

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño mecánico de un deshidratador con capacidad de 453 kg para
guineo orito en la zona de Bucay, Ecuador

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Ricardo Gabriel Jiménez Delgado

Nicky Roberto Nolivos Galarza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado principalmente a Dios, mis padres y mi novia que son el pilar fundamental de mi vida y a todos aquellos que me ayudaron a ser mejor a lo largo de mi vida estudiantil.

Ricardo Jiménez Delgado

Dedico expresamente este trabajo a mi familia, cuyo apoyo ha sido fundamental durante mi carrera universitaria, y a la vida, que me ha permitido seguir en ella.

Nicky Nolivos Galarza

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento hacia Ph.D. Emérita Delgado Plaza y Ph.D. Juan Peralta, miembros del Centro de Desarrollo de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de FIMCP, y a Ph.D. Miguel Quilambaqui, profesor tutor, por su asesoría en la construcción del prototipo y pruebas realizadas para la obtención de cálculos en este proyecto integrador.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Nicky Roberto Nolvos Galarza, Ricardo Gabriel Jiménez Delgado* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"


Nicky Nolvos Galarza

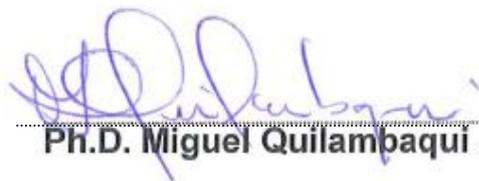

Ricardo Jiménez Delgado

EVALUADORES



Ph.D. Emerita Delgado Plaza

PROFESOR DE LA MATERIA



Ph.D. Miguel Quilampaqui Jara

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El Ecuador posee las condiciones ambientales propicias para el cultivo de guineo orito. Las tendencias actuales basadas en el consumo deshidratado de este producto han permitido a los productores apostar por el cultivo de esta fruta, siendo competentes en el mercado internacional. La falta de tecnología para enviar grandes cantidades y mantener la calidad y vida útil, han sido un impedimento en el transporte de este producto. El objetivo de este proyecto fue diseñar un deshidratador mecánico para guineo orito y prototiparlo con la finalidad de generar una tecnología nacional adecuada para los exportadores de productos deshidratados.

De acuerdo con las variables de humedad relativa final y materia seca final obtenidas durante el balance de materia, se dimensionó el deshidratador de modo que cumpla con la necesidad de deshidratar 453 kg de guineo orito. Se empleó un ventilador de 9000 CFM con el fin de suministrar aire forzado a 1 m/s a través de resistencias eléctricas hacia una cámara de secado donde se encontraba el producto sobre portabandejas. Se diseñó una estructura de planchas de acero galvanizado, ángulos de 25x25x3 mm y varillas cuadradas de 10 mm.

Se obtuvo una reducción del 78% del peso inicial, lo cual corresponde a 102 kg de materia seca final. Se calculó un tiempo de deshidratación de 28 horas para la carga de 453 kg. La cámara de secado fue dimensionada con una altura de 2 metros y un largo de 3.18 m. El costo total del equipo fue de \$2889 incluyendo materiales y mano de obra. Basados en los deshidratadores presentes en el mercado el diseño del deshidratador de bandejas brindó una opción económica que garantiza la fácil manipulación de las cargas por deshidratar y el tiempo total de secado, así como la instalación de una alimentación de energía no contaminante como la energía eléctrica.

Palabras Clave: Cámara de secado, humedad relativa, materia seca, deshidratador.

ABSTRACT

Ecuador has the environmental conditions suitable for the cultivation of baby banana. Current trends based on the consumption of this dehydrated product have allowed producers to cultivate this fruit, being competent in the global market. The lack of technology in order to send large quantities of product, maintaining the quality and lifespan have been an impediment in the transport of this product. The objective of this project was to design a mechanical dehydrator for baby banana and prototype it in order to generate a national technology suitable for exporters of dehydrated products.

According to the variables of final relative humidity and final dry matter obtained during the balance of matter, the dehydrator was sized so that it meets the need to dehydrate 453 kg of baby banana. A 9000 CFM fan was used to supply forced air at 1 m / s through electrical resistors to a drying chamber where the product was on tray holders. A structure of galvanized steel plates, angles of 25x25x3 mm and square rods of 10 mm was designed.

A reduction of 78% of the initial weight was obtained, which means 102 kg of final dry matter. The amount of time required was 28 hours for the load of 453 kg. The drying chamber was sized with a height of 2 meters and a length of 3.18 m, with the heating chamber included. The total cost of the equipment was \$ 2889 including materials and labor.

Based on the dehydrators present in the market, the design of the tray dehydrator provided an economical option that guarantees the easy handling of the dehydrated loads and the total drying time, as well as the installation of a non-polluting power supply such as electrical energy.

Keywords: drying chamber, relative humidity, dry mass, dehydrator.

INDICE GENERAL

RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Problema	2
1.2 Justificación del proyecto	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.3.3 Deshidratación	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Proceso de deshidratación	4
1.4.2 Curva de deshidratado	5
1.4.3 Mecanismos de deshidratación	6
1.4.4 Transferencia de calor en la deshidratación	7
1.4.5 Tipos de deshidratador.....	7
1.4.6 Velocidad de secado	9
1.5 Guineo Orito	10
1.5.1 Características	10
1.5.2 Tiempo de secado.....	11
CAPÍTULO 2.....	12

2.	Metodología.....	12
2.1	Metodología de diseño.....	12
2.2	Obtención de las curvas de deshidratado	13
2.3	Curvas de deshidratado y cálculos de peso.....	14
2.3.1	Resultados obtenidos	14
2.3.2	Conclusiones de las pruebas realizadas	19
2.4	Parámetros de desempeño para la selección de alternativas	20
2.4.1	Capacidad del deshidratador.....	20
2.4.2	Temperatura de trabajo	20
2.4.3	Velocidad De Secado.....	20
2.4.4	Costo.....	20
2.5	Tipos de secadores	21
2.6	Matriz de selección de deshidratadores.....	22
2.7	Diseño del deshidratador	23
2.7.1	Fundamentos de diseño	23
2.7.2	Cantidad por deshidratar	24
2.7.3	Condiciones térmicas	24
2.7.4	Estimación de número de bandejas	25
2.7.5	Fuente de calor	29
2.8	Simulación	29
2.9	Prototipo	30
2.9.1	Materiales.....	30
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados y analisis.....	31
3.1	Dimensionamiento de la cámara de secado	31
3.2	Dimensiones de la cámara de secado	34
3.3	Valores de masa durante secado	34

3.4	Valores de humedad durante secado	35
3.5	Balance de masa y energía del sistema.....	35
3.6	Cálculos de ventilación	39
3.7	Pérdidas por fricción del aire.....	40
3.7.1	Caída de presión por fricción.....	41
3.8	Selección del ventilador	41
3.9	Velocidad de secado.....	42
3.10	Calor suministrado	42
3.11	Tiempo de secado	43
3.12	Resultados de la simulación	43
3.13	Análisis de costos	46
3.13.1	Construcción de cámara de secado del deshidratador	46
3.13.2	Construcción de bandejas y portabandejas	47
3.13.3	Construcción de Cámara de calentamiento	47
3.13.4	Componentes y equipos eléctricos	48
3.13.5	Tiempo de ensamblado	48
3.13.6	Costo de máquinas y herramientas utilizadas	49
3.13.7	Costo directo de mano de obra	49
3.13.8	Costos directos totales	50
3.13.9	Costos indirectos	50
3.13.10	Costos totales	50
CAPÍTULO 4		51
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	51
4.1	Conclusiones	51
4.2	Recomendaciones	52

BIBLIOGRAFIA

APENDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
CFM	Pies cúbicos por minuto
Hz	Hertz
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
K	Kelvin
kg	Kilogramo
kPa	KiloPascal
kW	Kilowatt
m	Metros
Pa	Pascal
RPM	Revoluciones por minuto
HP	Caballos de fuerza
KWh	Kilowatt hora

SIMBOLOGÍA

A_C	Área de la sección transversal
A_L	Área lateral
A_{libre}	Área libre entre bandejas
$A_{libre_{total}}$	Área libre total entre bandejas
A_{ms}	Área superficial por kg de materia seca
A_T	Área total para cada muestra
A_{Tr}	Área transversal
C	Coefficiente de ajuste
C_d	Masa final de orito deshidratado
C_f	Cantidad de orito por deshidratar
CFM	Flujo de aire en la cámara de secado
D_o	Diámetro de la rodaja
D_h	Diámetro hidráulico
f	Factor de fricción
h	Coefficiente de convección
h_{aire}	Entalpía del aire en la entrada del sistema
H_{esp}	Humedad específica en la entrada del aire medida del ambiente
h_{fg}	Calor latente de vaporización
h_L	Pérdidas de energía por fricción
H_r	Humedad relativa en la entrada del aire medida del ambiente
k	Conductividad térmica
kg_{gas}	Kilogramos de aire seco para evaporar la humedad de la muestra
$Kg_{H2O_{evap}}$	Masa de agua a evaporarse en el interior del orito
L	Longitud característica
M_{AIRE}	Masa molecular del aire
M_{eq}	Masa final de equilibrio
M_{H2O}	Masa molecular del agua
n	Exponente de ajuste
$n_{resistencias}$	Número de resistencias
N_{uD}	Coefficiente de convección interna

P_m	Perímetro mojado
P_r	Número de Pradtl
P_T	Presión absoluta
$P_{unitaria}$	Potencia unitaria
P_{total}	Potencia total
Q	Flujo de aire en la cámara de secado
R_c	Velocidad de secado
$R_{convint}$	Resistencia por convección interna
R_{cond}	Resistencia de conducción en el ducto
$R_{conv natural}$	Coefficiente de resistencia de convección natural
r	Rugosidad relativa del ducto
Ra	Número de Rayleigh
Re	Número de Reynolds
S_d	Masa de agua a evaporar dentro del guineo
S_{eq}	Masa total en equilibrio
S_w	Masa media del orito
S_{wc}	Masa crítica inicial
S_{wf}	Contenido de humedad en base húmeda en relación a la humedad en base seca
T	Temperatura ambiental en la entrada
T_s	Temperatura caliente de las paredes
T^∞	Temperatura del ambiente
T_{bh}	Temperatura de bulbo húmedo
T_{TOTAL}	Tiempo total
U	Coefficiente global de transferencia de calor por conducción
V	Velocidad de aire en la cámara de secado
ν	Viscosidad cinemática
W_c	Masa crítica en base húmeda
W_{eq}	Masa de equilibrio en base húmeda
W_f	Masa total del guineo orito en base seca
W_o	Masa del orito en base húmeda
W_s	Peso del sólido seco

X_c	Humedad crítica
X_{dc}	Humedad crítica en base seca
X_{deq}	Humedad en base seca de equilibrio
X_{df}	Humedad en base seca final
X_{do}	Humedad en base seca inicial
X_{eq}	Humedad de equilibrio
X_{libre}	Humedad libre
X_t	Humedad en base seca
X_{wf}	Humedad en estado final del orito
X_{wo}	Humedad inicial del orito
ΔP	Caída de presión por fricción
ΔT	Diferencial de tiempo
ΔX	Diferencial de humedad
v_{aire}	Volumen específico del aire húmedo
η	Eficiencia del sistema
$\frac{g_{H_2O \text{ evap}}}{Kg_{AS}}$	Gramos de agua evaporada por kilogramos de aire seco
V_{Aire}	Volumen de aire requerido para evaporar la muestra
ρ	Densidad del aire
μ	Viscosidad dinámica
ε	Rugosidad de la superficie del ducto
β	Coefficiente de expansión térmica volumétrica
α	Coefficiente de difusividad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de transferencia de calor en un deshidratador.....	5
Figura 1.5 Deshidratador de túnel	6
Figura 1.2 Deshidratador de horno	7
Figura 1.3 Deshidratador de bandeja	8
Figura 1.4 Deshidratador de túnel	9
Figura 1.6 Curva de velocidad de secado	9
Figura 2.1 Metodología de diseño	12
Figura 2.2 Peso de la carga vs Tiempo (muestra 1)	17
Figura 2.3 Peso de la carga vs Tiempo (muestra 2)	18
Figura 2.4 Velocidad de secado vs Humedad libre (muestra 1).....	19
Figura 2.5 Velocidad de secado vs Humedad libre (muestra 2).....	19
Figura 2.6 Disposición de resistencias eléctricas	29
Figura 3.1 Diseño del portabandejas.....	31
Figura 3.2 Disposición horizontal de oritos	32
Figura 3.3 Cámara de secado	33
Figura 3.4 Vista lateral de diseño final.....	36
Figura 3.5 Resistencias eléctricas dentro de la cámara de calentamiento.....	36
Figura 3.6 Velocidad y trayectoria del fluido en la recámara de secado	44
Figura 3.7 Ingreso de aire a la cámara de secado – vista lateral.....	45
Figura 3.8 Líneas de flujo de aire del ventilador, vista frontal	45
Figura 3.9 Temperatura del aire desde la entrada a la salida	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición nutricional del guineo orito	10
Tabla 2.1 Datos iniciales de secado (muestra 1)	14
Tabla 2.2 Datos iniciales de secado (muestra 2)	14
Tabla 2.3 Resultados del deshidratado (muestra 1)	15
Tabla 2.4 Resultados del deshidratado (muestra 2)	16
Tabla 2.5 Tipos de deshidratadores	21
Tabla 2.6 Matriz de decisión de tipos de deshidratadores	22
Tabla 2.7 Humedad y temperatura mensual promedio del cantón Bucay	24
Tabla 2.8 Datos promedio para el cantón Bucay	25
Tabla 2.9 Propiedades mediante tabla psicométrica del ambiente de la zona	25
Tabla 2.10 Características iniciales del guineo orito	26
Tabla 2.11 Materiales para construcción de prototipo	30
Tabla 3.1 Parámetros de oritos para el dimensionamiento del secador para una capacidad de 453 Kg.....	31
Tabla 3.2 Dimensionamiento de bandejas.....	32
Tabla 3.3 Dimensionamiento del portabandejas.....	33
Tabla 3.4 Resultados de masa del producto	34
Tabla 3.5 Humedades del guineo orito	35
Tabla 3.6 Carga del producto a secar	35
Tabla 3.7 Presión y masas moleculares	37
Tabla 3.8 Condiciones entrada de aire	37
Tabla 3.9 Condiciones aire calentado	38
Tabla 3.10 Condiciones salida del aire	38
Tabla 3.11 Parámetros requeridos durante el secado	38
Tabla 3.12 Balance general del sistema.....	38
Tabla 3.13 Parámetros de flujo de aire en la cámara de secado	39
Tabla 3.14 Áreas de paso de flujo de aire	39
Tabla 3.15 Parámetros de pérdidas por fricción	40
Tabla 3.16 Especificaciones del ventilador	42
Tabla 3.17 Costos de materiales para estructura de cámara de secado	46
Tabla 3.18 Costos de materiales para construcción de portabandejas	47
Tabla 3.19 Costos de materiales para construcción de cámara de calentamiento....	47

Tabla 3.20 Costos de mano de obra de construcción de cámara de calentamiento .	48
Tabla 3.21 Tiempo de ensamblado en horas	48
Tabla 3.22 Tiempo de uso de máquinas.....	49
Tabla 3.23 Costo directo de mano de obra.....	49
Tabla 3.24 Costos totales directos	50
Tabla 3.25 Costos indirectos	50
Tabla 3.26 Costos totales.....	50

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Apéndice B, Plano general de deshidratador de guineo orito
Plano 2	Apéndice B, Plano general de puerta de deshidratador
Plano 3	Apéndice B, Plano de despiece de puerta del deshidratador
Plano 4	Apéndice B, Plano general de estructura de deshidratador
Plano 5	Apéndice B, Plano de despiece de estructura del deshidratador
Plano 6	Apéndice B, Plano general de ducto de calor
Plano 7	Apéndice B, Plano de despiece de ducto de calor
Plano 8	Apéndice B, Plano general de soporte de bandejas
Plano 9	Apéndice B, Plano de despiece de soporte de bandejas

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país con condiciones ambientales y agronómicas propicias para el desarrollo del cultivo de guineo orito o Baby banana, debido esto a su posición geográfica. El guineo orito (*Musa acuminata*) se ha convertido en una fruta tropical con calidad de exportación, siendo su presentación una limitante a ofrecer a mercados internacionales. El interés generado en el mercado mundial para mejorar su presentación, no solo en fresco sino, ser exportado en forma deshidratada ha aumentado la demanda de este fruto, permitiendo la incursión de técnicas de deshidratado para el transporte y aumento de vida útil del producto, hasta la llegada a puertos de destino. También ha sido una oportunidad, para que las universidades puedan brindar el soporte ingenieril y técnico, en la implementación de prototipos de equipos de deshidratado.

De acuerdo con Murillo Arias (2007) "(...) la deshidratación consiste en la eliminación de la humedad de una fruta o verdura mediante la evaporación, mientras se somete a un calentamiento a una temperatura regulada" (p.20). Este proceso permite aumentar la vida útil de un producto reduciendo el porcentaje de agua en su interior, así como su peso y volumen, dándose una variación en sus propiedades organolépticas y nutritivas de la fruta.

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de un prototipo de un deshidratador de guineo orito, lo cual permitirá mostrar los datos de eliminación de humedad, tiempo de secado y cantidad de producto a deshidratar usando un modelo matemático de transferencia de calor para determinar las características físicas del diseño y sus restricciones. Se empezará, usando las propiedades del producto, un diseño de forma que contemple la décima parte de la cantidad establecida, de modo que se llegue a un diseño óptimo automatizado que cubra con las especificaciones del cliente.

El proceso se experimentará con el fin de obtener las variables que intervienen en el secado del guineo orito proveniente del recinto El Rosario en el cantón Bucay,

además de analizar su grado de humedad y los tiempos de secado. Dichos parámetros para el desarrollo del presente trabajo son proporcionados por el Laboratorio de Microbiología de la ESPOL, a través de muestras presentadas, los cuales se usarán para la elección de los elementos y diseño del deshidratador.

Al tratarse de un producto alimenticio, las características sanitarias deben ser óptimas. Esto involucra un empleo de equipos para la deshidratación que aislen al producto de efectos negativos del entorno, para lo cual se emplean aceros norma AISI para la industria alimenticia y una distribución de calor uniforme por convección con un flujo de aire forzado por un ventilador centrífugo, permitiendo el resultado deseado.

1.1 Definición del Problema

El consumo de guineo orito ha aumentado paulatinamente a través de los años, Ecuador así lo muestra en sus registros de exportación. La tendencia a consumir productos saludables y los diferentes estándares sanitarios a los que se rigen los países ha beneficiado el crecimiento del requerimiento de esta fruta tropical exótica. El Baby banana además de ser empleado como materia prima, ha ganado aceptación en otros países al ser consumidos como *orito deshidratado*, dado que esta fruta mantiene sus niveles vitamínicos y nutricionales.

El consumo diario de este producto ha ido aumentando con el paso de los años, tal es el caso que el consumo estimado per cápita de frutas deshidratadas se sitúa en valores aproximados a 9.8 libras. Los productores de esta fruta necesitan adquirir nueva tecnología local que les ayude a cubrir la gran demanda actual que está teniendo este producto.

Mediante un análisis de las condiciones necesarias para la obtención de orito deshidratado de exportación en óptimas condiciones sanitarias, se pretende elaborar un sistema de deshidratado que cumpla las altas exigencias del mercado exterior, obteniendo gran rentabilidad.

1.2 Justificación del proyecto

Durante los últimos años, Ecuador ha mostrado una tendencia progresiva en la exportación de guineo orito, de acuerdo con los registros del Consejo de Promoción Comercial (2015). En ese año la exportación de esa fruta exótica alcanzó las 1687.58 toneladas, debido a su gran demanda, en 2016 se llegaron a exportar 2240.57 toneladas. En lo que va del año 2019, se registra un total de 779.99 toneladas exportadas. Según la consultora Global Analysis, se estima que para el año 2020, existirá un consumo de frutas deshidratadas en torno a los 4 millones de toneladas.

Un limitante en la exportación de Baby banana en nuestro país es la nula aplicación de la tecnología. Se desea implementar un modelo de deshidratado como una alternativa eficaz para lograr una mejor producción de postcosecha, para obtener la mayor cantidad de fruta deshidratada y aumentar las ganancias.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un deshidratador mecánico para guineo orito y prototiparlo con la finalidad de generar una tecnología nacional adecuada para los exportadores de productos deshidratados.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar todas las variables que influyen en el proceso de deshidratado del guineo orito.
2. Diseñar un deshidratador que cumpla con las expectativas del mercado requerido.
3. Prototipar un modelo a escala de deshidratador para guineo orito
4. Analizar los resultados de las pruebas experimentales en el prototipo de deshidratador.

1.3.3 Deshidratación

La deshidratación consiste en la eliminación de humedad de una fruta o verdura a través de métodos naturales (deshidratación al ambiente,

deshidratación solar) o artificiales (convección forzada) producto de la exposición del producto a una transferencia de calor a una temperatura controlada (Campo Navarro J. A., Mendoza Huertas, Mendoza Posada, & Huertas, 2007).

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de deshidratación

La deshidratación tiene como objetivo detener el desarrollo de microorganismos, procesos químicos y reacciones enzimáticas presentes en la estructura del producto mediante la disminución del porcentaje de humedad hasta niveles mínimos, aumentando el tiempo de retraso en estas.

Durante el proceso, el agua usada como solvente se encuentra en altas proporciones, mientras que la composición del producto a examinar se encuentra como solutos. Ambos elementos producen una reacción junto al porcentaje de agua presente en el interior del alimento conocido como agua ligada.

Existen dos tipos de extracción de humedad en los productos alimenticios: el seco y deshidratado, los cuales varían en la composición de agua en el interior del producto. El primero no supera el 2.5% de humedad en su interior, el segundo contiene un porcentaje de humedad mayor al 2.5% (Campo et al., 2007).

Para deshidratar un alimento se genera una transferencia de materia al evaporar el agua en su interior debido a una transferencia de calor producida por energía externa, cuya diferencia de temperatura cambia la fase de líquido a vapor. Esto es posible por un ventilador centrífugo que traslada la energía al producto por convección forzada.

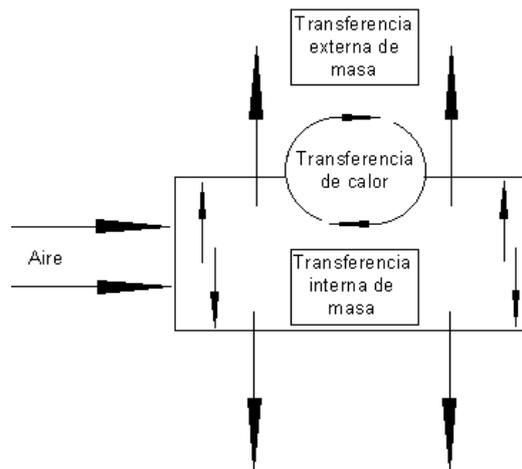


Figura 1.1 Proceso de transferencia de calor en un deshidratador
[Elaboración propia]

1.4.2 Curva de deshidratado

La etapa inicial (A – B) se produce un calentamiento del producto en estado sólido, donde la superficie alcanza el equilibrio con el aire seco. En la segunda etapa (B – C) se produce un movimiento rápido de humedad en la superficie del sólido hasta llegar a su saturación. En esta etapa, la velocidad de transferencia de energía controla la velocidad de secado. La superficie del producto, al estar saturada de agua en estado líquido ya que la velocidad del agua a través del sólido es mayor a la velocidad de evaporación. Durante esta etapa intervienen los coeficientes de transferencia de calor, diferenciales de temperatura y humedad relativa de la superficie húmeda y aire de secado (De la Vega Sánchez, 2017).

En el final de secado (C – D) se produce un retardo en la transferencia de agua entre la superficie ya que aumenta el espesor de la capa deshidratada del producto, además, disminuye la permeabilidad de vapor. El agua en el interior se consume hasta niveles mínimos y disminuye la presión parcial de vapor, así como la velocidad del secado como se muestra en la figura 1.4 (De la Vega Sánchez, 2017).

En la cuarta fase (D – E) se recomienda una disminución de humedad en el aire impulsado por el ventilador debido a que el agua sobrante al terminar

la deshidratación igualará a la cantidad de humedad relativa del aire (De la Vega Sánchez, 2017).

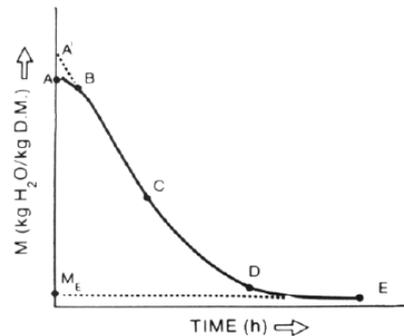


Figura 1.2 Deshidratador de túnel [De la Vega Sánchez, 2017]

Al permanecer el alimento en el deshidratador, este atraviesa por tres fases hasta la extracción total de la humedad.

1.4.3 Mecanismos de deshidratación

Durante la interacción del aire caliente con la superficie de la fruta en estado húmedo, el calor que se transmite se usa como calor latente de evaporación. El aire en movimiento generado por el ventilador centrífugo arrastra el vapor de agua presente que atraviesa la capa de aire en la superficie del alimento mediante el mecanismo de difusión.

Este movimiento genera una zona de baja presión, que crea un gradiente de presión de vapor entre la superficie de la fruta y el aire circundante. (Murillo Arias, 2007). La extracción de agua, desde la superficie del alimento se da por los mecanismos que a continuación se indican:

- Mecanismo de difusión, por la diferencia en concentración de solutos
- Difusión de agua.
- Difusión en estado gaseoso, producida por la diferencia de presión de vapor al interior de la fruta.
- Mecanismo de capilaridad (Murillo Arias, 2007).

1.4.4 Transferencia de calor en la deshidratación

1.4.4.1 Flujo por convección forzada

En este proceso el aire presente en el deshidratador es movido por medio de un ventilador, lo cual facilita la distribución de calor a través de las bandejas y el control del secado. El aire caliente transportado por el ventilador se transfiere al exterior del deshidratador por medio de un sistema de extracción. Este tipo de flujo requiere una fuente de energía para accionar el ventilador y un sistema de control para su funcionamiento (De la Vega Sánchez, 2017).

1.4.4.2 Flujo por convección natural

El flujo de aire en el interior del deshidratador se mueve debido al diferencial de temperatura producida por las resistencias eléctricas, las paredes y la temperatura interna del producto. A diferencia de la convección forzada se necesita un control sobre las resistencias eléctricas, lo cual, en equipos de alta capacidad, requiere un mayor tiempo de exposición.

1.4.5 Tipos de deshidratador

1.4.5.1 Deshidratador de horno

Es utilizado en su mayoría para manzanas, lúpulo y forrajes verdes. Posee dos secciones: un piso ranurado usado para separar el secado del calentamiento. El producto es colocado sobre la placa ranurada y se transporta el aire caliente desde la zona baja hasta la sección de secado por medio de las dichas ranuras (Maupoey, Andrés Grau, Barat Baviera, & Albors Sorolla, 2016).

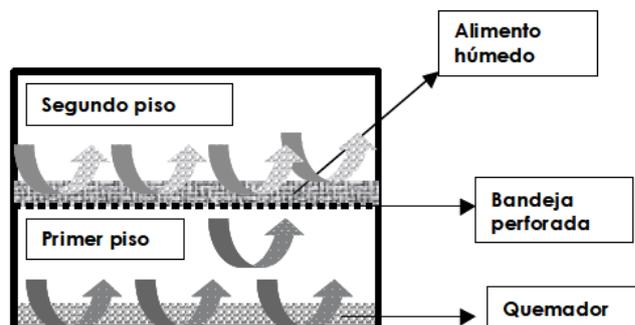


Figura 1.3 Deshidratador de horno [Maupoey et al., 2016]

1.4.5.2 Deshidratador de bandeja

Se caracteriza por tener una cámara de deshidratado donde se alojan bandejas de acero inoxidable en las cuales se asientan las frutas. El producto en el interior es expuesto a aire caliente que circula generado por una serie de resistencias eléctricas y transportado por acción de un ventilador centrífugo. A través de un conducto de salida se expulsa aire húmedo y por la entrada ingresa aire fresco.

El flujo de aire caliente impulsado por el ventilador centrífugo tiene dos formas de contacto con la fruta:

- **Flujo transversal:** El flujo de aire tiene una velocidad entre (2 a 5 m/s) y forma un ángulo de 90° con la fruta.
- **Flujo horizontal:** El flujo de aire circulante es paralelo con respecto a la posición de la fruta.

En este tipo de deshidratador se obtienen rendimientos térmicos de entre el 20% y 50% y se recomienda su aplicación para una capacidad que no exceda de 25 a 50 kg/h de producto (Maupoey et al., 2016).

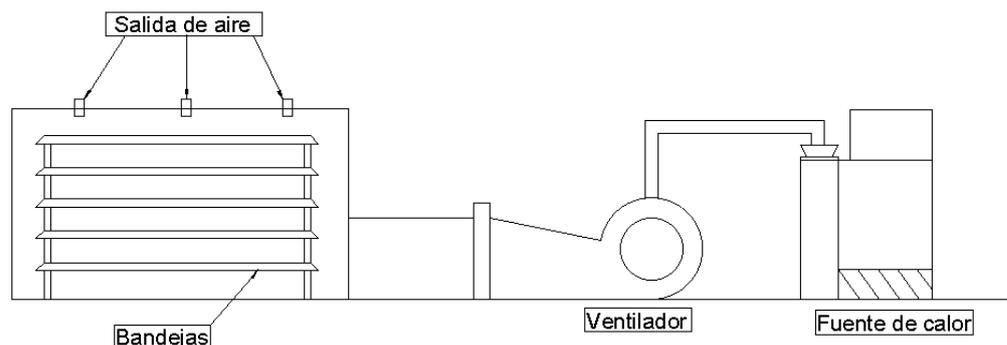


Figura 1.4 Deshidratador de bandeja [Elaboración propia]

1.4.5.3 Deshidratador de túnel

Tienen una longitud mayor a 24 metros y una sección de 2x2 metros. La fruta ingresa luego de ser lavada a unos rodillos inclinados hasta caer a un segundo piso de rodillos y posteriormente a un tercero paralelo donde su superficie entrará en contacto con la corriente de aire ejercida por un ventilador centrífugo. El calor generado por un sistema de calefacción circula a través de las carretillas y se evacua el producto mientras las restantes toman la posición de la anterior (Valencia Coca, 2012).

El deshidratador de túnel se caracteriza por disponer de planchas que abarcan el ancho del equipo que recogen o absorben el impacto que puede sufrir la fruta, evitando daños por golpes (Valencia Coca, 2012).

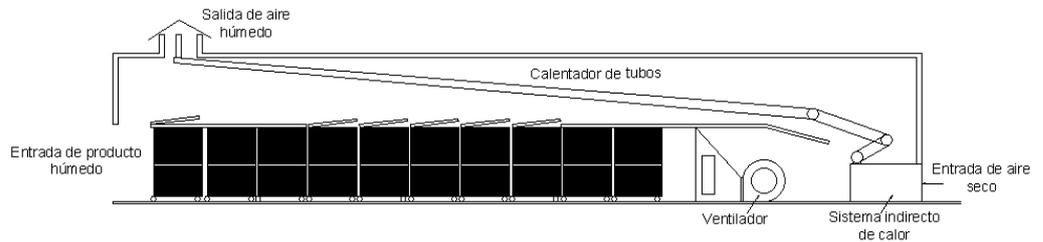


Figura 1.5 Deshidratador de túnel [Elaboración propia]

1.4.6 Velocidad de secado

En la primera fase (A – B) se produce el periodo inicial de estabilización donde la fruta o verdura alcanza la temperatura del bulbo húmedo. Luego se deseca el alimento, donde el mayor porcentaje de agua en el interior se posiciona en la superficie a una velocidad igual a la de la evaporación. En la segunda fase (B – C), la temperatura del alimento es constante y se aproxima a la temperatura del bulbo húmedo hasta alcanzar la humedad crítica del alimento. Al eliminar la humedad en la superficie, la humedad en el interior debe ser evaporada, por lo que la velocidad de deshidratación disminuye (C – D). Esto se representa como una velocidad decreciente en la gráfica de Tasa de secado vs. Tiempo (Murillo Arias, 2007).

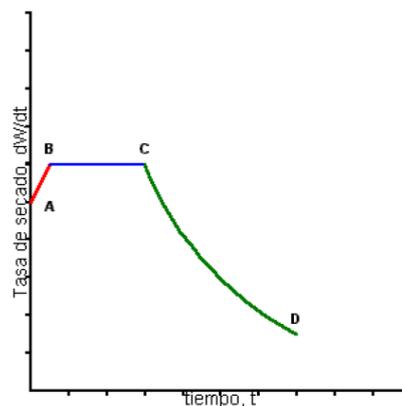


Figura 1.6 Curva de velocidad de secado [Oti-Boateng & Axtell, 2010]

1.5 Guineo Orito

1.5.1 Características

El guineo orito es una variedad de musácea la cual se cultiva en casi todo el territorio ecuatoriano. Esta fruta posee un periodo vegetativo que oscila entre 6.5 y 8 meses, este tiempo varía en función de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentre el cultivo. El orito viene conformado en racimos, los cuales están subdivididos por manos. Dependiendo de la planta, un racimo puede estar compuesto entre 6 y 12 manos, cada mano pesa aproximadamente 4 libras y posee entre 14 y 20 oritos.

El periodo de postcosecha de este fruto es relativamente corto, lo que ocasiona que la fruta tenga un periodo de maduración y deterioro rápido debido a la acción de diversos factores que afectan en este proceso. Mediante la deshidratación, se trata de prolongar la maduración y disminuir la tasa de transpiración del orito (Catellanos, 2012). La maduración que se le da al guineo orito depende de las necesidades del mercado. A continuación, se indica una tabla con el contenido nutricional del orito:

Tabla 1.1 Composición nutricional del guineo orito [Valencia Coca, 2012]

Contenido nutritivo en 100 g de porción aprovechable de guineo orito		
Humedad	g.	68.9
Calorías	Cal.	111
Proteína	g.	1.2
Extracto etéreo	g.	0.2
Carbohidratos totales	g.	29.2
Fibra	g.	0.6
Ceniza	g.	0.5
Calcio	mg.	6
Fosforo	mg.	21
Hierro	mg.	0.7
Caroteno	mg.	0.3
Tiamina (Vitamina B1)	mg.	0.02
Riboflavina (Vitamina B2)	mg.	0.03
Niacina (Vitamina B3)	mg.	0.57
Ácido Ascórbico	mg.	16

1.5.2 Tiempo de secado

Para determinar el tiempo de secado del guineo orito, se hace un ensayo de velocidad de secado del orito parámetros constantes de secado, se emplean tiempos regulares para pesar la humedad del cuerpo, de los parámetros de humedad y tiempo se puede estimar la curva de la velocidad de secado para el orito. Estos ensayos se los efectúa independientemente del tipo de deshidratador a emplear.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de diseño

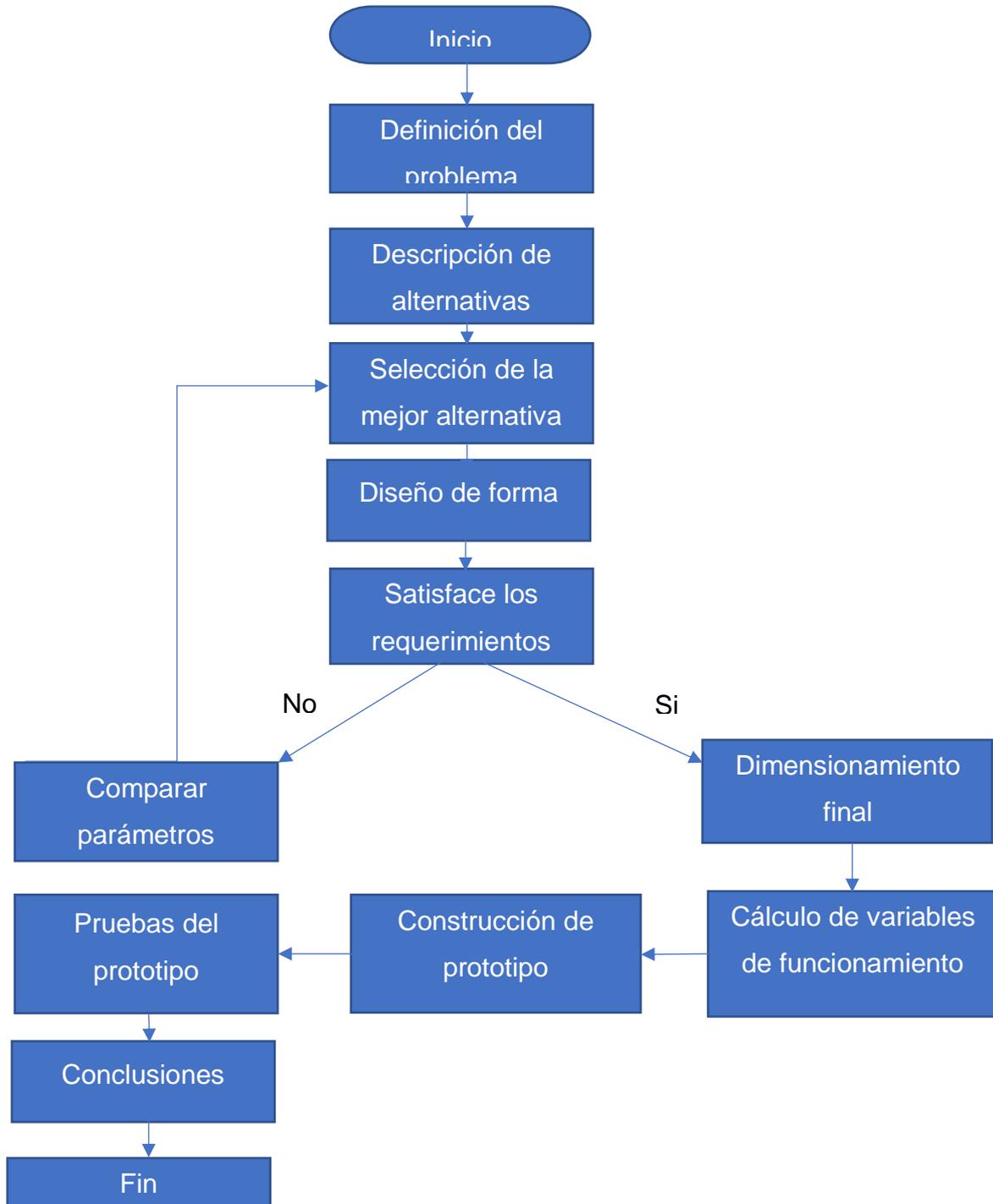


Figura 2.1 Metodología de diseño [Elaboración propia]

Una vez que se ha expuesto la teoría fundamental sobre el funcionamiento y características de los deshidratadores en el Capítulo 1, el diseño debe ser efectuado en función de las necesidades del cliente, compaginando con los parámetros esenciales, con el objetivo de ofrecer un modelo adecuado del deshidratador.

En el capítulo anterior se ha mencionado los principales tipos de deshidratadores, pero no se tiene un claro procedimiento que nos garantice un diseño eficaz. Por lo que fue necesario identificar los parámetros más relevantes a la hora del diseño, entre los cuales tenemos: el costo para el cliente, alcance del proyecto, tiempo de presentación, entre otros. Se formularon diversas inquietudes que fueron de ayuda para el avance del proyecto, entre las cuales podemos mencionar.

- Tipo de deshidratador que cumpla las exigencias del cliente.
- El principio de funcionamiento.
- Maneras de cómo tener dimensiones estimadas del deshidratador.
- ¿Cómo tener datos previos de deshidratado de Orito que ayuden a asentar las directrices de nuestro proyecto?

2.2 Obtención de las curvas de deshidratado

Para obtener las curvas de deshidratado se utilizaron dos muestras de guineo orito, cada una con un peso de 200 gramos en forma de rodajas con un espesor de 5 mm y un diámetro de 40 mm. Para obtener los pesos de las muestras se utilizó una balanza electrónica calibrada.

Se utilizó un secador ubicado en el taller del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, usando como fuente de calor una resistencia de 1kW y un ventilador con un flujo de 0.6 m/s, de modo que fuera posible deshidratar las muestras y obtener las velocidades de secado.

Una vez fueron pesadas las muestras, estas fueron introducidas en una bandeja y luego llevadas al interior del portabandejas del secador a una distancia de 50 cm de la fuente de calor. Se realizó un seguimiento de las pérdidas de masa de en las muestras cada 30 minutos, hasta conocer el comportamiento de la velocidad de secado. Se registraron los valores de peso

en el computador. Las variables registradas antes del proceso fueron: humedad inicial, peso inicial y temperatura ambiental. El proceso se llevó a cabo a partir de las 7:02 am y se registraron 22 lecturas de peso para ambas muestras, equivalente a 12.5 horas de tiempo de secado.

2.3 Curvas de deshidratado y cálculos de peso

Se obtuvo una humedad inicial de 70% medida mediante la termobalanza marca Kern, modelo DBS 60-3 con capacidad máxima de 60 gramos. Posteriormente se procedió a analizar los datos de humedad libre y velocidad de secado de las 2 muestras a partir de la segunda lectura.

2.3.1 Resultados obtenidos

Tabla 2.1 Datos iniciales de secado (muestra 1) [Elaboración propia]

W_s	60
X_{wo}	70
X_{eq}	0.11
Área	0.17
$\frac{W_s}{\text{Área}}$	352.9
T	60

Tabla 2.2 Datos iniciales de secado (muestra 2) [Elaboración propia]

W_s	56
X_{wo}	72
X_{eq}	0.33
Área	0.17
$\frac{W_s}{\text{Área}}$	329.4
T	60

Las tablas 2.1 y 2.2 presentan los valores de humedad inicial X_{wo} [%] para cada muestra de 200 gramos (W_o), medida por la termobalanza. Para la muestra 1 la humedad inicial fue de 70%, mientras que para la muestra 2

fue de 72%. El peso del sólido seco W_s [g] se obtuvo por la siguiente ecuación:

$$W_s = W_o * (1 - X_{wo}) \quad (2.1)$$

Para calcular la humedad de equilibrio X_{eq} [g_{H2O}/g_{SS}] se consideró la masa final de equilibrio de las muestras al final del proceso de deshidratación usando la siguiente ecuación:

$$X_{eq} = \frac{Masa_{eq} - W_s}{W_s} \quad (2.2)$$

El área para cada muestra se consideró mediante rodajas circulares de 40 mm de diámetro (D_o) y 5mm de espesor usando la cantidad necesaria para cubrir los 200 gramos.

$$A_{Tr} = 2 * \frac{\pi * D_o}{4} \quad (2.3)$$

$$A_L = \pi * D_o * L \quad (2.4)$$

$$A_T = A_{Tr} + A_L \quad (2.5)$$

En las tablas 2.3 y 2.4 se muestran los valores obtenidos durante las 25 lecturas para cada muestra de 200 gramos, donde se presentan las siguientes variables:

Tiempo de medición para cada lectura tomada cada 30 minutos y sus variaciones de peso expresado en gramos, humedad en base seca X_t [g_{H2O}/g_{SS}], humedad libre X_{libre} [g_{H2O}/g_{SS}], diferencial de humedad ΔX , diferencial de tiempo ΔT y velocidad de secado R $\left[\frac{g_{H2O}}{h * m^2}\right]$.

La humedad en base seca se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$X_t = \frac{W_o - W_s}{W_s} \quad (2.6)$$

Para obtener la velocidad de secado se utilizaron las humedades promedio respecto al tiempo de secado, así como la masa seca por el área total de oritos:

$$R = \frac{W_s}{A} \left(- \frac{\Delta X}{\Delta T} \right) \quad (2.7)$$

Tabla 2.3 Resultados del deshidratado (muestra 1) [Elaboración propia]

T	Peso	X_t	X_{libre}	ΔX	ΔT	R	$\frac{\Delta X}{\Delta T}$
---	------	-------	-------------	------------	------------	---	-----------------------------

0	200	2.33333	2.438	0.197	0.5	138.824	0.393333333
0.5	188.2	2.13667	2.242	0.275	0.5	194.118	0.55
1	171.7	1.86167	1.967	0.232	0.5	163.529	0.463333333
1.5	157.8	1.63000	1.735	0.233	0.5	164.706	0.466666667
2.0	143.8	1.39667	1.502	0.192	0.5	135.294	0.383333333
2.5	132.3	1.20500	1.310	0.193	0.5	136.471	0.386666667
3.0	120.7	1.01167	1.117	0.172	0.5	121.176	0.343333333
3.5	110.4	0.84000	0.945	0.145	0.5	102.353	0.29
4.0	101.7	0.69500	0.800	0.125	0.5	88.235	0.25
4.5	94.2	0.57000	0.675	0.105	0.5	74.118	0.21
5.0	87.9	0.46500	0.570	0.080	0.5	56.471	0.16
5.5	83.1	0.38500	0.490	0.062	0.5	43.529	0.124
6.0	79.4	0.32333	0.428	0.050	0.5	35.294	0.1
6.5	76.4	0.27333	0.378	0.038	0.5	27.059	0.076666667
7.0	74.1	0.23500	0.340	0.032	0.5	22.353	0.063333333
7.5	72.2	0.20333	0.308	0.023	0.5	16.471	0.046666667
8.0	70.8	0.18000	0.285	0.017	0.5	11.765	0.033333333
8.5	69.8	0.16333	0.268	0.015	0.5	10.588	0.03
9.0	68.9	0.14833	0.253	0.010	0.5	7.059	0.02
9.5	68.3	0.13833	0.243	0.010	0.5	7.059	0.02
10.0	67.7	0.12833	0.233	0.005	0.5	3.529	0.01
10.5	67.4	0.12333	0.228	0.007	0.5	4.706	0.013333333
11.0	67	0.11667	0.222	0.003	0.5	2.353	0.006666667
11.5	66.8	0.11333	0.218	0.005	0.5	3.529	0.01
12.0	66.5	0.10833	0.213	0.003	0.5	2.353	0.006666667
12.5	66.3	0.10500	0.210				

Tabla 2.4 Resultados del deshidratado (muestra 2) [Elaboración propia]

T	Peso	X _t	X _{libre}	ΔX	ΔT	R	$\frac{\Delta X}{\Delta T}$
0	200.00	2.57143	2.90357	0.20179	0.5	132.941	0.40357143
0.5	188.70	2.36964	2.70179	0.22679	0.5	149.412	0.45357143
1	176	2.14286	2.47500	0.19821	0.5	130.588	0.39642857
1.5	164.9	1.94464	2.27679	0.20000	0.5	131.765	0.4
2.0	153.7	1.74464	2.07679	0.17857	0.5	117.647	0.35714286
2.5	143.7	1.56607	1.89821	0.17500	0.5	115.294	0.35
3.0	133.9	1.39107	1.72321	0.16607	0.5	109.412	0.33214286

3.5	124.6	1.22500	1.55714	0.13750	0.5	90.588	0.275
4.0	116.9	1.08750	1.41964	0.11786	0.5	77.647	0.23571429
4.5	110.3	0.96964	1.30179	0.10714	0.5	70.588	0.21428571
5.0	104.3	0.86250	1.19464	0.09286	0.5	61.176	0.18571429
5.5	99.1	0.76964	1.10179	0.08214	0.5	54.118	0.16428571
6.0	94.5	0.68750	1.01964	0.06071	0.5	40.000	0.12142857
6.5	91.1	0.62679	0.95893	0.05893	0.5	38.824	0.11785714
7.0	87.8	0.56786	0.90000	0.04821	0.5	31.765	0.09642857
7.5	85.1	0.51964	0.85179	0.03750	0.5	24.706	0.075
8.0	83	0.48214	0.81429	0.03214	0.5	21.176	0.06428571
8.5	81.2	0.45000	0.78214	0.02679	0.5	17.647	0.05357143
9.0	79.7	0.42321	0.75536	0.01964	0.5	12.941	0.03928571
9.5	78.6	0.40357	0.73571	0.01786	0.5	11.765	0.03571429
10.0	77.6	0.38571	0.71786	0.01429	0.5	9.412	0.02857143
10.5	76.8	0.37143	0.70357	0.01429	0.5	9.412	0.02857143
11.0	76	0.35714	0.68929	0.00893	0.5	5.882	0.01785714
11.5	75.5	0.34821	0.68036	0.00893	0.5	5.882	0.01785714
12.0	75	0.33929	0.67143	0.00714	0.5	4.706	0.01428571
12.5	74.6	0.33214	0.66429				

La Figura 2.1 muestra el peso en función del tiempo donde se observa un decrecimiento producto del secado a 60 °C. La pérdida de humedad garantizó la disminución del peso. Las rodajas fueron colocadas en bandejas de 500 x 500 mm de forma dispersa para garantizar el correcto secado.

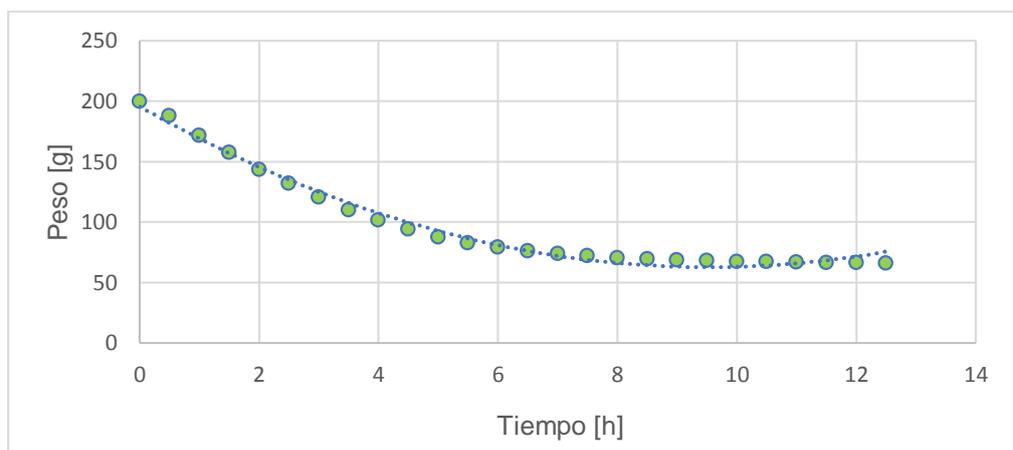


Figura 2.2 Peso de la carga vs Tiempo (muestra 1) [Elaboración propia]

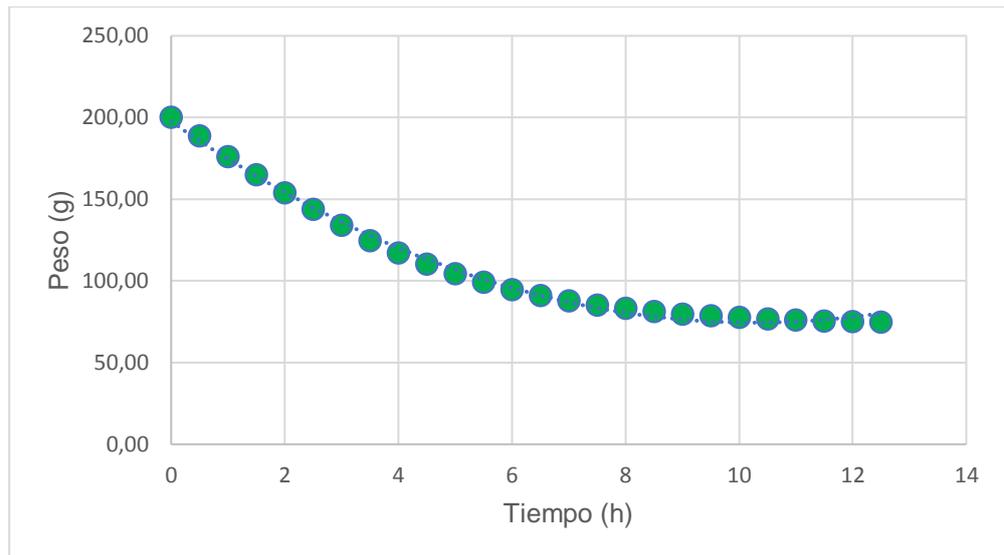


Figura 2.3 Peso de la carga vs Tiempo (muestra 2) [Elaboración propia]

Las Figuras 2.3 y 2.4 muestran las velocidades de secado donde se presenta un aumento de la velocidad de secado y una disminución de la humedad libre en la primera lectura correspondiente a 30 minutos de iniciado el proceso. A partir de la hora de secado, el producto presenta una disminución de la velocidad de secado.

Los parámetros de velocidad constante se pueden observar en las tablas 2.3 y 2.4, donde el secado finaliza al existir una variación de 0.2 gramos de materia en la muestra 1 y 0.4 gramos en la muestra 2. La exposición de las muestras al flujo de aire caliente disminuye su porcentaje de humedad de un promedio de 71% en 400 gramos totales hasta un 8%.

Se obtuvo una humedad libre final de 0.21 $[g_{H_2O}/g_{SS}]$ en la muestra 1 y 0.66 $[g_{H_2O}/g_{SS}]$ en la muestra 2, presentando variaciones debido a la posición de los oritos en las bandejas y su exposición al flujo de aire caliente.

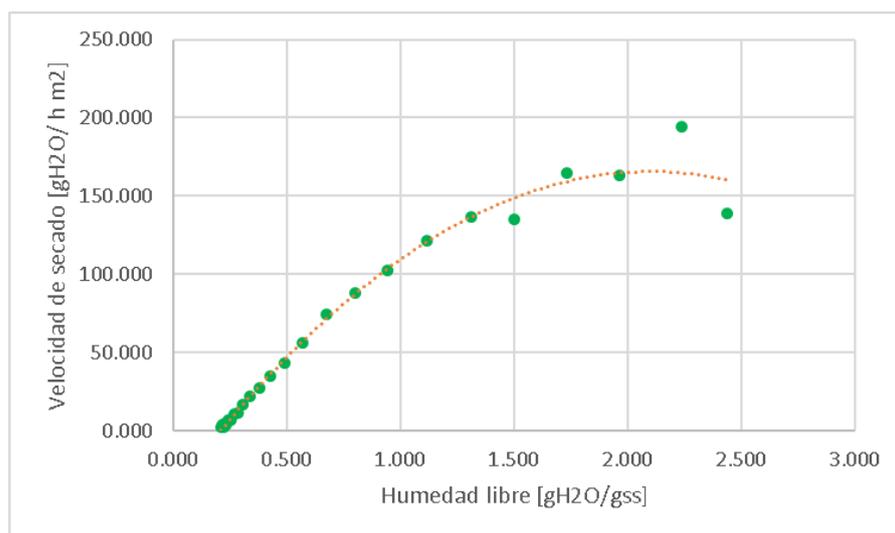


Figura 2.4 Velocidad de secado vs Humedad libre (muestra 1) [Elaboración propia]

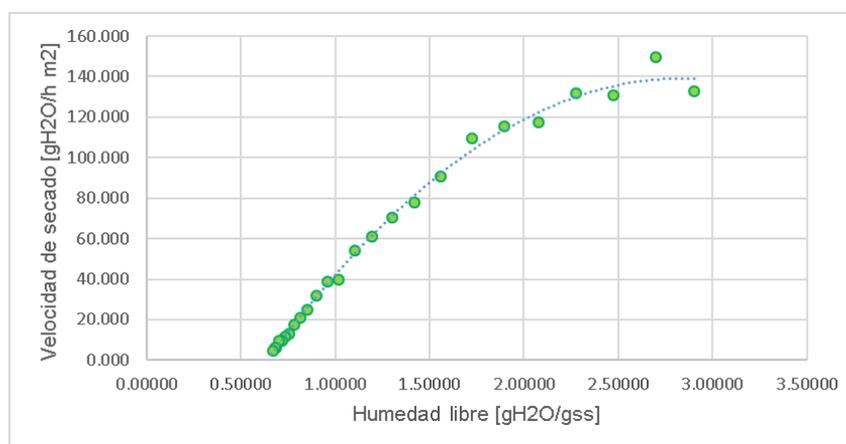


Figura 2.5 Velocidad de secado vs Humedad libre (muestra 2) [Elaboración propia]

2.3.2 Conclusiones de las pruebas realizadas

Se pudo concluir que la diferencia entre los valores de humedad libre entre ambas muestras se dio por la posición en que se encontraban estas. El diseño del portabandejas donde se realizó el secado generó pérdidas en el flujo de aire debido al ancho de sus perfiles, los cuales impedían que la fruta se deshidrate. Así mismo, la posición del ventilador y las resistencias tuvieron el efecto esperado en la muestra 1.

En la muestra 2 dicha posición disminuyó el porcentaje de materia húmeda deshidratada. Para efectos de estudio, las variables que intervinieron en

este proceso se emplearán para el diseño del deshidratador de 453 kg, de modo que se pueda definir los parámetros a considerar en el diseño de la cámara de secado, métodos de calentamiento y flujo de aire requerido.

2.4 Parámetros de desempeño para la selección de alternativas

Antes de seleccionar una alternativa de diseño, fue necesario tener en consideración los parámetros que nos permitirá evaluar la viabilidad de cada modelo de deshidratador mencionados en el capítulo 1.

2.4.1 Capacidad del deshidratador

Este parámetro se refiere a la cantidad de producto que ingresa a la máquina para ser deshidratado en función del requerimiento del productor.

2.4.2 Temperatura de trabajo

La temperatura es uno de los parámetros importante, en el momento de la deshidratación del producto con la finalidad de no perder su textura, color y sabor. Se hace importante indicar que la temperatura límite del producto se obtiene a través de la curva de velocidad de secado.

Este parámetro viene ligado a la actividad de agua, el cual es uno de los principales factores para calificar la estabilidad de un producto deshidratado.

2.4.3 Velocidad De Secado

Este parámetro se relaciona con la velocidad del aire caliente para secar el producto, a su vez este parámetro se encuentra directamente relacionada con la temperatura de secado, la velocidad superficial de secado del medio y la resistencia a la transferencia de calor que ofrezca el producto.

2.4.4 Costo

Conviene hacer una relación costo-beneficio para así determinar la viabilidad del proyecto. Entre estos costos se pueden tener en cuenta la instalación, consumo de energía eléctrica, mano de obra y el material necesario para la presentación del producto. La elección de una alternativa eficaz puede significar una mejor producción y por ende un mayor beneficio.

2.5 Tipos de secadores

En esta sección se presenta la tabla 2.5 donde se mostrará las ventajas y desventajas de los secadores, parámetros técnicos para posteriormente desarrollar una matriz de decisión para la selección de la mejor alternativa.

Tabla 2.5 Tipos de deshidratadores [Elaboración propia]

Tipo de deshidratador	Ventajas	Desventajas
Deshidratador de horno	<ul style="list-style-type: none"> • Los tiempos de secado son cortos. • El deshidratado del producto se lo hace por separado, por lo que se puede estimar un proceso a velocidad constante. • La temperatura es controlable con precisión. • Se trabaja a bajas temperaturas (termolábiles), por lo que hay una restauración rápida de calor y un secado en tiempos cortos. • El deshidratado se dan con poca presencia de oxígeno (disminuye la posibilidad de oxidación). • El deshidratado se da a bajas presiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un alto costo, debido a que se necesita emplear una mayor cantidad de material para la construcción del equipo. • El consumo energético es elevado.
Deshidratador de bandejas	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de deshidratado puede tomar un menor tiempo. • Posee una simplicidad en el diseño. • Son económicos. • Es de fácil funcionamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resulta difícil alcanzar los parámetros de homogeneidad deseados. • Por lo general se los utiliza para capacidades pequeñas (1-20 ton/día). • La producción es discontinua.
Deshidratador de túnel	<ul style="list-style-type: none"> • Logra deshidratar grandes volúmenes de alimento en poco tiempo (entre 5-6 h). • Ofrece un menor gasto energético. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de sobrecalentamiento • Demandan una gran área para su construcción

	<ul style="list-style-type: none"> • La máquina no necesita gran intervención del operario. • Son empleados para deshidratar grandes cantidades de producto. • La curva tiempo/ secado es eficaz para cada alimento. 	
--	---	--

2.6 Matriz de selección de deshidratadores

Para comenzar con la elaboración de la matriz, se fijaron los parámetros más influyentes y de mayor relevancia para el cliente, para lo cual se subdividió en dos categorías: parámetros tecnológicos y de desempeño. Se ha fijado una puntuación en escala de 1 a 5 para calificar cada variable de acuerdo con la necesidad del cliente, siendo esta elección la parte más importante al momento de efectuar el diseño del deshidratador.

Se fija un puntaje evaluativo de 1-10 para calificar los parámetros propios de cada tipo de deshidratador, evaluando así su relevancia frente a cada criterio antes establecido. Mediante una relación necesidad de cliente/ Características que ofrece el modelo, se puede identificar la factibilidad de cada máquina y los resultados que se puedan llegar a lograr llevando a cabo su diseño.

Tabla 2.6 Matriz de decisión de tipos de deshidratadores [Elaboración propia]

Criterio/Modelo	Importancia para el cliente	Des. de horno		Des. de bandejas		Des. de túnel	
Parámetros de desempeño							
Capacidad	5	6	30	9	45	8	40
Temperatura de trabajo	2.5	9	22.5	8	20	5.5	13.75
Velocidad de secado	4	5	20	7.5	30	7	28
Mantenimiento	3.5	4	14	8	28	3	10.5
Potencia requerida	3.5	3	10.5	6.5	22.8	8	28

Parámetros tecnológicos							
Calidad de producto deshidratado	4.5	7	31.5	6.5	29.3	5.5	24.75
Costo	4	2	8	8	32	4.5	18
Seguridad	2.5	6	15	7	17.5	7.5	18.75
Costo de mantenimiento	3.5	5	17.5	7	24.5	5	17.5
Facilidad de uso	3.5	7	24.5	9	31.5	8	28
TOTAL			193.5		281		227.25

Se optó por realizar un modelo de deshidratador de bandejas, cuyo principio de funcionamiento se da a través de resistencias eléctricas.

2.7 Diseño del deshidratador

Una vez se ha seleccionado la mejor alternativa, se va a describir a continuación los requerimientos más importantes a tener en cuenta para el diseño del deshidratador de bandejas. Para efectuar un diseño idóneo, es necesario considerar características como dimensiones, cantidad a deshidratar, condiciones térmicas, principales componentes que se deben considerar para lograr los parámetros a los que se logra los niveles de eliminación de agua correcta en un tiempo óptimo.

2.7.1 Fundamentos de diseño

Dentro del diseño, es necesario tener en cuenta varias conclusiones recopiladas de investigaciones previas y que serán de ayuda, de las que se tienen:

- Es necesario la utilización de bandejas perforadas, esto se justifica por la gran cantidad de producto a deshidratar para lo que es necesario tener una gran área de transferencia de calor.
- Se debe operar a gran velocidad del aire con el objetivo de que ocurra una adecuada transferencia de calor en el aire circundante.
- Debe existir un espaciado adecuado entre las bandejas.
- El equipo debe estar diseñado de tal manera que se pueda aplicar mantenimiento de una manera sencilla.

2.7.2 Cantidad por deshidratar

Debido a la gran cantidad de producto que se quiere deshidratar, se debe idear la manera de distribuir los 453 kg de Orito, por lo que se especifica que el deshidratador debiese trabajar en dos turnos de 226.5 kg de producto.

2.7.3 Condiciones térmicas

De acuerdo con primeras personas que se han involucrado al tema de la deshidratación del Orito en el Ecuador, se estima que la temperatura de trabajo debe ser de aproximadamente 60°C. Teniendo esta premisa, el diseño del deshidratador debe estar modelado para exponerse a temperaturas superiores al ambiente de Bucay, dicho deshidratador debe mantener una gran resistencia al someterse a altas temperaturas.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es analizar la energía que se va a disipar al momento de abrir la cabina, puesto que para volver a calentar las bandejas y alcanzar la temperatura de trabajo se empleará más energía.

Para conocer la humedad relativa del cantón Bucay, se revisó anuarios meteorológicos que proporciona el Instituto Nacional de Meteorología y Minería (INAMHI), el cual nos otorga datos del sector Hacienda San Rafael, cercano a la zona de estudio. Los datos se muestran en la tabla 2.4 son del último anuario que ha proporcionado la institución (2013).

**Tabla 2.7 Humedad y temperatura mensual promedio del cantón Bucay
[Instituto Nacional de Meteorología y Minería (INAMHI)]**

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Humedad relativa mensual promedio(%)
Julio	22.3	88
Agosto	22.8	85
Septiembre	23.6	83
Octubre	23.3	86
Noviembre	23.5	85
Diciembre	24.8	81

Tabla 2.8 Datos promedio para el cantón Bucay [Elaboración propia]

Presión atmosférica promedio (kPa)	Humedad relativa promedio (%)	Temperatura promedio (°C)
97.46	84.7	23.38

Los datos de la tabla 2.7 más la altitud de la zona, fueron utilizados como parámetros de entrada para la obtención de datos mediante la carta psicrométrica. Se empleó el software Psychrometric Calculator para obtener las propiedades del aire que se muestran en la tabla 2.8. A la cámara de secado ingresa el aire a la temperatura del cantón para posteriormente ser calentado a la temperatura de 60°C. Para llegar a tener un buen deshidratado hay que tener en cuenta que cada vez que se aumente la temperatura 20°C, la capacidad de acumular vapor de agua se triplica y la humedad relativa se reduce una tercera parte.

2.7.4 Estimación de número de bandejas

Para estimar el número de bandejas a utilizar dentro de la cámara de secado, es necesario conocer las características esenciales del guineo Orito. Según los requerimientos del cliente, el guineo Orito que mejor se adecúa al proceso de deshidratación es de un tamaño con un calibre de 40, por lo que, mediante pruebas en el laboratorio, se ha podido determinar las siguientes propiedades iniciales que se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.9 Propiedades mediante tabla psicrométrica del ambiente de la zona [Elaboración propia]

Parámetros iniciales		
Parámetro	Unidad	Cantidad
Altitud	m	320
Temperatura promedio	°C	23.38
Presión atmosférica	kPa	97.46
Humedad relativa promedio	%	84.7
Parámetros obtenidos		
Temperatura de bulbo húmedo	°C	21.46

Temperatura de rocío	°C	20.67
Entalpía	kJ/kg	64.42
Densidad	kg/m ³	1.135
Volumen específico	m ³ /kg	0.8963
Humedad específica	kg _{agua} /kg _{aire seco}	0.0161

Tabla 2.10 Características iniciales del guineo orito [Elaboración propia]

Característica	Unidad	Valor
Peso	Kg	0.11
Diámetro	m	0.04
Humedad inicial de guineo orito	%	80
Humedad final de guineo orito	%	12

Posteriormente se inició el cálculo de la masa del orito en base húmeda usando una rodaja de guineo orito de 5 mm de espesor utilizando la siguiente ecuación:

$$W_o = S_w \cdot X_{wo} \quad (2.8)$$

$$W_o = 0.0908 \text{ kg}$$

Donde:

W_o : Masa del guineo en base húmeda [kg]

S_w : Masa media del orito

X_{wo} : Humedad inicial del orito

Así mismo se calculará la masa evaporable de agua presente en el orito:

$$S_d = S_w - W_o \quad (2.9)$$

$$S_d = 0.0227 \text{ kg}$$

Donde:

S_d : Masa de agua a evaporar dentro del guineo [kg]

W_o : Masa del orito en base húmeda [kg]

$$X_{do} = \frac{W_o}{S_d} \quad (2.10)$$

$$X_{do} = 4 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seca}}}$$

$$S_{wf} = \frac{S_d \cdot 100}{100 - X_{wf}} \quad (2.11)$$

Donde:

X_{do} : Humedad en base seca inicial

X_{wf} : Humedad en estado final del orito

S_{wf} : Contenido de humedad en base húmeda en relación a la humedad en base seca.

Con este último parámetro se obtuvo la masa total del guineo orito en base seca mediante la siguiente expresión.

$$W_f = S_{wf} \cdot X_{wf} \quad (2.12)$$

Donde:

W_f : Masa total del guineo orito en base seca

Se calculó posteriormente la humedad en base seca final de la muestra usando los valores obtenidos de masa total en base seca y la masa de agua a evaporar en el interior.

$$X_{df} = \frac{W_f}{S_d} \quad (2.13)$$

Donde:

X_{df} : Humedad en base seca final

$$S_{eq} = \frac{S_d \cdot 100}{100 - X_{eq}} \quad (2.14)$$

$$S_{eq} = 0.0255 \text{ kg}$$

$$W_{eq} = S_{eq} \cdot X_{eq} \quad (2.15)$$

$$W_{eq} = 0.0028 \text{ kg}$$

Donde:

S_{eq} : Masa total en equilibrio

W_{eq} : Masa de equilibrio en base húmeda

X_{eq} : Humedad en equilibrio

Por medio de la masa de equilibrio en base húmeda y la masa de agua a evaporar se obtuvo la humedad en base seca de equilibrio.

$$X_{\text{deq}} = \frac{W_{\text{eq}}}{S_{\text{d}}} \quad (2.16)$$

$$X_{\text{deq}} = 0.12 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seca}}}$$

De acuerdo con los datos de las figuras 2.3 y 2.4, se obtuvo una humedad crítica X_c de 22%.

$$S_{\text{wc}} = \frac{S_{\text{d}} \cdot 100}{100 - X_c} \quad (2.17)$$

$$S_{\text{wc}} = 0.029 \text{ kg}$$

$$W_c = S_{\text{wc}} \cdot X_c \quad (2.18)$$

$$W_c = 0.006 \text{ kg}$$

Donde:

S_{wc} : Masa crítica inicial

W_c : Masa crítica en base húmeda

Se calculó la humedad crítica en base seca.

$$X_{\text{dc}} = \frac{W_c}{S_{\text{d}}} \quad (2.19)$$

$$X_{\text{dc}} = 0.28 \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{seca}}}$$

Donde:

X_{dc} : Humedad crítica en base seca

A continuación, se determinó la cantidad de agua a evaporarse en el interior del guineo orito.

$$K_{\text{gH}_2\text{O evap}} = W_o - W_f \quad (2.20)$$

Donde:

$K_{\text{gH}_2\text{O evap}}$: Masa de agua a evaporarse en el interior del orito

W_o : Masa del orito en base húmeda [kg]

W_f : Masa del orito en base seca [kg]

$$C_{\text{evap}} = K_{\text{gH}_2\text{O evap}} \cdot \frac{C_f}{S_w} \quad (2.21)$$

Donde:

C_f : Cantidad de orito por deshidratar

S_w : Masa media en una rodaja de 5 mm de espesor de orito

Con estos datos, fue posible obtener la masa final de orito deshidratado.

$$C_d = C_f - C_{evap} \quad (2.22)$$

C_d : Masa final de orito deshidratado

2.7.5 Fuente de calor

El empleo de resistencias eléctricas como fuente de calor permite una facilidad de montaje, capacidad de variación de energía y la disposición existente en el mercado permitieron escoger esta fuente de calor por sobre el gas. Entre las disponibles comercialmente se encuentran las resistencias de 220V, 60 Hz de entre 1kW y 4kW de potencia.

El aire que fluye es calentado por medio de las resistencias eléctricas. Durante este proceso no se cuenta con humidificación, por lo que se mantiene constante el valor de la humedad relativa. Teniendo como base este concepto, fue aplicable el concepto de conservación de masa, es decir, que la cantidad de aire que entra como la que sale deberá ser la misma. Un empleo de gas como fuente de energía involucra la implementación de quemadores, aumentando el costo del equipo y requiere una mayor disposición de espacio para su construcción.

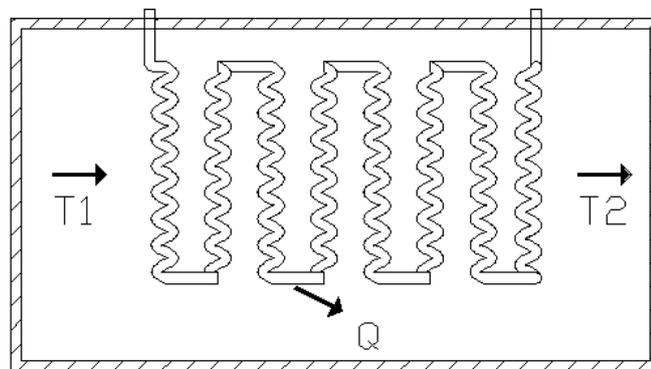


Figura 2.6 Disposición de resistencias eléctricas [Elaboración propia]

2.8 Simulación

Con el fin de obtener una aproximación al proceso de deshidratación del producto, se realizó una simulación en SolidWorks versión estudiantil. Usando los parámetros de entrada como presión atmosférica de Bucay (98460 Pa.),

velocidad de rotación del ventilador de 1140 RPM y una temperatura de resistencias eléctricas de 333.2 K, se simuló el ingreso de aire caliente a la cámara de secado desde su calentamiento previo generado por las resistencias hasta la salida por medio de las rejillas de extracción en la parte inferior de la cámara. Se usó un ancho de malla de 0.7m como factor de precisión a la simulación final.

2.9 Prototipo

Constó de un ducto de dimensiones de 500 x 500 mm donde se introdujo un portabandejas con capacidad para 3 bandejas de dimensiones de 700 x 470 mm. Se incluyó sobre estos una malla plástica de cuadro 0.5 x 0.5 cm verde para permitir el flujo de aire sobre la mayor parte de la superficie de los oritos. Se construyó un prototipo con una capacidad de 18.72 kg con la finalidad de analizar la disposición del número de oritos por bandeja, de modo que minimice el número de estas y por lo tanto reducir las dimensiones de la estructura exterior de hierro galvanizado, así como el número de portabandejas. Así mismo, la porción individual de orito colocado (entero o medio orito) es un factor que influyó en el dimensionamiento y los cálculos de transferencia de calor de acuerdo con el área individual de cada uno. A continuación, se detallan los parámetros de la fruta para el dimensionamiento de bandejas, incluyendo un dato promedio de número de oritos por bandejas.

2.9.1 Materiales

Tabla 2.11 Materiales para construcción de prototipo [Elaboración propia]

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Varilla cuadrada 10x10 mm	u	2	6.68	13.36
2	Ángulo 25x25x3 mm	u	2	8.84	17.68
3	Plancha galvanizada	u	1	25	25
4	Rejilla 568x30 mm	u	1	12	12
5	Bisagra 38x68 mm	u	2	1.25	2.50
6	Agarradera 125x25 mm	u	1	2	2
7	Varilla lisa 5 mm	u	2	1	2
TOTAL					74.50

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Dimensionamiento de la cámara de secado

Para el diseño de la cámara de secado se tomaron en cuenta los parámetros expuestos en el Capítulo 2 y que benefician al deshidratado del producto húmedo. En este sentido se elaboró un prototipo con el fin de determinar el tipo de material con el cual se fabricarán los portabandejas y su espaciamiento para permitir el correcto flujo de aire.

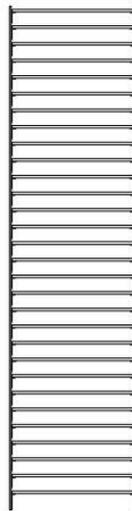


Figura 3.1 Diseño del portabandejas. [Elaboración propia]

Tabla 3.1 Parámetros de oritos para el dimensionamiento del secador para una capacidad de 453 Kg. [Elaboración propia]

Longitud de orito [m]	0.12
Diámetro de orito [m]	0.04
Peso de orito [kg]	0.1135
Número de oritos por bandejas	55
Área superficial de un orito [m ²]	0.015
Volumen de un orito [m ³]	0.00015
Número de oritos totales	3991

Las normas de construcción de deshidratadores recomiendan un espaciado de 40 mm entre bandejas para facilitar el flujo de aire (Perry & Green, 2001).

De acuerdo con esta normativa, se procedió a calcular el número de bandejas por cada portabandejas considerando la altura propia para la colocación del producto que no excedió los 2 metros de altura.

Se consideró además la colocación de los oritos sobre las bandejas de forma que no se apilen uno sobre otros. Esto impide el secado uniforme de las muestras, por lo que se creó una disposición a lo largo y a lo ancho de las bandejas usando oritos completos con el fin de optimizar la cantidad de material en los portabandejas. La disposición horizontal se basó en colocar los oritos enteros transversalmente a lo largo de la bandeja permitiendo una mayor carga de producto (6.24 kg) respecto a la disposición vertical (5.78 kg).

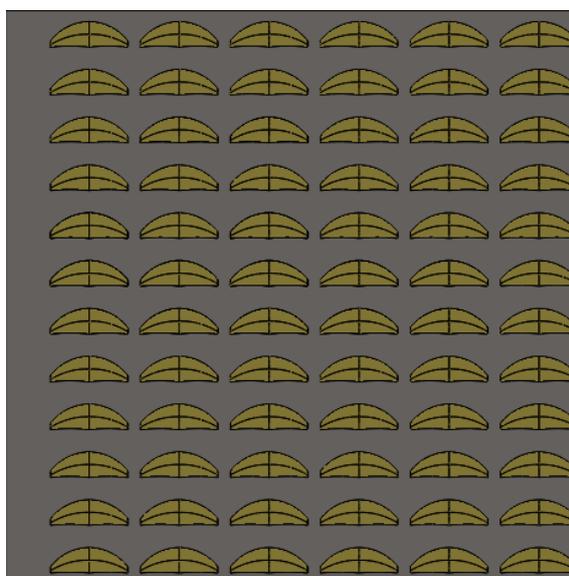


Figura 3.2 Disposición horizontal de oritos [Elaboración propia]

La disposición horizontal de oritos enteros permitió dimensionar a los portabandejas:

Tabla 3.2 Dimensionamiento de bandejas [Elaboración propia]

Ancho de bandejas [m]	0.47
Largo de bandejas [m]	0.70
Número de oritos a lo largo	5
Número de oritos a lo ancho	11
Oritos enteros por bandeja	55
Peso de oritos por bandeja [kg]	6.24
Número de bandejas total	72

El dimensionamiento de bandejas se hizo de acuerdo con el factor 3/2 largo sobre ancho, evitando geometrías irregulares. A partir del análisis anterior, podemos indicar que se requieren 3 portabandejas con capacidad de 29 bandejas cada uno. Con un espaciamiento entre bandejas de 4 cm, establecido por el autor Perry (2010). Finalmente, la altura máxima de los portabandejas no excedió los 2 metros de altura.

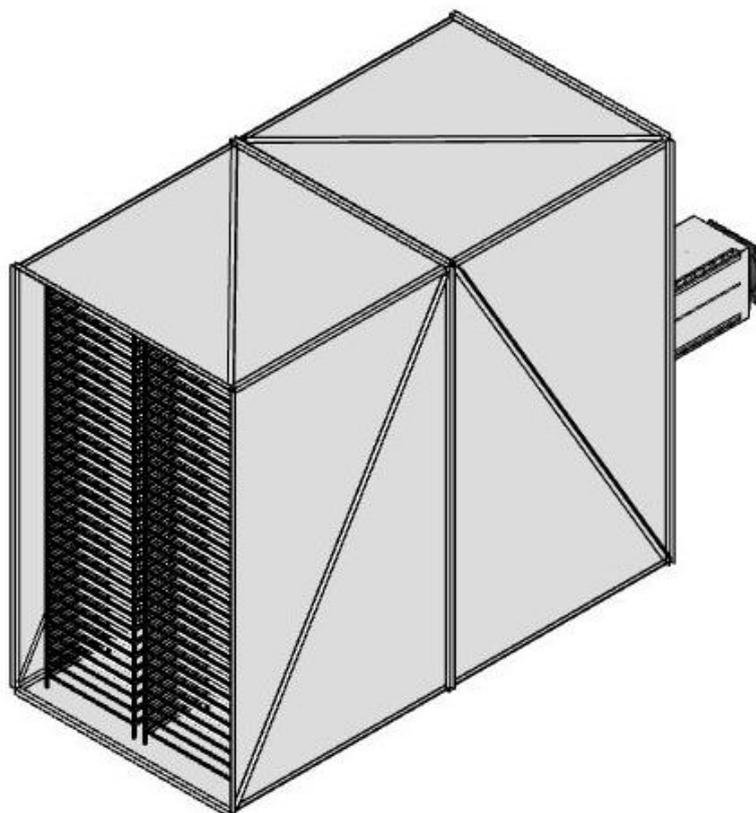


Figura 3.3 Cámara de secado [Elaboración propia]

Tabla 3.3 Dimensionamiento del portabandejas [Elaboración propia]

Altura de cada portabandejas [m]	1.97
Espaciamiento entre bandejas [m]	0.04
Número de bandejas por portabandejas	29
Número de portabandejas total	3

El número de portabandejas permitió el dimensionamiento de la cámara de secado. Al reducir el número de soportes de bandejas, se logró acomodarlos

de tal forma que la implementación de materiales beneficie al presupuesto. En cuanto a la disposición de los portabandejas, se utilizaron: una fila con dos portabandejas con un espacio de 40 mm entre ellos y 40 mm de espacio entre paredes y un portabandeja en solitario en la segunda fila.

La reducción de materiales en el interior del deshidratador garantizó una mejor transferencia de calor con el producto.

3.2 Dimensiones de la cámara de secado

Se diseñó la cámara de secado teniendo como referencia el número de portabandejas en la cámara de secado. Para las estructuras de los portabandejas, se requirió al menos 50 mm de espacio entre cada uno a las paredes de la cámara para garantizar el libre flujo de aire.

- Largo: 3185 mm
- Ancho: 1220 mm
- Alto: 2000 mm

3.3 Valores de masa durante secado

En la Tabla 3.4 se conocen los valores de producto húmedo evaporado de la carga final. Estos valores corresponden a la cantidad en kilogramos de masa de orito durante el proceso de secado debido a la contracción de cada guineo.

Tabla 3.4 Resultados de masa del producto [Elaboración propia]

Variable	Unidad	Nomenclatura	Valor
Masa del producto húmedo	kg	W_o	0.0908
Masa de agua evaporable	kg	S_d	0.0227
Humedad en base húmeda respecto a humedad en base seca	kg	S_{wf}	0.0258
Masa total del producto en base seca	kg	W_f	0.0031
Masa total de equilibrio	kg	S_{eq}	0.0255
Masa de equilibrio en base húmeda	kg	W_{eq}	0.0028
Masa inicial crítica	kg	S_{wc}	0.0291
Masa en base húmeda crítica	kg	W_c	0.0064

3.4 Valores de humedad durante secado

A continuación, se detallan los porcentajes de humedad para la muestra de 453 kg.

Tabla 3.5 Humedades del guineo orito [Elaboración propia]

Variable	Unidad	Nomenclatura	Valor
Diámetro de orito	kg	D	0.04
Peso unitario	kg	P_u	0.1135
Área superficial	m ²	A_s	0.0150
Volumen promedio	m ³	V_m	0.00015
Densidad	kg/m ³	ρ	980
Humedad inicial	%	X_{wo}	80%
Humedad final	%	X_{wf}	12%
Humedad en base seca inicial	kg _{H2O} /kg _{AS}	X_{do}	4
Humedad en base seca final	kg _{H2O} /kg _{AS}	X_{df}	0.136
Humedad de equilibrio	%	X_{eq}	11%
Humedad en base seca de equilibrio	kg _{H2O} /kg _{AS}	X_{deq}	0.123
Humedad crítica	%	X_c	22%
Humedad en base seca crítica	kg _{H2O} /kg _{AS}	X_{dc}	0.2820

En la Tabla 3.6 se pudo conocer la masa final del producto deshidratado, de 102.9 kilogramos con una pérdida de humedad de 350 kg de agua a partir de la carga inicial de 453 kg.

Tabla 3.6 Carga del producto a secar [Elaboración propia]

Variable	Unidad	Nomenclatura	Valor
Carga del producto	kg	C_f	453
Cantidad de agua por evaporar	kg _{H2O}	C_{evap}	350.04
Masa final del producto deshidratado	kg	C_d	102.95
Masa seca de la carga	kg	C_s	90.6
Área superficial por kg de materia seca	m ² /kg _{AS}	A_{ms}	0.51

3.5 Balance de masa y energía del sistema

En el balance de masa y energía del sistema se realizó en tres sitios diferentes: en el suministro de aire, en el calentamiento producto del contacto con las resistencias y en la salida por medio de las rejillas de extracción. En

la región derecha de la figura 3.4 se encuentra el suministro del aire a la cámara de calentamiento. Dentro de esta se encuentran las resistencias que generan el calor que viaja dentro de la estructura.

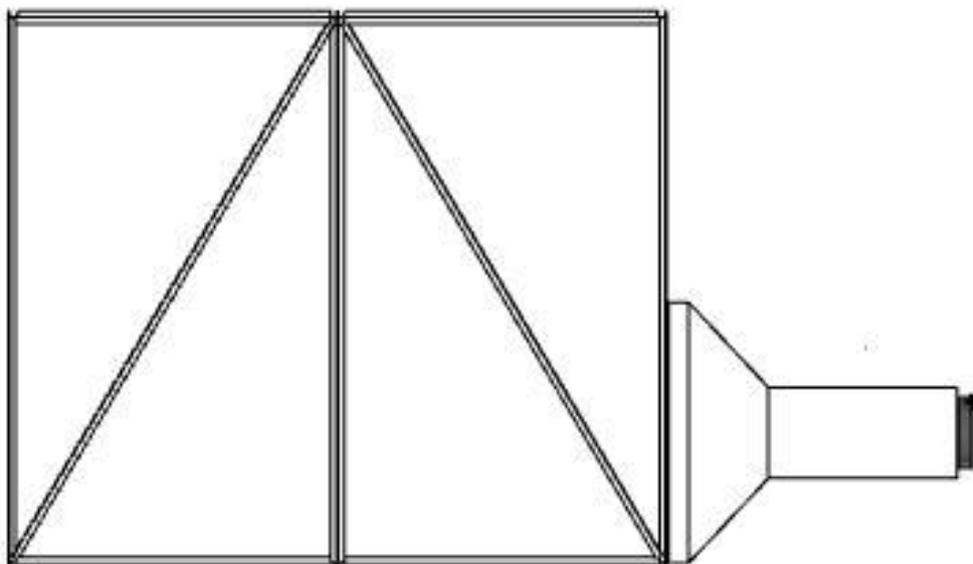


Figura 3.4 Vista lateral de diseño final [Elaboración propia]

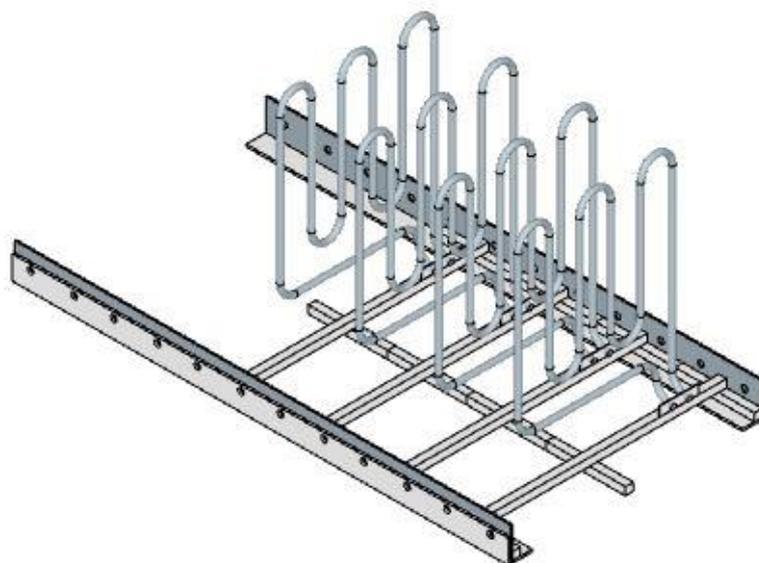


Figura 3.5 Disposición de resistencias eléctricas dentro de la cámara de calentamiento [Elaboración propia]

Para el análisis se incluyeron las condiciones ambientales de la zona de Bucay tales como la humedad relativa y se empleó una temperatura de 60°C en el interior de la cámara.

Se determinó la temperatura de bulbo húmedo T_{bh} [°C] y el calor latente de vaporización h_{fg} [kJ/kg] usando la tabla de Temperatura vs Humedad relativa a 60°C junto a la tabla de agua saturada.

Humedad relativa [%]	Humedad específica [g _{H2O} /kg _{AS}]
49.692	38
50.938	X
52.44	39

$$T_{bh} = 38.45 \text{ [°C]}$$

$$h_{fg} = 2358.44526 \text{ [kJ/kg]}$$

Tabla 3.7 Presión y masas moleculares [Elaboración propia]

P_T	760
M_{H_2O}	18
M_{AIRE}	28.84

Donde:

P_T : Presión absoluta [mmHg]

M_{H_2O} : Masa molecular del agua [g/mol]

M_{AIRE} : Masa molecular del aire [g/mol]

Tabla 3.8 Condiciones entrada de aire [Elaboración propia]

T	760
H_r	18
H_{esp}	10.25
v_{aire}	28.84
h_{aire}	431.1

Donde:

T: Temperatura ambiental en la entrada [°C]

H_r : Humedad relativa en la entrada del aire medida del ambiente [%]

H_{esp} : Humedad específica en la entrada del aire medida del ambiente [%]

v_{aire} : Volumen específico del aire húmedo [lt/kg_{aire seco}]

h_{aire} : Entalpía del aire en la entrada del sistema [kJ/kg]

Tabla 3.9 Condiciones aire calentado [Elaboración propia]

T	60
H _r	8.2
H _{esp}	10.22
u _{aire}	962.3
h _{aire}	1238.7

Tabla 3.10 Condiciones salida del aire [Elaboración propia]

T	60
H _r	60
H _{esp}	83.45
u _{aire}	1073.4
h _{aire}	9682.2
η	24.4

Donde:

η: Eficiencia del sistema [%]

Tabla 3.11 Parámetros requeridos durante el secado [Elaboración propia]

g _{H₂O evap} /Kg _{AS}	73.23
Kg _{AS}	3714.06
V _{Aire} [lt]	3145073
V _{Aire} [m ³]	3145.07

g_{H₂O evap}/Kg_{AS}: Gramos de agua evaporada por kilogramos de aire seco

Kg_{AS}: Kilogramos de aire seco para evaporar la humedad de la muestra

V_{Aire}: Volumen de aire requerido para evaporar la muestra

Tabla 3.12 Balance general del sistema [Elaboración propia]

	Unidades	Entrada	Salida
Aire seco	kg	3714.06	3714.06
Agua	kg	38.07	309.93
Temperatura	°C	20	60
Entalpía	kJ/kg aire seco	431.10	9682.2
Calor total de la cámara	kJ	1601134.71	35960349.24
Calor total suministrado	kJ	34359214.52	

Demanda de energía requerida teórica (100%)	kW	10.10
Eficiencia estimada	%	24.4
Demanda de energía requerida real	kW	41.46

3.6 Cálculos de ventilación

Se determinó el valor del caudal en la cámara de secado. Por motivos de geometría del equipo, se seleccionó un flujo ascendente de aire con velocidades entre 1 y 2 m/s.

Tabla 3.13 Parámetros de flujo de aire en la cámara de secado [Elaboración propia]

	Unidad	Nomenclatura	Valor
Temperatura	°C	T	60
Densidad del aire	kg/m ³	ρ	1.06
Número de Prandtl	-	Pr	0.7
Viscosidad dinámica	kg/m * s	μ	0.00002
Conductividad térmica	W/m * K	k	0.26
Número de Nusselt	-	Nu	802
Coefficiente de convección	W/m ² * K	h	12.80

Tabla 3.14 Áreas de paso de flujo de aire [Elaboración propia]

	Unidad	Nomenclatura	Valor
Velocidad de aire en la cámara de secado	m/s	v	1
Área libre entre bandejas	m ²	A _{libre}	0.028
Área libre total entre bandejas	m ²	A _{libreTOTAL}	4.2
Flujo de aire en la cámara de secado	m ³ /s	Q	4.2
Flujo de aire en la cámara de secado	CFM	Q	8907

En la tabla 3.13 se observan los parámetros asociados al flujo de aire al recorrer la cámara de secado. Se obtuvo el número de Nusselt adimensional para flujos turbulentos con número de Reynolds > 4000, el cual fue de 802. Previamente se había obtenido el número de Prandtl para el aire a 60°C. El

comportamiento del fluido al circular por la cámara de secado fue acorde a lo previsto.

La tabla 3.14 presenta los requerimientos de aire para la totalidad de la cámara de secado. Se incluyó el parámetro de área libre entre bandejas con el fin de considerar el área libre total existente incluyendo la separación de los portabandejas con las paredes de la cámara de secado. Para un flujo de 9000 CFM ascendente se requirió que aumente el tiempo de residencia del aire caliente en las bandejas, por lo que se trabajó con una velocidad de flujo de 1 m/s. La mayoría de estos ventiladores no poseen una regulación de velocidad acorde a lo necesitado para deshidratar frutas, por lo que se usará un reóstato para mantener la velocidad requerida.

3.7 Pérdidas por fricción del aire

La tabla 3.15 presenta los parámetros con los cuales se determinaron las pérdidas de energía por fricción en el fluido. El flujo de aire que atraviesa la cámara de secado partió desde la cámara de calentamiento a través de las rejillas de extracción. Esta rejilla permitió laminar las líneas de flujo cuyo comportamiento era turbulento al expandirse gradualmente en la tobera. La variación de geometría por la que atraviesa el flujo se obtuvo mediante los valores de diámetro hidráulico y perímetro mojado con el fin de simular dicho volumen de control.

Mediante la obtención de un número de Reynolds de 86494 se determinó un flujo turbulento en la cámara de secado. Esto conllevó a la aparición de pérdidas de energía del fluido al juntarse con las paredes y geometrías de la cámara. Se obtuvo un valor de pérdidas de energía por fricción de 0.001566 metros en el interior.

Tabla 3.15 Parámetros de pérdidas por fricción [Elaboración propia]

	Unidad	Nomenclatura	Valor
Área de la sección transversal	m ²	A _c	2.43
Perímetro mojado	m	P _m	6.46
Diámetro hidráulico	m	D _H	1.51
Viscosidad dinámica del fluido	kg/m * s	μ	0.00002

Densidad del fluido	kg/m ³	ρ	1.00
Número de Reynolds	-	Re	86494
Rugosidad de la superficie del ducto	m	ϵ	0.00
Rugosidad relativa del ducto	-	r	10033.36
Pérdidas de energía por fricción	m	h_L	0.001566

Para determinar el factor de fricción se tomó en cuenta el flujo turbulento en la cámara de secado. La presencia de esquinas influyó en este valor debido a la falta de geometría aerodinámica que dinamice el flujo del aire, generando turbulencias en las paredes.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D_H}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2} \quad (3.1)$$

$$f = 0.02$$

Posteriormente se determinaron las pérdidas de energía por fricción mediante la siguiente ecuación:

$$h_L = f * \left(\frac{L}{D_H} \right) * \frac{v^2}{2g} \quad (3.2)$$

$$h_L = 0.0015 \text{ [m]}$$

3.7.1 Caída de presión por fricción

Se determinó la caída de presión del aire mediante la siguiente ecuación 3.3:

$$\Delta P = \rho * g * h_L \quad (3.3)$$

$$\Delta P = 0.015 \text{ [Pa]}$$

3.8 Selección del ventilador

Se seleccionó el ventilador de acuerdo con los valores tabulados previamente. La demanda actual de caudal fue de 8907 CFM, por lo tanto, se procedió a la elección del ventilador.

Debido a las curvas de funcionamiento de los fabricantes de ventiladores, la selección del ventilador se basó en la corrección cuando éste no se encuentra

trabajando bajo condiciones atmosféricas ambientales de la zona (760 mmHg y 20°C).

Con los valores determinados de caída de presión y pérdidas del sistema, la selección comercial del ventilador fue de 9000 CFM para la carga de 453 kg. En la tabla 3.15 se presentan las especificaciones del ventilador seleccionado:

Tabla 3.16 Especificaciones del ventilador [Elaboración propia]

Marca	Heavy-Duty Exhaust Fan
Modelo	#if36
Capacidad nominal	9000 CFM
Dimensiones	45 x 15 x 46 pulgadas
Potencia	¼ HP

3.9 Velocidad de secado

De acuerdo con los datos de las tablas 2.3 y 2.4 se obtuvo la velocidad de secado promedio R_c . Dicho valor representa la cantidad de gramos de humedad extraída por hora de deshidratado. El valor experimental se encuentra a continuación para la muestra de 453 kg de guineo orito:

$$R_c = 28.25 \left[\frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right]$$

3.10 Calor suministrado

Se determinó el tiempo de secado mediante el uso de la masa extraída de agua de la carga total. La función de la fuente de calor fue de evaporar la mayor cantidad de materia húmeda de los oritos de acuerdo con la potencia suministrada por cada resistencia. El valor del calor latente de vaporización a la temperatura de 60°C permitió conocer el calor necesario para extraer la materia húmeda y posteriormente conocer el consumo de energía en 1 hora a través de la unidad [kWh].

El número de resistencias, así como la potencia de cada una, influyó en el tiempo total de secado de la carga de 453 kg. Para la cantidad de calor necesario para extraer el agua se utilizó la ecuación 3.4:

$$Q = C_{\text{evap}} \cdot h_{\text{fg}} \quad (3.4)$$

$$Q = 825563.044 \text{ [kJ]}$$

$$Q = 229.32 \text{ [kWh]}$$

La ecuación 3.4 pudo expresarse en unidades de consumo de energía con el fin de conocer el tiempo de secado.

3.11 Tiempo de secado

La elección de las resistencias radica en la cantidad de tiempo de funcionamiento del equipo. A mayor potencia, mayor cantidad de calor suministrado y, por tanto, menor tiempo de secado. La disposición de resistencias en serie permitió obtener la potencia total requerida, brindando la opción de variar dicho valor en caso de no necesitar la potencia total empleada para la carga final del producto.

Con el fin de reducir los costos y brindar un fácil mantenimiento en la cámara de calentamiento, se utilizaron 2 resistencias con una potencia de 4 kW cada una.

$$P_{total} = n_{resistencias} \cdot P_{unitaria} \quad (3.5)$$

$$P_{total} = 8 \text{ [kW]}$$

El tiempo de secado total se obtuvo empleando el calor en unidades de consumo energético y la potencia total de las resistencias utilizadas mediante la ecuación 3.6:

$$T_{TOTAL} = Q \cdot P_{total} \quad (3.6)$$

$$T_{total} = 29 \text{ [h]}$$

3.12 Resultados de la simulación

Se obtuvieron comportamientos de la velocidad y trayectoria del fluido a lo largo de la recámara de secado. Se pudo evidenciar que el flujo de aire que atraviesa el ventilador a velocidad de 1140 RPM atraviesa la cámara de calentamiento hacia la rejilla la cual se encarga de laminar el flujo que proviene turbulento desde la cámara de calentamiento, se puede presenciar como el flujo atraviesa la recámara de secado en su totalidad.

El aire caliente laminado pasa por la parte inferior de la cámara de secado y éste, al poseer una menor densidad que el aire del ambiente, se eleva hacia

la parte superior de la cámara, calentando así toda el área de la estructura de secado como se puede apreciar en la figura 3.6.

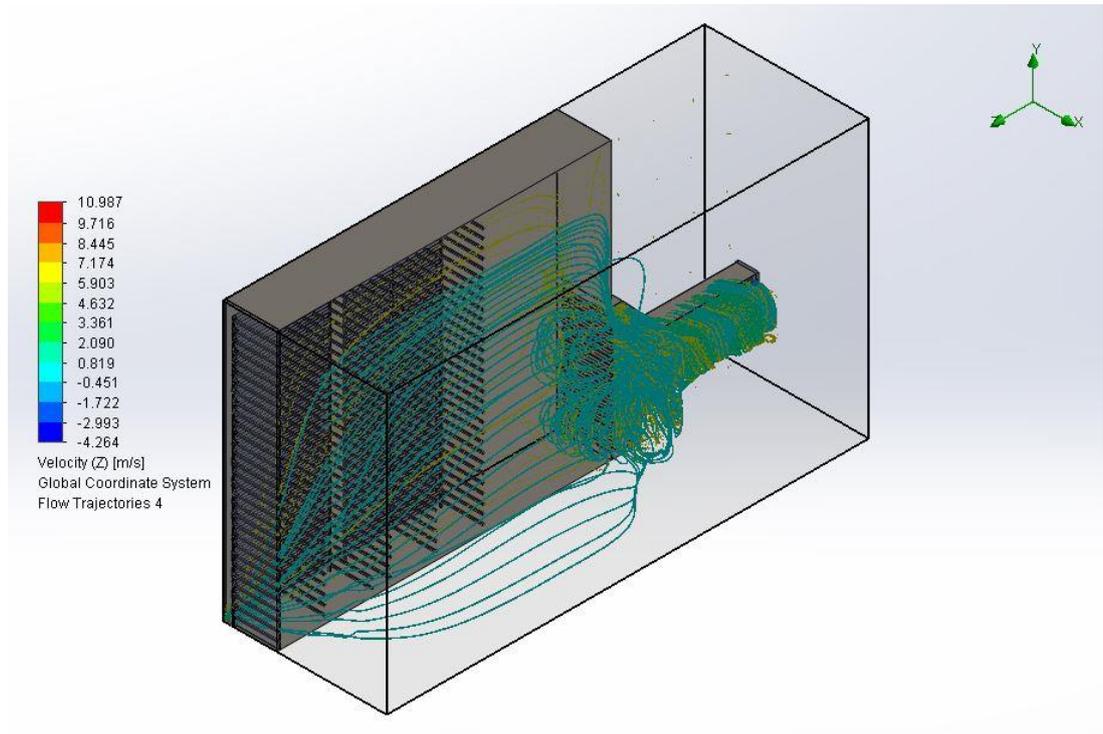


Figura 3.6 Velocidad y trayectoria del fluido en la recámara de secado
[Elaboración propia]

Mediante en corte lateral, se observa en la figura 3.7 el comportamiento del aire caliente en el interior de la cámara de secado. Se puede identificar que la velocidad del fluido se ve disminuida debido a las pérdidas generadas en el paso de la rejilla y en el soporte de las bandejas

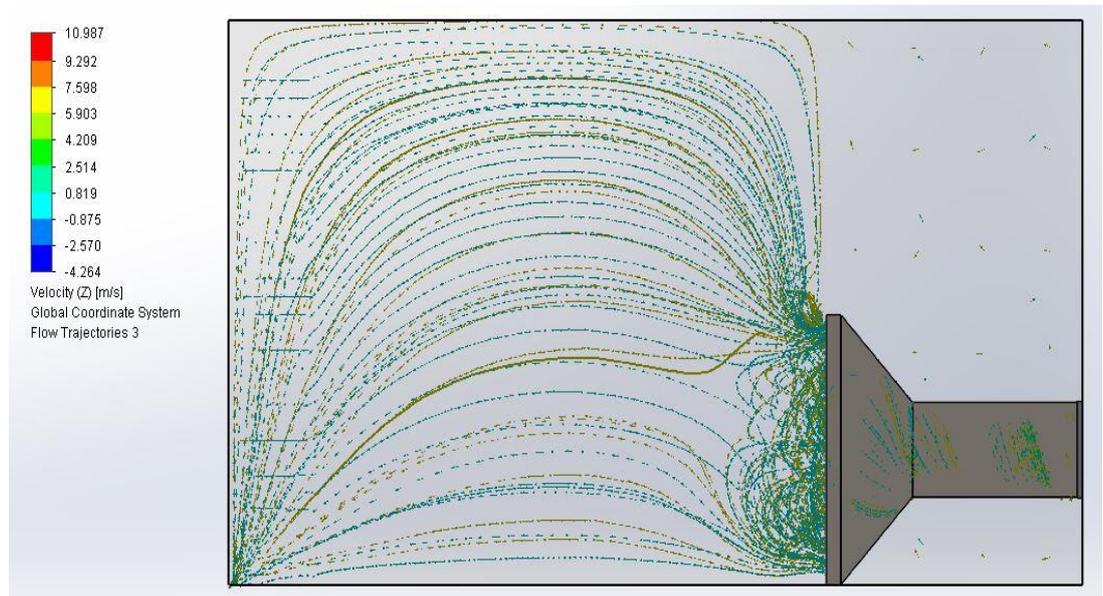


Figura 3.7 Ingreso de aire a la cámara de secado – vista lateral [Elaboración propia]

Haciendo un corte frontal, se muestra el comportamiento del fluido antes de llegar a la rejilla, el cual aumenta la velocidad del flujo de aire a través de los álabes formando un efecto ciclón en el interior de la campana, tal como se puede apreciar en la figura 3.8.

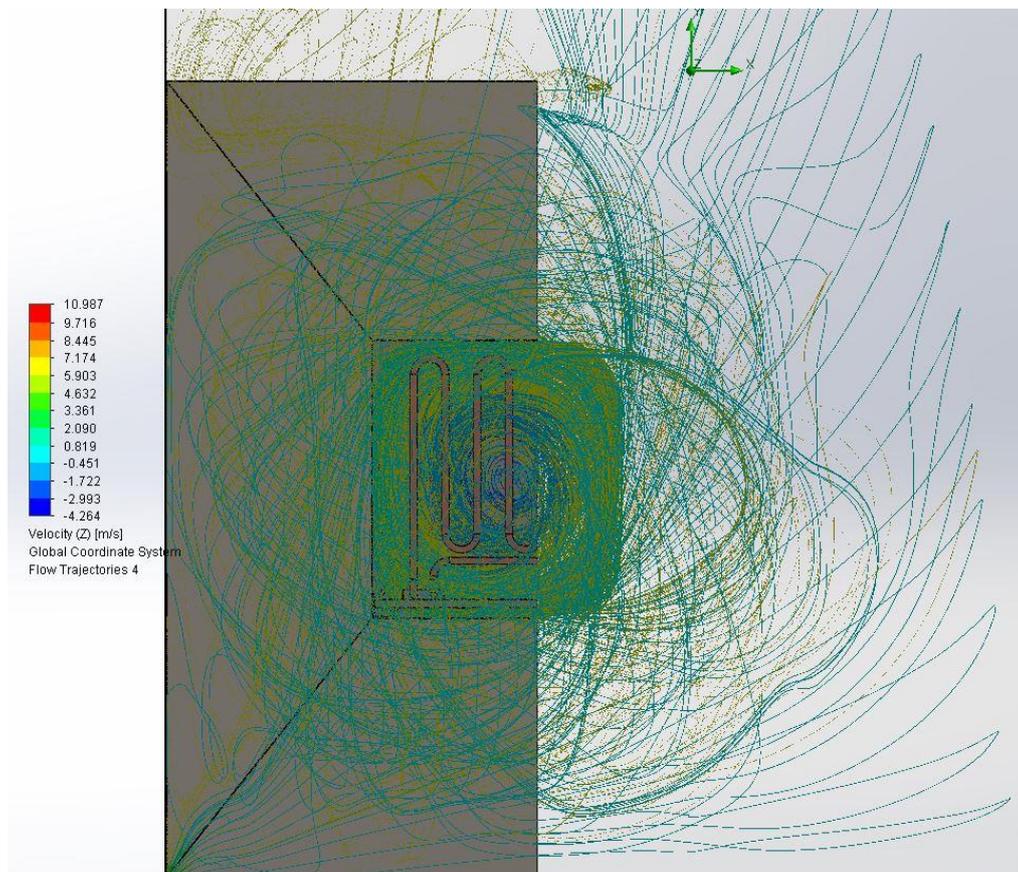


Figura 3.8 Líneas de flujo de aire del ventilador, vista frontal [Elaboración propia]

En la figura 3.9 se muestra el comportamiento de la temperatura del fluido a lo largo de la cámara de secado. Se observó como el calor se transmite a lo largo de las resistencias hacia el interior de la cámara, se puede observar que gran parte del calor se concentra en la rejilla, este comportamiento se puede justificar debido a que la rejilla absorbe una parte del calor que se intenta suministrar a la cámara. Además, se tiene las pérdidas que generan la absorción de calor de los tres soportes de bandejas.

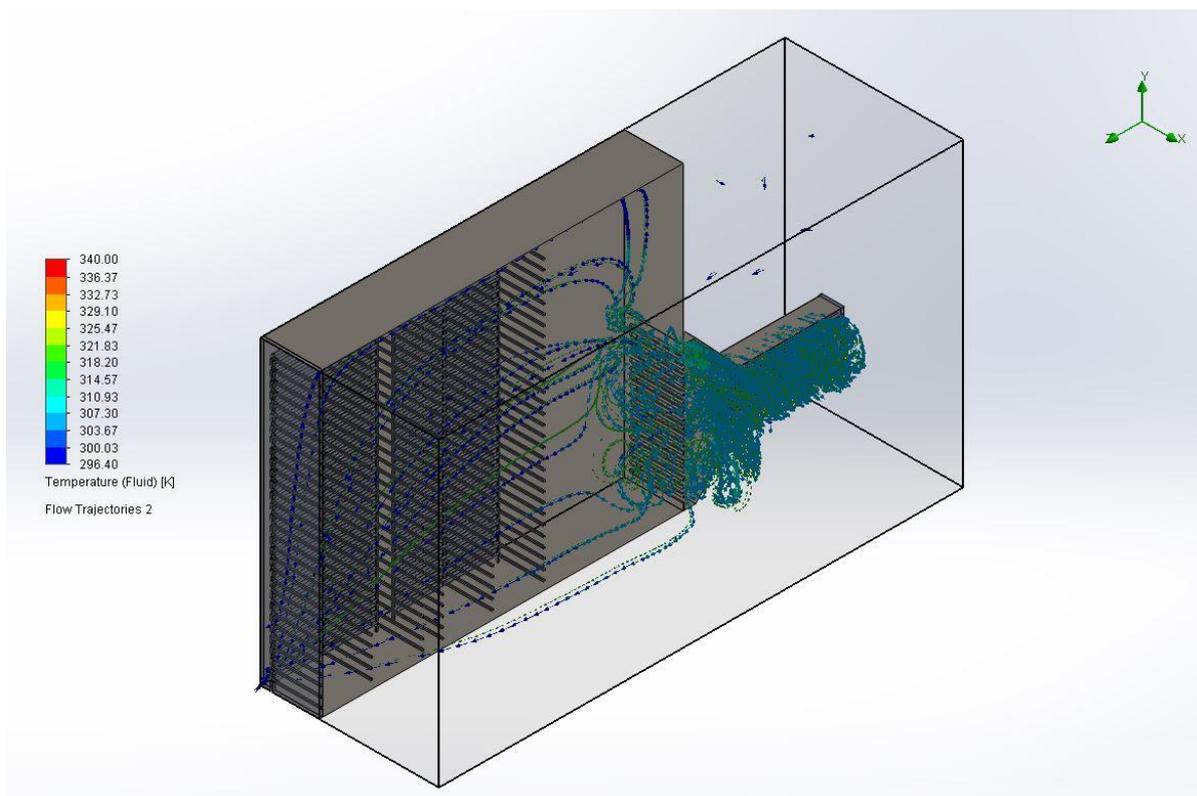


Figura 3.9 Temperatura del aire desde la entrada a la salida [Elaboración propia]

3.13 Análisis de costos

A continuación, se realizará un reporte de la cantidad de material utilizado incluyendo la factibilidad económica total del deshidratador. Conforme al diseño final, se detallan a continuación la cantidad de material empleado y equipos disponibles para el deshidratado bajo los requerimientos previos se detallan en peso y precio.

3.13.1 Construcción de cámara de secado del deshidratador

Tabla 3.17 Costos de materiales para estructura de cámara de secado [Elaboración propia]

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	LONG.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Varilla cuadrada 10x10 mm	m	10.63	2	6.68	13.36
2	Ángulo 25x25x3 mm	m	43	8	8.84	70.72
3	Plancha galvanizada	m ²	-	8	25	200
4	Rejilla 568x30 mm	u	-	2	15	30

5	Bisagra 38x68 mm	u	-	4	1.25	5
6	Agarradera 125x25 mm	u	-	2	2	4
					TOTAL	323.08

3.13.2 Construcción de bandejas y portabandejas

Tabla 3.18 Costos de materiales para construcción de portabandejas

[Elaboración propia]

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	LONG.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Varilla cuadrada 10x10 mm	m	187344	32	6.68	213.76
2	Varilla lisa 5 mm	m	137088	23	1	23
3	Ángulo 25x25x3 mm	m	100800	17	8.84	150.28
4	Ruedas	u	-	12	2.50	30
					TOTAL	417.04

3.13.3 Construcción de Cámara de calentamiento

Tabla 3.19 Costos de materiales para construcción de cámara de calentamiento [Elaboración propia]

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	LONG.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Plancha galvanizada	u	-	1	25	25.00
2	Varilla cuadrada 10x10 mm	m	1500	1	6.68	6.68
3	Rejilla de extracción	u	-	1	12	12
4	Ángulo 25x25x3 mm	m	140	1	8.84	8.84
					TOTAL	52.52

3.13.4 Componentes y equipos eléctricos

Tabla 3.20 Costos de mano de obra para construcción de cámara de calentamiento [Elaboración propia]

ÍTEM	Equipo	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Resistencia eléctrica de 4 kilovatios	u	2	40	80
2	Ventilador 9000 CFM	u	1	934.00	934.00
3	Caja de circuitos 30x30x15 cm	u	1	24.00	24.00
4	Termostato 48x48mm, 1200°C	u	1	24.00	24.00
5	Termocupla bayoneta tipo K	u	1	7.14	7.14
6	Relé	u	1	15.00	15.00
7	Breaker de dos polos, 15 A	u	1	14.00	14.00
8	Luz piloto	u	1	2.00	2.00
9	Selector de dos posiciones	u	1	3.00	3.00
10	Cable de asbesto para alta temperatura	m	2	2.40	4.80
11	Terminal de uña #12	u	12	0.10	1.20
12	Terminal de uña #14	u	12	0.08	0.96
13	Riel Din	u	1	2.50	2.50
14	Bornera	u	1	0.40	0.40
				TOTAL	1134.00

3.13.5 Tiempo de ensamblado

Se describe el total de tiempo empleado en cada subproceso de ensamble de cada parte del deshidratador, diferenciando el tiempo en uso de cada máquina como se puede presenciar en la tabla 3.20.

Tabla 3.21 Tiempo de ensamblado en horas [Elaboración propia]

ÍTEM	DESCR.	CANT.	TIEMPOS DE ENSAMBLADO (HORAS)
------	--------	-------	-------------------------------

			AMOLADORA	COMPRESOR	SOLDADORA	HERRAM. MANUAL
1	Cámara de calentamiento	1	2	1.5	0.8	1.2
2	Cámara de secado	1	0.8	0.6	0.2	0.6
3	Soporte de bandejas	1	4.5	1	3	0
4	Bandejas	1	0	0.8	0.5	1.5
HORAS TOTALES			7.3	3.9	4.5	3.3

3.13.6 Costo de máquinas y herramientas utilizadas

Los costos por tener en cuenta en concepto de uso de máquinas están en función de las horas de trabajo, tal como se indica en la tabla 3.21.

Tabla 3.22 Tiempo de uso de máquinas [Elaboración propia]

MÁQUINA/ HERRAMIENTA	COSTO/ HORA(USD)	HORAS DE USO	COSTO(USD)
Amoladora	\$4.00	7.3	\$29.20
Soldadora	\$6.00	4.5	\$27.00
Taladro	\$4.00	0.8	\$3.20
Compresor	\$5.00	3.9	\$19.50
Herramientas manuales	\$5.00	3.3	\$16.50
Subtotal (\$)			\$95.40

3.13.7 Costo directo de mano de obra

El monto de pago en concepto de trabajadores se detalla en la tabla 3.22.

Tabla 3.23 Costo directo de mano de obra [Elaboración propia]

Trabajador	SALARIO/ HORA(USD)	HORAS DE TRABAJO	COSTO(USD)
Técnico Soldador	\$2.00	35	\$70.00
Técnico Mecánico	\$2.50	22	\$55.00
Pintor	\$3.50	8	\$28.00
Ayudante	\$1.50	32	\$48.00
Subtotal (\$)			\$201.00

3.13.8 Costos directos totales

El costo total directo es la suma de todos los rubros detallados anteriormente, tal como se puede apreciar en la tabla 3.23.

Tabla 3.24 Costos totales directos [Elaboración propia]

ITEM	VALOR (USD)
Costo total de materiales	\$1926.64
Costo por uso de maquinaria y herramientas	\$95.40
Costo total de mano de obra	\$201.00
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$2223.04

3.13.9 Costos indirectos

Se debe tomar en cuenta el conocimiento de los ingenieros y diseñadores, así como también el de gastos imprevistos, lo cual representa un porcentaje del 15% de los costos directos en cada caso.

Tabla 3.25 Costos indirectos [Elaboración propia]

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE (%)	VALOR (USD)
Gastos Imprevistos	15	\$333.45
Ingeniería	15	\$333.45
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS		\$666.91

3.13.10 Costos totales

El costo total de la mano de obra del deshidratador de guineo orito es la suma de los costos directos e indirectos, tal como lo indica la tabla 3.25.

Tabla 3.26 Costos totales [Elaboración propia]

ITEM	VALOR (USD)
Costos directos	\$2223.04
Costos indirectos	\$666.91
COSTO TOTAL DE OBRA	\$2889.95

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los valores de humedad en base seca final X_{df} , de $0.136 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{AS}$ y masa final de producto deshidratado C_d , 102.95 kg, permitieron conocer el estado final de la carga inicial del producto al cumplir con el tiempo de deshidratado de aproximadamente 28 horas. Se presentó una reducción del 78.8% del peso total húmedo de oritos empleando un flujo de aire de 9000 CFM y una velocidad de 1 m/s. Con estas variables se dimensionó la cámara de secado y los portabandejas, así como el número de bandejas a utilizar, las rejillas de extracción de aire y material empleado para la construcción. El porcentaje de humedad final en la salida de aire de la cámara de secado permitió realizar la comparación con el valor de humedad relativa de entrada. Con estos resultados se conoció la eficiencia del deshidratador, la cual fue de 24.4%. Esto se debe a las pérdidas por fricción de flujo de aire en el interior de la cámara por motivos de geometría de la estructura y accesorios que variaron la dirección de dicho flujo. En el caso de la tobera, el aire de la cámara de calentamiento cambió de turbulento a laminar al atravesar las rejillas de extracción, generando turbulencias que afectaron la humedad en la entrada de la cámara de secado, por ende, se requirió una mayor potencia eléctrica (8kW) para el calentamiento del flujo de aire a través de esta cámara y así garantizar la deshidratación de los 453 kg.
- Se diseñó un deshidratador respetando las normas que rigen los procesos de secado de alimentos y normas de higiene de alimentos. Además, se consideraron las normas de construcción de soportes de bandejas para permitir el flujo de aire.
- El diseño del prototipo presentó modificaciones con respecto al diseño final. Esto se debe a la capacidad de carga, de 18 kg, el flujo de aire necesario

para secar el producto, de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, y el área de la cámara de secado, de 0.25 m^2 . Así mismo, se mantuvieron las dimensiones de las bandejas con el fin de abarcar más producto. Para el sistema de calentamiento se utilizó $1/8$ de la potencia generada por resistencias eléctricas. El tipo de flujo fue directo para el prototipo, permitiendo realizar las pruebas a una velocidad de entre 0.6 a 1 m/s debido al tiempo de residencia del aire en la cámara de secado. Se concluye que por motivos de costo de materiales y disponibilidad de equipos se realizaron cambios que influyeron en el tiempo de secado y la curva de velocidad del prototipo.

- El costo total del equipo fue de \$2889.95 incluyendo costos directos, donde se incluyeron costos de materiales y mano de obra basado en el tiempo empleado para la construcción del equipo, así como costos indirectos relacionados con imprevistos y asesoría ingenieril. Los precios de deshidratadores para una capacidad de 500 kg en el mercado oscilan entre los \$4000 y \$5000. Sumado a esto, se deben incluir los costos de importación y permisos requeridos para la adquisición del equipo. Debido a la capacidad del deshidratador y analizando los costos de materiales en el mercado, así como la implementación de mano de obra local, se lograría tener un mejor control en la implementación de equipos eléctricos y el suministro de calor para un clima como el de Bucay. En conclusión, la inversión se justifica debido a la logística de adquisición del equipo comercialmente, disponibilidad local de materiales para su construcción, y el ahorro en miras a un mantenimiento futuro y mejora continua del equipo.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda el uso de deflectores de flujo en las esquinas de la cámara de secado con el fin de disminuir las pérdidas generadas por turbulencia, así como rejillas para laminar el flujo al momento de la salida de la cámara de calentamiento.
- Durante las pruebas para la obtención de humedad final, se recomienda la medición de esta en la salida del flujo a través de la cámara de secado con

el fin de obtener una mejor precisión en la toma de los parámetros de deshidratación.

- Para la construcción del prototipo de flujo directo se recomienda alinear las bandejas con el ventilador de modo que el flujo sea perpendicular a la superficie del portabandejas y abarcar una mayor cantidad de producto húmedo.
- Con el fin de aumentar la capacidad de carga y disminuir el número de bandejas a utilizar, se recomienda usar una disposición de 55 oritos por bandejas dispuestos transversalmente sobre la malla.
- Al momento del montaje de los portabandejas en el interior de la cámara de secado se recomienda no obstruir la salida del aire a través de la rejilla con el fin de mantener un deshidratado uniforme en las bandejas.

BIBLIOGRAFÍA

- Caballero, J. (2010). Obtenido de <https://es.slideshare.net/pensulan/hidraulica-y-neumatica-2011>
- Campo Navarro et al. (2007). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESHIDRATADORA DE BANANO.
- Campo Navarro, J. A., Mendoza Huertas, A. M., Mendoza Posada, B. G., & Huertas, Á. M. (2007). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESHIDRATADORA DE BANANO.
- Campo Navarro, J., Mendoza Huertas, A. M., Mendoza Posada, B. G., & Huertas, Á. M. (2007). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DESHIDRATADORA DE BANANO.
- De la Vega Sánchez, F. F. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR DE PLÁTANO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PASIVA PARA LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.
- Llumiquina Moromenacho, P. A., & Suquillo Pulupa, B. S. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DESHIDRATADOR DE FRUTAS DE CAPACIDAD DE 12 KG. CON CIRCULACIÓN DE AIRE FORZADO UTILIZANDO RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.
- Maupoey, P. F., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Sorolla, A. M. (2016). *INTRODUCCIÓN AL SECADO DE ALIMENTOS POR AIRE CALIENTE*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- Murillo Arias, C. A. (2007). DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCIÓN PARA FRUTAS Y VEGETALES.
- Oti-Boateng, P., & Axtell, B. (s.f.). GUÍA DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR DESHIDRATACIÓN.
- Perry, R. H., & Green, D. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Sierra León, O. E., & Velasco Hernández, H. (2012). CREACIÓN DE UNA PLANTA DESHIDRATADORA DE NARANJA, PIÑA, MORA Y MARACUYÁ EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

Valencia Coca, G. A. (2012). DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA DE HARINA DE ORITO (MUSA ACUMINATA AA) EN TÚNEL DE SECADO DE ADECUADAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y NUTRICIONALES.

APÉNDICES

APÉNDICE A – CÁLCULO

4.3 Cálculos de pérdidas de calor

4.3.1 Prototipo

El ventilador posee un caudal de $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$. Con este valor, junto a las dimensiones del ducto, se pudo obtener la velocidad del flujo en el interior.

$$Q = A \cdot v \quad (\text{A.1})$$

$$v = \frac{0.87}{0.25}$$

$$v = 3.48 \text{ [m/s]}$$

Posteriormente se determinó el número de Reynolds para conocer el comportamiento del flujo.

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} \quad (\text{A.2})$$

Donde:

$$D_h = \frac{4 \cdot A_c}{P_m} \quad (\text{A.3})$$

El perímetro mojado del ducto de la cámara de calentamiento se obtuvo con la siguiente expresión:

$$P_m = 2 \cdot (0.5 + 0.5) = 1 \text{ [m]} \quad (\text{A.4})$$

$$D_h = \frac{4 \cdot (0.5)(0.5)}{2}$$

$$D_h = 0.5 \text{ [m]}$$

$$Re = \frac{3.48 \cdot 0.5}{1.89 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 92063.5$$

Dicho valor es mayor a 2300, por lo que se considera flujo turbulento en el interior del ducto.

Para ductos cuadrados, de acuerdo con la ecuación de Dittus – Boelter, se determinó el número de Nusselt:

$$N_{uD} = 0.027 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{0.4} \quad (\text{A.5})$$

$$N_{uD} = 219.11$$

A continuación, se obtuvo el coeficiente de convección interna por medio de la siguiente ecuación:

$$N_{uD} = \frac{h \cdot D_h}{k_{aire}} \quad (A.7)$$

$$h = \frac{219.11 \cdot 0.026}{0.5}$$

$$h = 11.39$$

Se determinó la resistencia por convección interna del ducto considerando las áreas correspondientes a las paredes.

$$R_{convint} = \frac{1}{h \cdot 4A} \quad (A.8)$$

$$R_{convint} = 0.0626$$

Se determinó el coeficiente global de transferencia de calor por conducción. Se usó plancha de acero galvanizado G-90 para las paredes del deshidratador. El tipo de galvanizado para esta plancha posee un recubrimiento de 270 g/m² para la totalidad del espesor de las paredes.

$$U = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}} \quad (A.9)$$

Recubrimiento	g/m ²	mils	m
G-90	270	1.49	3.725×10^{-5}

El recubrimiento G-90 se utilizó para determinar los espesores de zinc en la plancha, el cual fue de 0.00003725 m. Se utilizó un recubrimiento adicional de lana de vidrio con un espesor de ½ pulgadas.

$$U = \frac{1}{\frac{1.8625 \times 10^{-5}}{116} + \frac{9.6275 \times 10^{-5}}{63.9} + \frac{1.8625 \times 10^{-5}}{116} + \frac{0.0127}{0.038}}$$

$$U = 3$$

Se calculó posteriormente la resistencia de conducción en el ducto:

$$R_{cond} = \frac{1}{U \cdot 4A}$$

$$R_{cond} = 0.2387$$

Las ecuaciones que gobiernan los sistemas con transferencia de calor con convección natural son:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = CRa_L^n \quad (A.10)$$

Donde:

- Nu: Número de Nusselt promedio
- h: coeficiente de convección
- k: conductividad del fluido, o del aire
- Ra: número de Rayleigh
- C: coeficiente de ajuste (depende si es laminar o turbulento)
- n: Exponente de ajuste

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (A.11)$$

Donde:

- g: constante de gravedad
- β : coeficiente de expansión térmica volumétrica
- T_s : Temperatura caliente de las paredes
- T_∞ : Temperatura del ambiente
- L: longitud característica
- ν : viscosidad cinemática
- α : Coeficiente de difusividad

Las propiedades con aire (T=400 K) son:

- $\rho=0.8711 \text{ kg/m}^3$
- $c_p=1.014 \text{ kJ/kg. K}$
- $\nu=26.41 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\alpha=38.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $k=33.8 \times 10^{-3} \text{ W/m. K}$
- $Pr=0.69$
- $\beta=1/T=1/400\text{K}$

Por lo que se calcula el número de Rayleigh:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} = \frac{(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(\frac{1}{333 \text{ K}})(60 - 27)(0.7 \text{ m})^3}{(1.89 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})(27.38 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})} = 64.43 \times 10^8$$

Usando la ecuación de Nusselt se tiene:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k}$$

Despejando h:

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L}$$

Para flujo laminar, de acuerdo con las ecuaciones de Churchill se aplica un número de Rayleigh de ($10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$)

Placas verticales:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (A.12)$$

Reemplazando las ecuaciones:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387(64.43 \times 10^8)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.70} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 219.18$$

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{0.02874 \cdot 219.18}{0.7}$$

$$\bar{h} = 9$$

$$R_{\text{conv natural1}} = \frac{1}{h \cdot 4A}$$

$$R_{\text{conv natural1}} = \frac{1}{9 \cdot 2(0.35)}$$

$$R_{\text{conv natural1}} = 0.1587$$

Placa horizontal cuya superficie caliente está orientada hacia arriba:

$$\overline{Nu}_L = 0.15Ra_L^{1/3} \quad (A.13)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15(64.43 \times 10^8)^{1/3} = 279.12$$

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L} = \frac{(0.02874)(279.12)}{0.7} = 11.46$$

$$R_{\text{conv natural2}} = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$R_{\text{conv natural2}} = \frac{1}{11.46 \cdot 0.35}$$

$$R_{\text{conv natural2}} = 0.2492$$

Placa horizontal cuya superficie caliente está orientada hacia abajo:

$$\overline{Nu}_L = 0.27Ra_L^{1/4} \quad (A.14)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.27(64.43 \times 10^8)^{1/4} = 76.497$$

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L} = \frac{(0.02874)(76.497)}{0.7} = 3.14$$

$$R_{\text{conv natural3}} = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$R_{\text{conv natural3}} = \frac{1}{3.14 \cdot 0.35}$$

$$R_{\text{conv natural3}} = 0.9096$$

Se realizó la suma total de los coeficientes de resistencia de convección natural:

$$R_{\text{conv naturalTOTAL}} = \frac{1}{R_{\text{conv natural1}}} + \frac{1}{R_{\text{conv natural2}}} + \frac{1}{R_{\text{conv natural3}}}$$

$$R_{\text{conv naturalTOTAL}} = 0.0876$$

Se obtuvo los coeficientes de resistencias totales para la transferencia de calor mediante la suma de resistencia de convección interna, resistencia de conducción y resistencia de convección natural.

$$R_{\text{total}} = R_{\text{cond}} + R_{\text{conv naturalTOTAL}} + R_{\text{conv interna}}$$

$$R_{\text{total}} = 0.3890$$

Se obtuvo las pérdidas totales del prototipo mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{TOTAL}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \quad (A.15)$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = \frac{35}{0.3890}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 89.96 \text{ [W]}$$

4.3.2 Diseño final

Para obtener las pérdidas de calor en el diseño final se empleó lana de vidrio de 1 pulgada de espesor. Se utilizaron las ecuaciones del prototipo.

$$v = 3.48 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Se determinó el número de Reynolds para el área de 2.44 x 1.93 metros:

$$Re = \frac{1 \cdot 1.50}{0.00000189}$$

$$R_e = 796298$$

Se utilizó la ecuación de Dittus – Boelter para obtener el número de Nusselt:

$$N_{uD} = 0.027 \cdot (796298)^{4/5} \cdot (0.7)^{0.4}$$

$$N_{uD} = 1231.01$$

El coeficiente de convección interna se obtuvo despejando el número de Nusselt:

$$h = \frac{1231.01 \cdot 0.026}{1.50}$$

$$h = 21.26$$

Resistencia por convección interna considerando dimensiones de paredes finales:

$$R_{convint} = \frac{1}{21.26 \cdot 4(1.7)}$$

$$R_{convint} = \mathbf{0.008396}$$

Resistencia por conducción:

$$U = \frac{1}{\frac{0.00001862}{116} + \frac{0.0009627}{63.9} + \frac{0.0254}{0.038}}$$

$$U = 1.49$$

$$R_{cond} = \frac{1}{1.49 \cdot 4(1.4)}$$

$$R_{cond} = \mathbf{0.1193}$$

Resistencia por convección natural:

Placas verticales:

$$\overline{Nu}_L = 219.18$$

$$\bar{h} = \frac{0.02874 \cdot 219.18}{0.7}$$

$$\bar{h} = 9 [W/m^2]$$

$$R_{conv\ natural1} = \frac{1}{9 \cdot 4(1.4)}$$

$$R_{conv\ natural1} = 0.039$$

Placa horizontal cuya superficie caliente está orientada hacia arriba:

$$\overline{Nu}_L = 0.15(6443733726)_L^{1/3} = 279.12$$

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L} = \frac{(0.02874)(279.12)}{0.7} = 11.46$$

$$R_{\text{conv natural2}} = 0.0623$$

Placa horizontal cuya superficie caliente está orientada hacia abajo:

$$\overline{Nu}_L = 0.27(6443733726)_L^{1/4} = 76.49$$

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L} = \frac{(0.02874)(76.49)}{0.7} = 3.14$$

$$R_{\text{conv natural3}} = 0.22$$

Se calculó la resistencia por convección natural total del diseño final y la resistencia total para obtener las pérdidas de calor:

$$R_{\text{conv naturalTOTAL}} = 0.029$$

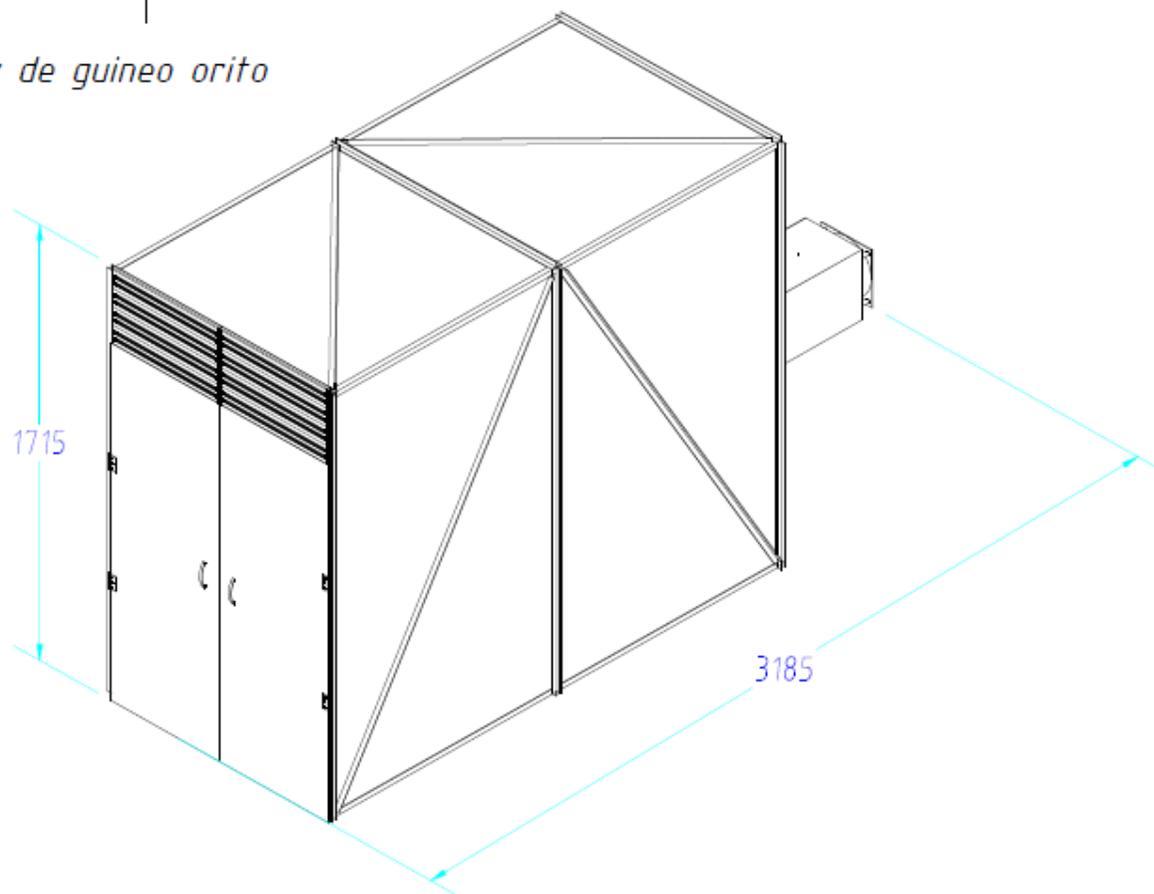
$$R_{\text{total}} = 0.1193 + 0.029 + 0.008396 = 0.1496$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = \frac{35}{0.1496} = 233.84 \text{ [W]}$$

APÉNDICE B – PLANOS DEL DESHIDRATADOR

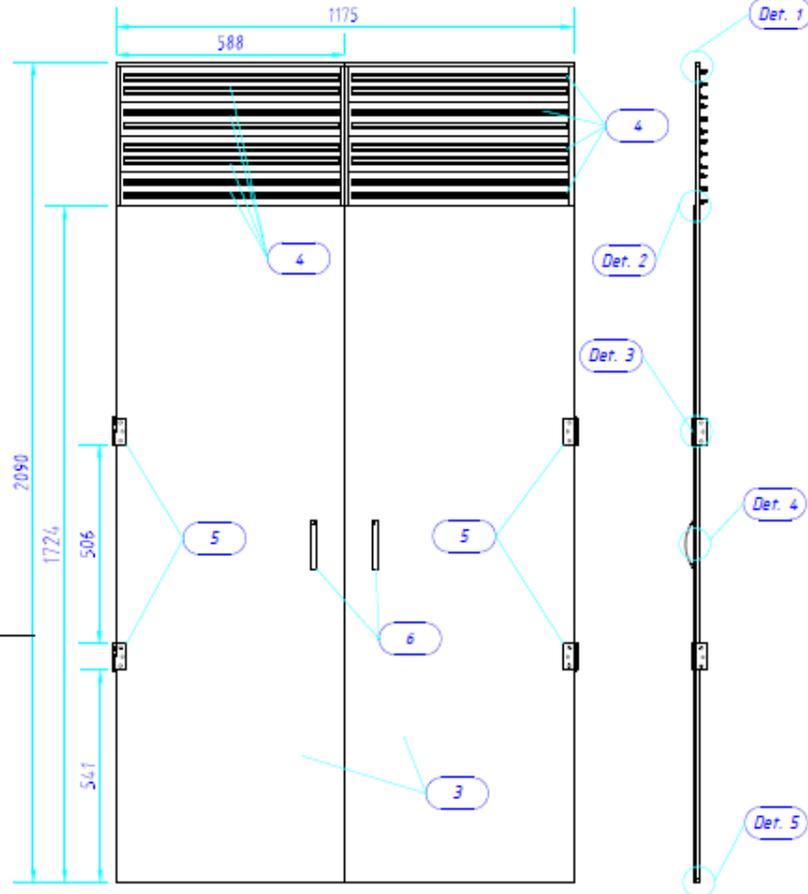
Posición	Descripción	Cantidad	Longitud (mm)	Material	Masa	
					Del Elemento (kg)	Total (kg)
PUERTA						
1	Varilla cuadrada 10x10 mm	4	588	ASTM A36	0,46	1,84
2	Varilla cuadrada 10x10 mm	4	2070	ASTM A36	1,63	6,50
3	Plancha 1724x588 mm	2	1724	AISI 304	7,95	15,90
4	Rejilla 568x30 mm	8	568	AISI 304	0,23	1,84
5	Bisagra 38x68 mm	4	68	ASTM A36	0,10	0,40
6	Agarradera 125x25 mm	2	25	AISI 304	0,08	0,16
ESTRUCTURA						
7	Angulo 25x25x3 mm	2	1641	ASTM A36	1,81	3,62
8	Angulo 25x25x3 mm	4	1195	ASTM A36	1,32	5,29
9	Angulo 25x25x3 mm	8	1170	ASTM A36	1,90	10,36
10	Angulo 25x25x3 mm	4	2314	ASTM A36	2,56	10,23
11	Angulo 25x25x3 mm	8	2040	ASTM A36	2,26	18,06
12	Plancha 2038x1220 mm	4	2038	AISI 304	19,89	79,56
13	Plancha 1195x1220 mm	4	1195	AISI 304	11,66	46,65
14	Plancha 2038x1220 mm	1	2038	AISI 304	13,23	13,23
Ducto de Ingreso de Calor						
15	Rejilla 804x974x9 mm	1	974	AISI 304	5,26	5,26
16	Plancha 803x56x1 mm	2	803	AISI 304	0,36	0,72
17	Plancha 803x295x1 mm	2	803	AISI 304	1,31	2,62
18	Plancha 700x305x1 mm	2	700	AISI 304	1,71	3,42
19	Plancha 974x295x1 mm	2	974	AISI 304	1,55	3,10
20	Plancha 961x70x1 mm	2	961	AISI 304	0,54	1,08
21	Plancha 700x339x1 mm	2	700	AISI 304	1,9	3,80
22	Ventilador 275x275x57 mm	1	275	AISI 304	12	12
23	Angulo 30x30x3 mm	2	626	ASTM A36	0,29	0,58
24	Varilla cuadrada 10x10 mm	15	100	ASTM A36	0,08	1,2
25	Placa 50x24x2 mm	5	50	AISI 304	0,02	0,10
26	Placa 626x40x2 mm	2	626	AISI 304	0,4	0,8
27	Resistencia 201x270 mm	5	270	Cobre	0,77	3,85
SOPORTE DE BANDEJAS						
28	Angulo 25x25x3 mm	60	700	ASTM A36	0,77	46,44
29	Varilla cuadrada 10x7 mm	60	476	ASTM A36	0,26	15,69
30	Varilla cuadrada 10x7 mm	168	40	ASTM A36	0,02	3,69
31	Varilla cuadrada 10x7 mm	4	61	ASTM A36	0,03	0,13
32	Varilla cuadrada 10x7 mm	2	1971	ASTM A36	0,53	1,06
33	Varilla cuadrada 10x7 mm	60	700	ASTM A36	0,38	23,08
TOTAL						342,28

Deshidratador de guineo orito
Escala 1:30

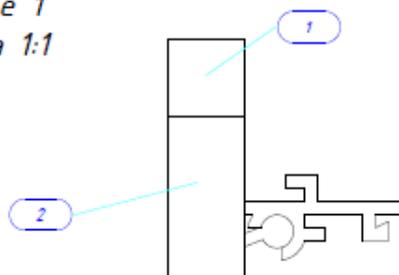


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			No cambie la escala		Revisión: 1
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ESPOL		
Nombre			FIRMA	FECHA	Proyecto:
Dibuj.	Ricardo Jiménez	Nicky Nolivos		19/01/20	Deshidratador de guineo orito
Verif.					
Aprob.					
Fabr.					
			Material:		Nombre de Dibujo:
			AISI 316 ASTM A36		Plano general de deshidratador de guineo orito
			Masa: 342.28 kg		A4
			Escala especificada		Hoja 1/9

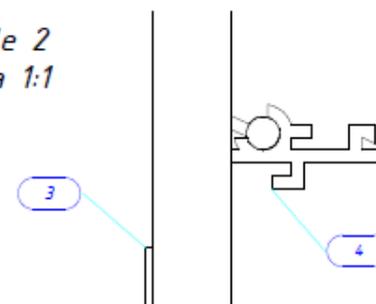
Puerta vista frontal Puerta vista lateral
Escala 1:20 Escala 1:20



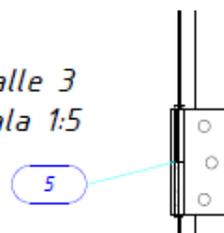
Detalle 1
Escala 1:1



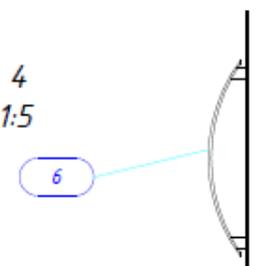
Detalle 2
Escala 1:1



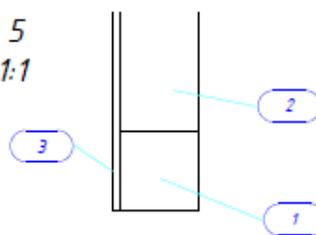
Detalle 3
Escala 1:5



Detalle 4
Escala 1:5



Detalle 5
Escala 1:1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL
ANGULAR

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

No cambie la escala

Revisión: 1

ESPOL

	Nombre	FIRMA	FECHA
Dibuj.	Ricardo Jiménez Nicky Nolivos		19/01/20
Verif.			
Aprob.			
Fabr.			

Proyecto:

Deshidratador de guineo orito

Material:

AISI 316
ASTM A36

Nombre de Dibujo:

Plano general de puerta de deshidratador

A4

Masa: 342.28 kg

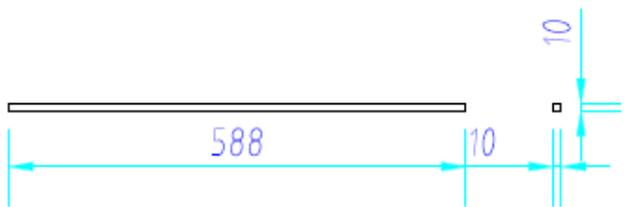
Escala especificada

Hoja 2/9

1 Varilla cuadrada 10x10 mm
Escala 1:10

Vista Frontal

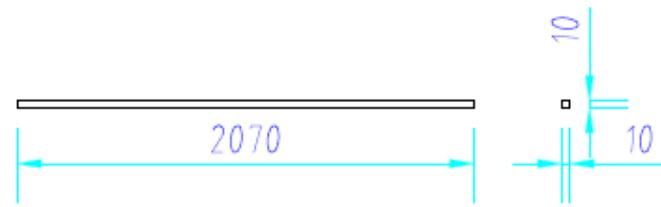
Vista Lateral



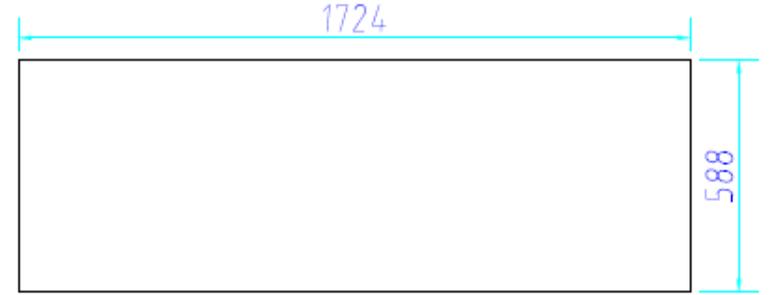
2 Varilla cuadrada 10x10 mm
Escala 1:10

Vista Frontal

Vista Lateral



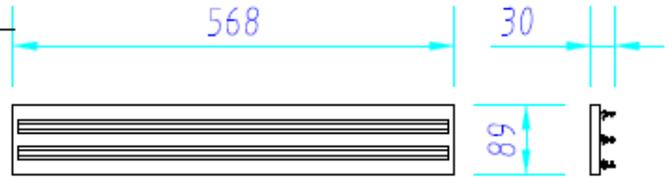
3 Plancha 588x1724x1 mm
Escala 1:20



4 Rejilla 568x30 mm
Escala 1:10

Vista frontal

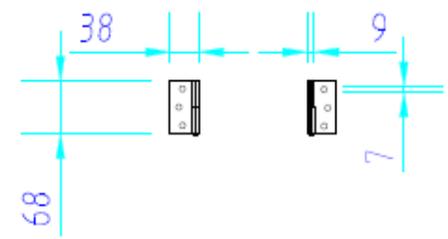
Vista lateral



5 Bisagra 38x68x4 mm
Escala 1:10

Vista Frontal

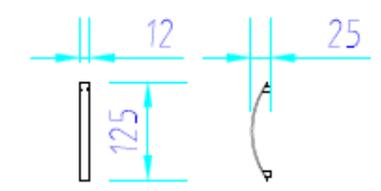
Vista Lateral



6 Agarradera 125x12mm
Escala 1:10

Vista Frontal

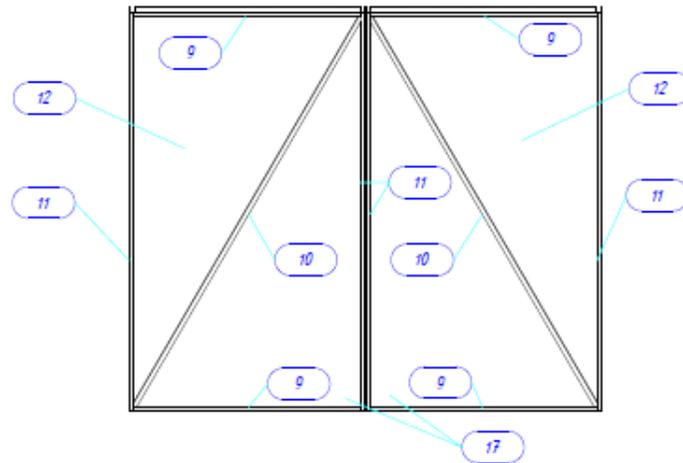
Vista Lateral



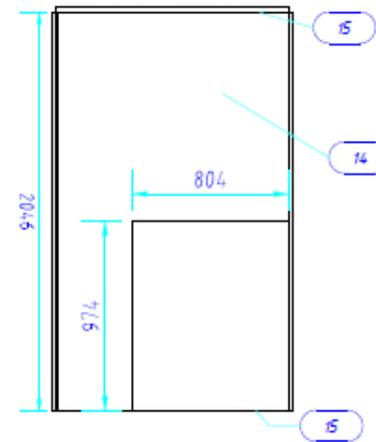
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR:		ACABADO:	REARIBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	No cambie la escala	Revisión: 1
				ESPOL	
				Proyecto:	
				Deshidratador de guineo orito	
				Nombre de Dibujo:	
				Plano de despiece de estructura puerta de deshidratador	
				A4	
				Escala especificada	
				Hoja 3/9	

	Nombre	FIRMA	FECHA
Dibuj.	Ricardo Jiménez Nicky Notivos		19/01/20
Verif.			
Aprob			
Fabr.			
			Material:
			AISI 316 ASTM A36
			Masa: 342.28 kg

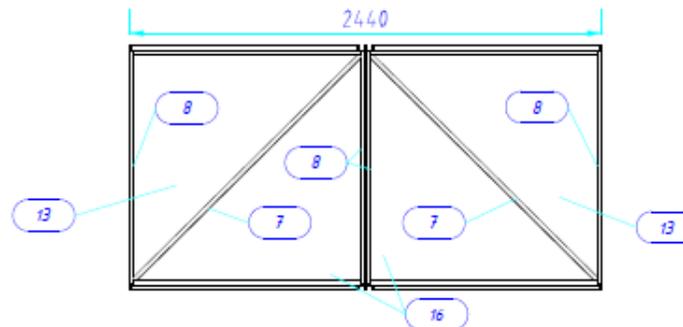
ESTRUCTURA DESHIDRATADOR
Vista Frontal Escala 1:40



ESTRUCTURA DESHIDRATADOR
Vista Lateral Escala 1:40

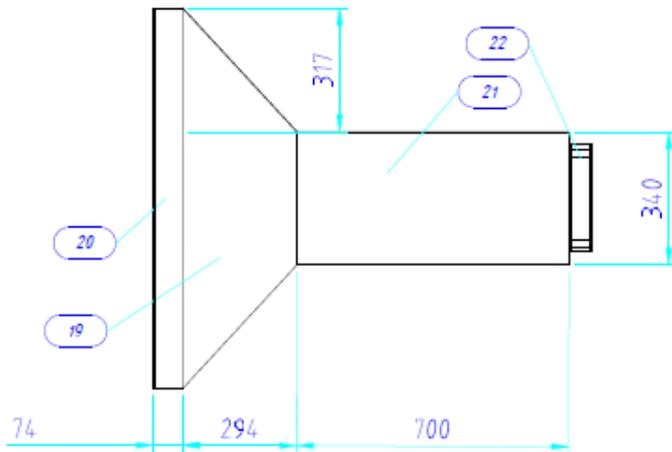


ESTRUCTURA DESHIDRATADOR
Vista Superior Escala 1:40

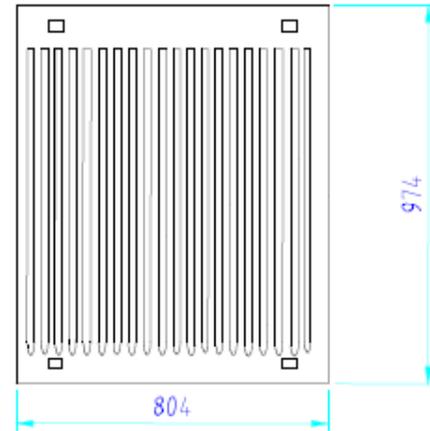


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	No cambie la escala	Revisión: 1
				ESPOL	
				Proyecto:	
				Deshidratador de guineo orito	
				Nombre de Dibujo:	
				Plano general de estructura de deshidratador	
				Escala especificada	
				Hoja 4/9	
Material:		Masa: 342.28 kg			
		AISI 316 ASTM A36			
Nombre		FIRMA		Fecha	
Dibuj.	Ricardo Jiménez	Nicky Notivos		19/01/20	
Verif.					
Aprob.					
Fabr.					

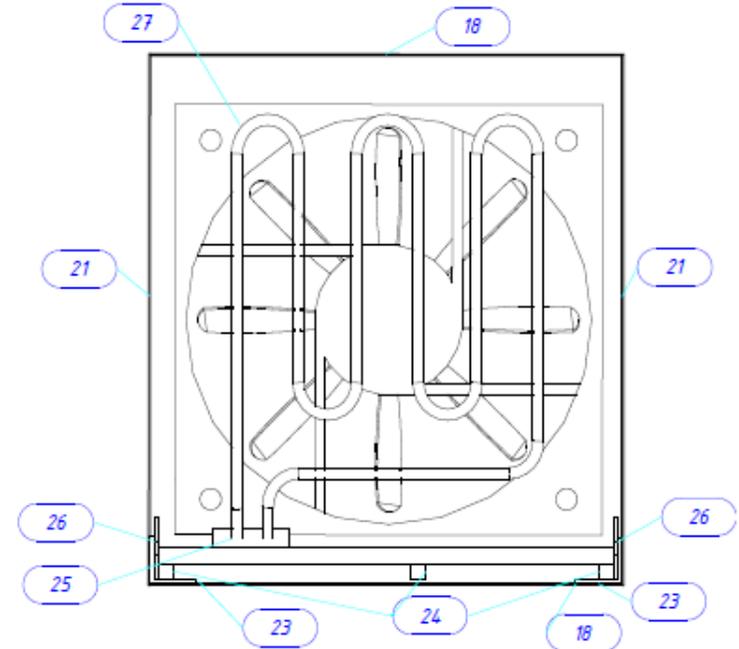
Ducto de calor
Vista Frontal Escala 1:20



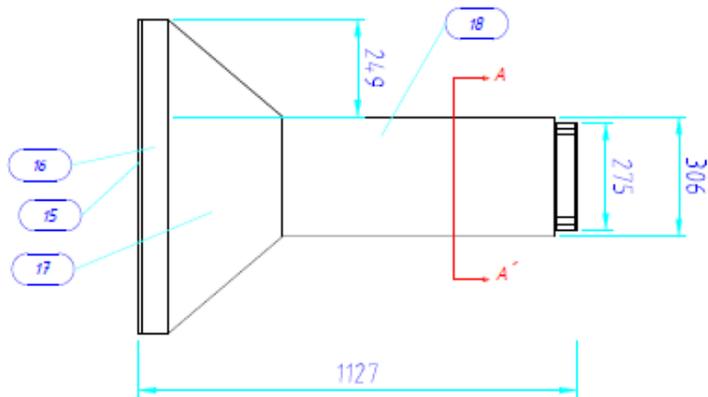
Ducto de calor
Vista Lateral Escala 1:20



Corte de Sección A-A'
Escala 1:20

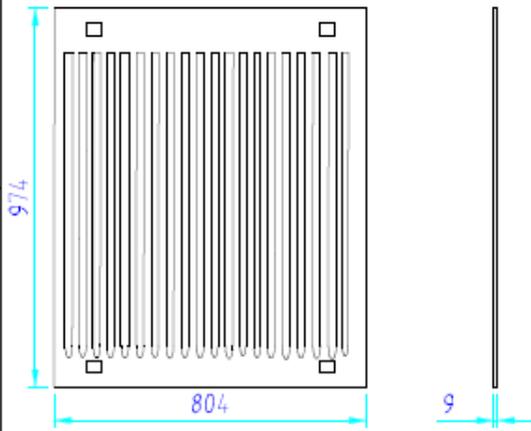


Ducto de calor
Vista superior Escala 1:20

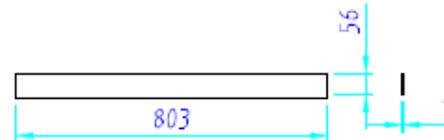


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR			ACABADO:	REPARAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	No cambie la escala	Revisión: 1
					ESPOL	
					Proyecto:	
					Deshidratador de guineo orito	
					Nombre de Dibujo:	
					Plano general de de ducto de calor	
					Escala especificada	
					Hoja 6/9	
Material:			Masa: 342.28 kg			
AISI 316 ASTM A36						
Nombre			Firma		Fecha	
Dibuj. Ricardo Jiménez			Nicky Notivos		19/01/20	
Verif.						
Aprob.						
Fabr.						

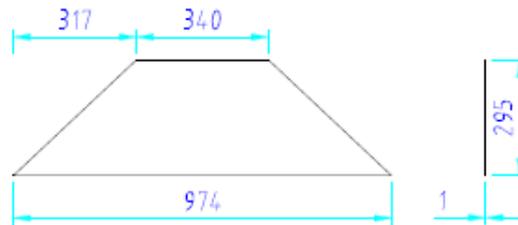
15 *Rejilla 804x974x9 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



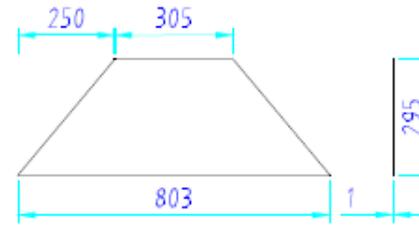
16 *Plancha 803x56x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



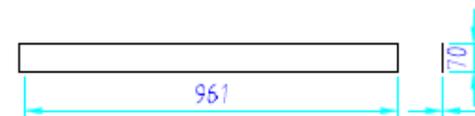
19 *Plancha 974x295x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



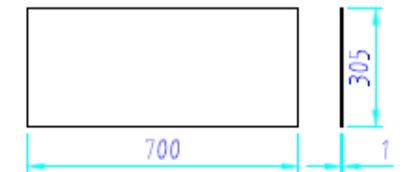
17 *Plancha 803x295x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



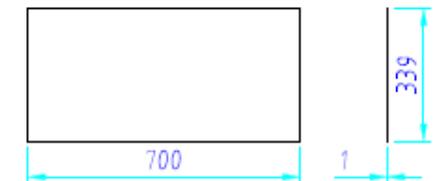
20 *Plancha 961x70x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



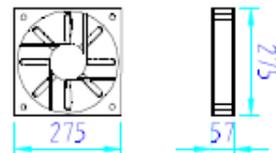
18 *Plancha 700x305x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



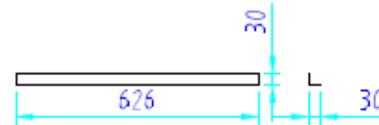
21 *Plancha 700x339x1 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



22 *Ventilador 275x275 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



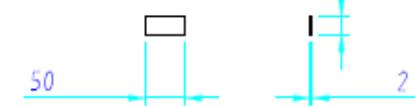
23 *L 30x30x3 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



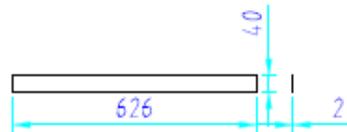
24 *Varilla cuadrada 100x10x10 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:10



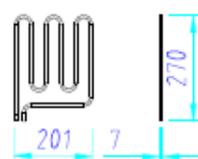
25 *Placa 50x24x2 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:10



26 *L 30x30x3 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



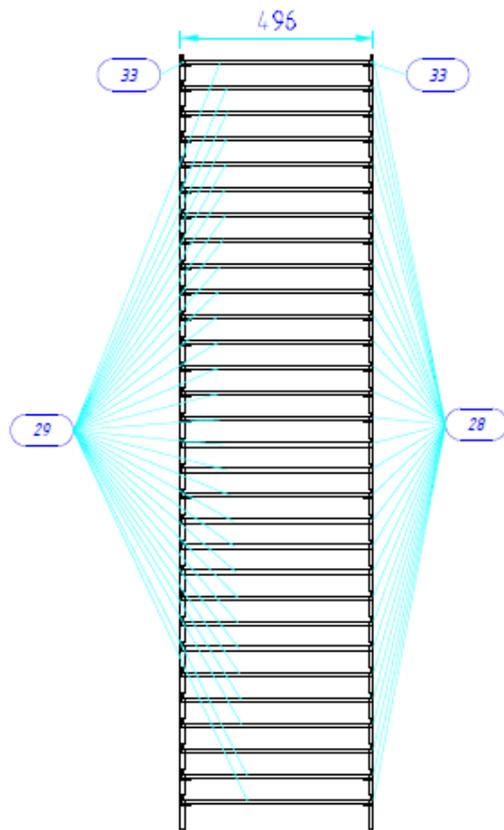
27 *Resistencia 201x270x7 mm*
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



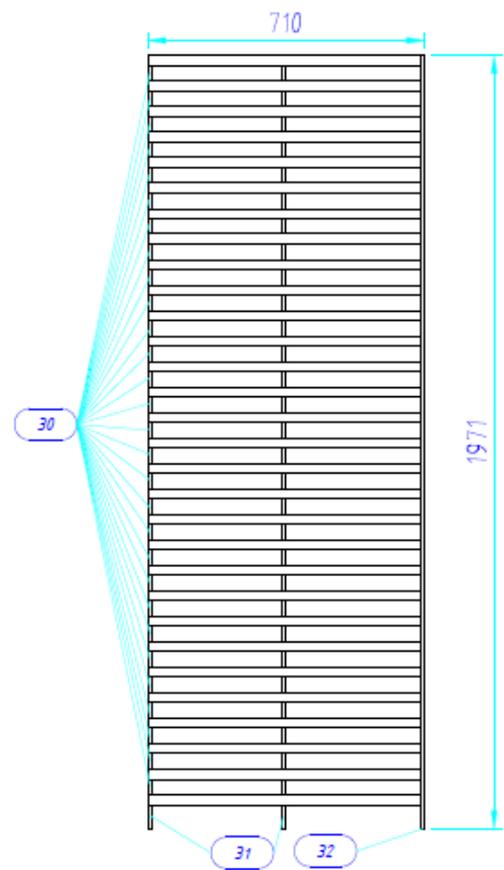
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAS: ANGULAR:		ACABADO:	REDIBUIR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	No cambie la escala	Revisión: 1
				ESPOL	
				Proyecto:	
				Deshidratador de guineo orito	
				Nombre de Dibujo:	
				Plano de despiece de ducto de calor	
				A4	
				Escala especificada	
				Hoja 7/9	

Nombre	Firma	Fecha
Dibuj. Ricardo Jiménez	Nicky Notivos	19/01/20
Verif.		
Aprob.		
Fabr.		
Material:		
AISI 316 ASTM A36		
Masa: 342.28 kg		

Soporte de bandejas
Vista frontal
Escala 1:20



Soporte de bandejas
Vista lateral
Escala 1:20



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	No cambie la escala	Revisión: 1
					ESPOL	
					Proyecto:	
					Deshidratador de guineo orito	
					Nombre de Dibujo:	
					Plano general de soporte de bandejas	
					Escala especificada	
					Hoja 8/9	
	Nombre	Firma	Fecha			
Dibuj.	Ricardo Jiménez	Nicky Nolivos	19/01/20			
Verif.						
Aprob						
Fabr.						
				Material:		
				AISI 316 ASTM A36		
				Masa: 342.28 kg		

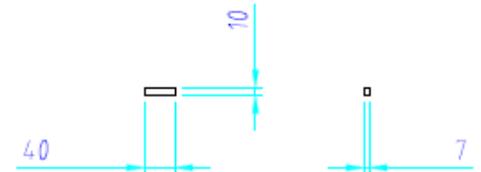
28 L 25x25x3 mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



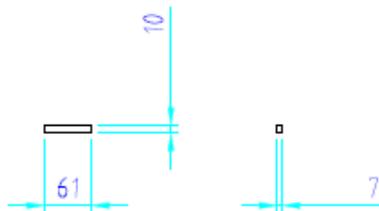
29 Varilla cuadrada 10x7mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:10



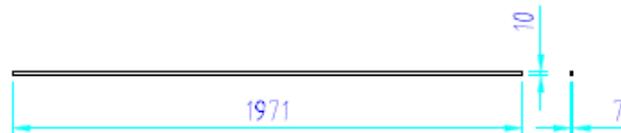
30 Varilla cuadrada 10x7mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:10



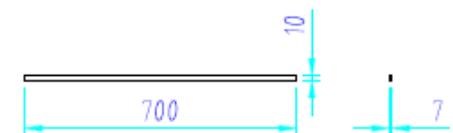
31 Varilla cuadrada 10x7mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



32 Varilla cuadrada 10x7mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



33 Varilla 10x7 mm
Vista frontal Vista lateral
Escala 1:20



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REDONDEAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		No cambie la escala		Revisión: 1		
							ESPOL				
							Proyecto:				
							Deshidratador de guineo orito				
							Nombre de Dibujo:			A4	
							Material:			Plano de despiece de soporte de bandejas	
							Masa: 342.28 kg			Escala especificada	
										Hoja 9/9	
Nombre			Firma		Fecha						
Dibuj. Ricardo Jiménez			Nicky Notivos		19/01/20						
Verif.											
Aprob.											
Fabr.											