICA DE FLUIDOS*. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/182983842/INTRODUCCION-A-LA-MECANICA-DE-FLUIDOS-Robert-W-FOX-Alan-T-McDonald-Cap-3-segunda-edicion>
- G&CIA. (2009). *GASTRONOMIA Y CIA.com*. Retrieved from <https://gastronomiaycia.republica.com/2009/10/13/harina-de-platano/>

- Gonzalez Gutierrez, R. (2017). *SCIELO.SLD.CU*. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v37n2/rtq11217.pdf>
- Google. (2020). https://www.google.com/search?q=formula+del+volumen+de+un+paralelep%C3%ADpedo+rectangular&rlz=1C1CHBD_esEC883EC883&sxsrf=ACYBGNQHGxVILnnX6o9EPxji2Awu7XL9KA:1578884725476&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKewir78_5y__mAhVSzlkKHZ4NDLQQ_AUoAXoECBAQAw&biw=153.
- Guachamin, C. (2007). *ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/790?locale=de>
- Incropera. (1999). *INCROPERA*. Retrieved from https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/INCROPERA_-_Transferencia_de_calor.pdf
- Mataix, C. (1982). *WORDPRESS*. Retrieved from <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>
- McCabe, W. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingenieria Quimica*. Mexico: McGraw-Hill.
- Metroecuador. (2018). *METROECUADOR.com*. Retrieved from <https://www.metroecuador.com.ec/ec/estilodevida/2016/06/03/beneficios-platano-o-verde.html>
- Noboa, Palacios, W. (2010). *ESCUELA POLITECNICA NACIONAL*. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2080>
- Ravenet J. (1977). *SILOS*. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=oJSHwFi_FxUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Unisima. (2019). *UNISIMA.COM*. Retrieved from <https://unisima.com/salud/platano-verde/>
- upcommons. (1993). *UPSCOMMONS.UP.EDU*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3180/31298-4.pdf?sequence=1>
- Worldwidescience. (2012). *WORLDWIDESCIENCE.ORG*. Retrieved from CINETICA DEL SECADO: <https://worldwidescience.org/topicpages/c/cinetica+del+secado.html>

APÉNDICE

APÉNDICE A

Cálculos del secador

Apéndice A1

Dimensionamiento de la cámara de secado.

Apéndice A2

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada.

Apéndice A3

Cálculo de flujo de aire.

Apéndice A1

Dimensionamiento de la cámara de secado

El valor de la densidad del plátano verde es $\rho_{pv} = 905 \text{ Kg/m}^3$

La capacidad del secador requerida por el cliente es de 100 qq

$$Cap \text{ secador} = 100 \text{ qq} \times \frac{100 \text{ lbs}}{1 \text{ qq}} = 10000 \text{ lbs}$$

$$Cap \text{ secador} = 10000 \text{ lbs} \times \frac{1 \text{ kg}}{2,20 \text{ lbs}} = 4545,5 \text{ Kg}$$

La densidad es $\rho = \frac{m \text{ [Kg]}}{V \text{ [m}^3\text{]}}$

Donde:

m = masa del plátano verde, [Kg]

V = volumen de la cámara de secado, [m^3]

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{4545,5 \text{ Kg}}{905 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 5,02 \text{ m}^3$$

Partiendo de este valor dimensionamos la cámara de secado:

$$V_{cs} = A \times L \times H$$

$$5,02 \text{ m}^3 = A \times L \times 0,4 \text{ m}$$

$$12,55 \text{ m}^2 = A \times L$$

Por temas constructivos definimos el valor de ancho de la cámara de secado en 2,44 m que es el largo de una plancha.

$$12,55 \text{ m}^2 = 2,44 \text{ m} \times L$$

$$L = 5,14 \text{ m}$$

Apéndice A2

Diseño de la estructura soporte para la plancha perforada

La masa total por soportar es: $m_T = m_{pv} + m_{pp} + m_{es}$

Masa total de plátano verde en la cámara de secado:

$$m_{pv} = V_{cs} \times \rho_{pv}$$

$$m_{pv} = 5,02 \text{ m}^3 \times 905 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{pv} = 4545,5 \text{ kg}$$

Masa de la plancha perforada:

$$m_{pp} = V_{pp} \times \rho_{ac}$$

$$m_{pp} = A \times e_{pp} \times \%_{\text{perforación}} \times \rho_{ac}$$

$$m_{pp} = 2,44 \text{ m} \times 5,14 \text{ m} \times 0,002 \text{ m} \times 0,65 \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{pp} = 127,98 \text{ kg}$$

Masa de la estructura donde asienta la plancha perforada.

Se construirá un esqueleto hecho de tubo cuadrado galvanizado de (25X2) mm, con distanciamientos de 0,5 m, es decir particiones de 0,25 m² para evitar que la plancha se flexione, teniendo un total de 60,12 m lineales de tubo.

$$m_{ep} = V_{ep} \times \rho_{ac}$$

$$m_{ep} = A_{tc} \times l \times \rho_{ac}$$

$$m_{ep} = [0,025^2 - 0,021^2] \text{ m}^2 \times 60,12 \text{ m} \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{ep} = 86,84 \text{ Kg}$$

La masa total a soportar es la suma de la masa del plátano verde más la masa de la plancha perforada, más la masa de la estructura donde asienta la plancha perforada.

$$m_T = 4545,5 \text{ Kg} + 127,98 \text{ Kg} + 86,84 \text{ Kg}$$

$$m_T = 4760,32 \text{ [Kg]}$$

La cantidad de aire seco que se necesita para evaporar el agua que contiene el plátano verde es:

$$m_{as} = \frac{m_{agua}}{Y_2 - Y_1}$$

De la carta Psicrométrica se obtienen los valores correspondientes de Y_2 y Y_1 .

Punto 1:

Temperatura de bulbo seco 50°C

Humedad específica 0,067 [Kg agua/Kg aire seco]

Punto 2:

Temperatura de salida del aire $T_2 = 37^\circ \text{C}$

Humedad específica 0.074 [Kg agua/Kg aire seco]

Cálculo de la cantidad de agua a evaporar.

La masa de agua que se debe disipar es igual a la diferencia entre la masa inicial del plátano y la masa final del plátano.

Entonces la cantidad de agua que necesitamos evaporar con el aire caliente para reducir la humedad del plátano verde de 66% a 5%, para una masa de plátano de 4545,5 Kg es:

$$PQ = \left(\frac{\phi_i - \phi_f}{100 - \phi_f} \right)$$

$$PQ = \frac{66 - 5}{100 - 5}$$

$$PQ = 0,642$$

La masa final o seca del plátano viene dada por la siguiente ecuación:

$$m_{fpv} = M_{ipv} - (M_{ipv}PQ)$$

$$m_{fpv} = 4\,545,5 - (4\,545,5 \times 0,642)$$

$$m_{fpv} = 1\,627,28 \text{ [Kg]}$$

La masa de agua a separar es:

$$m_{agua} = M_{ipv} - M_{fpv}$$

$$m_{agua} = 4\,545,5 - 1\,627,28$$

$$m_{agua} = 2\,918,22 \text{ [Kg agua]}$$

Por lo tanto, la masa de aire es:

$$m_{as} = \frac{2\,918,22 \text{ kg agua}}{(0,0325 - 0,016) \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire seco}}}$$

$$m_{as} = 176\,861,81 \text{ [Kg aire seco]}$$

El volumen de este aire seco:

$$V_{as} = \frac{m_{as}RT_a}{P}$$

$$V_{as} = \frac{176\,861,81 \text{ Kg} \times 0,287 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \times 323 \text{ K}}{101,35 \text{ KPa}}$$

$$V_{as} = 161\,768,78 \text{ [m}^3 \text{aire seco]}$$

La presión parcial de vapor de agua es:

$$P_{v1} = \phi_a P_{s1}$$

$$P_{v1} = 0,80 \times 3,169 \text{ KPa}$$

$$P_{v1} = 2,535 \text{ [KPa]}$$

La presión en el punto 1 de la carta psicrométrica es:

$$P_{as} = P - P_{v1}$$

$$P_{as} = 101,35 \text{ KPa} - 2,535 \text{ KPa}$$

$$P_{as} = 98,815 \text{ [KPa]}$$

A condiciones ambiente el volumen específico del aire seco es:

$$v_{as} = \frac{RT_1}{P_{as}}$$

$$v_{as} = \frac{0,287 \frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K} \times 298 K}{98,815 KPa}$$

$$v_{as} = 0,865 \left[\frac{m^3}{Kg} \right]$$

La masa de aire ambiente que se necesita entonces será:

$$m_{aa} = \frac{V_{as}}{v_{as}}$$

$$m_{aa} = \frac{161\,768,78 m^3}{0,865 \frac{m^3}{Kg}}$$

$$m_{aa} = 187\,015,93 [Kg]$$

De cálculos se obtuvo un tiempo de secado igual a 6,09 horas, por lo que el flujo de aire es:

$$\dot{m}_{aa} = \frac{m_{aa}}{t_s}$$

$$\dot{m}_{aa} = \frac{187\,015,93 Kg}{6,09 h}$$

$$\dot{m}_{aa} = 8,53 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

APÉNDICE B

Materiales y equipos constructivos

Apéndice B1

Planchas perforadas.

Apéndice B2

Tubo estructural cuadrado.

Apéndice B3

Perfiles estructurales. Ángulos “L” doblados.

Apéndice B4

Plancha inoxidable 304.

Apéndice B5

Ventilador.

Apéndice B1

Tabla de planchas perforadas (Reper Metal, s.f.)

D	T	%	Espesor																	
			0.5	0.8	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10						
0.5	1.25	14.5	*																	
0.8	1.60	22.5	*																	
0.8	2	14.5		*																
1	2	23	*	*	*															
1.2	2.25	14.5			*															
1.5	3	23	*	*	*	*														
1.8	3	33	*		*															
2	3.5	30	*	*	*	*														
2	4	23					*													
2.5	4	35	*	*	*	*														
2.5	5	23					*	*												
3	5	33	*	*	*	*	*													
3	6	23								*										
3.5	5	44	*	*	*	*														
3.5	6	31					*		*											
4	6	40	*	*	*	*														
4	7	30					*		*	*										
5	7	46	*	*	*	*														
5	8	35					*		*	*	*									
6	8.5	44	*	*	*	*														
6	10	33					*		*	*	*	*								
7	10	44			*	*														
7	11	37					*		*	*	*	*								
8	11	48			*	*														
8	12	40					*		*	*	*	*								
8	15	26																	*	
8	Aboc.	4.5					*													
9	13	45			*	*														
9	14	37					*		*	*	*	*								
10	14	46		*	*	*														
10	15	40					*		*	*	*	*								
10	18	26																	*	*
12	16	51			*	*														
12	17	45					*		*	*	*	*								
12	20	32																	*	*
14	20	44																	*	*
15	18	63			*	*														
15	22	42					*		*	*	*	*								
15	24	35																	*	*
15	Aboc.	22.5					*													
20	25	58			*	*														
20	27	49					*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	37	60			*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	62	59					*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

D: diámetro del agujero

T: distancia entre centros

?: porcentaje de perforación de la plancha

Material: Acero inoxidable 304

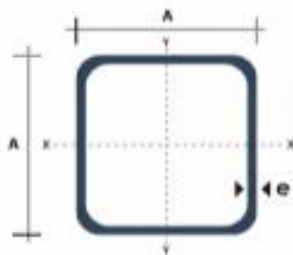
Apéndice B2

Ficha técnica tubo estructural cuadrado. (DIPAC , s.f.)

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1.20mm a 5.00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,00	0,67	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,16	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,40	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



www.dipacmanta.com

Apéndice B3

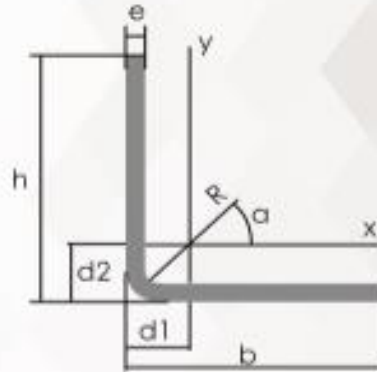
Ficha técnica Ángulos "L" doblados. (DIPAC , s.f.)

PERFILES

PERFILES ESTRUCTURALES ÁNGULOS "L" DOBLADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2.00mm - 12mm
Acabado:	Acero Negro



Ángulos de alas iguales

Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo a	Eje X-X			Eje Y-Y			Eje U-U			Eje V-V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
									cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,66	0,66	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,06	1,33	0,78	0,78	45,00	0,76	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,86	1,13	0,86	0,86	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,66	2,10	0,96	0,96	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,62
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,80	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,89	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,83	1,30	1,30	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,65	2,22	2,02	1,85	1,05	0,88
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,46	1,46	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,78	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91
L 60x 3	60	60	3	2,89	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16
L 60x 4	60	60	4	3,53	4,50	1,70	1,70	45,00	15,96	3,71	1,70	15,96	3,71	1,70	26,04	6,14	2,40	5,88	2,77	1,14
L 60x 5	60	60	5	4,34	5,54	1,75	1,75	45,00	19,33	4,55	1,67	19,33	4,55	1,67	31,72	7,48	2,39	6,95	3,27	1,12
L 75x 3	75	75	3	3,40	4,33	2,02	2,02	45,00	24,55	4,48	2,38	24,55	4,48	2,38	39,72	7,49	3,03	9,38	3,53	1,47
L 75x 4	75	75	4	4,47	5,70	2,07	2,07	45,00	31,94	5,88	2,37	31,94	5,88	2,37	51,90	9,79	3,02	11,99	4,51	1,45
L 75x 5	75	75	5	5,52	7,04	2,12	2,12	45,00	38,96	7,24	2,35	38,96	7,24	2,35	63,56	11,99	3,01	14,35	5,40	1,43
L 75x 6	75	75	6	6,53	8,33	2,17	2,17	45,00	45,60	8,50	2,34	45,60	8,50	2,34	74,73	14,09	2,99	16,46	6,20	1,41
L 80x 4	80	80	4	4,79	6,10	2,20	2,20	45,00	39,00	6,72	2,53	39,00	6,72	2,53	63,30	11,19	3,22	14,70	5,19	1,55
L 80x 5	80	80	5	5,91	7,54	2,25	2,25	45,00	47,65	8,28	2,51	47,65	8,28	2,51	77,64	13,72	3,21	17,65	6,23	1,53
L 80x 6	80	80	6	7,00	8,93	2,30	2,30	45,00	55,86	9,79	2,50	55,86	9,79	2,50	91,39	16,16	3,20	20,32	7,17	1,51
L 80x 8	80	80	8	9,11	11,61	2,40	2,40	45,00	71,03	12,68	2,47	71,03	12,68	2,47	117,22	20,72	3,18	24,85	8,78	1,46
L 80x 10	80	80	10	11,09	14,14	2,50	2,50	45,00	84,59	15,39	2,45	84,59	15,39	2,45	140,84	24,90	3,16	28,34	10,04	1,42
L100x 5	100	100	5	7,48	9,54	2,75	2,75	45,00	85,23	13,13	3,16	85,23	13,13	3,16	154,55	21,86	4,03	35,90	10,13	1,94

*Otras calidades, largos y acabados: previa consulta

Apéndice B4

Ficha técnica planchas inoxidables. (DIPAC , s.f.)

PLANCHA ACERO INOXIDABLE



Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a AISI*	Descripción de acuerdo a ASTM**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICIÓN QUÍMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenítico	17 Cr-5Ni-7Mn	SUS 201	201		0,15 max	1,00	5,50 ~ 7,50	0,06	0,030	3,50 ~ 5,5
	18 Cr-6Ni-10Mn	SUS 202	202		0,15 max	1,00	7,50 ~ 10,00	0,06	0,030	4,00 ~ 6,00
	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304L	4306	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1,50	2,00 - max	0,04	0,030	19,00 ~ 22,00
	18Cr-12Ni-2,5Mo	SUS 316	316	4401	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	19Cr-12Ni-7,5Mo-extra-low-C	SUS 316 L	316 L	4404	0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	12,00 ~ 15,00
	18Cr-12Ni-2Mo-2Cu	SUS 316 3I		4505	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	10,00 ~ 14,00
	18Cr-13Ni-3,5Mo	SUS 317	317	4402	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	18,00 ~ 15,00
	19Cr-13Ni-3,5Mo-extra-low-C	SUS 317 L	317 L		0,030 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	11,00 ~ 15,00
	18Cr-8Ni-Ti	SUS 321	321	4541	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
	18Cr-9Ni-Nb	SUS 347	347	4550	0,08 max	1,00	2,00 - max	0,04	0,030	9,00 ~ 13,00
Ferrítico	13Cr-Al	SUS 405	405	4002	0,08 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	16Cr	SUS 429	429	4009	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr	SUS 430	430	4016	0,12 max	0,75	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	18Cr-Mo	SUS 434	434	4113	0,12 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Martensítico	13Cr-low Si	SUS 403	403	4024	0,15 max	0,50	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr	SUS 410	410	4000	0,15 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	0,60 max
	13Cr-high C	SUS 420 J2	420	4021	0,26 ~ 0,40	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
	18Cr-high C	SUS 440 A	440 A		0,60 ~ 0,75	1,00	1,00 max	0,04	0,030	
Endurecido por precipitación	17Cr-7Ni-1Al	SUS 631	631		0,09 max	1,00	1,00 max	0,04	0,030	6,50 ~ 7,75

PLANCHAS

ACERO INOXIDABLE

Norma: AISI 304

Especificaciones Generales:

ESPEORES	desde 0.40-1.5mm
DIMENSIONES	1220 x 2440mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS

RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm ²	Psi	Kg/mm ²	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

Norma: AISI 201

Especificaciones Generales:

ESPEORES	desde 0.70-3mm
DIMENSIONES	1220 x 2440mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 201
	ASTM	201
	DIN	XXX



Es un acero al cromo, manganeso, níquel con excelentes propiedades de tensión. Ofrece buena resistencia a la corrosión y a muchos agentes corrosivos moderados.

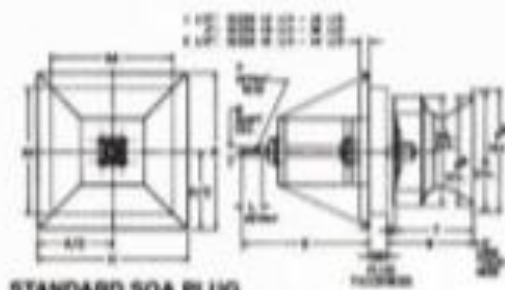
Apéndice B5

Ficha técnica ventiladores centrífugos. (Chicago Blower Corporation, s.f.)

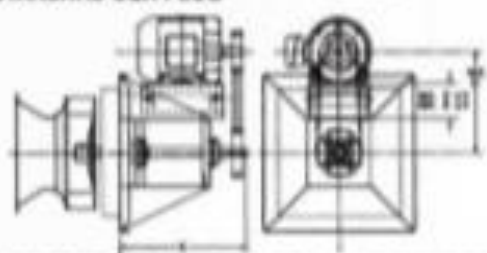


CHICAGO AIRFOIL SQA PLUG FAN

MODEL		INLET AIR VELOCITY		TOTAL AIR VELOCITY		OUTLET		11.0 in. H ₂ O static pres.		INLET		40.0 in. H ₂ O static pres.		10.0 in. H ₂ O static pres.		40 1/4
CFM	HP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	1.0 SP	2.0 SP	
4700	900	107	22													
5000	900	112	22													
5620	900	127	22													
7000	900	144	22	277	42	303	76									
8020	900	150	22	307	49	327	89	207	1.28	207	1.28	207	1.28			
8400	1000	161	27	331	58	342	1.03	360	1.41	377	1.58	394	1.76	476	2.25	
10420	1000	183	30	367	66	378	1.42	476	1.83	493	2.02	528	2.48	676	2.87	
11270	1200	193	36	388	74	393	1.62	500	2.10	517	2.28	549	2.71	727	3.17	548
12220	1300	195	41	378	80	389	1.86	498	2.15	513	2.36	539	2.77	687	3.14	518
13270	1400	198	47	388	87	412	2.11	476	2.37	493	2.60	520	3.00	687	3.02	521
14220	1500	201	54	478	94	452	2.47	490	2.67	476	2.84	471	3.15	698	3.05	521
15190	1600	208	60	438	1.00	452	2.72	464	3.01	475	3.28	458	3.38	514	3.18	520
16110	1700	209	67	480	1.05	471	3.08	484	3.30	458	3.41	527	3.60	521	3.41	520
17040	1800	207	74	480	1.14	481	3.14	485	3.33	518	3.57	447	3.68	518	3.43	514
18010	1900	214	81	510	1.20	514	3.80	520	4.32	528	4.02	527	4.60	527	3.25	528
19000	2000	208	89	520	1.28	524	4.22	508	4.59	517	4.55	527	5.15	588	3.87	528
20000	2000	208	97	508	1.35	518	4.35	507	4.74	508	4.74	527	5.14	587	3.87	527
21020	2100	207	105	507	1.43	507	4.50	509	4.84	508	4.78	508	4.84	587	3.88	527
22040	2200	211	113	501	1.50	501	4.76	511	5.31	507	5.01	507	5.28	588	3.88	528
23040	2300	214	121	500	1.58	500	4.87	510	5.51	507	5.22	507	5.48	588	3.88	528
24020	2400	217	129	500	1.66	500	5.02	507	5.71	507	5.43	507	5.69	588	3.88	528
25040	2500	220	137	500	1.74	500	5.13	507	5.91	507	5.63	507	5.89	588	3.88	528
26040	2600	223	145	500	1.82	500	5.24	507	6.11	507	5.85	507	6.09	588	3.88	528
27020	2700	226	153	500	1.90	500	5.35	507	6.31	507	6.07	507	6.29	588	3.88	528
28040	2800	229	161	500	1.98	500	5.46	507	6.51	507	6.29	507	6.49	588	3.88	528
29040	2900	232	169	500	2.06	500	5.57	507	6.71	507	6.51	507	6.69	588	3.88	528
30040	3000	235	177	500	2.14	500	5.68	507	6.91	507	6.73	507	6.89	588	3.88	528
31020	3100	238	185	500	2.22	500	5.79	507	7.11	507	6.95	507	7.09	588	3.88	528
32040	3200	241	193	500	2.30	500	5.90	507	7.31	507	7.17	507	7.29	588	3.88	528
33040	3300	244	201	500	2.38	500	6.01	507	7.51	507	7.39	507	7.49	588	3.88	528
34020	3400	247	209	500	2.46	500	6.12	507	7.71	507	7.61	507	7.69	588	3.88	528
35040	3500	250	217	500	2.54	500	6.23	507	7.91	507	7.83	507	7.89	588	3.88	528
36040	3600	253	225	500	2.62	500	6.34	507	8.11	507	8.05	507	8.09	588	3.88	528
37020	3700	256	233	500	2.70	500	6.45	507	8.31	507	8.27	507	8.29	588	3.88	528
38040	3800	259	241	500	2.78	500	6.56	507	8.51	507	8.49	507	8.49	588	3.88	528
39040	3900	262	249	500	2.86	500	6.67	507	8.71	507	8.71	507	8.71	588	3.88	528
40020	4000	265	257	500	2.94	500	6.78	507	8.91	507	8.93	507	8.93	588	3.88	528
41040	4100	268	265	500	3.02	500	6.89	507	9.11	507	9.15	507	9.15	588	3.88	528
42040	4200	271	273	500	3.10	500	7.00	507	9.31	507	9.37	507	9.37	588	3.88	528
43020	4300	274	281	500	3.18	500	7.11	507	9.51	507	9.57	507	9.57	588	3.88	528
44040	4400	277	289	500	3.26	500	7.22	507	9.71	507	9.77	507	9.77	588	3.88	528
45040	4500	280	297	500	3.34	500	7.33	507	9.91	507	9.97	507	9.97	588	3.88	528
46020	4600	283	305	500	3.42	500	7.44	507	10.11	507	10.17	507	10.17	588	3.88	528
47040	4700	286	313	500	3.50	500	7.55	507	10.31	507	10.37	507	10.37	588	3.88	528
48020	4800	289	321	500	3.58	500	7.66	507	10.51	507	10.57	507	10.57	588	3.88	528
49040	4900	292	329	500	3.66	500	7.77	507	10.71	507	10.77	507	10.77	588	3.88	528
50020	5000	295	337	500	3.74	500	7.88	507	10.91	507	10.97	507	10.97	588	3.88	528
51040	5100	298	345	500	3.82	500	7.99	507	11.11	507	11.17	507	11.17	588	3.88	528
52020	5200	301	353	500	3.90	500	8.10	507	11.31	507	11.37	507	11.37	588	3.88	528
53040	5300	304	361	500	3.98	500	8.21	507	11.51	507	11.57	507	11.57	588	3.88	528
54020	5400	307	369	500	4.06	500	8.32	507	11.71	507	11.77	507	11.77	588	3.88	528
55040	5500	310	377	500	4.14	500	8.43	507	11.91	507	11.97	507	11.97	588	3.88	528
56020	5600	313	385	500	4.22	500	8.54	507	12.11	507	12.17	507	12.17	588	3.88	528
57040	5700	316	393	500	4.30	500	8.65	507	12.31	507	12.37	507	12.37	588	3.88	528
58020	5800	319	401	500	4.38	500	8.76	507	12.51	507	12.57	507	12.57	588	3.88	528
59040	5900	322	409	500	4.46	500	8.87	507	12.71	507	12.77	507	12.77	588	3.88	528
60020	6000	325	417	500	4.54	500	8.98	507	12.91	507	12.97	507	12.97	588	3.88	528
61040	6100	328	425	500	4.62	500	9.09	507	13.11	507	13.17	507	13.17	588	3.88	528
62020	6200	331	433	500	4.70	500	9.20	507	13.31	507	13.37	507	13.37	588	3.88	528
63040	6300	334	441	500	4.78	500	9.31	507	13.51	507	13.57	507	13.57	588	3.88	528
64020	6400	337	449	500	4.86	500	9.42	507	13.71	507	13.77	507	13.77	588	3.88	528
65040	6500	340	457	500	4.94	500	9.53	507	13.91	507	13.97	507	13.97	588	3.88	528
66020	6600	343	465	500	5.02	500	9.64	507	14.11	507	14.17	507	14.17	588	3.88	528
67040	6700	346	473	500	5.10	500	9.75	507	14.31	507	14.37	507	14.37	588	3.88	528
68020	6800	349	481	500	5.18	500	9.86	507	14.51	507	14.57	507	14.57	588	3.88	528
69040	6900	352	489	500	5.26	500	9.97	507	14.71	507	14.77	507	14.77	588	3.88	528
70020	7000	355	497	500	5.34	500	10.08	507	14.91	507	14.97	507	14.97	588	3.88	528
71040	7100	358	505	500	5.42	500	10.19	507	15.11	507	15.17	507	15.17	588	3.88	528
72020	7200	361	513	500	5.50	500	10.30	507	15.31	507	15.37	507	15.37	588	3.88	528
73040	7300	364	521	500	5.58	500	10.41	507	15.51	507	15.57	507	15.57	588	3.88	528
74020	7400	367	529	500	5.66	500	10.52	507	15.71	507	15.77	507	15.77	588	3.88	528
75040	7500	370	537	500	5.74	500	10.63	507	15.91	507	15.97	507	15.97	588		



STANDARD SQA PLUG



STANDARD SQA PLUG WITH ADJUSTABLE MOTOR BASE

MOTOR FRAME	ADJUSTABLE MOTOR BASE DRIVE CENTERS			
	FOR SIZES 18-1/4 - 18-1/2		FOR SIZES 18-1/4 - 24-1/2	
	MINIMUM	MAXIMUM	MINIMUM	MAXIMUM
18-1/4	9.14	9.24	9.14	9.14
18-1/2	9.14	11.24	11.24	9.14
21-1/2	NA	NA	9.14	11.24
24-1/2	NA	NA	9.14	11.24
27-1/2	NA	NA	11.14	11.24

* Sizes 27 - 48-1/2 and 27 - 36-1/2 are not adjustable.

STANDARD PLUG DIMENSIONS (INCHES) ±1/8

FAN SIZE	W (SHAFT DIA.)			Y (KEYWAY SIZE)			G	H	NS	K	L	N	O	P	R	S	T	U	Z	AA
	CL1	CL2	CL3	CL1	CL2	CL3														
18-1/4	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
18-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
21-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
24-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
27-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
30-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
36-1/2	1.125	1.125	1.125	.084375	.084375	.084375	1.000	.20	11.12	.20	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
42-1/2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
48-1/2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

* "G" is recommended lock wire diameter for most cone threading. "H" is recommended lock hole size for cone lock for shaft removal. Dimension "NS" for optional plug thickness equals 0.4 or 0.6 inches.

HOUSING DIMENSIONS (INCHES)

FAN SIZE	A	B	C	D	E	F	G	H	N			
									SHW	WT	T	
18-1/4	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
18-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
21-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
24-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
27-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
30-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
36-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
42-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
48-1/2	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125

NOTE: Sizes 42-1/2, 48-1/2 and 48-1/2 are furnished with housing rollers in place.



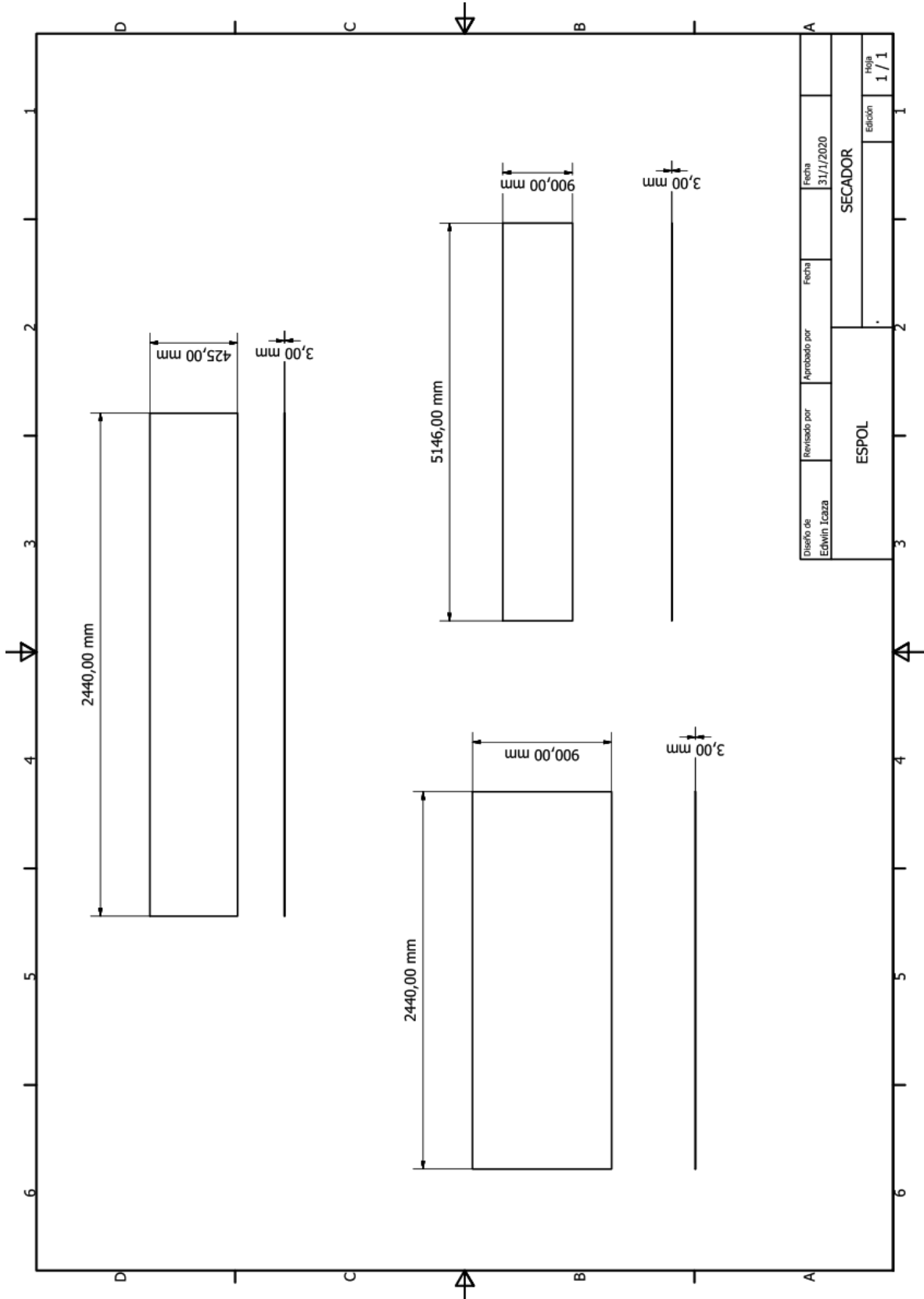
HOUSING (CW OR CCW)

APÉNDICE C

Planos del secador

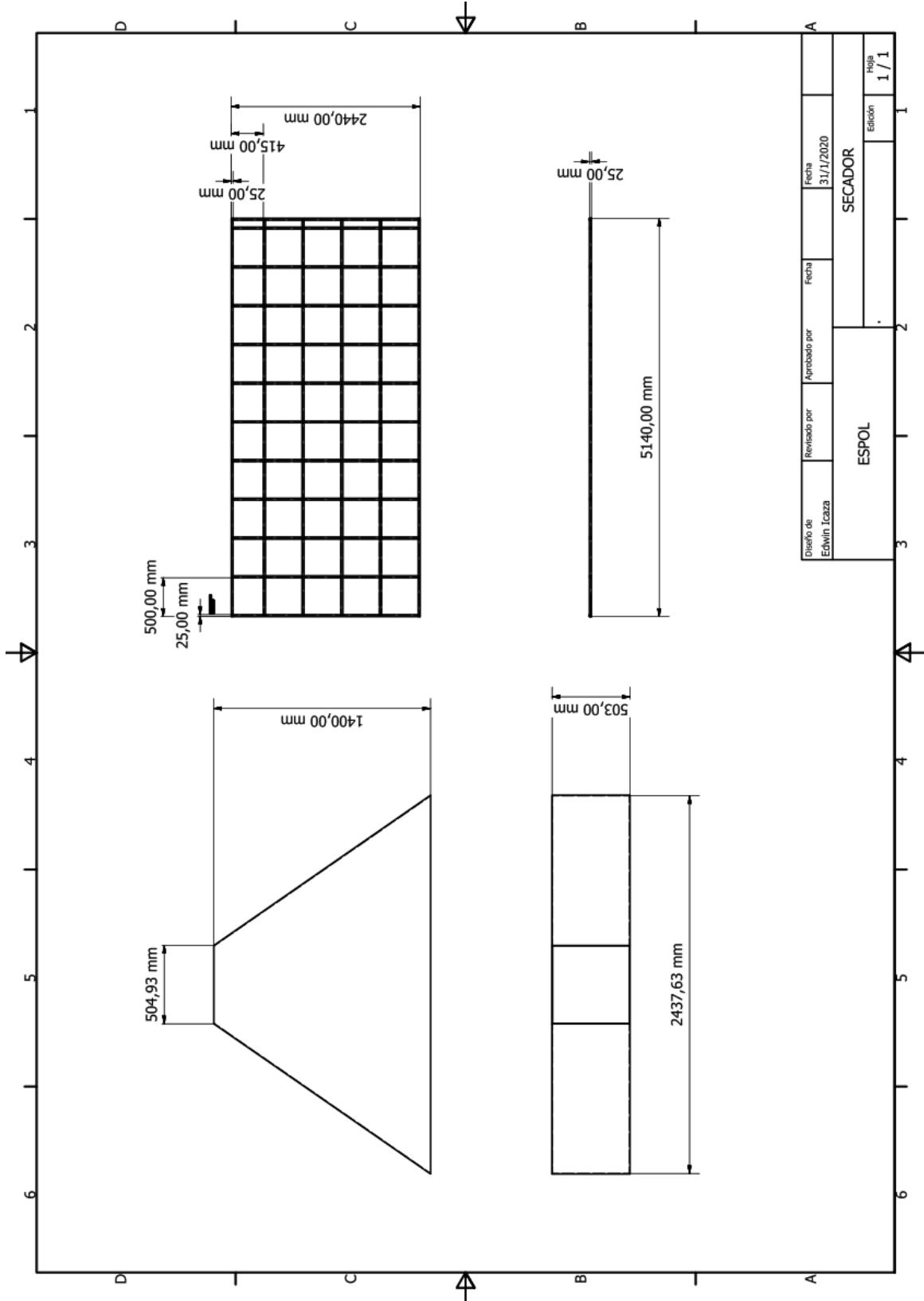
Plano 1

Medidas de las paredes de la cámara de secado.



Plano 2

Medidas de la expansión gradual y estructura de plancha perforada.



Plano 3

Isométrico del secador.

