

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR RECTANGULAR DE INDUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE PASA DE UVILLA CON CAPACIDAD DE 300 KG/DÍA PARA LA EMPRESA EQUINOX BUSINESS LIMITED”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Byron Santiago Cerda Altamirano

Daniel Alejandro Proaño Madrid

DIRECTOR: Ing. José Guasumba

CODIRECTOR: Ing. Julio Cóndor

Sangolquí, 2005-12-09

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR RECTANGULAR DE INDUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE PASA DE UVILLA CON CAPACIDAD DE 300 KG/DÍA PARA LA EMPRESA EQUINOX BUSINESS LIMITED” fue realizado en su totalidad por Byron Santiago Cerda Altamirano y Daniel Alejandro Proaño Madrid, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba
DIRECTOR

Ing. Julio Cóndor
CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-12-09

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESHIDRATADOR
RECTANGULAR DE INDUCCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE PASA DE
UVILLA CON CAPACIDAD DE 300 KG/DÍA PARA LA EMPRESA
EQUINOX BUSINESS LIMITED”**

ELABORADO POR:

Byron Cerda

Daniel Proaño

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2005-12-09

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado lo dedico a mi familia, y en especial a mis padres y hermanos quienes me brindaron su apoyo incondicional para la culminación del presente proyecto, y durante mi vida estudiantil.

BYRON

Para toda mi familia, especialmente para mis padres quienes me han brindado todo su amor y apoyo para alcanzar mis sueños.

A mis hermanos, por demostrarme la fuerza y coraje para salir siempre adelante.

Y para mis grandes amigos, los que nunca nos hemos separado.

DANIEL

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos cumplir nuestros sueños.

A los Ing. José Guasumba y Julio Córdor, por su acertada dirección en el desarrollo del presente proyecto de grado.

A Fábrica de Aluminio UMCO S.A. por brindarnos todas las facilidades para la construcción y pruebas del equipo, especialmente al Sr. Cristóbal Esparza por el apoyo brindado para la culminación del mismo.

BYRON

DANIEL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii	
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii	
DEDICATORIA	iv	
AGRADECIMIENTO	v	
INDICE DE CONTENIDOS	vi	
RESUMEN	xvii	
CAPÍTULO 1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	
Antecedentes	1	
Definición del Problema	2	
Objetivos	3	
General	3	
Específicos	3	
Alcance del proyecto	3	
Justificación	4	
CAPÍTULO 2	ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DE LA UVILLA	
2.1	Características de la uvilla	7
2.2	Procesos post cosecha para la uvilla.	15
2.3	Deshidratación.	17
2.4	Aplicaciones.	24
CAPÍTULO 3	TECNOLOGÍA DEL SECADO	
3.1	Proceso de secado	25
3.1.1	Ventajas y desventajas	32
3.2	Regímenes de Secado	33
3.3	Tecnologías del secado	39
3.4	Alternativas para secar la uvilla	44
3.5	Descripción del deshidratador seleccionado	45
3.5.1	Definición de parámetros funcionales	46
3.5.2	Aspectos dimensionales	55

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL HORNO DESHIDRATADOR

4.1	Parámetros de Diseño	59
4.2	Fuente de Calor	64
4.3	Cámara de deshidratación	70
4.3.1	Bandejas	70
4.3.2	Cámara	77
4.3.3	Chimenea	92
4.3.4	Dámpers	94
4.3.5	Plenum	94
4.3.6	Puerta abatible	105
4.4	Sistema de Regeneración	105
4.5	Sistema de Control	108

CAPÍTULO 5 CONSTRUCCIÓN.

5.1	Lista de materiales existentes en el mercado,	111
5.2	Secuencia de Construcción	113
5.3	Ensamble	119
5.4	Esquemas de ensamble	121

CAPÍTULO 6 PRUEBAS Y CALIBRACIÓN

6.1	Parámetros y variables	129
6.2	Procedimiento	131
6.3	Programación de las pruebas	135
6.4	Realización de las pruebas	137
6.5	Análisis de resultados y discusión	139

CAPÍTULO 7 EVALUACIÓN ECONÓMICA - FINANCIERA

7.1	Evaluación económica.	143
7.1.1	Costos Directos	143
7.1.2	Costos Indirectos	151
7.1.3	Logística	151
7.1.4	Imprevistos	152
7.2	Evaluación financiera.	152
7.2.1	Fuente de Financiamiento	152
7.2.2	VAN, TIR, Flujo de Caja	153
7.2.3	Relación Costo Beneficio	161
7.2.4	Puntos de Equilibrio	162

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1	Conclusiones.	165
8.2	Recomendaciones.	166

BIBLIOGRAFIA	169
--------------	-----

TABLAS

Tabla 2.1: Propiedades físico químicas	8
Tabla 2.2: Composición nutricional de la uvilla	9
Tabla 3.1: Ventajas y desventajas en los tipos de deshidratación.	33
Tabla 3.2: Matriz de decisión selección deshidratación adecuada	45
Tabla 3.3: Actividad del agua y crecimiento de microorganismos en alimentos	47
Tabla 4.1: Temperatura y humedad relativa promedio para Quito.	60
Tabla 4.2: Propiedades del aire a temperatura ambiente.	61
Tabla 4.3: Propiedades del aire a temperatura máxima de trabajo.	62
Tabla 4.4: Características de la uvilla	62
Tabla 4.5: Carga de producto	63
Tabla 4.6: Número de bandejas.	74
Tabla 4.7: Rugosidad en varios materiales	98
Tabla 5.1: Listado de materiales	112
Tabla 6.1: Datos experimentales	138
Tabla 6.2: Datos procesados.	140
Tabla 7.1: Materiales estructura y forraje	143
Tabla 7.2 Mano de obra y maquinaria para estructura y forraje	144
Tabla 7.3: Materiales bandejas	145
Tabla 7.4: Mano de obra y maquinaria bandejas	146
Tabla 7.5: Materiales ducto resistencias	146
Tabla 7.6 Mano de obra ducto de resistencias	147
Tabla 7.7: Materiales y equipos sistema de control y accesorios	148
Tabla 7.8: Mano de obra y maquinaria sistema de control y accesorios	149
Tabla 7.9: Total costos directos	150
Tabla 7.10: Total costos indirectos	151

Tabla 7.11: Producción estimada anual	153
Tabla 7.12: Descripción del proceso previo	154
Tabla 7.13: Descripción de costos	154
Tabla 7.14: Descripción costos mano de obra	155
Tabla 7.15: Descripción consumo energético	156
Tabla 7.16: Flujo de caja	157
Tabla 7.17: Valor actual neto	159
Tabla 7.18: Tasa interna de retorno	160
Tabla 7.19: Relación costo beneficio	162
Tabla 7.20: Punto de equilibrio	164

FIGURAS

Figura 2.1: Marchites de planta uvilla	12
Figura 3.1: Proceso de secado continuo	26
Figura 3.2: Proceso de secado por lotes	27
Figura 3.3: Curva de humedad vs. tiempo	34
Figura 3.4: Velocidad de secado vs. tiempo	35
Figura 3.5: Velocidad de secado vs. contenido de humedad	35
Figura 3.6: Tipos de humedad	51
Figura 3.7: Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire.	54
Figura 3.8: Esquema representativo carta psicrométrica	58
Figura 4.1: Calentamiento simple del aire.	65
Figura 4.2: Circuito de resistencias en paralelo.	69
Figura 4.3: Bandeja en acero inoxidable	71
Figura 4.4: Soporte bandejas acero inoxidable.	75
Figura 4.5: Circulación del aire entre las bandejas.	76
Figura 4.6: Distribución interna del horno deshidratador	77
Figura 4.7: Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie.	79
Figura 4.8: Representación calor suministrado al producto	87
Figura 4.9: Tolva adaptadora de redondo a cuadrado	95
Figura 4.10: Rugosidad de la pared de conducto	98
Figura 4.11: Ventilador axial.	103
Figura 4.12: Ventilador centrífugo.	103
Figura 6.1: Curva de secado de la uvilla.	141

NOMENCLATURA

- A_c = Área de la sección transversal. / [m²]
 A = Área sección hilo / [m²]
 A_{ms} = Área de superficie por kilogramos de materia seca. / [m² / Kg_{materiaseca}]
 A_s = Área superficial promedio. / [cm²]
 A_{sec} = Área de superficie de secado. / [m²]
 A_{Tsec} = Área total de secado. / [m²]
 A_{Ban} = Área de carga por bandeja. / [m²].
 A_{Tsec} = Área total de secado. / [m²]
 α = Tasa de transferencia de calor. / [W/m²°K]
 A_{libre} = Área libre entre bandejas. / [m²].
 A_p = Área de la pared plana. / [m²]
 q_a = Calor transferido al producto. / [W]
 A_{ven} = Área equivalente de la hélice del ventilador. / [m²].
 β = Coeficiente volumétrico de expansión térmica. / [°K⁻¹]
 C_d = Carga de producto final deshidratado. / [Kg]
 C_p = Calor específico a presión constante. / [KJ/(Kg . °K)]
 CT = Costos totales
 cf = Costos fijos
 cv = Costos variables
 C_s = Masa seca de la carga de secado. / [Kg_{masa seca}].
 D_U = Diámetro de la uvilla. / [m]
 D_h = Diámetro hidráulico. / [m]
 d_{he} = Diámetro de la hélice del ventilador. / [m]
 ϵ = Rugosidad promedio de la superficie del ducto. / [m]
 e = Espesor material. / [m]
 F_C = Factor de carga.
 F_{neto} = Flujo neto
 f = Factor de fricción.
 Gr = Número de Grashof.
 g = Aceleración de la gravedad. / [m / s²]

h_1 = Entalpía del aire temperatura de entrada. / [KJ/Kg]
 h_2 = Entalpía del aire de salida a temperatura de salida. / [KJ/ Kg]
 h_3 = Entalpía de la mezcla. / [KJ/Kg]
 h_a = Entalpía del aire ambiental. / [KJ/Kg]
 h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. / [W/m²°K]
 h_L = Pérdida de energía por fricción. / [Nm/N]
 H_L = Pérdida menor. / [m]
 i = Interés
 I = Intensidad de corriente eléctrica (Amperios) / [A]
 L = Longitud unitaria / [m]
 m_a = Masa de aire seco ambiental. / [Kg_{aireseco}/min]
 m_w = Tasa de transferencia de agua. / [Kg_{agua}/min].
 m_2 = Masa de aire seco a la salida. / [Kg_{aire seco}/min]
 \dot{m}_a = Relación de flujo de masa. / [Kg/s]
 m_{arec} = Masa de aire ambiente para mezclar. / [Kg/min]
 m_{2rec} = Masa de aire de salida a recircular. / [Kg/min]
 m_3 = Masa de aire seco a después de mezcla. / [Kg_{aire seco}/min]
 m_1 = Flujo de masa de aire seco entrada. / [Kg_{aire seco}/min]
 Nu = Número de Nusselt promedio.
 η = Eficiencia del proceso de secado. / [%]
 N_{Ban} = Número de bandejas.
 Pr = Número de Prandtl.
 ρ_r = Resistividad / [Ωm]
 P_{atm} = Presión atmosférica / [Pa]
 PM = Perímetro mojado. / [m]
 P_e = Perímetro de la pared plana. / [m]
 ρ_a = Densidad del aire / [Kg/m³]
 ρ_U = Densidad del producto. / [gr/cm³]
 ρ = Densidad del fluido. / [Kg/m³]
 K = Coeficiente de resistencia.
 k = Conductividad térmica. / [W/m⁰K]
 \dot{Q} = Relación de transferencia de calor. / [KW]

Q_a = Caudal de aire necesario por nivel. / [m³/min]
 q = Transferencia de calor. / [W]
 R_C = Velocidad de secado. / [Kg_{agua}/s].
 Re = Número de Reynolds.
 r = Rugosidad relativa del ducto.
 R_{Tot} = Resistencia térmica total. / [K / W]
 R = Resistencia / [Ω]
 R_A = Constante de los gases ideales / 0.2870 [KPa m³/ Kg °K]
 R_C = Velocidad de secado. / [Kg_{agua}/s].
 S_w = Masa de sólido húmedo / [Kg]
 S_d = Masa de sólido / [Kg]
 T_A = Temperatura del aire ambiental / [°K]
 T_2 = Temperatura del aire a entrada. / [°K]
 T_1 = Temperatura del aire a salida. / [°K].
 T_f = Temperatura de película. / [°C]
 T_∞ = Temperatura del fluido. / [°K]
 T_s = Temperatura superficial de la pared. / [°K]
 T_∞ = Temperatura del fluido. / [°K]
 T = Temperatura de bulbo seco. / [°K]
 T_s = Temperatura del producto. / [°K]
 T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo. / [°K]
 t_C = Tiempo de secado régimen constante. / [h]
 t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. / [h].
 T_∞ = Temperatura del fluido. / [°C]
 T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo. / [°K]
 t = Tiempo total de secado. / [h]
 t_C = Tiempo de secado en régimen constante. / [h]
 U = Coeficiente global de transferencia de calor. / [W/m².°K]
 V = Voltaje o potencial. (Voltios) / [V]
 V_U = Volumen promedio producto. / [m³]
 ν = Viscosidad cinemática. / [m² / s]
 ν = Viscosidad cinemática. / [m²/s]

V = Velocidad media del flujo. / [m/s]
 VAN = Valor actual neto
 W = Masa de agua / [Kg]
 ω_d = Humedad específica del aire de saturación. [Kg_{agua} / Kg_{aireseco}]
 ω_1 = Humedad específica del aire de entrada. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]
 ω_2 = Humedad específica del aire a salida. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]
 ω_a = Humedad específica aire ambiente. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]
 ω_3 = Humedad específica del aire después de mezcla. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]
 X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}]
 X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}]
 X_d^* = Humedad de equilibrio en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].
 X_{df} = Humedad final del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].
 X_{do} = Humedad del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{seco}]
 X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}]
 X_d^* = Humedad de equilibrio en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].
 X_{df} = Humedad final del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].
 $\%_{Rec}$ = Porcentaje de aire máximo a recircular, / [%]
 z = Altura de la ubicación sobre el nivel del mar. / [m]
 Δh_{fg} = Calor latente o entalpía de vaporización. / [KJ/Kg].
 ΔT = Diferencia de temperaturas entre superficies. / [°K]
 ΔP = Caída de presión. / [Pa]
 Δh_{fg} = Calor latente o entalpía de vaporización. / [KJ/Kg].

ANEXOS

Anexos A	Planos de la máquina	173
	A1 Planos de Conjunto.	
	A2 Planos Constructivos.	
	A3 Planos de Circuitos eléctricos y control.	
Anexos B	Manual de mantenimiento y operación del equipo.	218
	B 1 Operación.	
	B 2 Mantenimiento y seguridades.	
Anexos C	Fotografías del equipo	227
Anexos D	Fotografías del producto	231
Anexos E	Instructivo de programación del temporizador	235
Anexos F	Hoja técnica del ventilador	239
Anexos G	Tablas de pérdidas por fricción	245

RESUMEN

Al ser el Ecuador un país con falta de iniciativas en lo concerniente a la búsqueda de mercados que requieran productos no tradicionales, la empresa Equinox Business Limited vio la necesidad de entregar a su mercado un nuevo producto que contenga un valor agregado. Razón por la cual decidieron exportar un producto diferente de excelentes características como lo es la uvilla, fruto poco conocido en nuestro mercado, que se caracterizaba por ser un fruto silvestre. Actualmente se lo cultiva de manera técnica en zonas altas entre los 1500 y 3000 m.s.n.m. Las principales zonas de cultivo se ubican en sectores como Mira, Tulcán, Puenbo, Patate, etc. En nuestro país la uvilla alcanzado en los últimos años niveles aceptables de cultivo porque los agricultores nacionales han visto la aceptación del mencionado fruto en mercados nacionales y extranjeros.

Es un fruto de alta perecibilidad y con mucha facilidad a desarrollar microorganismos que aceleran su descomposición por su alto contenido de agua, por lo que la empresa auspiciante requiere procesar la fruta para tener mayores tiempos de preservación y evitar desperdiciar la fruta que no puede ser comercializada. En vista de esta situación se requiere deshidratar el fruto obteniendo un producto novedoso como es la pasa de uvilla que tiene aceptación en mercados nacionales e internacionales.

Razón por la cual se nos planteo construir un equipo que pueda cumplir con todos los requerimientos planteados por los auspiciantes, debiendo determinar las características físicas del producto para seleccionar el método mas adecuado para la deshidratación y determinar los parámetros que influyen en el proceso de diseño del equipo.

Por la capacidad requerida de 300 Kg de producto fresco por carga se procede a deshidratar en lotes, a través de flujo de aire forzado caliente que circula

sobre las bandejas distribuidas en el interior de la cámara que contiene el producto.

Se construyó un horno que contiene en su interior 20 bandejas, el flujo de aire forzado es dado a través de un ventilador axial de 1500 CFM y calentado por un juego de resistencias eléctricas. Con un sistema totalmente controlado que permite mantener la temperatura de operación, se puede encender de manera manual o automática a través del controlador del tiempo tanto para encender como para apagar.

Se realizaron las pruebas respectivas comprobando el adecuado funcionamiento del equipo, obteniendo un producto final agradable en el lapso estimado de tiempo.

Con el análisis financiero se observa que es un proyecto atractivo y rentable para la inversión, es un producto nuevo con mira a ocupar mayor mercado en el futuro, resaltando la importancia de apoyar a otros sectores con tecnología para mejorar los procesos post cosecha y entregar productos finales con valor agregado.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

ANTECEDENTES

Uno de los grandes problemas que vive el país es el concerniente a la falta de iniciativas en la búsqueda de mercados que demanden nuevos productos con valor agregado; es así que productos tradicionales como el Banano, Cacao y el Camarón han visto un decaimiento en sus exportaciones en los últimos años, debido a un creciente mercado competitivo, en el cual nuestro país ha perdido la capacidad de comercializar estos productos, por la falta de políticas que logren mejorar la calidad y presentación de los mismos, ya que por lo general se han dedicado a la exportación de materia prima.

Al ser el Ecuador un país rico en biodiversidad por su ubicación geográfica, podemos encontrar una gran gama de productos no tradicionales y exóticos. Los productos no tradicionales antiguamente no presentaban mayor demanda en el mercado, por lo cual su obtención se la hacía de manera silvestre y artesanal, pero debido a la gran aceptación que han tenido estos productos en los últimos años, se han ido desarrollando diversos proyectos para incentivar cultivos a gran escala.

A partir del año de 1992, se empezó a exportar productos no tradicionales como una nueva alternativa para ampliar la oferta del país hacia mercados internacionales; con lo cual se tecnificó la siembra y cosecha de la uvilla, exportándose generalmente este producto dentro de su capuchón natural o fuera de este, en canastillas plásticas cubiertas por una película también plástica.

La uvilla, al ser un producto de elevada concentración de humedad, altamente perecible y de constitución orgánica frágil, tiene un tiempo de

conservación limitado; este factor, acompañado por el cierre de su principal mercado a la importación de frutos en el verano, ocasiona grandes pérdidas en nuestro sector agro exportador; por lo cual vemos la necesidad de dar un valor agregado al producto. Es así que la mejor manera de preservar el fruto y ofrecer nuevas alternativas en el mercado, es mediante la deshidratación del producto.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La agricultura ha sido, por tradición, una de las actividades de mayor movimiento en nuestro país. Al tener el Ecuador un potencial agrícola muy diverso, se ha podido explorar nuevos mercados con productos no tradicionales, los que han tenido una gran aceptación.

En vista que la uvilla es una fruta exótica con alto contenido de humedad y perecibilidad elevada, presenta la facilidad de desarrollar micro organismos que producen una acelerada descomposición, lo cual constituye un problema que impide a los productores conservarlos en forma adecuada para la comercialización, y es un factor que ha provocado que grandes cantidades de uvilla sean desechadas al presentarse deterioros significativos en su olor, sabor y apariencia. Sumando a este inconveniente el cierre de los principales mercados a donde se exporta el producto en verano, la empresa ha visto la necesidad de desarrollar un horno deshidratador para obtener pasa de uvilla, la cual se puede comercializar como una alternativa a estos problemas.

Por este motivo, actualmente la empresa Equinox Business Limited utiliza un deshidratador artesanal construido en madera, sin ningún tipo de aislamiento térmico y que utiliza como fuente de energía un sistema a gas inapropiado; con esto se obtiene un proceso poco eficiente, de alto riesgo laboral, con largos tiempos de secado, con altos costos de producción y un producto de baja calidad.

Ante la oportunidad de un mercado actualmente existente para exportar pasa de uvilla en presentaciones de 50 y 100 gr, se requiere industrializar la obtención de este producto de manera eficiente, conservando sus propiedades físico-químicas como aroma, sabor y color, para lo cual es necesario diseñar y construir un deshidratador apropiado para este fruto.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar y construir un deshidratador rectangular de inducción con capacidad de 300 Kg para obtener pasa de uvilla para la empresa Equinox Business Limited.

ESPECÍFICOS

- **Investigar el comportamiento físico de la fruta para determinar los parámetros óptimos que nos permitan tener un producto de alta calidad.**
- **Realizar el diseño térmico y mecánico del horno, y el diseño del sistema de control para el proceso.**
- **Construir el equipo y realizar las pruebas para el funcionamiento apropiado, para obtener una pasa de uvilla que sea agradable al consumo humano**

ALCANCE DEL PROYECTO

El equipo de deshidratación a diseñar y construir se instalará en el Centro de Acopio de la empresa Equinox Business Limited, lo que permitirá la obtención de pasa de uvilla mediante un sistema eficiente de aire de flujo forzado, manteniendo sus características de calidad.

Iniciando con pruebas de investigación y análisis del comportamiento de la uvilla, se obtendrá la información necesaria para el diseño térmico de la cámara principal, fuente de calor y el sistema de regeneración, los mismos que serán construidos utilizando materiales disponibles en nuestro medio.

Al finalizar la etapa de diseño y construcción del equipo deshidratador, se someterá a sus primeras pruebas de funcionamiento, para hacer la respectiva calibración, tras lo cual se entregará el equipo funcionando adecuadamente a la empresa que patrocina este proyecto, satisfaciendo la expectativa para la cual fue diseñada. Con esto se espera beneficiar al sector agrícola y productivo del país, con miras de abrir nuevos espacios en los mercados nacionales e internacionales, al entregar un producto no tradicional con valor agregado.

El proyecto incluye la entrega de los respectivos planos de conjunto, manual de operación, manual de mantenimiento y seguridad.

JUSTIFICACIÓN

El país tiene como uno de sus mayores recursos al sector agrícola, por lo cual es de suma importancia el poder desarrollar proyectos que permitan mejorar las condiciones actuales de este sector; con esto el tecnificar y simplificar los procesos de post- cosecha y el desarrollar tecnología adecuada para nuestros productos, ayudará a reducir costos de producción y obtener un producto final de mayor calidad, que sea apto para la exportación, logrando de esta forma que el país abra nuevos mercados al entregar productos con valor agregado, y no solamente materia prima que ha sido uno de los grandes problemas en los que se encuentra nuestra industria.

La empresa Equinox Business Limited, productora y exportadora de productos no tradicionales, ha visto la necesidad de desarrollar nuevas alternativas para comercializarlos, por lo cual, existiendo el interés en el

desarrollo de tecnología adecuada para sus productos, ha decidido financiar el diseño y construcción de un deshidratador de uvillas de inversión moderada, que permita obtener pasa de uvilla en grandes volúmenes con calidad de exportación.

El proceso de deshidratación de alimentos se lo realiza para garantizar un mayor tiempo de conservación, evitando el crecimiento de microorganismos y enzimas que dañen al producto. Existen diversos medios a través de los cuales se puede retirar el agua de los alimentos; entre ellos está el flujo forzado de aire caliente, la liofilización o vacío, y los procesos osmóticos.

Para el presente proyecto se ha visto la factibilidad de desarrollar un horno de deshidratación rectangular de inducción, con flujo forzado de aire caliente, debido a que son tecnológicamente los más desarrollados y usados a nivel mundial por su bajo costo de fabricación, en relación a otros sistemas, como por ejemplo el vacío (liofilización), y por su facilidad de operación y la seguridad que brinda al operario.

Considerando que la tecnología necesaria para la ejecución del presente proyecto está al alcance de nuestro medio, y con los fundamentos científicos adquiridos a través de nuestro paso por la Facultad de Ingeniería Mecánica, nos vemos en la capacidad de poder llevar a cabo el diseño y construcción del deshidratador requerido por la empresa.

Con este proyecto se puede estar abriendo la puerta para el desarrollo de muchos otros proyectos que se requieren en nuestro país, dentro del sector agrario, que necesita mucho de nuestra cooperación para tecnificar varios procesos pre y post cosecha. Es así que nosotros vemos una gran posibilidad para aplicar nuestros conocimientos y de alguna forma apoyar al avance de nuestro país.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DE LA UVILLA

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA UVILLA

La Uvilla (*Physalis peruviana L.*), pertenece a la familia de las *Solanáceas* y al género *Physalis*; cuenta con más de ochenta variedades que se encuentran en estado silvestre, y que se caracterizan porque sus frutos están encerrados dentro de un cáliz o capullo. La uvilla es una fruta muy conocida en los valles andinos desde Chile hasta Colombia; es conocida por diferentes nombres, entre los que destacan los siguientes: Copa capoli, agua y mate, amor de bolsa, cereza del Perú, chuchuva, miltomate, motojobobo embolsado o capuli, sacabuche, cereza de judas, yuyo de hojas, cereza de invierno, cereza de la tierra, tomate de cáscara, grosella del Cabo, entre otros.

La Uvilla crece como planta silvestre y semisilvestre en zonas altas entre los 1.500 y 3.000 m.s.n.m. Actualmente, la Uvilla se encuentra en casi todos los altiplanos de los trópicos y en varias partes de los subtrópicos, incluyendo Malasia, China y el Caribe, entre otras.

Su cultivo se propaga por semilla, para lo cual se requiere desarrollar semilleros que permitan su germinación y su posterior trasplante a campo. El tiempo entre la iniciación del semillero y la primera cosecha es de aproximadamente nueve meses y medio. Para hacer un mejor manejo del cultivo y obtener fruta de mayor calidad, se recomienda el tutorado de las plantas. El período útil de producción de la planta es de nueve a once meses, desde el momento de la primera cosecha, ya que a partir de entonces disminuye tanto la productividad como la calidad de la fruta.

En el Ecuador, la uvilla ha sido, por tradición, una fruta casi de tipo silvestre y de producción artesanal, hasta hace unos pocos años en que el mercado nacional vio la posibilidad de exportarla a gran escala; actualmente los mercados a los cuales se la exporta son países del hemisferio norte como Francia, Alemania y Suiza.

Este cultivo se ha extendido a casi toda la serranía con buenas posibilidades, en especial bajo invernadero, en donde se pueden obtener buenos rendimientos y sobre todo calidad. Las zonas de mayor aptitud para este cultivo se ubican en el callejón interandino como Mira, Otavalo, Cotacachi, Puenbo, Píllaro, Salcedo, Ambato, Patate, Guamote, Cuenca, y Biblian entre las principales

En el mercado nacional, la uvilla fresca se comercializa con y sin capuchón; los empaques varían, aunque la presentación más común es la de la Uvilla pelada empacada en canastilla plástica de 450 gramos, cubierta por una película plástica que se sujeta con una banda de caucho.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

Las principales características y propiedades de la fruta se las explica en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Propiedades físico químicas¹

CONCEPTO	MEDIDAS
PESO UVILLA SIN CALIZ	2 – 10 [gr]
DIAMETRO	1.25 – 2.50 [cm]
PH	3.50
ACIDEZ	1.66
^a BRIX	14.43
COLOR	Amarillo quemado
CALORIAS	62 cal
VITAMINA A	1730 UI

Contenido de 100g de la parte comestible.

Tabla 2.2: Composición Nutricional De La Uvilla²

HUMEDAD	80 %	CALCIO	8 mg
CARBOHIDRATOS	16 g	FOSFORO	55.30 mg
CENIZAS	1.01 g	HIERRO	1.23 mg
PROTEINAS	0.05 g	CAROTENO	1.61 mg
GRASAS	0.16 g	RIBOFLAMINA	0.03 mg
FIBRA	4.90 g	NIACINA	1.72 mg
ACIDO ASCORBICO	43 mg	TIAMINA	0.01 mg

Fuente: Fruti Gargener, California Rare Fruti Growers, Inc.

La uvilla a ser tratada por nosotros tiene un peso promedio de 3 gramos, un diámetro de 1.4 centímetros, disponibilidad de agua de 0.952 y tomamos para el calor específico un valor promedio para frutas de características similares de 3.3 KJ/Kg °K.³

¹ Fuente: Fruti Gargener, California Rare Fruti Growers, Inc.

⁴ Fuente: Manejo Poscosecha de productos hortofrutícolas, EPN.

³ Fuente: Frank Incropera, Fundamentos de transferencia de calor, Tabla A.3

El fruto de la Uvilla es una baya carnosa en forma de globo; está cubierto por un cáliz formado por cinco sépalos que le protege contra insectos, pájaros, patógenos y condiciones climáticas extremas.

Uno de los principales problemas que tiene el fruto, por ser una baya jugosa, es el rajado, porque posee una epidermis muy delgada y un parénquima con numerosas lagunas, lo que constituye una fisiopatía que produce pérdidas importantes en la producción y comercialización, y esta es la causa principal para que la fruta sea descartada por el exportador. Por ejemplo, en una empresa se presenta un promedio del 19% de fruta rechazada.⁴

La uvilla se puede rajarse por crecimiento rápido del fruto o por senescencia (sobre madurez), lo que se debe obviamente a un desequilibrio entre el volumen del fruto y la capacidad de extensión de la epidermis. Los diferentes tipos de este desorden incluyen el rajado superficial de la epidermis (cracking), y rajado profundo que penetra el interior de la pulpa (splitting) en forma ecuatorial o longitudinal.

Todas las frutas están sometidas a procesos naturales de deterioro y descomposición progresivos; la uvilla, al ser un fruto con alto contenido de humedad o alta disponibilidad de agua, es un producto altamente perecible, pues permite un rápido desarrollo de microorganismos. Un manejo inadecuado o un grado avanzado de madurez en las frutas favorecen la contaminación microbiológica, pero no patógena, que afectaría al consumidor promedio. Para lograr disminuir estas pérdidas, se debe mejorar el manejo postcosecha y destinar parte de la producción a la conservación, en fresco, y a la transformación de las frutas mediante técnicas apropiadas.

2.1.2 MORFOLOGÍA DE LA FRUTA.-

En la región interandina del Ecuador la Uvilla por lo general presenta la siguiente morfología:

Raíz: Fibrosa, pivotante, muy ramificada, profundidad promedio de 0.5 a 0.8 cm.

Tallo: La Uvilla es una planta de tallo herbácea, quebradizo, cubierto de vellosidades color verde, posee en sus nudos varias yemas de donde nace una hoja, otras ramas y una flor, puede alcanzar alturas de 1.20 metros. Promedio en la región interandina 84.8 cm.

Hojas: Dispuestas, simples, enteras, acorazonadas, pubescentes, distribuidas en forma alterna desde la base del tallo hasta el ápice.

Flores: Hermafroditas pentámeras, color amarillo, con centro púrpura, tubulares, cáliz, formado por sépalos persistentes, ovario ínfero.

Fruto: Es una baya carnosa, envuelto en un cáliz acrecente globoso, de color verde, que cambia a amarillo dorado cuando llega a la madurez.

Semilla: Forma elíptica aplanada pequeñas de 1 mm de longitud, de color claro.

2.1.3 PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL FRUTO.-

2.1.3.1 Dormidera O Marchitez Del Fruto.-

Esta enfermedad se manifiesta ocasionando flacidez o marchitez de algunas ramas de las plantas afectadas (Figura 2.1), que se hace mas evidente en las horas de mayor temperatura durante el día; posteriormente la marchitez se generaliza a toda la planta.

Cuando se inicia la marchitez el follaje de la planta enferma no presenta **clorosis**, sin embargo trascurridos tres o cuatro días calurosos la planta se torna amarilla y muere.

Los síntomas de la enfermedad se acompañan de un oscurecimiento del tejido vascular a manera de rayas angostas que se puede observar al realizar un corte longitudinal en el tercio inferior del tallo. Cuando porciones de estos tallos se colocan en agua limpia y se presionan suavemente se puede observar la salida de un exudado blanquecino. La presencia de las células bacteriales se debe corroborar mediante observación directa al microscopio.

Este tipo de enfermedad se desarrolla en cualquier etapa de desarrollo del cultivo.



Figura 2.1: Marchitez de planta uvilla.⁵

⁵ Producción Uvillas y manejo postcosecha, Dep. Alimentos EPN.

2.1.3.2 Mancha Grasienta.-

Los principales síntomas característicos de esta enfermedad se manifiesta en los capuchones, en los cuales aparecen decoloraciones o manchas pequeñas de color castaño claro, que van incrementando su tamaño hasta comprometer gran parte del tejido, el cual toma la apariencia de papel parafinado o engrasado. La parte comestible del fruto no se afecta, pero su apariencia externa se deteriora reduciendo la calidad para el mercado de exportación. Pero cuando el producto es para mercado nacional la enfermedad no reviste importancia económica.

Por lo tanto, cabe resaltar que estos dos tipos de enfermedades que se presentan en los cultivos de Uvillas, se deben generalmente a disturbios de origen bacterial, por lo que se recomienda la implementación de prácticas de carácter preventivo, entre las principales están:

- Para el establecimiento de cultivos de Uvilla se debe tener presente que en el lote a seleccionar para la siembra no se haya presentado ningún tipo de enfermedad.
- Realizar desinfección del suelo para los semilleros, usar material de propagación sano.
- Cuando el fruto presenta la enfermedad de marchitez, además de las prácticas anteriores se recomienda no asociar ni intercalar la Uvilla con otras solanáceas hospedantes de la bacteria como tomate, tomate de árbol, papa, pimentón, naranjilla-
- Realizar monitoreos periódicos al cultivo.
- Erradicar tempranamente las plantas afectadas por marchitez, procurando causar mínimos disturbios al suelo y posteriormente cercar el sitio contaminado (mínimo por seis meses).
- Evitar el transporte de plantas para nuevas siembras desde las zonas donde se presente o se sospeche la presencia de la enfermedad.
- Realizar desinfección de herramientas al pasar de una planta a otra podando o cosechando (puede ser con vanodine al 5%, creolina al 8%),
- Canalizar aguas de riego para evitar la diseminación de la enfermedad y la contaminación de plantas sanas con aguas provenientes de sitios o focos donde se ha presentado la enfermedad.

2.1.4 LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA UVILLA EN EL ECUADOR

La situación actual de los cultivos de uvilla en el Ecuador atraviesa por diversas situaciones, entre las que tienen mayor relevancia podemos resaltar las siguientes:

- Mayoría de cultivos: pequeños productores.
- Bajo nivel de asistencia técnica: diversas prácticas

- Alto uso de agroquímicos
- Alto uso de mano de obra
- No hay control sobre el material de vivero

Además se han realizado otros estudios concernientes a los cultivos en las zonas productoras del país y se ha podido determinar los siguientes datos estadísticos:

- Las pérdidas actuales del cultivo de la uvilla alcanzan un 13%.
- Se requiere de una elevación en los niveles de productividad nacional.
- Menores costos de producción
- Mayor calidad de la fruta
- Más competitividad en los mercados internacionales, al diversificar las variedades de productos.⁶

2.1.4.1 Costos De Producción De La Uvilla.-

Los costos para determinar los valores exactos de producción de esta fruta en nuestro país se los ha podido clasificar conociendo los diez principales indicadores que intervienen para su procesamiento.

COMPONENTES	Porcentaje (%)
Mano de obra	42,7
Otros insumos domésticos	17,4
Transporte	13,7
Agroquímicos	13,4
Tierra	6,8
Fertilizantes orgánicos	2,3
Empaques	1,4
Plantación	1,1
Maquinarias	0,8
Combustibles	0,4

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería de Colombia

2.1.4.2 Producción Orgánica De La Uvilla.-

La producción ecológica, orgánica o biológica es mucho mas compleja de lo que los productores y especialmente los profesionales conciben; es algo que en la actualidad nuestro

⁶ Fuente: Manejo Poscosecha de productos hortofrutícolas, EPN.

país esta desarrollando con otras frutas, y ya se conoce de proyectos en la región norte del país donde se piensa implementar este tipo de producción.

Pero para una producción orgánica se requiere de una apertura de mentalidad hacia el cómo y el por qué de producir. Es mucho más que el simple reemplazo de insumos de síntesis química por insumos orgánicos o de origen biológico.

Integrando los elementos de las diferentes normas existentes, puede definirse la producción ecológica, biológica u orgánica como aquel sistema holístico de gestión de la producción primaria, y su posterior transformación, que realza y fomenta el equilibrio de los recursos naturales, la diversidad de los ciclos biológicos y respeta la actividad biológica del suelo y su vocación natural. ⁷

Desde la perspectiva agro ecológica, "la agricultura ecológica" aparece como una más de las agriculturas alternativas. Después de su regulación, esta consideración de "alternativa", sólo es válida en la medida que la agricultura ecológica contribuye a crear en primer lugar un medio ambiente equilibrado, y que pueda proporcionar rendimientos sostenidos, preserve la fertilidad de los suelos, se incremente el control natural de plagas mediante la potenciación de los sistemas naturales de control.

2.5 PROCESOS POST COSECHA PARA LA UVILLA

Una vez cosechado el fruto, no se lo debe dejar a pleno sol o pasarlo a ambientes fríos; el cambio brusco de temperatura desde su hábitat a otro medio, aumenta el porcentaje de ruptura. La caída de la fruta desde la mano del cosechador hasta el recipiente produce maltrato en el producto.

Para el acopio de la fruta, se la debe llevar a un lugar cubierto para que allí se seque, y de esa manera evitar la propagación de hongos y el deterioro de la calidad. Al ser la uvilla una fruta que no puede ser almacenada por grandes periodos, esta debe ser sometida a un preenfriamiento rápido, para bajar su temperatura a cero grados centígrados y a una humedad relativa del 80%.

En algunos centros de acopio se realiza la primera selección; se abren los frutos de su capuchón y se apartan de los que están reventados, sobre maduros y que presenten daños por manipulación, o con signos de haber sido afectados por plagas o enfermedades. Luego se

⁷ Resolución numero 00074 de 2002 del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Colombia

debe transportarlos en cajas plásticas cubiertas con papel periódico a la comercializadora, donde se clasifican a las uvillas en tres grados, debido a la exigencia del mercado:

GRADO EXTRA.- Se exporta como producto fresco; deben ser frutos enteros, grandes, de forma esférica, característica de la uchuva; coloración homogénea de los frutos, dependiendo de su estado de madurez; aspecto fresco y consistencia firme, corteza lisa y brillante; frutos sanos, libres de ataques de insectos o enfermedades.

GRADO UNO.- Cuando la uvilla tiene una presentación pequeña; no tiene acceso a mercados internacionales. Se comercializa en estado fresco para el mercado nacional, cumple con los requisitos generales pero su tamaño no es el óptimo.

GRADO DOS.- Es la que generalmente se vende para procesamiento, para la elaboración de bocadillos, mermeladas dulces y pulpa. Se admiten frutos rajados que no excedan el 5% del área total. El capuchón puede presentar manchas superficiales, ocasionadas por humedad o por hongos (sin la presencia de éstos), inferiores al 20% del área total, e incluso que el producto sea bastante pequeño.

El mayor valor de mercado está en la fruta fresca por lo que si el producto va a ser comercializado de manera fresca, es decir grado uno o dos, se recomienda un adecuado almacenamiento; conviene dejarlo máximo 20 días en bodegas cuyas condiciones no excedan una temperatura de 18°C y el 70 por ciento de humedad relativa. Si se cuenta con sistemas de refrigeración, pueden ser almacenadas a 2 °C, durante 4 a 5 meses. Esta es una fruta altamente perecible por lo que no se recomienda largos tiempos de almacenamiento. El producto se empaqueta en cestas plásticas con 150 gramos de frutas envueltas con celofán I o celofán II. Estas van dentro de cajas de cartón corrugado.

Esta fruta exótica, en estado fresco, se utiliza para consumirla directamente o para elaborar salsas, helados, glaseados, postres variados, acompañante para diferentes platos fuertes y varias ensaladas, tal como varios cócteles

Si el producto va a tener un proceso agroindustrial, tenemos varias alternativas como fruta congelada IQF, puré, pulpa, mermeladas, conservas, deshidratada (como pasas), y existe un interés en explorar la posibilidad de extraer calcio.

Se sabe que el jugo de la uvilla madura posee altos contenidos de pectinaza lo que disminuye los costos en la elaboración de mermeladas y otros preparativos similares, por lo que al llegar a la empresa se hace un muestreo para determinar el grado de maduración y el sabor. La tendencia más novedosa en mermeladas es evitar la adición de preservativos, colorantes o saborizantes y ser presentada en empaques al vacío que aumentan la duración del producto.

2.6 DESHIDRATACIÓN

Una alternativa del hombre para aprovechar más y mejor los alimentos que se producen en épocas de cosecha, es conservarlos mediante la disminución del contenido de agua. Para esto, desde la antigüedad empleó el secado al sol y en algunos casos se lo complementó con la impregnación de sal; pero no fue sino hasta el año 1795 que se inventó el cuarto de deshidratación de agua caliente (105 °F) sobre tajadas delgadas de hortalizas.

El principio básico en el cual se fundamenta la deshidratación es que a niveles bajos de humedad, la actividad de agua disminuye a niveles en los cuales no pueden desarrollarse los microorganismos ni las reacciones químicas deteriorantes.

El objetivo principal de la deshidratación, consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua, siendo un método muy eficaz para evitar la putrefacción y pérdida de los mismos. Por esta razón, la deshidratación o secado de las frutas se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor cantidad de agua existente en los alimentos, mediante algún método mecánico o térmico.

El agua retirada durante este secado o deshidratación, puede ser eliminada de los alimentos por las simples condiciones ambientales o por una variedad de procesos controlados de deshidratación, en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, liofilización y ósmosis, aunque por intuición el término secado está más bien involucrado con la eliminación del agua por la adición de calor.

El término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo supervisión, lo cual implica el control sobre las condiciones climatológicas dentro de la cámara o el control de un micro medio circulante. Esta técnica genera una gran ventaja en la cual los alimentos secos y deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios

preservados; ellos son menos costosos de producir. El trabajo requerido es mínimo, el equipo de proceso es limitado.

La eliminación del agua puede ser casi completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de tratar de obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. La deshidratación altera en cierto grado tanto las características organolépticas como el valor nutritivo de los alimentos.

Por lo general, la deshidratación produce cambios físicos, químicos y sensoriales en los alimentos. Entre los cambios físicos están el encogimiento, el endurecimiento y la termoplasticidad. Los cambios químicos contribuyen a la calidad final, tanto de los productos deshidratados como de sus equivalentes reconstituidos, en lo referente al color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. Con frecuencia estos cambios ocurren solo en determinados productos, pero algunos de los principales tienen lugar en casi todos los alimentos sometidos a deshidratación, y el grado en que ocurren depende de la composición del alimento y la severidad del método de secado.

El tiempo de secado y la humedad final del producto, dependerán de la temperatura aplicada, localización del secador, de las condiciones climáticas del lugar y de las características del producto, secándose más rápido el material trozado en pequeñas porciones y con una mayor superficie de secado, que es el caso de la uvilla.

Los factores analizados se tienen en cuenta cuando se va a diseñar un equipo de deshidratación de alimentos. Se debe tender a lograr la máxima velocidad del secado, con el mínimo de daño al alimento al costo más bajo. Para esto se debe trabajar en forma interdisciplinaria para conseguir resultados óptimos.

El punto crítico del material biológico es otro tópico de vital importancia pues el alimento nunca es completamente homogéneo, y tiende a comportarse de manera diferente debido a que varía desde su composición inicial, cantidad y características del agua que posee. Los patrones de encogimiento, migración de solutos, etc., cambian sus propiedades a lo largo de la operación de secado.

Por todo lo anterior, es definitivo combinar unas buenas condiciones de proceso, equipos adecuados y experiencia con los productos a deshidratar. Por lo general, la calidad lograda en la deshidratación es proporcional al costo del proceso aplicado, aunque existan sus excepciones.

Temperaturas de secado que oscilan entre los 38 a 71° C aseguran la destrucción de las bacterias y la inacción de las enzimas. Una temperatura de 43° C es la que recomiendan los expertos. Demasiado calor, sobre todo al comienzo del proceso, impide un secado completo. Una vez secos los alimentos se deben dejar enfriar antes de almacenarlos.

En la actualidad, la calidad de los productos secos ha mejorado debido a una serie de factores, entre los cuales se puede mencionar el uso de equipos deshidratadores para el secado solar y artificial de mejor eficiencia, y mediante la aplicación de pre tratamientos químicos para la mejor conservación de color, aroma y sabor de los productos.

Además de los propósitos de conservación, la deshidratación se aplica para disminuir el peso y el volumen de los alimentos. Esto resulta evidentemente en un ahorro en el costo del transporte, empaques y almacenamiento. En algunos casos sirve también para poner al alcance del consumidor, una mayor variedad de alimentos de más cómoda utilización.

2.6.1 ACTIVIDADES PREVIAS A LA DESHIDRATACIÓN

Las actividades que se deben realizar en el manejo de la uvilla, previo al proceso de deshidratación, son las que detallamos a continuación:

- **Recepción**

Consiste en la recepción de la fruta, para efectuar el acopio en el local destinado para llevarse a cabo el proceso de secado.

- **Clasificación**

En este paso se realiza la clasificación de acuerdo al tamaño de la fruta, con el propósito de que el secado sea uniforme, ya que si se tiene diferentes tamaños de la fruta en una misma bandeja, el secado de la fruta no será uniforme.

- **Pesado**

Antes de realizar el secado es necesario efectuar un pesado con el fin de cuantificar la materia prima, con la que se empezará el proceso, y poder determinar el rendimiento del producto final, una vez culminado el secado en el cual se eliminará gran parte del agua que contiene la uvilla.

- **Lavado**

Se debe realizar un lavado de la fruta con el objeto de eliminar las impurezas que pueden estar presentes en la corteza o piel.

- **Inmersión en azúcar**

El tratamiento de inmersión en azúcar común, se lo efectúa en cubas propias para el proceso, y se lo realiza previo a la inmersión en sosa al 0.3%; este tratamiento pretende evitar un oscurecimiento de la fruta, pues se consigue que la uvilla se torne de un color café, paso previo al tratamiento.

- **Inmersión de la Fruta en Sosa**

Se sumerge la fruta en una solución de sosa al 0.3% con una temperatura de 93°C, durante 3 segundos. Esto sirve para eliminar la capa externa de cera y para romper la parte superficial de la epidermis. Además, facilita la salida del agua durante la desecación.

- **Neutralización de la sosa**

Se neutraliza la sosa por inmersión en una solución al 1% de ácido cítrico.

- **Distribución del producto**

Aquí, se debe distribuir la fruta en las bandejas.

2.6.2 PROCESOS POSTERIORES A LA DESHIDRATACIÓN

- **Enfriamiento**

Se debe enfriar el producto para poder manipularlo y proceder a envasar. Esto generalmente se lo realiza de manera artesanal, dejando las bandejas con el producto deshidratado por unos veinte minutos a la temperatura ambiente previo al proceso de envase.

- **Clasificación y envasado**

Se elimina la fruta defectuosa y pulverizada. Las uvillas pasas se envasan en fundas de plástico. Antes del envasado, las uvillas pasas pueden ser tratadas con aceite de vaselina para darles más brillo.

2.6.3 INFLUENCIA DE PARÁMETROS EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO

La textura de los alimentos es el parámetro de calidad que más se modifica con la desecación. Sus variaciones dependen mucho del tipo de pre-tratamiento que se da al alimento (como lo son la inmersión en sosa y en azúcar), pues dependiendo del tipo de fruta sometida al proceso de deshidratación, se verá el tipo de intensidad con que se realiza la reducción de tamaño y el modo de pelado; para nuestro caso particular, la fruta tiene que ingresar con cáscara.

La variación en la textura depende también de las condiciones del secador; por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas, los cambios serán más pronunciados que con flujos y temperaturas más bajas. A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento. Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua provoca que la concentración de solutos en la superficie aumente, lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable. Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación, dando lugar a un alimento seco en su superficie, pero húmedo en su interior.

Las principales propiedades organolépticas del producto a cuidar son:

- **Aroma.-**

El calor no sólo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. Su mayor o menor pérdida dependerá de la temperatura, de la concentración de sólidos en el alimento y de la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua

La desecación también produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación.

La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento. Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos.

- **Color.-**

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas, etc. Por lo general, cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos.

La oxidación y la actividad enzimática residual favorecen el desarrollo del pardeado durante su almacenamiento. Esto puede evitarse usando el escaldado como tratamiento previo a la desecación o tratando la fruta con ácido ascórbico u otros compuestos.

Estos tratamientos previos a la deshidratación no afectan en forma directa al costo final de producto, pues se estima que por cada kilo de producto deshidratado, tendremos un costo de producción, localizados en capítulo siete; valor que al ser tratado de forma directa en el costo final de producción será rentable y competitivo, pues estamos asegurando que nuestro producto conservará características y propiedades normalizadas a nivel mundial para exportación.

- **Valor Nutritivo.-**

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. A medida que el proceso de deshidratación avanza, algunas de ellas (por ejemplo: la riboflavina) alcanzan su sobresaturación y precipitan. Las pérdidas, por tanto, son pequeñas. Otras, (por ejemplo: el ácido ascórbico) se mantienen disueltas hasta que el contenido en agua del alimento es muy bajo y reaccionan con los solutos a mayor velocidad a medida que el proceso progresa. La vitamina C también es sensible al calor y la oxidación. Por ello, los tiempos de deshidratación deben ser cortos. Otras vitaminas

liposolubles son más estables (a la oxidación y al calor) por lo que sus pérdidas rara vez son superiores al 5 - 10%. Los nutrientes liposolubles se encuentran, en su mayor parte, en la materia seca del alimento, por lo que durante la deshidratación no experimentan concentración alguna. Los metales pesados, sin embargo, actúan como catalizadores de reacciones de oxidación de nutrientes insaturados; están disueltos en la fase acuosa del alimento. A medida que el agua se elimina, su reactividad aumenta y las reacciones de oxidación (de lípidos esenciales también) se aceleran.

La deshidratación no cambia sustancialmente el valor biológico y la digestibilidad de las proteínas de la mayor parte de los alimentos.

2.7 APLICACIONES

Generalmente la fruta se consume fresca; se la suele añadir a ensaladas de vegetales y frutas obteniendo un sabor agrídulce. Los frutos también se los ofrece confitados. Igualmente se emplea en la elaboración de salsas y glaseados para carnes y pescados; se usa para conseguir un fascinante sabor en los postres; es decir en general su sabor combina bien con las carnes, vegetales, frutos y postres. Con la fruta se elaboran salsas, mermeladas y jaleas. Secada al sol constituye una pasa realmente agradable. De otra parte la planta resulta buena para la protección de los suelos contra la erosión.

A la uvilla se le atribuyen las siguientes propiedades medicinales:

- Purificación de la sangre y elimina la albúmina de los riñones.
- Limpieza de cataratas y vista en general.
- Reconstrucción y fortificación del nervio óptico
- Es un excelente tranquilizante debido al contenido de flavonoides
- Es adelgazante y es eficaz para el tratamiento de afecciones de la garganta y próstata.
- Por su elevado grado de vitamina A y C es un excelente calcificador.

CAPITULO 3

TECNOLOGÍA DEL SECADO

3.1. PROCESO DE SECADO

Se clasifican los procesos de secado en base a las características y propiedades físicas del material húmedo manejado, o el procedimiento utilizado para transmitir el calor al sólido húmedo; esto último es importante para entender la diferencia existente entre el diseño y funcionamiento de los secadores; por esto se los clasifica así:

- **Por el método de operación.**
 - **Continuos**
 - **Discontinuos o por lotes**

- **Por el método de proporcionar el calor.**
 - **Directos**
 - **Indirectos.**

- **Por la naturaleza de la sustancia a secar**
 - **Sólido rígido**
 - **Sólido granular**
 - **Otros**

A. PROCESO DE SECADO CONTINUO

Es un proceso empleado en producción a gran escala, porque nos permite obtener un producto deshidratado de manera constante. Su principio de funcionamiento consiste en colocar el producto húmedo en el extremo de entrada del horno secador, para que se desplace de manera continua dentro del mismo, de modo que al terminar su recorrido se encuentre libre de humedad.

Si la producción es importante, las operaciones de carga y descarga a efectuar en un proceso discontinuo serían tediosas, para lo cual el funcionamiento continuo es deseable y a su vez económicamente más rentable. Puede usarse el calentamiento directo o indirecto y a veces ambos.

En este proceso de secado, la materia húmeda es alimentada continuamente dentro del horno, en tanto que el producto seco se lo retira de la misma forma. En muchos casos el sólido se traslada dentro del secador mientras se pone en contacto de una corriente gaseosa que puede ser en flujo paralelo o en contracorriente como se representa en el siguiente esquema.

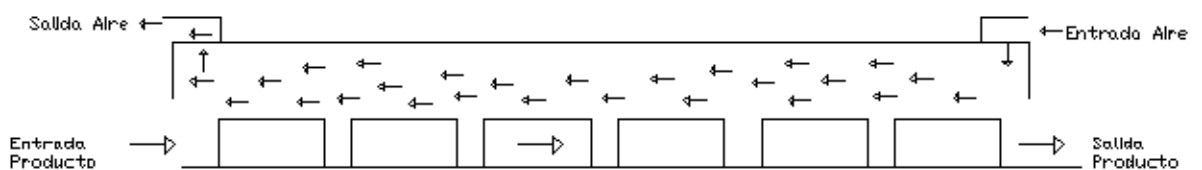


Figura 3.1: Proceso de Secado Continuo

B. PROCESO DE SECADO DISCONTINUO O POR LOTES

Este proceso de secado es intermitente o cíclico. El producto se coloca dentro de la cámara de secado, se lo deshidrata hasta niveles de humedad preestablecidos, después de lo cual se lo retira del equipo para volver a cargarlo con un nuevo lote y repetir el proceso. Esto generalmente implica grandes requisitos de mano de obra y, como consecuencia, este proceso de secado no resulta ser económico, de ahí que estos equipos están orientados para aplicaciones a menor escala.

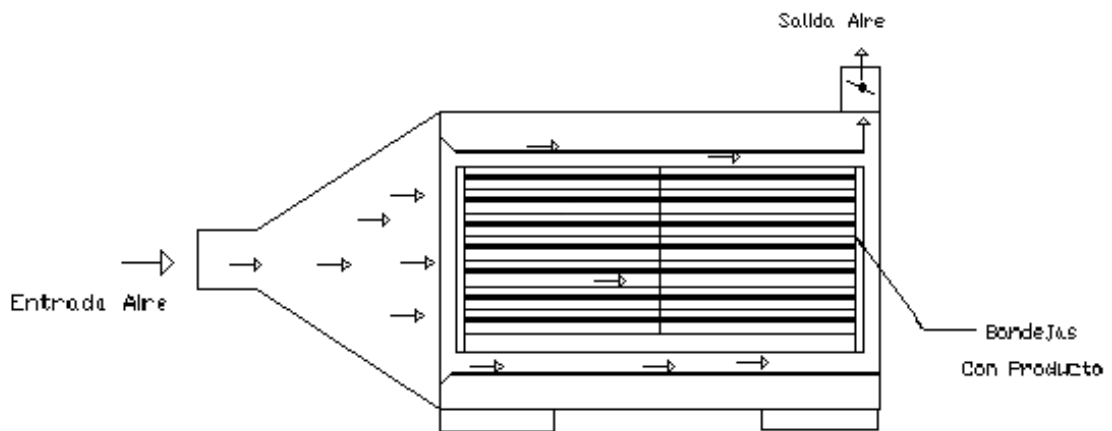


Figura 3.2: Proceso de Secado por Lotes

C. PROCESO DE SECADO DIRECTO

El proceso de secado directo, consiste en suministrar aire caliente de manera directa hacia el producto, es decir que se entregará el calor necesario para la evaporación del agua y para a la vez, arrastrar el vapor producido a la superficie del material húmedo. El proceso de secado directo, a su vez, se encuentra sub clasificado por el método de operación aplicado (continuo o discontinuo), y por la naturaleza del material que se va secar (rígido, granular, pastoso, etc.), como se puede observar a continuación:

a) Equipos discontinuos

- **Secaderos de bandejas con corriente de aire.**
- **Secaderos de cama fluidizada.**
- **Secaderos con circulación a través del lecho sólido.**

b) Equipos continuos

- **Secaderos de túnel.**
- **Secaderos neumáticos.**
- **Secaderos ciclónicos.**

- **Secaderos de cama chorreada.**
- **Secaderos de cama vibratoria.**
- **Secadero de cama fluidizada.**
- **Secaderos sprays o atomizador.**
- **Secaderos tipo turbina.**
- **Secaderos rotatorios.**

Dentro de los cuales podemos considerar como importantes, a los siguientes secadores:

- **Secador De Bandejas Con Corriente De Aire**

Consiste esencialmente de una cámara aislada que contiene un ventilador para circular el aire, haciéndolo pasar a través de un calentador, y luego sobre placas ajustables que lo dirigen bien horizontalmente entre las bandejas que contienen el alimento, o bien verticalmente a través de las bandejas y producto alimenticio.

En las bandejas (removibles) del gabinete se coloca el material a secar, una vez cargado el gabinete, se cierra y se introduce aire caliente para evaporar la humedad, hasta lograr el grado de secado deseado.

Los calentadores de aire pueden ser mecheros de gas, cambiadores de serpentín de vapor, de agua o resistencias eléctricas; las velocidades generalmente utilizadas son de 1 a 6 metros/segundo, mientras que los sistemas de flujo horizontal requieren de 15 a 100 m³/min por cada m² de área de bandeja.

- **Secador Con Circulación A Través Del Lecho Sólido**

Tiene por fundamento hacer pasar aire caliente a través de un lecho de sólidos, en tales condiciones que los sólidos se encuentran suspendidos en el aire.

El aire caliente actúa de medio de fluidización y de secado. La parrilla que soporta el lecho puede ser una simple placa perforada. Estos pueden trabajar bajo presión superior o inferior a la atmosférica según su lugar de trabajo, siempre y cuando estén situados adecuadamente los ventiladores.

- Secador De Túnel

Estos secadores directos son, en esencia, adaptaciones del secador de carritos en operación continua. Estos consisten en túneles relativamente largos donde los carritos, cargados con bandejas llenas del sólido a secar, circulan y se ponen en contacto con una corriente de gas, para evaporar la humedad.

El tiempo de permanencia en el secador debe ser lo suficientemente largo como para que sea posible reducir el contenido de humedad del sólido al valor deseado. Hay muchas modificaciones del secador de túnel, los que, esencialmente, utilizan el mismo principio pero son diferentes en los detalles del proyecto, relacionados con la naturaleza de la sustancia a secar.

- Secador Neumático

En esta clase de secadero se suspende el producto húmedo en una corriente móvil de aire caliente que lo lleva a través del sistema de secado. Se lo puede considerar como una aplicación del sistema de lecho fluidizado. El aire se lo extrae del sistema por medio de un separador de sólido-gas, corrientemente un ciclón.

- Secador De Spray O Atomizador:

Se utiliza extensamente en la industria de los alimentos para secar disoluciones y papillas. Se introduce el producto alimenticio en la cámara de secado en forma de lluvia fina, donde se pone en contacto íntimo con una corriente de aire caliente, produciéndose un secado muy rápido y la formación de un polvo seco.

La principal característica radica en el tiempo de secado muy corto, uno a diez segundos, y temperatura de producto baja.

- **Secador Rotatorio:**

Este es uno de los grupos más importantes de secadores, aconsejables para el manejo de materiales granulares que fluyen libremente y que se pueden volcar sin preocupaciones por su rotura. En esta clase de secadero el producto gira en una cámara cilíndrica pasando aire caliente a través de él a medida que el producto es agitado.

En algunos casos las paredes de la cámara se calientan también, y se sitúan tubos calientes en el cilindro. La cámara cilíndrica de acero se monta sobre rodillos, con una inclinación pequeña respecto a la horizontal. El cilindro se halla instalado formando un pequeño ángulo con la horizontal, por lo que el sólido se mueve lentamente a través del dispositivo. Dentro del secador existen elevadores que se extienden por las paredes del cilindro, por todo lo largo del secador, elevando el sólido y dejándolo caer por el aire en forma de lluvia, exponiéndole completamente a la acción secante del gas.

D. PROCESO DE SECADO INDIRECTO

Diferente al secado directo, en la forma de transmisión del calor y separación del vapor, el calor se transfiere mediante conducción a través de una pared o superficie metálica, la cual está en contacto con el producto a secar.

Son secadores cuyos gabinetes son hechos con placas de hierro fundido o de acero.

Están provistos de puertas que cierran herméticamente, de modo tal que solo se pueda operar a presiones menores que la atmosférica. No se sopla ni se recircula aire a través de ellos. Las bandejas que contienen el sólido a secar descansan sobre estantes perforados o huecos a través de los cuales pasa agua caliente o vapor de agua, a fin de proveer calor

suficiente para la evaporación de la humedad. El sólido recibe el calor a través de los estantes. Una vez cerrado, se extrae el aire del secador por medio de una bomba de vacío o de un eyector de chorro de vapor, y se procede a destilar la humedad.

El proceso de secado indirecto, a la vez, se encuentra sub clasificado al igual que los directos, por el método aplicado de operación, y por la naturaleza del material que se va secar, como se puede observar a continuación:

a) Equipos discontinuos.

- Secaderos de bandejas a vacío.
- Secaderos de bandejas a presión atmosférica.
- Secaderos por congelación.

b) Equipos continuos.

- Secaderos de tambor.
- Secaderos con circulación a través del lecho.

- **Secador De Bandejas A Vacío**

Este tipo de deshidratador del tipo indirecto consta generalmente de una cámara metálica hermética al vacío, que en su interior contiene bandejas que soportan y calientan al producto, así como una fuente de vacío y condensador respectivo.

El agua contenida en el fruto se evapora debido al vacío que se crea, y porque la temperatura de operación en este tipo de secador, es menor en que los secadores de presión atmosférica. Por esta razón, sólo se lo puede aplicar a productos sensibles a la temperatura como son los disolventes tóxicos, sustancias farmacéuticas, etc.

- **Secador De Tambor**

Son cubiertas cilíndricas con casquete para el vapor de agua, dispuestas horizontalmente, en las que se puede secar una pasta o lodo. Se agita el barro por medio de un conjunto de cuchillas fijadas en el eje horizontal que pasa a través de los extremos de la cubierta cilíndrica. Por una abertura ubicada en la parte superior, la humedad evaporada pasa a un condensador. Con una bomba de vacío se saca el gas no condensable y el sólido seco se descarga por una puerta ubicada en la parte inferior del secador.

Los secadores de esta categoría son de construcción y operación costosas. En consecuencia, solo se aplica a materias muy valiosas cuyo secado deba hacerse a baja temperatura o en ausencia de aire, para impedir deterioros como en el caso de ciertos productos farmacéuticos.

- **Secador Por Congelación**

Se puede secar por este método las sustancias que no permiten ser calentadas ni aún a temperaturas moderadas, como ciertos alimentos y medicinas. Se congela la sustancia a secar al exponerlo a una corriente de aire muy frío, y se lo coloca en una cámara de vacío, donde se sublima la humedad para ser extraída por medio de eyectores de chorro de vapor, o de bombas mecánicas de vacío. En cualquier circunstancia, uno de los mayores problemas consiste en suministrar el calor necesario para la sublimación.

3.1.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Un alimento puede ser deshidratado en forma natural o mediante el uso de sistemas artificiales, y dentro de los procesos continuo y discontinuo, razón por la cual existen ventajas y desventajas en estos métodos; las principales y de mayor relevancia son:

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas en los tipos de Deshidratación.

PROCESOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CONTINUO	Es aplicable en producción a gran escala y de manera constante.	Solamente aplicable en grandes industrias
	Tiene menor costo de mano de obra.	Mayor inversión de construcción
	No existen tiempos muertos en carga y descarga.	Requiere de grandes áreas para su instalación
DISCONTINUO	Ahorro de energía al funcionar en ciclos programados de trabajo	Mano de Obra más costosa.
		Capacidad limitada por ciclo de secado
	Aplicable a pequeña y mediana industria.	El secado se realiza en varios ciclos

Tabla 3.1: Ventajas y desventajas en los tipos de Deshidratación.

(Continuación)

	No requiere de grandes áreas para su instalación	Se requiere de mayores tiempos para carga.
DIRECTO	Aplicable en la mayor cantidad de productos	Dependiendo de la materia, se selecciona el más apropiado.
	Tecnología accesible.	
INDIRECTO	Apto para sustancias especiales.	De altísimo costo por su complejidad y tecnología
		Tecnología muy poco accesible.

3.2. REGÍMENES DE SECADO

3.2.1 CURVA FUNDAMENTAL DE SECADO

La cinética de secado de un material, no es más que la dependencia entre la humedad del mismo y la intensidad de evaporación con el tiempo, o con las variables relacionadas con este, tales como la propia humedad o las dimensiones del equipo. La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo.

A partir de las curvas de cinética de secado, que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc.

3.2.2 PRUEBA DE SECADO

Se puede determinar el régimen de secado para una muestra de una sustancia, suspendiéndola de una balanza en presencia de una corriente de aire, dentro de un gabinete o de un conducto. Luego se puede medir el peso de la muestra a secar en función del tiempo.

Para realizar las pruebas se deben tener ciertas precauciones. Para que los datos sean de mayor utilidad, la muestra no debe ser muy pequeña y las condiciones deben ser lo más semejante posible a aquellas en las que se va a operar a gran escala. Se debe tratar de realizar varias pruebas, probando espesores para analizar alternativas. Es muy complejo el poder realizar pruebas parecidas cuando no se tiene equipos apropiados, pero el aproximarlos sirve para obtener una idea del proceso de secado del producto.

3.2.3 CURVA DE SECADO

Con los datos obtenidos durante la prueba de secado, o sea de la variación de la humedad con el tiempo, se puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo Fig.3.3. Este será útil para la determinación directa del tiempo necesario en el secado discontinuo de grandes partidas, bajo las mismas condiciones de secado.

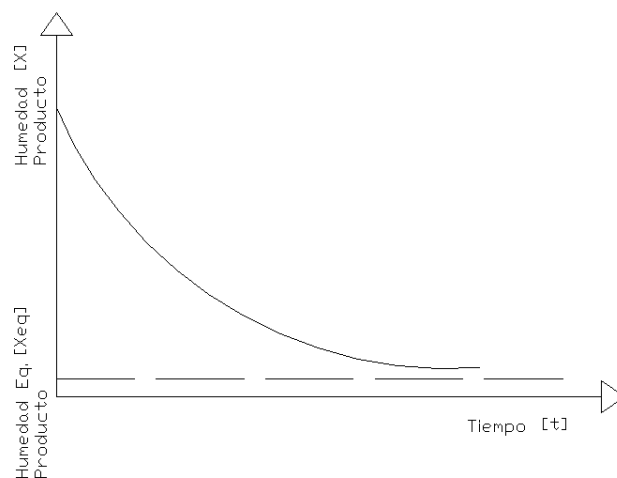


Figura 3.3: Curva de Humedad vs. Tiempo⁸

3.2.4 RÉGIMEN DE SECADO.-

Del grafico presentado anteriormente, se pueden apreciar dos partes notorias de la curva régimen de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado, como se puede observar con más detalle en las siguientes gráficas (fig. 3.4 y fig. 3.5):

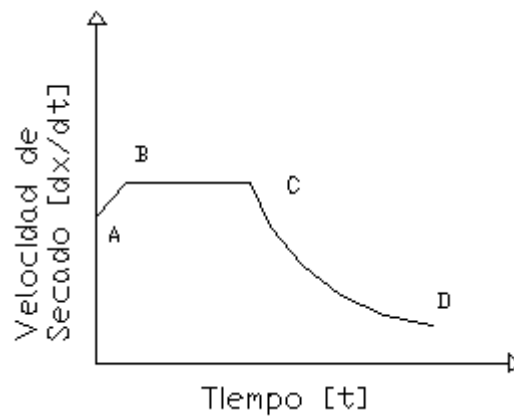


Figura 3.4: Velocidad de Secado vs. Tiempo

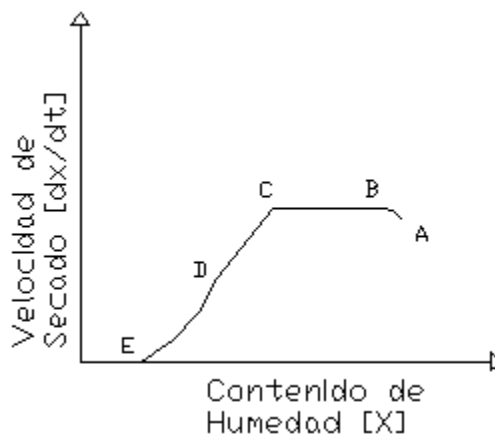


Figura 3.5: Velocidad de Secado vs. Contenido de Humedad

⁸ Geankoplis, Proceso de transporte y operaciones unitarias.

- **Curva De Estabilización Inicial (Etapa A-B): Es una etapa de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.**

- **Curva De Velocidad Constante De Secado (Etapa B-C), Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante, donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.**

- **Curva De Velocidad Decreciente (Etapa C-E), Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente. En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento higroscópico. Durante el período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura, y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.**

Este período de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. Esto implica dos modelos de secado diferente en dicha zona.

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar, es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo período, llamada humedad crítica. Esta depende del tipo del material y de la relación de secado en el primer período.

La forma de la curva de secado en el segundo período varía con dependencia de las características del material a secar.

En la práctica, el comportamiento de los alimentos puede ser distinto del que se esperaría de acuerdo a las curvas de deshidratación teórica. Esto se debe a que en ellos se produce cierto grado de retracción que provoca cambios en la temperatura y en la velocidad de difusión del vapor en diferentes partes del alimento, así como cambios en la temperatura y la humedad relativa del aire utilizado para la deshidratación.

3.2.5 TIEMPO DE SECADO

El método utilizado para determinar el tiempo de secado se basa en una ecuación cinética que permite describir todo el proceso de secado hasta obtener el nivel deseado de humedad. Se parte de la definición de velocidad de secado, y en donde se debe aplicar el valor previamente obtenido de la tasa de transferencia de calor en la siguiente ecuación:

$$R_C = \frac{\alpha A_{T \text{ sec}}}{\Delta h_{fg}} (T - T_{bh}) \quad (3.1)$$

En donde;

R_C = Velocidad de secado. / [Kg_{agua}/s].

Δh_{fg} = Calor latente o entalpía de vaporización. / [KJ/Kg].

α = Tasa de transferencia de calor. / [W/m²°K]

A_{Tsec} = Área total de secado. / [m²]

T = Temperatura del flujo de aire. / [°K]

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo. / [°K]

El valor del calor latente se obtiene en la tabla de propiedades del agua, entrando con la temperatura superficial del producto que es equivalente a la temperatura de bulbo húmedo, obteniendo 2370.7 KJ/Kg.

Reemplazando obtenemos la velocidad de secado igual a 0.0063 Kg_{agua}/s.

El tiempo total de secado es la suma del tiempo de secado en el régimen constante y el tiempo en el régimen decreciente:

$$t = t_C + t_D \quad (3.2)$$

En donde:

t = Tiempo total de secado. / [h]

t_C = Tiempo de secado en régimen constante. / [h]

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. / [h]

El tiempo de secado en el régimen constante se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$t_C = \left(\frac{X_{do} - X_{dc}}{3600R_C} \right) C_s \quad (3.3)$$

En donde:

t_C = Tiempo de secado régimen constante. / [h]

X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}]

X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}]

C_s = Masa seca de la carga de secado. / [Kg_{masa seca}].

Una vez que ha transcurrido el tiempo necesario en el cual el producto se ha estado deshidratando constantemente, empieza el régimen decreciente en el cual es más lento el secado, zona en la cual el tiempo se determina a través de la siguiente ecuación:

$$t_D = \frac{(X_{dc} - X_d^*)C_s}{3600R_c} \ln \left(\frac{X_{dc} - X_d^*}{X_{df} - X_d^*} \right) \quad (3.4)$$

En donde;

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. / [h].

X_d^* = Humedad de equilibrio en base seca. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{masaseca}}$].

X_{df} = Humedad final del producto en base seca. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{masaseca}}$].

Ecuaciones que nos permitirán conocer los periodos de secados, tanto constante y para el decreciente.

3.3. TECNOLOGÍAS DEL SECADO

3.3.1 DESHIDRATACIÓN SOLAR

Los productos pueden secarse usando la radiación solar directa o indirecta. El método más simple de secado solar consiste en colocar el producto a secar directamente sobre una superficie negra plana; el sol y el viento secarán la cosecha. La luz directa del sol no es aconsejable; un método sencillo para la construcción de un secador directo es a partir de una malla metálica enmarcada que al colocarse sobre bloques de madera u hormigón permite la circulación de aire por debajo del producto. Por encima del producto se puede colocar una cubierta de tela ligera con objeto de protegerlo de insectos y pájaros.

Para aumentar la eficiencia del secado se deben usar algunas estructuras que capturen la radiación solar. Existen modelos más complejos de secadores solares que los anteriormente descritos. Se construyen con ventanas de vidrio

o plástico transparente que cubren el producto proporcionando protección contra insectos. a la vez que captan más calor solar.

Los secadores indirectos se construyen de modo que la radiación solar es recogida por un dispositivo. Este colector solar consiste en una caja poco profunda con interiores pintados de negro y un panel de vidrio en la parte superior. El aire caliente así recogido asciende a través de un recipiente que contiene de cuatro a seis bandejas apiladas en las que se carga el producto a secar. El secador solar consta de un colector solar, un ventilador y una cámara de secado.

3.3.2 DESHIDRATACIÓN POR FLUJO DE AIRE CALIENTE

En este proceso el alimento se pone en contacto directo con una corriente de aire caliente. El calor se transfiere al producto principalmente por convección. Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contiene pasa al estado de vapor. El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre aquel una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor. Este gradiente proporciona la fuerza impulsora que permite eliminar el agua.

El agua escapa de la superficie de los alimentos por los siguientes mecanismos:

- 1. Por capilaridad.**
- 2. Por difusión, provocada por las diferencias en las concentraciones de solutos entre las distintas partes del alimento.**
- 3. Por difusión del agua, absorbida en diversas capas sobre las superficie de los componentes sólido del alimento.**
- 4. Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de vapor existente en el interior del alimento.**

La capa superficial de aire que rodea al alimento dificulta, durante la deshidratación, la transferencia tanto del calor como del vapor. Su espesor está principalmente determinado por la velocidad del aire. Si esta es demasiada baja, el vapor que abandona la superficie del alimento aumenta la humedad relativa del aire circundante, reduciendo la gradiente de presión de vapor y dificultando la deshidratación. De forma semejante, si la temperatura del aire desciende o su humedad relativa aumenta, la velocidad de evaporación disminuye y la deshidratación se hace más lenta.

La temperatura máxima que se puede utilizar es 70°C. Iniciando el secado con una temperatura elevada, el agua de los tejidos superficiales se evapora demasiado rápido. Esto dificulta la salida del agua de los tejidos internos, dando como resultado productos de baja calidad. Temperaturas elevadas y una humedad baja, causan la caramelización de los azúcares presentes en las frutas.

La capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento depende de su temperatura y del agua que contiene, que se expresa como (humedad absoluta); humedad relativa (HR) en porcentaje, que representan la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura multiplicado por cien.

Para producir flujos de aire caliente, existen varias alternativas de equipo entre las cuales están: rectangulares, circulares, hexagonales (todas estas solo con flujo calórico \dot{Q} “ventilador y calefactor en funcionamiento”) y rotatorias o centrifugas (Flujo calórico y centrifugado “ventilador, calefactor y motor del tambor en funcionamiento”).

Tanto los deshidratadores rectangulares, circulares o hexagonales, constan de una cámara con bandejas internas por donde fluye el aire caliente que es calentado mediante el uso de combustibles como Gas, Kerosén o mediante energía eléctrica, con lo cual entra el aire en la cámara de secado y atraviesa por las bandejas donde se ubica el producto, saliendo el flujo por la chimenea

para eliminar una parte del aire saturado, para que la humedad relativa del aire se mantenga alrededor del 60%.

Los deshidratadores rotatorios o centrífugos tienen como característica principal disminuir los tiempos de exposición al calor, pero son de uso especial dependiendo del producto, ya que suele maltratarlo. Se aprovecha la fuerza centrífuga como coadyuvante en la eliminación del agua; en este tipo de equipos el aire atmosférico ingresa a través de un tubo regulado mediante un damper. El aire se impulsa mediante un ventilador centrífugo a través de calefactores, con lo cual entra el aire en la cámara de secado y atraviesa un tambor giratorio que contiene los alimentos a deshidratar, pasa por el alimento y es recibido por otro tubo para su recirculación o eliminación, dependiendo de los requerimientos del proceso.

En general, se determina que a mayores fuerzas centrífugas, menores tiempos de secado, independiente de la velocidad de aire. Los tiempos de secado resultantes son menores que los que se requieren en los deshidratadores de bandejas, pero no son comparables debido a las variables que intervienen al utilizar equipos diferentes.

3.3.3 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DIRECTA

La ósmosis directa es otra técnica que permite concentrar a temperatura ambiente alimentos sólidos. Un caso típico son las frutas en trozos, que al ser sumergidas en soluciones concentradas de azúcares, por el fenómeno de ósmosis el agua de las células de las frutas sale a diluir el jarabe exterior. De esta forma la fruta se concentra y el jarabe se diluye progresivamente con el agua y ciertos compuestos solubles de la fruta, capaces de salir de ésta a través de la membrana o paredes celulares.

Con el objeto de definir la ósmosis, es preciso definir antes la difusión. Esta última es el acto por el cual, dos cuerpos en contacto, se van mezclando

lentamente por si mismos. Este fenómeno es debido a la energía cinética que tienen las moléculas, por la cual se hallan en continuo movimiento.

La osmosis es el fenómeno de difusión de líquidos o gases, a través de una sustancia permeable para alguno de ellos. La transferencia de agua se puede detener aplicando a la disolución una presión, además de la presión atmosférica. El valor de esta presión adicional necesaria para detener el paso de agua recibe el nombre de presión osmótica de la disolución.

De lo anterior se puede deducir que a mayor concentración de solutos en un compartimiento, que puede ser una célula, mayor será la presión osmótica que posea, es decir, mayor será su capacidad de absorber agua de la solución más diluida, de la cual está separada por la membrana permeable al agua.

La aplicación del fenómeno de ósmosis en la deshidratación de frutas se puede lograr debido a que un buen número de frutas, como es el caso de la fresa, papaya, mango o uvilla, entre otras, cuentan con los elementos necesarios para inducir la osmosis.

La presión osmótica presente será mayor en la medida que sea mayor la diferencia de concentraciones entre el jarabe y el interior de los trozos de la fruta. El efecto de esta diferencia se ve reflejado en la rapidez con que es extraída el agua de la fruta hacia el jarabe.

Una técnica complementaria recomendada para un producto parcialmente deshidratado por ósmosis, es exponerlo a un ambiente seco (60-70% de humedad) durante 24 a 48 horas, para que se deshidrate un poco más y se pueda conservar sin empaque hermético. Este producto tendrá la apariencia y características de la común uva pasa

Algunas de las ventajas logradas están relacionadas con la conservación de la calidad sensorial y nutricional de las frutas. El agua que sale de la fruta al jarabe de temperatura ambiente y en estado líquido, evita las pérdidas de aromas propios de la fruta, los que sí se volatilizarían o descompondrían a las altas temperaturas que se emplean durante la operación de evaporación que

se lleva a cabo durante la concentración o deshidratación de la misma fruta, mediante otras técnicas.

Por ahora, sólo se emplean las frutas que presentan estructura sólida y pueden cortarse en trozos. Tampoco se recomiendan las frutas que poseen alto número de semillas de tamaño mediano como la mora o guayaba. Algunas frutas pueden perder su poca acidez como el mango o la piña.

3.3.4 DESHIDRATACIÓN POR LIOFILIZACIÓN

La liofilización, ideada a principios del siglo XX, no se difundió hasta después de la II Guerra Mundial. Limitada inicialmente al campo de la sanidad (conservación de medicamentos, por ejemplo), no se aplicó hasta 1958 al sector alimentario.

Consiste en el paso de las moléculas de agua de la fase sólida a la fase vapor; pero sin pasar por la fase líquida (sublimación), Esto se logra al trabajar bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, de tal manera que las tres fases, sólido líquido y vapor coexistan. La intersección de estas tres fases; es llamado el "punto triple del agua, y se encuentra a 32°F y 4,7 mm de mercurio,

La conservación de bacterias, virus u otros microorganismos fue su primera aplicación, pero en la actualidad se utiliza en medicina para la conservación de sueros, plasma y otros productos biológicos; en la industria química para preparar catalizadores, y en la industria alimentaria se aplica a productos tan variados como la leche, el café, legumbres, champiñones o fruta. En esta industria es donde tiene mayor aplicación, pues ofrece ventajas tan importantes como la conservación y transporte fácil de los productos, la ausencia de temperaturas altas, la inhibición del crecimiento de microorganismos, ó la recuperación de las propiedades del alimento al añadirle el volumen de agua que en un principio tenía.

3.4 ALTERNATIVAS PARA SECAR LA UVILLA

Dentro de las diferentes tecnologías existentes actualmente para el secado de frutas:

A: Deshidratación Solar

B: Deshidratación por Flujo de Aire Caliente

C: Deshidratación por Osmosis Directa.

D: Deshidratación por Liofilización

Realizamos la siguiente evaluación para determinar el método más acertado para nuestro diseño:

Tabla 3.2: Matriz de Decisión Selección Deshidratación Adecuada.

#	CARACTERISTICA	A	B	C	D	IDEAL
1	Tecnología a Nuestro Alcance	100	100	70	50	100
2	Costo de Construcción	90	85	90	40	100
3	Proceso Eficiente	35	60	40	70	100
4	Apropiado para el Producto	60	85	70	70	100
5	Fácil Mantenimiento	90	90	85	65	100
6	Facilidad de Operación	92	90	55	70	100
	TOTAL	467	510	410	365	600
	Relación Técnica	0,78	0,85	0,68	0,61	1,00

Por lo cual concluimos que la tecnología adecuada para la obtención de pasa de uvilla es mediante la deshidratación por flujo de aire caliente.

3.5 DESCRIPCIÓN DEL DESHIDRATADOR SELECCIONADO

El deshidratador seleccionado para la obtención de pasa de uvilla, esta diseñado para seguir un proceso directo en un secador rectangular de bandejas, con flujo caliente de aire forzado, del tipo discontinuo, con capacidad de carga 300 kg. por día de producto fresco. El sistema para calentamiento de aire será mediante el método de inducción con el uso de resistencias eléctricas, controlado mediante un sistema que nos permita mantener la temperatura adecuada, en el tiempo de retención en la cámara de secado.

3.5.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS FUNCIONALES

En un secador de bandejas, los alimentos se secan por el paso de un flujo de aire caliente. La capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento depende de su temperatura, del agua que contiene (que se expresa comúnmente como humedad relativa, HR), y parámetros internos del producto que detallaremos a continuación.

3.5.1.1 Disponibilidad Del Agua

Los alimentos deshidratados se conservan debido a que su actividad del agua presente, se disminuye a un nivel tal que ninguna acción microbiana puede ocurrir, y donde además las reacciones deteriorativas, químicas y bioquímicas que causan alteraciones, son reducidas al mínimo. Cuando se deshidrata un alimento, no solo se disminuye su contenido en agua, sino que se disminuye la disponibilidad de esta agua.

La disponibilidad se refiere a que un alimento posee una cantidad de agua y esta no puede estar disponible para reacciones bioquímicas o microbiológicas. Una forma de expresar esta disponibilidad es mediante el término "Actividad de agua". Por analogía, así como el pH es un término que indica el grado de acidez de un alimento, la actividad de agua, a_w , es un término que se emplea para indicar la disponibilidad del agua.

La a_w se representa como la relación de presiones del vapor de agua disponible en un material, que puede ser un alimento, sobre la presión del vapor del agua pura, ambos permaneciendo a la misma temperatura.

$$a_w = (P_{\text{alimento}} / P_{\text{agua pura}})_{\text{temperatura}} \quad (3.5)$$

La disponibilidad del agua no es más que la humedad relativa del aire en contacto con el producto, cuando no existen ni ganancias ni pérdidas de agua entre estos dos. La relación entre la humedad del producto y la disponibilidad del agua para materiales higroscópicos viene representada en curvas isotérmicas o llamadas curvas de equilibrio higroscópico, las cuales se pueden obtener experimentalmente para cada material.

El máximo valor es 1,0. Cuando en agua pura se disuelven otras sustancias, el valor de la a_w disminuye, o cuando a un alimento se le retira parte del agua su a_w también disminuye.

Si esta disminución es en un porcentaje elevado, el alimento adquiere un valor de a_w relativamente bajo y se le podrá denominar alimento de humedad intermedia, o IMF. Si las características sensoriales del producto lo permiten, la a_w de los IMF debería estar por debajo de 0,85 o el pH < 5.0 ya que uno de estos obstáculos protege el producto contra la presencia de enterotoxina del estafilococo. Sin embargo, los IMF con una $a_w < 0.90$, son microbiológicamente estables si estos reciben un tratamiento térmico suficiente para inactivar los microorganismos. La reducción de este, a_w , a niveles inferiores de 0.7 prevendría un daño microbiológico y conforme se alcanzan valores más bajos, se frenan además ciertas reacciones deteriorativas en el producto, en especial aquellas catalizadas por enzimas. En la siguiente tabla se puede apreciar cómo la actividad del agua se relaciona con la inhibición bacteriana.

Tabla 3.3: Actividad del agua y crecimiento de microorganismos en alimentos.⁹

Rango de a_w	Microorganismos Generales Inhibidos en este Rango
1.00 – 0.95	Pseudomonas, Escherichia Proteus y algunas levaduras.
0.95 – 0.91	Salmonella, Serratia, algunos mohos y levaduras.
0.91 – 0.87	Muchas levaduras
0.87 – 0.80	Muchos mohos
0.80 – 0.75	Bacterias
0.75 – 0.65	Sacharomyces bisporus
0.65 – 0.60	Levaduras osmofílicas
0.50 – 0.20	No proliferación bacteriana.

3.5.1.2 Humedad

3.5.1.2.1 Equilibrio

La humedad contenida en un sólido húmedo o en un líquido ejerce una presión de vapor en un grado que depende de la naturaleza de la humedad, de la naturaleza del sólido y de la temperatura. Luego, si se expone un sólido húmedo a una corriente continua de nuevo gas que contiene una presión parcial dada de vapor p_v , podrá el sólido perder humedad por evaporación o ganarla el gas, hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a p_v . Entonces, el sólido y el gas se hallarán en equilibrio, denominándose al contenido de humedad del sólido, el contenido de humedad de equilibrio en condiciones reinantes.

3.5.1.2.2 Formas De Enlace De La Humedad Con El Material

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace, de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

⁹ Cereal Foods World, Larry R. Beuchat, Dep. Food Sc. U Georgia

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico.

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10-5 micras) de longitud. Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino también empleando métodos mecánicos.

3.5.1.2.3 Contenido De Humedad En Las Sustancias

La humedad es la cantidad de agua presente en un producto que se lo representa en porcentajes, ya sea en base húmeda o en base seca:

Contenido De Humedad, Base Seca: (X_d)

Es la relación que existe entre la masa húmeda del producto, sobre la masa seca del sólido.

$$X_d = \frac{kg_{humedad}}{kg_{sólido\ seco}} \quad (3.6)$$

$$X_d = \frac{W}{S_d} * 100 \quad (3.7)$$

W = Masa de agua / [Kg]

$S_w = \text{Masa de sólido húmedo} / [\text{Kg}]$

$S_d = \text{Masa de sólido} / [\text{Kg}]$

Contenido De Humedad, Base Húmeda: (X_w)

Se describe como el contenido de humedad en un sólido o en una solución en función del porcentaje en peso de la humedad y, a menos que se aclare, se entiende generalmente que está expresado en base húmeda.

$$\frac{\text{kg}_{\text{humedad}}}{\text{kg}_{\text{sólido húmedo}}} = \frac{\text{kg}_{\text{humedad}}}{\text{kg}_{\text{humedad}} + \text{kg}_{\text{sólido seco}}}$$

$$X_w = \frac{W}{S_w} \times 100 \quad (3.8)$$

Por lo que tenemos que W (Peso del agua) es:

$$W = S_w - S_d \quad (3.9)$$

El contenido de humedad varía durante el proceso de secado, mientras que la masa del sólido seco es constante, por lo cual es recomendable expresar la humedad en contenido en base seca, y se debe relacionar las dos formas:

$$X_d = \frac{100 \times X_w}{100 - X_w} \quad (3.10)$$

Humedad De Equilibrio: X^*

Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas. Por lo tanto ninguno de los dos absorbe ni rechaza humedad.

Humedad libre: $X - X^*$

Es la humedad del sólido que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Esta es la humedad que se puede evaporar y depende de la

concentración de vapor en la corriente gaseosa. Es decir, es la diferencia entre humedad total y humedad de equilibrio.

Humedad límite:

Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menor que la ejercida por el líquido puro a la misma temperatura.

Humedad no límite:

Es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

En la siguiente figura se muestran representadas dichas humedades.

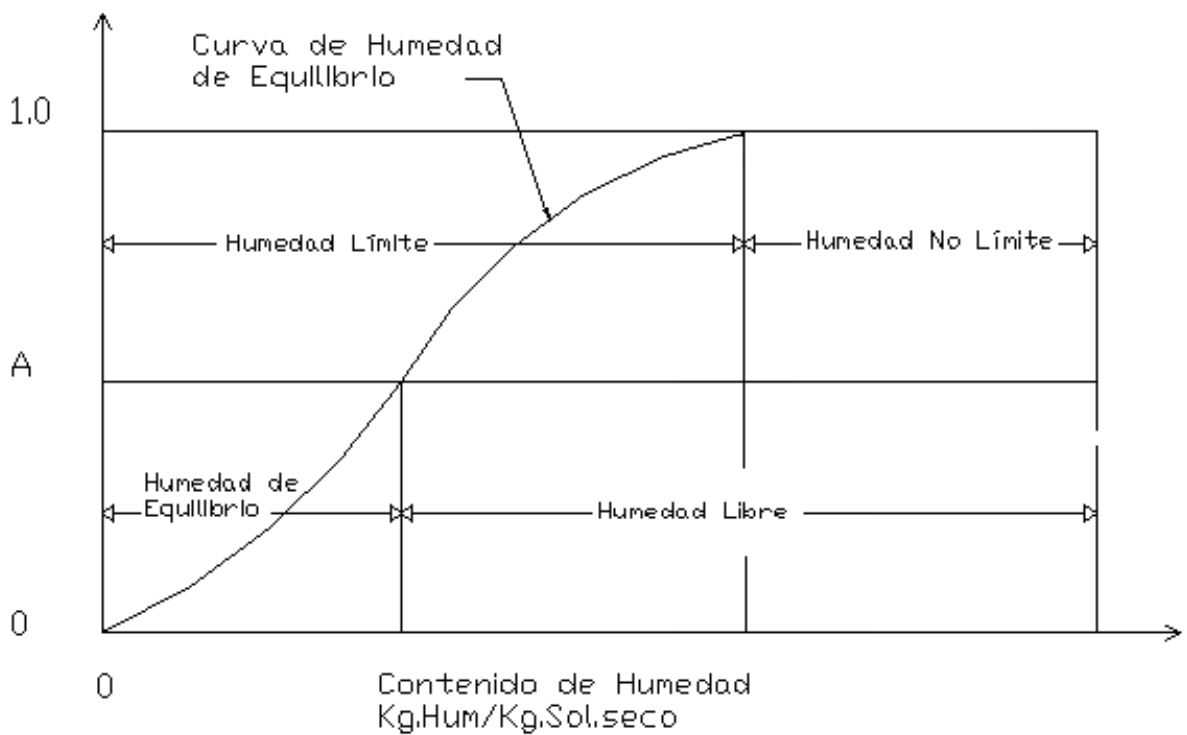


Figura 3.6: Tipos de Humedad

3.5.1.2.4 Movimiento De La Humedad Dentro Del Sólido

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie.

La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen.

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad, y la relación de ésta con las curvas de régimen.

1. **Difusión líquida:** Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja.
2. **Movimiento capilar:** La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.
3. **Difusión de vapor:** Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido, mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie las partículas de humedad existentes en sólidos granulares, en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.
4. **Presión:** Durante el secado, debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cual de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

3.5.1.2.5 Masa De Humedad A Remover

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo; éstos dependen de una serie de factores que incluyen condiciones internas y externas.

Las condiciones externas están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y por la masa de la capa límite del gas, y en el caso que estas predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas. Aquí la superficie se comporta como una superficie libre de agua.

Las condiciones internas están definidas por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso de que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante será las propiedades del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.**
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.**

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor, el mismo que puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior, y desde ésta al interior del sólido. En el secado por convección, el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un

agente gaseoso, o un vapor que pasa por encima del sólido o que lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calientes o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido. En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

3.5.1.2.6 Histéresis

Si el material a secar se pone en contacto con el aire húmedo, entonces, en principio, son posibles dos procedimientos:

- 1.- Secado (desorción de la humedad del material) siendo la presión parcial del vapor (p_m) sobre la superficie del material, superior a su presión parcial en el aire o el gas (p_v), es decir para $p_m > p_v$
- 2.- Humectación (adsorción de la humedad del material) para $p_m < p_v$.

En el proceso de secado, la magnitud p_m disminuye y se aproxima a su límite, $p_m = p_v$. En este caso se da el estado de equilibrio dinámico, al que corresponde la humedad límite del material, llamada humedad de equilibrio (X^*).

La humedad de equilibrio depende de la presión parcial del vapor sobre el material (p_v) o de la magnitud de la humedad relativa del aire (ϕ), que es proporcional a dicha presión y se determina por vía experimental. Para este fin, una muestra del material a secar se coloca en un medio ambiente con distinta humedad relativa (ϕ); y se pesa periódicamente a intervalos constantes de tiempo. La humedad del material alcanza el equilibrio al lograr que su masa no varíe.

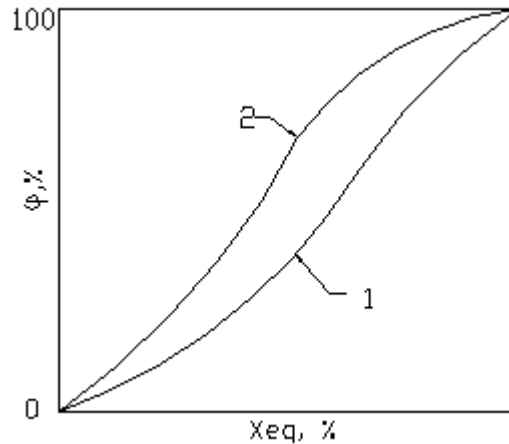


Figura 3.7: Dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire.

Habitualmente el peso constante para las muestras se logra en una desecadora, empleando soluciones de ácido sulfúrico en diferentes concentraciones y así se obtiene la dependencia entre la humedad de equilibrio del material y la humedad relativa del aire.

La dependencia de la humedad de equilibrio del material en función de la humedad relativa del aire se determina manteniendo constante la temperatura, y por tanto, es una isoterma. La curva 1 de la figura 3.7 fue obtenida al evaporar (desorber) la humedad del material, o sea, al secarlo y se denomina isoterma de desorción. La curva 2 dispuesta por encima, se obtuvo para el proceso inverso, es decir, humectación del material ya secado, y se llama isoterma de sorción.

La divergencia de las curvas 1 y 2 (histéresis) indica que para lograr una misma humedad de equilibrio del aire, la magnitud (ϕ) durante la humectación del material debe ser mayor, que durante el secado mismo. La causa de la histéresis probablemente se deba a la entrada del aire en los capilares del material secado y su sorción por las paredes de los capilares.

Se concluye que la curva de velocidad de secado consta de un período de velocidad constante y de un período decreciente curvo desde la humedad crítica hasta la de equilibrio, que por ser la curva cóncava hacia arriba, indica que la humedad se elimina por difusión desde las partes internas del material hasta la superficie, y es este el período que se controla en el secado.

3.5.2 ASPECTOS DIMENSIONALES

Para poder determinar los principales parámetros que intervienen en el aspecto dimensional, se debe considerar en primer lugar a la humedad del producto, por ser la uvilla una fruta que contiene un grado de humedad alto; razón por cual se deben establecer los principales parámetros que afectaran de forma directa a la cámara de secado, como lo son el numero de bandejas, y sus correspondientes dimensiones como se verá mas adelante.

Para el diseño térmico y el análisis dimensional se requiere también; la velocidad del aire, el flujo de aire necesario para retirar el grado de humedad planteado, así como otros factores necesarios para el diseño de las bandejas como lo son el diámetro de la fruta, la capacidad de carga por cada bandeja, el número de filas de producto que se podrán apilar por bandeja así como la ergonomía propia de estas para poder brindar al operario la máxima facilidad de carga y descarga antes y después de proceso.

3.5.2.1 Humedad Relativa Y Específica Del Aire.-

Se denomina humedad absoluta o específica a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, es decir la cantidad real de vapor de agua en 1 Kg. de aire seco. Esta puede ser establecida de varias maneras, siendo la

más lógica, el precisar directamente la masa de vapor de agua contenida en una masa unitaria de aire seco, se representa así:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \text{ (Kg vapor de agua/Kg aire seco)} \quad (3.11)$$

Esta humedad puede ser también representada de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (3.12)$$

Cuando se añade vapor al aire seco la humedad específica aumentará hasta que el aire ya no pueda contener esta humedad; en este punto se denomina aire saturado. Cualquier humedad que se agregue a partir de este punto se condensará. Se puede emplear la ecuación 3.10 para determinar la cantidad de vapor de agua en el aire saturado a una temperatura y presión específica, sustituyendo P_v por P_g , presión de saturación a esta temperatura.

La humedad relativa es la proporción entre la cantidad real de humedad en el aire y la cantidad máxima de aire húmedo que puede contenerse a esa temperatura (m_g):

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} \quad (3.13)$$

donde:

$$P_g = P_{sat@T}$$

La humedad relativa puede variar entre 0 para aire seco a 1 para aire saturado. La humedad relativa del aire varía con la temperatura aunque su humedad específica permanezca constante.

La relación existente entre la temperatura y la humedad del aire se puede establecer mediante los llamados diagramas psicrométricos.

La temperatura del aire que fluye se mide a través de dos tipos de sensores. El bulbo seco que es un simple termómetro y el bulbo húmedo que es un termómetro rodeado de una tela húmeda por estar sobre un receptáculo que incluye agua. La evaporación de esta agua enfría este bulbo húmedo y su temperatura siempre será menor que la del bulbo seco. Conociendo la temperatura del bulbo seco y del bulbo húmedo de un aire determinado, puede hallarse, en un diagrama psicrométrico, su humedad relativa.

En la mayor parte de las aplicaciones, la cantidad de aire seco en la mezcla aire – agua – vapor permanece constante, mientras que la cantidad de vapor de agua puede variar; en consecuencia, *la entalpía del aire atmosférico se expresa por unidad de masa del aire seco y no por unidad de la masa de la mezcla aire – agua - vapor*¹⁰.

La entalpía total del aire atmosférico es la suma de las entalpías del aire seco y del vapor del agua:

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad (3.14)$$

Dividiendo para m_a :

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + \omega h_v \quad (\text{KJ / Kg aire seco}) \quad (3.15)$$

¹⁰ YUNUS CENGEL, Termodinámica tomo II Capítulo 13

3.5.2.2 La Carta Psicrométrica

El estado del aire atmosférico a una presión específica se establece por completo mediante dos propiedades; a partir de estas dos se pueden determinar las demás propiedades. En una carta Psicrométrica se muestra la temperatura del bulbo seco en la horizontal y la humedad específica en la vertical. En el extremo izquierdo existe una curva de saturación; las líneas de temperatura de bulbo húmedo tienen una apariencia descendente hacia la derecha; con mayor inclinación aparecen las líneas de volumen específico constante (m^3 / Kg aire seco). Las líneas de entalpía constante se encuentran casi paralelas a las líneas de temperatura de bulbo húmedo (en KJ/Kg de aire seco), como se muestra en la siguiente gráfica:

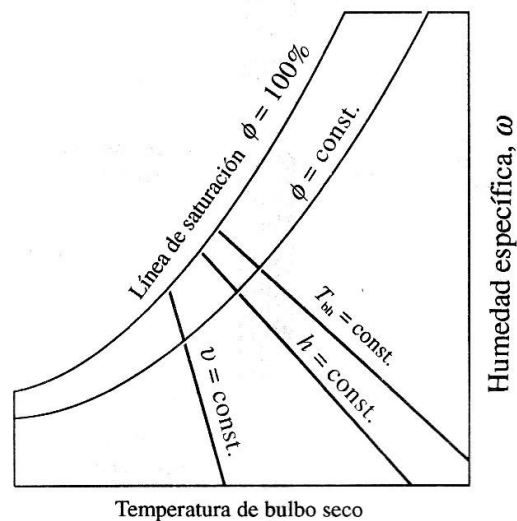


Figura 3.8: Esquema Representativo Carta Psicrométrica

Para aire saturado, las temperaturas de bulbo seco, de bulbo húmedo y de punto de rocío son idénticas. La carta es de valiosa ayuda en la visualización de los procesos de acondicionamiento de aire, como por ejemplo en un proceso de calentamiento o enfriamiento de aire, incluyendo humidificación o deshumidificación del mismo.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL HORNO DESHIDRATADOR

4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

La deshidratación es un proceso psicrométrico, por lo cual es indispensable conocer las propiedades ambientales del sector en la cual trabajará el equipo. Este horno operará dentro de la ciudad de Quito a 2850 msnm, provincia de Pichincha.

La presión atmosférica para la ubicación se puede determinar a través de la siguiente ecuación¹¹:

$$P_{atm} = 101325 \left(\frac{288 - 0.0065z}{288} \right)^{5.256} \quad (4.1)$$

En donde;

P_{atm} = Presión atmosférica / [Pa]

z = Altura de la ubicación sobre el nivel del mar. / [m]

Con el valor de la presión atmosférica se puede determinar la densidad de aire con la siguiente expresión:

$$\rho_a = \frac{P_{atm}}{R_A T_A} \quad (4.2)$$

En donde;

ρ_a = Densidad del aire / [Kg/m³]

R_A = Constante de los gases ideales / 0.2870 [KPa m³/ Kg °K]

T_A = Temperatura del aire ambiental / [°K]

En la siguiente tabla se puede observar las temperaturas y humedades relativas promedio proporcionadas por el INAMHI (Instituto Nacional de Metrología e Hidrología), para la ciudad de Quito, estación Iñaquito:

¹¹ YUNUS CENGEL, Termodinámica tomo II Capítulo 13

Tabla 4.1: Temperatura y humedad relativa promedio para Quito.

AÑO	MES	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
2004	Enero	16,0	77
	Febrero	15,9	76
	Marzo	16,4	77
	Abril	15,6	78
	Mayo	15,8	76
	Junio	15,8	73
	Julio	15,1	63
	Agosto	16,5	56
	Septiembre	16,0	68
	Octubre	15,4	62
	Noviembre	15,8	67
	Diciembre	15,8	68
2005	Enero	15,8	76
	Febrero	16,2	75
	Marzo	15,7	76
	Abril	16,4	77

Fuente: INAMHI, Estación Iñaquito.

A partir de la altura, la presión atmosférica, el valor promedio para la temperatura y humedad relativa de la tabla 4.1, ingresamos a su respectiva carta psicométrica dentro del programa Akton Psychrometric Chart y se obtiene las restantes propiedades del aire:

Tabla 4.2: Propiedades del aire a temperatura ambiente.

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura del aire:	15.9	°C
Humedad Relativa	71.6	%
Presión Atmosférica:	71.44	KPa
Densidad:	0.832	Kg/m ³
Humedad Específica:	0.0112	Kg _{agua} / Kg _{aireseco}
Volumen Específico:	1.176	m ³ / Kg
Entalpía	62.83	KJ/Kg
Temperatura Bulbo Húmedo:	12.6	°C
Temperatura de Rocío:	10.8	°C

El aire ingresa al interior de la cámara a temperatura ambiente para ser calentado hasta alcanzar la temperatura adecuada de trabajo. Para los frutos como la uvilla se inicia la deshidratación a una temperatura de 45°C durante las dos primeras horas y luego se eleva la temperatura a máximo 70°C, cuidando que la humedad relativa máxima permisible al interior de la cabina sea del 60%.

Al calentar el aire ambiente hasta la temperatura máxima de trabajo sin humidificación, la humedad específica del aire se mantiene constante en $0.0112 \text{ Kg}_{\text{agua}} / \text{Kg}_{\text{aireseco}}$, con una humedad relativa del 4%, lo que nos permite recircular parte del aire empleado sobre las bandejas manteniendo las condiciones óptimas en el interior.

Las características del aire a la máxima condición de trabajo en el interior del horno deshidratador son:

Tabla 4.3: Propiedades del aire a temperatura máxima de trabajo.

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura del aire:	70	°C
Humedad Relativa	60	%
Humedad Específica:	0.216	$\text{Kg}_{\text{agua}} / \text{Kg}_{\text{aireseco}}$
Volumen Específico:	1.844	m^3 / Kg
Entalpía	655.8	KJ/Kg
Temperatura Bulbo Húmedo:	56.8	°C
Temperatura de Rocío:	55.3	°C

Es necesario aclarar que el tiempo de secado es inversamente proporcional a la temperatura que se aplique al producto y esta a su vez depende de las características de la uvilla. Por esta razón, es necesario realizar pruebas experimentales, para determinar los parámetros técnicos óptimos de acuerdo a las características de la uvilla que se dispone.

La velocidad del flujo de aire que circula por las bandejas debe estar entre 1 a 7 m/s, para nuestro caso el parámetro seleccionado es una velocidad de flujo entre 1 a 2 m/s^{12} , como un parámetro impuesto por nosotros para análisis de otros factores.

¹² Manual de secado del grupo Andino.

Las características del producto para realizar los cálculos del diseño del deshidratador son los siguientes:

Tabla 4.4 Características de la Uvilla

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidades
Peso Unitario:	P_U	3	gr
Diámetro Promedio Uvilla	D_U	1.4	cm

Tabla 4.4 Características de la Uvilla (Continuación)

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidades
Área Superficial Promedio	A_S	1.54	cm ²
Volumen Uvilla Promedio ¹³	V_U	1.437x10 ⁻⁶	m ³
Densidad Uvilla ¹⁴	ρ_U	2.09	Gr/cm ³
Humedad Inicial	X_{wo}	80	%
Humedad en Base Seca Inicial	X_{do}	4	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad Final	X_{wf}	12	%
Humedad en Base Seca Final	x_{df}	0.136	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad de Equilibrio	X^*	4.5	%
Humedad en Base Seca Equilibrio	X_d^*	0.047	Kg _{agua} /Kg _{seco}
Humedad Crítica	X_c	60	%
Humedad en Base Seca Crítica	X_{dc}	1.5	Kg _{agua} /Kg _{seco}

Para el desarrollo de este proyecto tenemos la capacidad específica de carga de producto fresco que debe tener el horno deshidratador por día, parámetro que es afectado en el transcurso del tiempo por la variación de humedad, teniendo como datos importantes:

Tabla 4.5 Carga de producto

Datos	Símbolo	Valor	Unidad
Capacidad de carga producto fresco.	C_f	300	Kg
Cantidad de agua a evaporar.	C_{ev}	231.8	Kg
Masa de producto final deshidratado.	C_d	68.2	Kg
Masa seca de la carga.	C_s	60	Kg

La uvilla inicialmente tiene humedad interna en base húmeda del 80% y debe alcanzar una humedad final del 12% recomendado en el laboratorio de alimentos del Instituto Agropecuario Superior Andino, por lo cual el índice de reducción de la uvilla es de 4.4, es decir si se deshidrata 44 Kg. de uvilla, el proceso de secado termina cuando pesa aproximadamente 10 Kg.

El desarrollo del análisis nos permite determinar un tiempo estimado del ciclo de deshidratación, debido a que se carga una sola vez por día con el producto fresco, el cual debe deshidratarse en un tiempo máximo de un día; el tiempo exacto finalmente sólo será determinado en forma práctica.

^{13 13} Fuente: Fruti Gargener, California Rare Fruti Growers, Inc.

4.2 FUENTE DE CALOR

La fuente de calor o sistema de calefacción permite obtener el calor necesario para calentar el flujo de aire que se requiere circular dentro del equipo, para que cumpla con las funciones de facilitar y acelerar la deshidratación de la uvilla, manteniendo la temperatura deseada.

Existen varios métodos para calentar el flujo de aire, dentro de los cuales tenemos: por resistencias eléctricas, por energía solar o mediante intercambiadores de calor aire-vapor de agua, aire-gas.

Para las condiciones existentes en el lugar de trabajo del horno deshidratador y por el presupuesto económico de la empresa auspiciadora, tenemos que calentar el aire a través de resistencias eléctricas es la mejor alternativa aplicable.

Dentro de estos sistemas el aire se calienta al circular por un ducto de acero inoxidable que contiene en su interior las resistencias eléctricas. Al no existir humidificación en este proceso la humedad específica del aire se mantiene constante. Es necesario tener en cuenta que la humedad relativa disminuye durante el calentamiento, debido a que esta es la relación entre el contenido de humedad y la capacidad de humedad del aire a la misma temperatura, y la capacidad de humedad aumenta con la temperatura, lo cual permite la recircular cierto porcentaje del aire que ya ha pasado sobre el producto, pues es necesario mantener la humedad relativa del aire en el 60%, ya que con esto se aumenta la gradiente de presión entre el flujo de aire y el producto para facilitar la deshidratación.

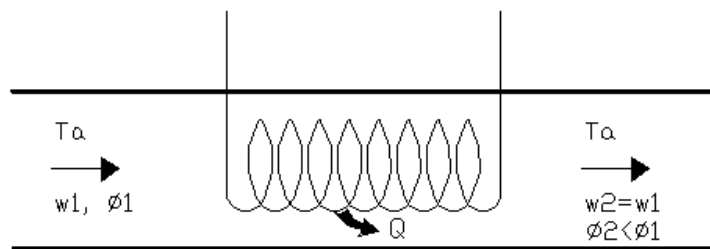


Figura 4.1: Calentamiento simple del aire.

Para este proceso de calentamiento sin humidificación aplicamos la ley de la conservación de la masa, en donde la cantidad de aire que ingresa al ducto que contiene las resistencias es igual a la cantidad de aire que sale. Así, si no consideramos el trabajo que realiza el ventilador la ecuación que nos permite determinar el calor necesario es:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) \quad (4.3)$$

En donde;

\dot{Q} = Relación de transferencia de calor. / [KW]

\dot{m}_a = Relación de flujo de masa. / [Kg/s]

h_1 = Entalpía del aire temperatura de entrada. / [KJ/Kg]

h_2 = Entalpía del aire de salida a temperatura de salida. / [KJ/ Kg]

Al estar dentro de un sistema de presión constante la ecuación 4.3 podemos cambiar a:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a C_p (T_2 - T_1) \quad (4.4)$$

En donde;

C_p = Calor específico a presión constante. / [KJ/(Kg . °K)]

T_2 = Temperatura del aire a entrada. / [°K]

T_1 = Temperatura del aire a salida. / [°K].

El valor de C_p es 1.005 KJ/(Kg . °K); la temperatura ambiente promedio para la ciudad de Quito es de 15.9 °C (288.9 °K) y la temperatura máxima para el flujo de aire al interior de la cabina es de 70 °C (343 °K).

Para mantener una velocidad promedio entre 1 y 2 m/s sobre el producto, el ventilador seleccionado comercialmente es de 42 m³/ min (1500 CFM), lo cual con las características del aire tenemos que $\dot{m} = 0.38 \text{ Kg}_{\text{aire seco}}/\text{seg}$. Los cálculos y selección del ventilador se detalla más adelante.

Con los parámetros previamente mencionados, tenemos que el calor necesario para calentar el aire es de 20.6 KW. Se debe considerar las pérdidas de calor por las superficies, procedimiento desarrollado en el párrafo 4.3.2.1, teniendo una pérdida total de 60 W; por lo cual la potencia eléctrica que se debería emplear es de 21 KW. Esta es la potencia eléctrica máxima necesaria para calentar el aire desde la temperatura ambiente hasta la temperatura máxima de trabajo en el lapso de 1 segundo. Por motivos de conexiones eléctricas tanto en cables como en protecciones se requiere una mayor inversión por el amperaje que implica esta potencia debido a lo cual la potencia a instalar es menor considerando que es un sistema cerrado con regeneración. Dentro del sistema de regeneración se plantea la recirculación del aire, lo cual implica ahorro de energía porque la temperatura del aire que ingresa será superior a la ambiente. La potencia real a instalar en el deshidratador es de 8 KW con el cual logramos un

aumento de temperatura gradual de un grado por cada 10 segundos. El cálculo y porcentaje de ahorro lo podremos ver dentro del sistema de regeneración en el párrafo 4.4.

En un conductor cualquiera, a igualdad de condiciones de presión y temperatura, la relación entre la diferencia de potencial establecida entre dos de sus puntos y la intensidad de la corriente producida entre los mismos, es una constante que en cierto modo representa la oposición del conductor a ser recorrido por la corriente, y se la denomina como resistencia eléctrica. Este principio se conoce como Ley de Ohm cuya ecuación es:

$$R = \frac{V}{I} \quad (4.5)$$

En donde;

R = Resistencia Eléctrica. (Ohmio) / [Ω]

V = Voltaje o potencial. (Voltios) / [V]

I = Intensidad de corriente eléctrica (Amperios) / [A]

Cuando una corriente pasa por un hilo lo calienta, siendo ésta una manifestación de la resistencia opuesta por el hilo al paso de la corriente y toma el nombre de efecto Joule. Cuanto mayor es la resistencia del hilo, más se calienta éste. Por lo tanto, es recomendable si deseamos obtener calor de la energía eléctrica, que es nuestra intención, emplear un metal no muy buen conductor, delgado y largo. El calor generado por la corriente depende de la resistencia del hilo, de la intensidad de la corriente y de la duración de la misma.

Para el diseño de la resistencia a emplear partimos de la potencia eléctrica requerida, entendiendo por esta el trabajo o la energía disipada por un dispositivo eléctrico por unidad de tiempo. Es así que la potencia eléctrica para sistemas continuos o monofásicos se representa con la siguiente ecuación:

$$P = VI \quad (4.6)$$

El lugar en el cual va a trabajar el horno deshidratador tiene instalación eléctrica para 220 voltios, por lo que el diseño a realizar será pensando en este voltaje.

A los parámetros de la ecuación 4.6 podemos reemplazar con los parámetros de la ecuación 4.5 según la necesidad, obteniendo las siguientes igualdades:

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (4.7)$$

Con la potencia eléctrica necesaria para calentar el aire de 8 KW y el voltaje a emplear, podemos determinar la resistencia necesaria para nuestro diseño, despejando de la ecuación 4.7:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (4.8)$$

La resistividad es una cantidad asociada con la resistencia, que es característica de cada material. La ecuación de la resistividad se obtiene considerando una sección transversal que tiene cierta área, en donde se aplica una diferencia de potencial entre sus extremos y transporta corriente, así tenemos que la resistividad es:

$$\rho_r = \frac{R.A}{L} \quad (4.9)$$

En donde;

ρ_r = Resistividad / [Ωm]

R = Resistencia / [Ω]

A = Área sección hilo / [m^2]

L = Longitud de hilo / [m]

Se selecciona el material kantal resistente a las altas temperaturas, el cual es adecuado para las resistencias y de fácil adquisición en el mercado local.

Para determinar la longitud óptima del hilo para formar las espiras necesarias se determina con la siguiente expresión:

$$L = \frac{R.A}{\rho_r} \quad (4.10)$$

Las resistencias se ubican dentro de un ducto cilíndrico de acero inoxidable que tiene el mismo diámetro que las hélices del ventilador; el ducto tiene un diámetro de 320mm y una longitud total de 770mm, espacio en el cual se distribuye adecuadamente las resistencias eléctricas

Dentro del ducto las resistencias no se deben encontrar cerca del ventilador, y estas deben tratar de cubrir la mayor área posible para asegurar un calentamiento uniforme del aire. Para la potencia requerida de 8 Kw real a instalar es necesario tener una resistencia de 6 Ω , lo que implica un alambre muy pequeño que representa problemas en la transferencia del calor y en la resistencia del material a la corriente a circular en ella.

Por lo cual colocamos resistencias en paralelo con lo cual se obtiene mayor área de transferencia y reducimos la corriente a circular por los alambres. Es decir que se conecta las resistencias una junta con la otra con sus terminales de entrada y salida común entre si, en los cuales va la fuente de alimentación.

Debido al alto amperaje a circular por los alambres la conexión a realizar es de dos resistencias en serie y a este par en paralelo con la otra resistencia, con lo cual obtenemos los 8 KW de Potencia eléctrica real a instalar.

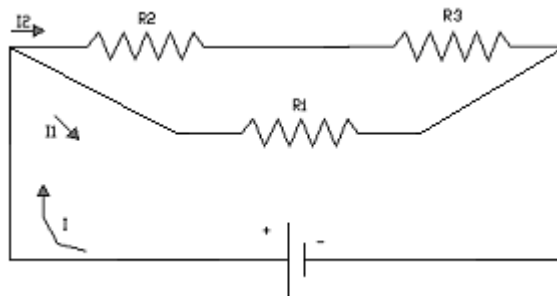


Figura 4.2: Circuito de resistencias en paralelo.

Las características de estos circuitos es que la tensión aplicada a las resistencias es la misma, todas las ramas están alimentadas del mismo voltaje. La corriente total es igual a la suma de las corrientes de las ramas, es decir:

$$I_{eq} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (4.11)$$

El inverso de la resistencia equivalente, es igual a la suma de los inversos de las resistencias que forman el circuito, es decir:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.12)$$

La resistencia equivalente en serie es igual a la suma de las resistencias. La resistencia equivalente necesaria para tener una potencia eléctrica de 4.5 KW es de 6Ω , para lo cual conectamos dos resistencias de 9Ω en serie lo cual nos da una equivalencia de 18Ω las mismas que conectamos en paralelo con una resistencia más de 9Ω . Estas se distribuyen dentro del ducto tratando de cubrir la mayor cantidad de área, por lo que formamos espirales que se distribuyen en forma cruzada como se puede observar en los planos anexos.

4.3. CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN

4.3.1 BANDEJAS

Para el diseño de las bandejas partimos principalmente de las características del producto y de la capacidad de carga del horno deshidratador. Las bandejas pueden ser cuadradas o rectangulares, recordando dar facilidad al operador con un diseño ergonómico y con capacidad para un peso que pueda ser levantado por una o dos personas, es decir carga inferior a 25 Kg.

Las dimensiones seleccionadas para las bandejas son de:

Largo:	1,14	m
Ancho:	0,53	m
Altura:	0,04	m

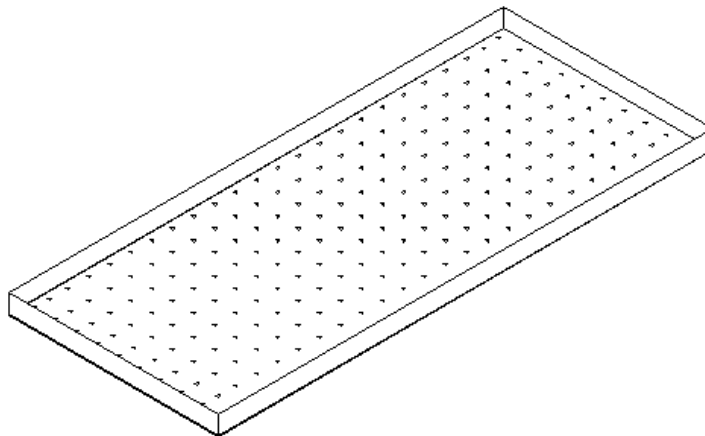


Figura 4.3: Bandeja en acero inoxidable.

Para la presentación final deseada de la uvilla, este no puede ser cortado en trozos por lo que se debe colocar en su forma completa; la uvilla es un producto que se puede apilar, es decir que dentro de la bandeja podemos colocar varias filas del producto por lo que se considera un factor de carga mayor a uno; no seleccionamos un valor muy alto para el factor para mejorar la uniformidad en el secado final, por lo que:

Factor de Carga: $F_C = 1.5$

Para determinar el número de bandejas primeramente determinamos el área de superficie por kilogramo de materia seca.

$$A_{ms} = \frac{A_s}{1000} \times \frac{(1 + X_{do})}{V_U \rho_U} \quad (4.13)$$

En donde;

A_{ms} = Área de superficie por kilogramos de materia seca. / [$\text{m}^2 / \text{Kg}_{\text{materia seca}}$]

A_s = Área superficial promedio. / [cm^2]

X_{do} = Humedad del producto en base seca. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{seco}}$]

V_U = Volumen promedio producto. / [m^3]

ρ_U = Densidad del producto. / [gr/cm^3]

Reemplazando los respectivos valores tenemos que:

$$A_{ms} = 0.257 \text{ m}^2 / \text{Kg}_{\text{materia seca}}$$

A partir del dato calculado, determinamos el área de superficie de secado que viene expresado por la siguiente ecuación:

$$A_{\text{sec}} = A_{ms} \cdot \frac{C_d}{F_C} \quad (4.14)$$

En donde;

A_{sec} = Área de superficie de secado. / [m^2]

C_d = Carga de producto final deshidratado. / [Kg]

F_C = Factor de carga.

Reemplazando los respectivos valores se tiene que el área de secado es:

$$A_{\text{sec}} = 10.99 \text{ m}^2$$

Con las medidas previamente descritas para el tamaño de las bandejas obtenemos el área de carga para cada bandeja (A_{Ban}) es de 0.604 m^2 . Con el área de superficie de secado y el área de cada bandeja podemos determinar el número necesario de bandejas:

$$N_{\text{Ban}} = \frac{A_{\text{Sec}}}{A_{\text{Ban}}} \quad (4.15)$$

El valor obtenido en la ecuación 4.14 es de 18.2 bandejas; lo aproximamos al inmediato superior con lo que tenemos que es necesario un número total de 19. Por mejor acomodo y distribución de las bandejas en la cámara interna del horno debemos obtener un número par de bandejas por lo cual el número seleccionado total de bandejas es de 20 con lo que también se aumenta el área de secado. Cada bandeja soportará 15 Kg de producto fresco al inicio del ciclo y se observa que es una carga apta para ser levantado por una persona.

Las bandejas son perforadas en la parte inferior, con un diámetro de $1/8''$, con lo cual duplicamos el área de secado, siendo así que el área individual de cada bandeja por el número total de estas multiplicado por dos obtenemos el área de total de secado:

$$A_{T\text{sec}} = 2N_{\text{Ban}}A_{\text{Ban}} \quad (4.16)$$

En donde;

$$A_{T\text{sec}} = \text{Área total de secado. / [m}^2\text{]}$$

$$N_{\text{Ban}} = \text{Número de bandejas.}$$

$$A_{\text{Ban}} = \text{Área de carga por bandeja. / [m}^2\text{].}$$

El flujo de aire circula en el interior del horno sobre la uvilla en una superficie total de secado de 24.17 m².

El número de bandejas par es favorable para el arreglo interno de las mismas en el horno deshidratador, por lo que podemos agrupar las bandejas de dos en un mismo nivel, por lo que consideramos las dimensiones de las bandejas planteadas como las adecuadas.

Tabla 4.6: Número de Bandejas.

Bandejas x Nivel	Número de Niveles	Total Bandejas	Peso Carga x Bandeja [Kg]	Total Carga Horno [Kg]
2	10	20	15	300

Las bandejas deben ser construidas con un material inerte, que no contamine al producto, que no reaccione con la humedad generada en el proceso y que no se deforme con el peso a soportar. Por lo cual el material a utilizar es acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 0.8mm.

Las bandejas deben tener la base perforada para ofrecer una mayor superficie de secado y mejorar la transferencia de calor en el lado inferior de las mismas, el diámetro de las perforaciones es de 1/8" para evitar que la pasa de uvilla mientras adquiere su tamaño final se pueda caer a través de estos, es decir que no debe ser mayor al tamaño del producto deshidratado.

Las bandejas se acomodan en grupos de dos para formar un total de 10 filas o niveles; se recomienda que la separación mínima sea de 1.5" (38mm)¹⁵. Se ubicarán sobre un adecuado soporte hecho con perfil de acero inoxidable AISI A304 con un espesor de 2.5mm.

Para la construcción del soporte de las bandeja se construirá los perfiles a partir de planchas estándar de acero inoxidable AISI 304, para garantizar que todo el interior de la cámara no represente ningún riesgo de contaminación hacia el producto. El costo de este material es alto por lo que debemos optimizar el uso de este y para esto debemos unificar el espesor de la plancha tanto para la construcción de los soportes como de las columnas. No empleamos perfiles de acero inoxidable elaborados comercialmente, debido a que su costo es alto y se ve representado en el aumento del costo del horno deshidratador.

¹⁵ Perry, Robert, Manual del Ingeniero Químico, 5ta Edición.

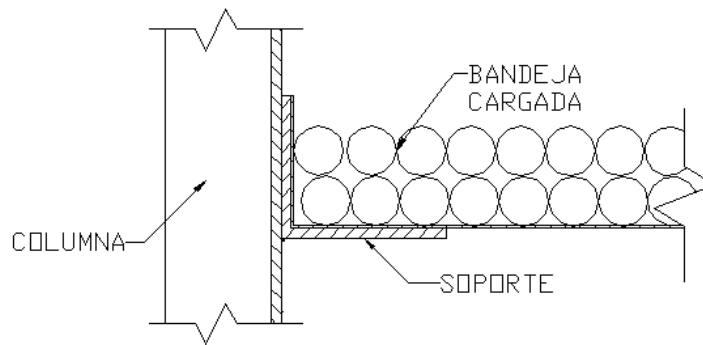


Figura 4.4: Soporte bandejas acero inoxidable.

El perfil para los soportes en los cuales se asienta la bandeja es un ángulo armado de 55×40 mm, mientras que para las cuatro columnas en la se sueldan los soportes es un perfil C de 60×35 mm, ambos con el mismo espesor.

Para el ensamble de estos elementos empleamos soldadura entre las piezas debido a que esto nos representa un ahorro económico y de tiempo, por la facilidad de un ensamble rápido. Debido al calor empleado dentro de esta operación pueden existir cambios metalúrgicos en las piezas, al igual que pueden inducirse esfuerzos remanentes o residuales debido a la sujeción. Estos no son lo bastante graves por lo que pierden importancia o en caso extremo se los puede eliminar aplicando calor como un tratamiento térmico. Es importante tener cuidado de la deformación que se pueda presentar por la soldadura, por lo que es recomendable tomar las acciones preventivas adecuadas.

En cada uno de los soportes entrarán dos bandejas, la distancia obtenida cuando se unen dos bandejas por cada fila o nivel es la suma del ancho de cada una de estas para tener un ancho total de 1.06 m; utilizamos la separación recomendada entre filas o niveles de 0.038 m y se determina el área existente entre la separación de los niveles en los que se soportan las bandejas, la cual es de 0.040 m^2 ;

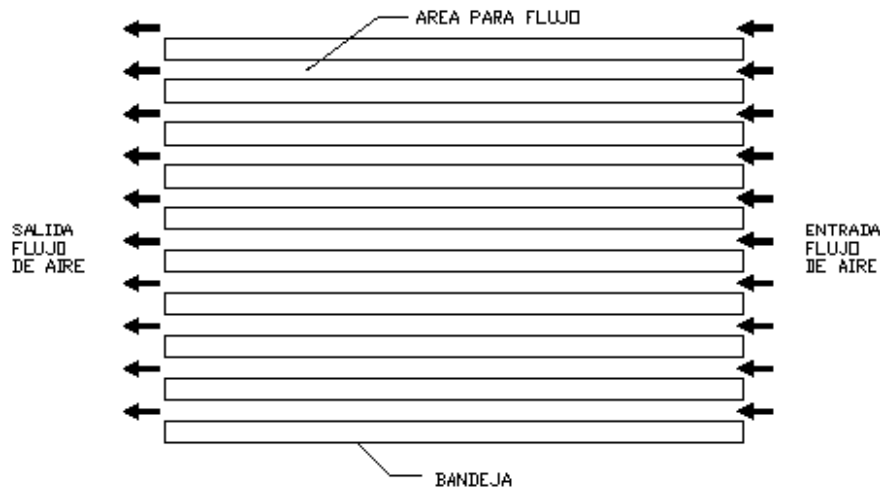


Figura 4.5: Circulación del aire entre las bandejas.

Para determinar el caudal necesario de aire que debe circular sobre las bandejas, se emplea el área libre entre niveles por la velocidad a mantener sobre el producto¹⁶ entre 1 y 2 m/s, siendo así:

$$Q_a = V \times A_{libre} \times 60 \quad (4.17)$$

En donde;

Q_a = Caudal de aire necesario por nivel. / [m³/min]

V = Velocidad del aire sobre producto. / [m/s]

A_{libre} = Área libre entre bandejas. / [m²].

Para determinar la capacidad de aire que debe tener el ventilador para satisfacer los requerimientos en el interior de la cámara de secado se realiza la sumatoria de la cantidad de aire requerida en cada nivel:

$$Q_{at} = \Sigma Q_a \quad (4.18)$$

Para el desarrollo de nuestro diseño iniciamos que la velocidad requerida sobre las bandejas es de 2 m/s, con el cual el flujo de aire necesario para cada nivel es de 4.5 m³/min, realizamos la sumatoria con el flujo para cada nivel y

¹⁶ Geankoplis, Christie. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 2 da edición.

obtenemos que el ventilador debe entregar un caudal de 45 m³/min (1589 CFM). Comercialmente se encuentra ventiladores de 1500 CFM, por lo cual debemos acoplarnos a uno de estos que nos brinda un caudal de 42.3 [m³/min] y el aire circula sobre el producto a una velocidad de 1.74 m/s. El proceso total de selección del ventilador se desarrollará dentro del párrafo 4.3.5.2.

4.3.2 CÁMARA

Las dimensiones generales del horno vienen dadas por el acomodo que se de a las bandejas, el ventilador, la cámara de resistencias y los canales para la circulación del aire; para el horno deshidratador de uvillas con capacidad de 300 Kg de carga, la distribución interna se puede observar en la siguiente figura:

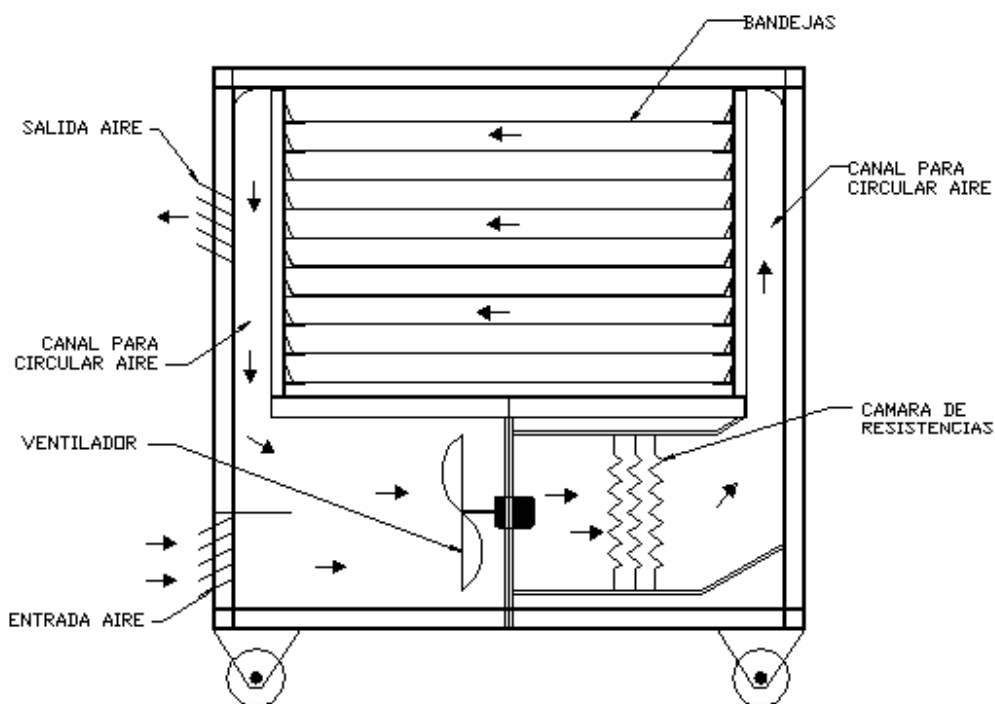


Figura 4.6: Distribución interna del horno deshidratador.

Mantener la ergonomía en el diseño es importante para la facilidad de carga y descarga de las bandejas, por lo que estas deben estar a una altura de una persona promedio. Así, al horno se le colocarán cuatro garruchas de 25cm, con lo que la altura se eleva a 1.60 m y se facilita el desplazamiento del horno

sobre superficies ya que no está diseñado para ser emplazado en un solo lugar.

Con la distribución presentada en el gráfico anterior las medidas externas del horno deshidratador son:

Largo:	1.570	m
Ancho:	1.324	m
Altura:	1.600	m

El espacio de la cámara interna se determina por las bandejas: número, separación y distribución; las dimensiones para la cámara interna son:

Largo:	1.160	m
Ancho:	1.220	m
Altura:	0.750	m

4.3.2.1 Pérdida de calor por paredes:

Siempre se produce transferencia de calor o energía por una diferencia de temperaturas, es decir siempre que exista un gradiente de temperatura en un cuerpo o entre cuerpos se tendrá transferencia de calor.

Es necesario aislar completamente la cámara para conservar el calor interno y para evitar que las paredes internas bajen su temperatura a la del punto de rocío con lo cual evitaríamos tener condensado sobre las paredes, que en esta aplicación no es favorable.

Considerando que no es permitido tener condensación en el interior del horno, la determinación del espesor del aislamiento debe evitar este fenómeno más que el ahorro económico, por lo cual se utilizará dos planchas de fibra de vidrio de 25.4 mm cada una, las cuales estarán aseguradas entre las planchas de acero.

La transferencia de calor desde el interior del horno deshidratador hacia el ambiente exterior se produce por convección forzada entre el aire de secado y la superficie interior de la cámara,

por conducción a través de las paredes y por convección natural entre la superficie exterior del horno y el aire ambiente. Se realiza el análisis de la pérdida de calor para una pared plana:

$$q = UA\Delta T \quad (4.19)$$

En donde;

q = Transferencia de calor. / [W]

U = Coeficiente global de transferencia de calor. / [W/m².°K]

ΔT = Diferencia de temperaturas entre superficies. / [°K]

Por tanto necesitamos determinar el coeficiente global de transferencia de calor que viene dado por la suma de las resistencias por convección y conducción, es decir por los materiales empleados en la pared y por el flujo de aire tanto interno como externo.

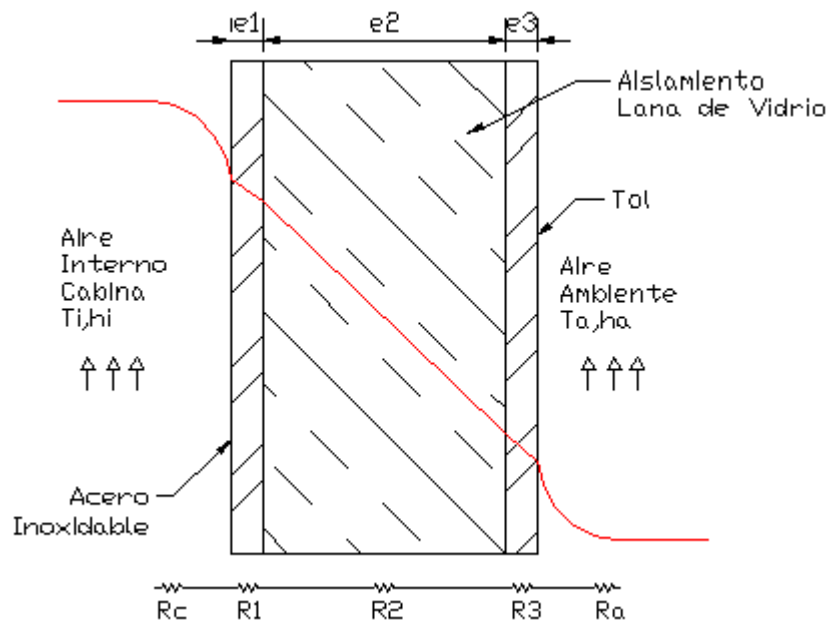


Figura 4.7: Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie.

La cámara interior del horno se encuentra revestida internamente con chapa de acero inoxidable, aislada térmicamente con lana de vidrio y cubierta por el exterior con chapa metálica. La resistencia térmica total viene dada por:

$$R_{Tot} = \frac{1}{UA} = \frac{1}{\left(\frac{1}{hi} + \frac{e1}{k1} + \frac{e2}{k2} + \frac{e3}{k3} + \frac{1}{ha} \right) A} \quad (4.20)$$

En donde;

R_{Tot} = Resistencia térmica total. / [K / W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. / [W/m²°K]

k = Conductividad térmica. / [W/m°K]

e = Espesor material. / [m]

U = Coeficiente global de transferencia de calor. / [W / m².°K]

El coeficiente de transferencia por conducción viene dado por la conductividad térmica del material y por el espesor seleccionado. Los materiales a emplear en la pared aislante son:

1) *Material:* Acero Inoxidable.

Espesor: 0.6 mm

Conductividad Térmica: 16.6 W/m°K

2) *Material:* Lana de Vidrio.

Espesor: 50.8 mm

Conductividad Térmica: 0.046 W/m°K

3) *Material:* Tol.

Espesor: 1.1 mm

Conductividad Térmica: 90 W/m.°K

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del horno, es necesario analizar al fluido, empezando por conseguir sus propiedades principales:

Propiedad	Símbolo	Unidades	Flujo Interno	Flujo Externo
Temperatura	T	[°C]	70	15.9
Velocidad Flujo	V	[m/s]	1.12	0.3
Numero de Prandtl	Pr		0.7135	0.702
Viscosidad	ν	[m ² /s]	18.4 x 10 ⁻⁶	13.66x10 ⁻⁶

Cinemática				
Conductividad Térmica	K	$[W/m^2 \cdot ^\circ K]$	0.02815	0.0243

Con las propiedades del aire se determinan el coeficiente de transferencia de calor, empezando por determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (4.21)$$

En donde;

Re = Número de Reynolds.

V = Velocidad del Flujo. / [m/s]

L = Longitud unitaria. / [m]

ν = Viscosidad Cinemática. / [m²/s]

Dependiendo del número de Reynolds se puede determinar el tipo de flujo, el cual puede ser laminar o turbulento. Según la clase de flujo se determina el número de Nusselt correspondiente. Al considerar el análisis para una pared plana tenemos que en un flujo paralelo, el número de Reynolds crítico o máximo para estar dentro de flujo laminar es de 5×10^5 , siendo un valor mayor flujo turbulento.

El número de promedio de Nusselt para flujo laminar sobre una placa plana viene dado por la siguiente ecuación:

$$Nu = 0.664 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad (4.22)$$

En donde:

Nu = Número de Nusselt promedio.

Re = Número de Reynolds.

Pr = Número de Prandtl.

Para flujo turbulento tenemos que el número promedio de Nusselt viene dado por la siguiente ecuación:

$$Nu = (0.036 \cdot Re^{4/5} - 836) \cdot Pr^{1/3} \quad (4.23)$$

Para determinar el número de número de Reynolds y el número promedio de Nusselt, se emplea las propiedades del aire que se encuentra a la temperatura de película que se determina como:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (4.24)$$

En donde:

T_f = Temperatura de película. / [°C]

T_s = Temperatura superficial de la placa. / [°C]

T_∞ = Temperatura del fluido. / [°C]

Determinado el número de Nusselt, procedemos a determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$h = \frac{Nu.k}{L} \quad (4.25)$$

En donde;

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. / [W/m².°K]

Nu = Número de Nusselt.

k = Conductividad térmica del aire. / [W/m².°K]

L = Longitud unitaria. / [m]

Para poder determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural, es necesario tomar en cuenta si la pared plana se encuentra en posición vertical o en posición horizontal.

Para la convección natural primeramente se debe determinar el coeficiente de expansión térmica, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{1}{T_\infty} \quad (4.26)$$

En donde:

β = Coeficiente volumétrico de expansión térmica. / [°K⁻¹]

T_{∞} = Temperatura del fluido. / [°K]

Empleamos el valor previamente calculado para determinar el número de Grashof, que es aplicable a la convección natural tanto para paredes planas horizontales o verticales, que se expresa:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (4.27)$$

En donde:

Gr = Número de Grashof.

g = Aceleración de la gravedad. / [m / s²]

β = Coeficiente volumétrico de expansión térmica. / [°K⁻¹]

T_s = Temperatura superficial de la pared. / [°K]

T_{∞} = Temperatura del fluido. / [°K]

L = Longitud característica. / [m]

ν = Viscosidad cinemática. / [m² / s]

Con las propiedades del aire a la temperatura de película se obtiene el número de Prandtl, el cual multiplicado con el número de Grashof se obtiene el número de Rayleigh:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4.28)$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural, se debe determinar el número de Nusselt, el cual está en función del número de Rayleigh y también se considera la posición de la pared plana, debido a que esta puede estar vertical u horizontal.

Si la pared plana se encuentra en posición vertical la longitud característica que empleamos en la ecuación respectiva para determinar el número de Grashof es igual a la altura, y con este valor obtenido se determina el cálculo a realizar para obtener el número de Nusselt:

a) Si $Ra < 10^9$ empleamos:

$$Nu = 0.68 + \frac{0.670 \cdot Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \quad (4.29)$$

b) Si $Ra > 10^9$ empleamos:

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad (4.30)$$

Para el caso de pared plana en sentido horizontal tenemos que la longitud característica para determinar el número de Grashof se determina a través de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_p}{P_e} \quad (4.31)$$

En donde:

L = Longitud característica. / [m]

A_p = Área de la pared plana. / [m²]

P_e = Perímetro de la pared plana. / [m]

En el caso de paredes planas en sentido horizontal, el número de Nusselt depende de que placa se encuentre caliente o fría en relación con el fluido ambiente.

Para una pared horizontal caliente, se recomiendan las siguientes expresiones dependiendo del número de Grashof para determinar el número de Nusselt:

a) Si $10^4 < Ra < 10^7$ empleamos:

$$Nu = 0.54 \cdot Ra^{1/4} \quad (4.32)$$

b) Si $10^7 < Ra < 10^{11}$ empleamos:

$$Nu = 0.15 \cdot Ra^{1/3} \quad (4.33)$$

En donde:

Nu = Número de Nusselt promedio.

Ra = Número de Rayleigh.

Determinado el número de Nusselt, procedemos a determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural a través de:

$$h = \frac{Nu.k}{L} \quad (4.34)$$

En donde;

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. / [W/m².°K]

Nu = Número de Nusselt.

k = Conductividad térmica del aire. / [W/m².°K]

L = Longitud característica. / [m]

El horno deshidratador consta de dos paredes laterales, una posterior y una frontal en sentido vertical, y en sentido horizontal tenemos el techo y el piso. Para cada uno de estas paredes planas se debe determinar el calor perdido a través de la transferencia de calor por conducción, convección forzada y convección natural.

En las paredes laterales tenemos la altura es longitud característica con 1.342 m y el área de la pared es de 1.8 m², aislada con 50.8 mm de lana de vidrio y revestidas con chapa metálica en el exterior y acero inoxidable en el interior, con lo cual obtenemos una pérdida de energía en ambas paredes de 30 W.

Para la pared posterior y frontal la longitud característica es igual a la altura de 1.342 m como en las paredes laterales pero con una área de 2.1 m², igualmente aislada con fibra de vidrio, revestida con chapa metálica en el exterior y acero inoxidable en el interior, obtenemos una pérdida de energía de 20 W.

El techo y el piso son paredes planas en sentido horizontal para las cuales se determina su respectiva longitud característica, con un área de 2 m² cada una,

con el mismo aislamiento que las paredes anteriores obtenemos la pérdida de calor es de 10W.

Para obtener la pérdida total de calor a través de las paredes es necesario realizar la sumatoria de las pérdidas parciales, con lo cual obtenemos que la pérdida total en el sistema es 60 W, valor que lo debemos agregar al calor que debe ser suministrado por la cámara de resistencias eléctricas.

4.3.2.2 Análisis del proceso dentro de la cámara

Se realiza el análisis en el interior de la cámara para poder determinar cómo las condiciones previamente establecidas influyen en el proceso, principalmente en el tiempo de ciclo y para poder determinar las condiciones del aire a la salida.

El flujo de aire caliente transfiere calor a la uvilla, por lo que se parte de la siguiente ecuación¹⁷ para realizar el análisis:

$$q_a = \alpha(T - T_s) \quad (4.35)$$

En donde;

q_a = Calor transferido al producto. / [W]

α = Tasa de transferencia de calor. / [W/ m²°K]

T = Temperatura de bulbo seco. / [°K]

T_s = Temperatura del producto. / [°K]

Para emplear la ecuación 4.34 y poder determinar el calor aplicado al producto, lo primero que se requiere determinar es la tasa de transferencia de calor que se obtiene al analizar el producto en su ubicación.

¹⁷ Ulman's Encyclopedia of the Industrial Chemistry, (Enciclopedia de Química Industrial de Ulmans) Capítulo 4.

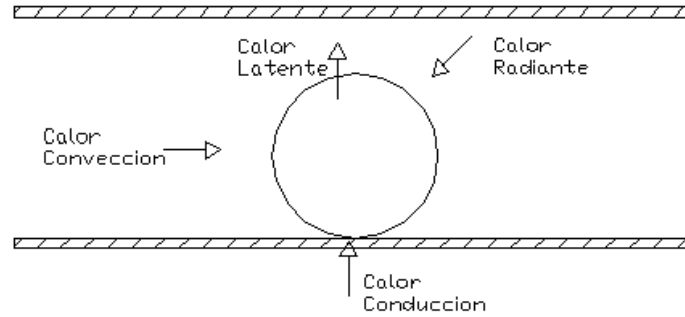


Figura 4.8: Representación calor suministrado al producto.

Se puede observar que el producto recibe calor a través de conducción, radiación y convección. Para determinar la tasa de transferencia de calor evaluamos el calor por convección debido a que este cubre cerca del 90 % del calor total recibido por el producto.

Para el análisis por convección necesitamos las propiedades del aire a la temperatura de trabajo:

Propiedad	Símbolo	Unidades	Valor
Temperatura	T	[°C]	70
Velocidad Flujo	V	[m/s]	2
Numero de Prandtl	Pr		0.7135
Viscosidad Cinemática	ν	[m ² /s]	18.41×10^{-6}
Conductividad Térmica	k	[W/m ² .°K]	0.02815
Viscosidad Dinámica	μ	[Ns/m ²]	18.46×10^{-6}

También es necesaria la viscosidad dinámica del agua a la temperatura de bulbo húmedo: $\mu_a = 18.7 \times 10^{-6}$ Ns/m².

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección determinamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD_U}{\nu} \quad (4.36)$$

En donde;

Re = Número de Reynolds.

V = Velocidad de flujo. / [m/s]

D_U = Diámetro de la uvilla. / [m]

ν = Viscosidad cinemática. / [m²/s]

La forma de la uvilla es esférica por lo cual con el valor de Reynolds obtenido se determina el número de Nusselt para dicha forma:

$$Nu_e = 2 + \left(0.4 Re^{\frac{1}{2}} + 0.06 Re^{\frac{2}{3}} \right) Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_a} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.37)$$

Con el valor de Nusselt se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección que es la tasa de transferencia de calor requerida en la ecuación 4.34:

$$\alpha = h = \frac{Nu_e \cdot k}{Du} \quad (4.38)$$

Se obtiene la tasa de transferencia de calor, el cual a la temperatura de trabajo y una velocidad de 1.74 m/s es igual a 42.06 W/m²°K, valor que se reemplaza en la ecuación 4.34, con la temperatura de bulbo seco y la temperatura del producto que se aproxima a la temperatura de bulbo húmedo, para obtener el calor total transferido al producto de 618 W/m².

Para determinar el tiempo de secado se debe determinar la velocidad de secado, en donde se debe aplicar el valor previamente obtenido de la tasa de transferencia de calor en la siguiente ecuación:

$$R_C = \frac{\alpha A_{T \text{ sec}} (T - T_{bh})}{\Delta h_{fg}} \quad (4.39)$$

En donde;

R_C = Velocidad de secado. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{s}$].

Δh_{fg} = Calor latente o entalpía de vaporización. / [KJ/Kg].

α = Tasa de transferencia de calor. / [$\text{W}/\text{m}^2\text{°K}$]

A_{Tsec} = Área total de secado. / [m^2]

T = Temperatura del flujo de aire. / [°K]

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo. / [°K]

El valor del calor latente se obtiene en la tabla de propiedades del agua, entrando con la temperatura superficial del producto que es equivalente a la temperatura de bulbo húmedo, obteniendo 2370.7 KJ/Kg. Reemplazando los respectivos datos obtenemos la velocidad de secado igual a 0.0063 $\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{s}$.

El tiempo total de secado es la suma del tiempo de secado en el régimen constante y el tiempo en el régimen decreciente:

$$t = t_C + t_D \quad (4.40)$$

En donde;

t = Tiempo total de secado. / [h]

t_C = Tiempo de secado en régimen constante. / [h]

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. / [h]

El tiempo de secado en el régimen constante se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

$$t_C = \left(\frac{X_{do} - X_{dc}}{3600R_C} \right) C_s \quad (4.41)$$

En donde;

t_C = Tiempo de secado régimen constante. / [h]

X_{do} = Humedad inicial del producto en base seca. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{masaseca}}$]

X_{dc} = Humedad crítica del producto en base seca. / [$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{masaseca}}$]

C_s = Masa seca de la carga de secado. / [Kg_{masa seca}].

Una vez que ha transcurrido el tiempo necesario en el cual el producto se ha estado deshidratando constantemente, empieza el régimen decreciente en el cual es más lento el secado, zona en la cual el tiempo se determina a través de la siguiente ecuación:

$$t_D = \frac{(X_{dc} - X_d^*)C_s}{3600R_c} \ln\left(\frac{X_{dc} - X_d^*}{X_{df} - X_d^*}\right) \quad (4.42)$$

En donde;

t_D = Tiempo de secado en régimen decreciente. / [h].

X_d^* = Humedad de equilibrio en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].

X_{df} = Humedad final del producto en base seca. / [Kg_{agua}/Kg_{masaseca}].

Al reemplazar los datos respectivos en las ecuaciones 4.41 y 4.42, obtenemos que el tiempo necesario para deshidratar los 300 Kg de uvilla fresca es de 6.6 horas para el periodo de secado constante y de 10.7 horas para el periodo de secado decreciente, lo cual nos da un tiempo estimado total de secado de 17 horas y 18 minutos.

Para determinar la eficiencia del ciclo debemos analizar las humedades específicas del aire que entra y sale, para lo cual aplicamos la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_d - \omega_1} \times 100 \quad (4.43)$$

En donde;

η = eficiencia del proceso de secado. / [%]

ω_1 = Humedad específica del aire a la entrada de las bandejas. /
[Kg_{agua} / Kg_{aireseco}]

ω_2 = Humedad específica del aire a la salida de las bandejas. /
[Kg_{agua} / Kg_{aireseco}]

ω_d = Humedad específica del aire de saturación. [Kg_{agua} / Kg_{aireseco}]

Como se puede observar para poder determinar la eficiencia del proceso, debemos determinar la humedad relativa del aire a la salida de las bandejas, para lo cual empleamos el valor determinado de tasa de secado de 0.0063 Kg_{agua}/s (0.378 Kg_{agua}/min) para determinar también las propiedades del aire a la salida aplicando la ley de la conservación de la masa:

$$m_1\omega_1 + m_w = m_2\omega_2 \quad (4.44)$$

En donde;

m_1 = Flujo de masa de aire seco entrada. / [Kg_{aire seco}/min]

ω_1 = Humedad específica del aire de entrada. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

m_w = Tasa de transferencia de agua. / [Kg_{agua}/min].

m_2 = Masa de aire seco a la salida. / [Kg_{aire seco}/min]

ω_2 = Humedad específica del aire a salida. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

La humedad específica del aire después de pasar sobre las bandejas es de 0.22 Kg_{agua}/Kg_{aire seco}; la humedad específica de saturación se ubica en el punto en el que la temperatura del bulbo húmedo a la entrada de las bandejas interseca con la humedad relativa del 100 % o línea de saturación, obteniendo una humedad específica de 0.222; reemplazando en la ecuación 4.44 obtenemos una eficiencia del 66 % en el ciclo, dentro del periodo decreciente la eficiencia va disminuyendo de acuerdo avanza el proceso.

4.3.3 CHIMENEA

La chimenea o lumbrera de escape es el ducto por el cual se puede eliminar la totalidad o cierto porcentaje del aire ya empleado, dependiendo del interés de recircular el aire.

La energía necesaria para que el flujo de aire húmedo pueda salir de la cámara por la chimenea viene dado por el ventilador, al igual que la energía para la recirculación del aire en el interior del horno.

Debido a que la chimenea debe permitir desalojar hasta el cien por ciento del aire ya empleado cuando se requiera, las dimensiones deben permitir tener un área equivalente a la del ventilador. Es decir que el área de la chimenea es igual al área del diámetro del ventilador. La forma de la chimenea debe ser rectangular por lo que se recomienda que este no pase de una relación entre el largo y la altura de 1:1,5; por lo que tenemos que:

$$A_{ven} = \frac{\pi d_{he}^2}{4} \quad (4.45)$$

En donde;

A_{ven} = Área equivalente de la hélice del ventilador. / [m²].

d_{he} = Diámetro de la hélice del ventilador. / [m]

Al área obtenida a través de la ecuación anterior es de 0.08 m², esta área se relaciona con el área equivalente que debe tener la chimenea que viene dado por el largo y altura, siendo así que las dimensiones de la chimenea son el largo de 0.45 m y altura 0.3 m con lo que estamos dentro de la relación requerida de 1.5 y un área de 0.13 m².

La chimenea se encuentra ubicada en la pared lateral izquierda, a la altura central de las bandejas, colocada en las paredes de aislamiento permitiendo desalojar el aire hacia el ambiente; esta es regulable a través del damper colocado ya que durante el proceso será necesario evacuar solo cierta parte del flujo y a veces el total de este.

La toma de entrada para el aire se encuentra ubicada en la parte inferior de la misma pared con su respectivo damper para permitir regular la cantidad de aire a entrar, la velocidad del flujo de aire por la entrada debe ser lo más baja posible para evitar o minimizar la entrada de partículas contaminantes como polvo al horno que puedan representar contaminación al producto final. Entonces para disminuir la velocidad es necesario aumentar el área de entrada; la lumbrera para la entrada de aire debe ser mayor al área del ventilador,

siendo el área seleccionada de 0.30 m de altura x 0.45 m de largo, conservando la relación de 1.5.

4.3.4 DÁMPERS

Los dámpers nos permiten regular el ingreso y salida del aire, permitirnos controlar la mezcla del aire y con lo cual logramos controlar la humedad en el interior de la cabina.

Los dámpers se encuentran ubicados en la toma de entrada de aire y en la chimenea; son construidas con láminas de aluminio para que permitan el ingreso y salida del aire, colocadas en un mecanismo de persianas horizontales que se abran y cierren manualmente.

4.3.5 PLENUM

Dentro del horno deshidratador necesitamos distribuir el aire adecuadamente para obtener un deshidratado uniforme en todas las bandejas, para lo cual es necesario tener un sistema de canalización desde la salida del ventilador hasta la entrada de las bandejas.

La canalización debe ser de manera tal que permita un movimiento del aire hacia las bandejas, tan libre de obstáculos como sea posible conseguir, intentando no instalar un tamaño de conducto demasiado grande. Un canal demasiado grande puede causar problemas de caudal y es antieconómico.

El sistema de plenum tiene un suministro individual que lo hace idóneo para instalaciones en la que las salidas se encuentran cerca. Aplicamos el sistema de plenum en reducción, que consiste en variar las dimensiones del ducto dependiendo del número de salidas. Con esto se trata de asegurar que cada conducto o ramal disponga de la misma presión y cantidad de aire.

Para el sistema de distribución hay que tener en cuenta que el aire que se mueve por el interior de los conductos tiene inercia, es decir, tendencia a seguir moviéndose en la misma dirección y sentido en que viene haciéndolo, por lo

que si el aire debe cambiar de sentido en una esquina, el giro debe evitar la resistencia a la corriente del aire.

Para el horno deshidratador de nuestro caso tenemos diez filas que contienen las bandejas por lo cual tenemos el mismo número de separaciones. El construir ese número de ductos independientes para cada separación resulta antieconómico e innecesario, por lo que se tendrá solo dos conductos, los cuales abarcan cinco separaciones cada uno con el fin de garantizar que la distribución del aire sobre el producto sea uniforme.

A la salida del ventilador se ubica un ducto de 320 mm de diámetro donde se encuentran las resistencias eléctricas; se realiza un cambio de sección circular a rectangular para la salida de las dos tomas que distribuyen el aire sobre las bandejas.

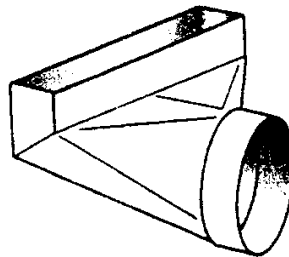


Figura 4.9. Tolva adaptadora de redondo a cuadrado

Dentro del sistema de distribución es importante determinar las caídas de presión para poder seleccionar el ventilador adecuado, por lo cual se consideran:

4.3.5.1 Caídas De Presión:

A través de las caídas de presión se puede determinar la potencia para la ventilación. A medida que un fluido circula por el interior de un ducto a algún otro dispositivo ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido, restricciones producidas por dispositivos, cambios de dirección, etc. Esta pérdida de energía da como resultado la pérdida de presión entre dos puntos del sistema.

La magnitud de estas pérdidas de energía está en función de las propiedades del fluido, la velocidad de flujo, el tamaño del ducto, la rugosidad de la pared del ducto y su longitud.

Las pérdidas por fricción pueden estimarse utilizando la ecuación de Darcy:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4.46)$$

En donde;

h_L = Pérdida de energía por fricción. / [Nm/N]

f = Factor de fricción.

L = Longitud del ducto. / [m]

V = Velocidad media del flujo. / [m/s]

D_h = Diámetro hidráulico. / [m]

g = Aceleración de la gravedad. / [m/s²]

El diámetro hidráulico en un tubo circular es el diámetro interno del mismo, mientras que para establecer el diámetro hidráulico en los ductos no circulares, se determina a través de:

$$D_h = \frac{4A_c}{PM} \quad (4.47)$$

En donde;

D_h = Diámetro hidráulico. / [m]

A_c = Área de la sección transversal. / [m²]

PM = Perímetro mojado. / [m]

Para lo cual el área de la sección transversal se determina con la geometría de la sección y se define como perímetro mojado a la suma de las longitudes de los límites de la sección que realmente están en contacto con el fluido. Siendo para un ducto rectangular de lados a y b , el perímetro mojado igual a:

$$PM = 2a + 2b \quad (4.48)$$

En donde;

a = Ancho del ducto. / [m]

b = Altura del ducto. / [m]

Para determinar el factor de fricción, primeramente se necesita caracterizar el tipo de flujo, para lo cual se calcula el número de Reynolds que para flujo interno en secciones transversales no circulares es:

$$\text{Re} = \frac{VD_h}{\nu} \quad (4.49)$$

En donde;

Re = Número de Reynolds.

V = Velocidad media del fluido. / [m / s]

D_h = Diámetro hidráulico. / [m]

ν = Viscosidad cinemática del fluido. / [m² / s]

Cuando un flujo es laminar se desplaza de manera ordenada dentro del ducto, en donde la pérdida de energía no depende de la superficie del conducto. Las pérdidas por fricción viscosa dentro del fluido determinan la magnitud de la pérdida de energía. A través de la ecuación de Hagen-Poiseuille¹⁸ que es válida para flujos laminares (Re < 2300) se puede determinar el factor de fricción que se reemplaza en la ecuación de Darcy:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (4.50)$$

Para flujo turbulento no se puede determinar el factor de fricción a partir de una ecuación por lo que es necesario confiar en datos experimentales. Se ha demostrado que este factor depende de dos números adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto.

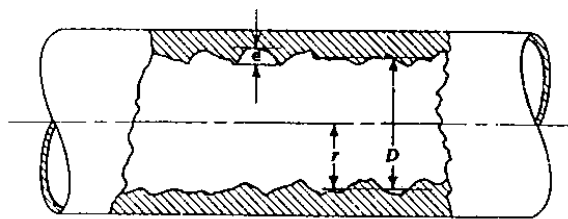


Figura 4.10 .- Rugosidad de la pared de conducto (exagerada).

La rugosidad relativa se define como la relación entre el diámetro hidráulico y la rugosidad promedio de la pared del ducto:

$$r = \frac{D_h}{\epsilon} \quad (4.51)$$

¹⁸ Robert L Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada, cuarta edición.

En donde;

r = Rugosidad relativa del ducto.

D_h = Diámetro hidráulico. / [m]

ϵ = Rugosidad promedio de la superficie del ducto. / [m]

La condición de la superficie del conducto depende bastante del material con que este construido y del método de fabricación. En la siguiente tabla se encuentran los valores promedio para ductos nuevos y limpios. Es de esperar que en un ducto que ha estado en servicio durante un tiempo, la rugosidad pueda haber variado debido al a depósitos sobre las paredes.

Tabla 4.7: Rugosidad en varios materiales.

MATERIAL	RUGOSIDAD, ϵ / [m]
Vidrio, Plástico	Suavidad
Cobre, latón, plomo (tubería)	1.5×10^{-6}
Hierro Fundido: sin revestir	2.4×10^{-4}
Hierro Fundido: revestido de asfalto	1.2×10^{-4}
Acero comercial o acero soldado	4.6×10^{-5}
Hierro Forjado	4.6×10^{-5}

Tabla 4.7: Rugosidad en varios materiales. (Continuación)

MATERIAL	RUGOSIDAD, ϵ / [m]
Acero Remachado	1.8×10^{-3}
Concreto	1.2×10^{-3}

Fuente: Robert Mott, Mecánica de fluidos aplicada, 4ta ed.

Para determinar el factor de fricción uno de los métodos más empleados es el diagrama de Moody, el cual se muestra en el Anexo XX, con curvas que fueron determinadas experimentalmente, para el cual se deben conocer el número de Reynolds y la rugosidad relativa

Existe también el método de P.K Swamee y A.K. Jain que permiten determinar el factor de rugosidad para flujo turbulento ($Re > 2300$) a través de la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left[\frac{1}{3.7 \cdot \left(\frac{D_h}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right] \right]^2} \quad (4.52)$$

En donde;

f = Factor de fricción.

D_h = Diámetro hidráulico. / [m]

ϵ = Rugosidad promedio de la superficie del ducto. / [m]

Re = Número de Reynolds.

Después de determinar la pérdida de energía por fricción, la caída de presión se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \rho g h_L \quad (4.53)$$

En donde;

ΔP = Caída de presión. / [Pa]

ρ = Densidad del fluido. / [Kg/m³]

g = Aceleración de la gravedad. / [m/s²]

h_L = Perdida por fricción. / [Nm/N]

También existen pérdidas por el uso de restricciones producidas por accesorios o dispositivos mecánicos, tales como cambios en la dirección de flujo, cambio de sección, cambio de tamaño, etc. Estas se conocen como pérdidas dinámicas o pérdidas menores.

Estas pérdidas de energía son proporcionales a la cabeza de velocidad del fluido al fluir éste alrededor de un codo, a través de una dilatación o contracción de la sección, etc. Los valores experimentales de pérdida de energía generalmente se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K, utilizando la siguiente expresión:

$$H_L = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (4.54)$$

En donde;

H_L = Pérdida menor. / [m]

K = Coeficiente de resistencia.

V = Velocidad media del fluido. / [m / s]

g = Aceleración de la gravedad. / [m / s²]

Dependiendo del caso presentado, sea una dilatación súbita, una pérdida de salida, una dilatación gradual, contracción súbita, contracción gradual, pérdidas de entrada o por el uso de dispositivos mecánicos, existen tablas o gráficas correspondientes para determinar el coeficiente de resistencia. K , como se puede observar en el anexo C.

La caída de presión ocasionada por las pérdidas menores o dinámicas es:

$$\Delta P = \rho g H_L \quad (4.55)$$

En donde;

ΔP = Caída de presión. / [Pa]

ρ = Densidad del fluido. / [kg / m³]

g = Aceleración de la gravedad. / [m / s²]

H_L = Pérdida menor. / [m]

La caída total de presión es igual a la sumatoria de las caídas de presión tanto por fricción como pérdidas menores.

Dentro del horno deshidratador podemos dividir cuatro zonas diferentes para analizar las pérdidas de presión, siendo estas zonas: la lumbrera de entrada, pasillo derecho, flujo sobre bandejas y pasillo izquierdo.

En la zona de la lumbrera de entrada tenemos que el flujo de aire debe atravesar primeramente por el damper ubicado en la entrada en cual tenemos una pérdida dinámica de 2 Pa, en el ducto por el que circula el aire se presenta un flujo turbulento en donde se presenta una pérdida por fricción de 0.4 Pa y en la tolva para el cambio de sección se tiene una pérdida dinámica de 5.8 Pa.

En el pasillo lateral por donde circula el aire previo a ingresar sobre las bandejas tenemos un flujo turbulento que da una pérdida por fricción de 0.59 Pa y en la esquina superior tenemos una pérdida dinámica de 0.5 Pa. Para el flujo que circula dentro del espacio libre entre bandejas se debe determinar el diámetro hidráulico para el área rectangular para determinar el número de Reynolds con el cual podemos comprobar que el flujo es turbulento con el cual obtenemos una pérdida por fricción de 1.4 Pa por cada separación, si

recordamos que en total tenemos 10 separaciones tenemos que la pérdida total sobre las bandejas es de 14 Pa.

Para el pasillo lateral izquierdo tenemos que la pérdida de presión por fricción es de 0.5 Pa y para el damper de salida tenemos una pérdida de 2 Pa. Para obtener la pérdida total de presión en el horno deshidratador es necesario realizar la sumatoria de todas las pérdidas parciales, por lo que:

$$\Delta P_T = \sum \Delta P \quad (4.56)$$

En donde;

ΔP_T = Presión total pérdida dentro del horno deshidratador. / [Pa]

ΔP = Pérdida de presión parcial dentro del sistema. / [Pa]

Realizando la sumatoria total tenemos que la pérdida total de presión en el interior del equipo es de 25.8 Pa, La densidad del aire para la temperatura de 70°C obtenida según la ecuación 4.2 es de 0.72 Kg/m³, mientras que para la temperatura de 15.9° C es de 0.832 Kg/m³; con lo cual obtenemos una relación de densidades de 0.86, con lo cual el valor corregido para la pérdida de presión es de 30 Pa.

4.3.5.2 Tipos De Ventiladores

El impulsor o ventilador proporciona la diferencia de presión necesaria para obligar al aire a que circule por las bandejas. Los ventiladores son elementos mecánicos que nos permiten crear una diferencia de presión para producir o generar una corriente o flujo de gas a través de un sistema. El ventilador no es un dispositivo de desplazamiento positivo, en el sentido que es incapaz de acumular la clase de presión que puede acumular un compresor.

Existen dos tipos de ventiladores, axiales y centrífugos. El ventilador axial o de hélice es capaz de manejar grandes volúmenes de aire con presiones diferenciales reducidas y son más ruidosos; son aquellos en que la corriente de aire fluye en forma paralela al eje del rodete. Los ventiladores axiales se clasifican en ventiladores de hélice, tubo axial (o tipo ducto) y con aletas

directrices. A su vez, los ventiladores cuentan con varias curvas denominadas curvas características del ventilador, que muestran los valores de presión, potencia consumida y rendimiento en función del caudal de aire.

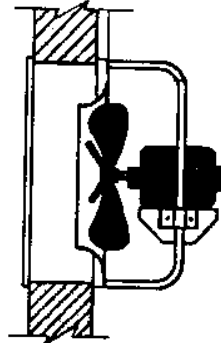


Figura 4.11 Ventilador axial.

El ventilador centrífugo o jaula de ardilla, es capaz de acumular más presión diferencial entre su entrada y salida, es indicado para aplicaciones donde se requieren pequeños caudales y altas presiones estáticas. Estos se clasifican por la forma de los alabes o aletas. Por lo general tiene unos alabes curvados hacia delante y una barrera para frenar al aire que está girando alrededor del rodillo del ventilador. Estos ventiladores presentan la ventaja de ser silenciosos.

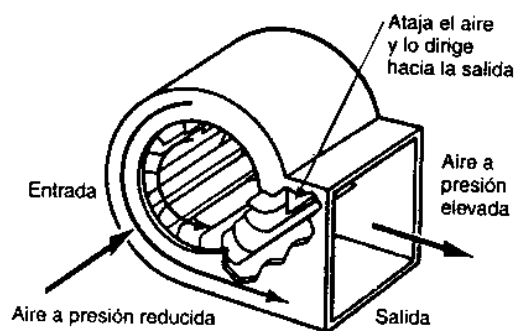


Figura 4.12: Ventilador centrífugo.

La transmisión para el funcionamiento de un ventilador axial o centrífugo puede ser a través de bandas o directa. Los ventiladores que emplean transmisión directa son aquellos en que el eje del motor se encuentra conectado directamente a la rueda o aspa del ventilador, generalmente en ventiladores de tamaño no muy grandes.

Los ventiladores de transmisión por banda o por correa, son aquellos en que la rueda del ventilador se encuentra conectada mediante un sistema de bandas y poleas al eje del motor.

Empleando este método de transmisión para ventiladores grandes o cuando la instalación no permite instalar el conjunto grande.

La velocidad a la cual un ventilador puede impulsar el aire depende de la presión que este tenga que superar para circular el flujo. En un ventilador cada volumen desplazado (CFM) corresponde a la resistencia específica llamado presión estática (SP) en el flujo del aire. La serie de puntos del volumen desplazado y presión estática, a un número de revoluciones por minuto constante genera una curva única. Es decir que al variar las revoluciones por minuto de se obtiene una familia de curvas del ventilador.

Para seleccionar el ventilador, es necesario conocer el caudal de aire y la presión estática. Debido a que los fabricantes presentan las curvas características del funcionamiento del ventilador a condiciones normales, es decir 20 °C y 760 mmHg; es necesario corregir el dato de la presión estática cuando trabaja sobre el nivel del mar, para lo cual se divide la presión estática real para la relación de densidades.

El flujo de aire necesario a aplicar en nuestro horno es de 42 m³/min (1500 CFM), y las pérdidas de presión ideal es de 25.8 Pa, valor corregido para la altura en la que se encuentra trabajando el equipo con la relación de densidades a las temperaturas de trabajo de 0.832, tenemos que la presión estática a vencer por el ventilador es de 30 Pa. (≈ 0.17 PlgH₂O).

De acuerdo con las características de funcionamiento de los ventiladores y los requerimientos del sistema, se selecciona un ventilador axial el cual se ubica en la parte inferior del equipo y presenta las siguientes características:

Marca:	Siemens
Tipo:	2CC2 314-5YA3
Motor:	Monofásico
Voltaje:	110 V / 60 Hz
Amperaje:	1.5 A
Revoluciones:	1800 R.P.M.
Caudal:	0.70 m ³ /seg. @ 760 mmHg
Diámetro:	316 mm
Potencia:	0.088 KW

Peso: 6 Kg.

4.3.6 PUERTA REBATIBLE

La puerta cumple la función de permitir el ingreso y salida de las bandejas del interior del horno. Deben permitir aislar la cámara interna del ambiente con materiales que resistan la corrosión.

Se colocarán dos puertas que se ubicarán en la parte frontal del equipo, paralelas al flujo de aire, evitando así las pérdidas de aire.

Las puertas se encuentran hechas con 50.8 mm de lana de vidrio para aislar a la cámara.

4.4 SISTEMA DE REGENERACIÓN

El sistema de regeneración permite determinar la cantidad de aire a recircular para un ahorro en el consumo de energía. Primero se analiza las condiciones del aire después de pasar sobre las bandejas para retirar la humedad del producto, es decir la humedad que gana el aire.

Como se determinó dentro del análisis del proceso en el interior de la cámara, tenemos que la humedad específica del aire es de $0.22 \text{ Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}$. Con este valor y la temperatura de saturación ingresamos en las cartas psicométricas para obtener las propiedades del aire a la salida en este punto:

Humedad Relativa:	99	%
Humedad Específica:	0.22	$\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}$
Volumen Específico:	1.795	m^3 / Kg
Entalpía:	652	KJ/Kg

Antes de ingresar el aire a la cámara de resistencias se produce una mezcla adiabática entre el flujo de aire ambiente y el flujo de aire previamente analizado, las pérdidas de calor con los alrededores suele ser pequeña por lo que se considera un proceso de mezcla adiabático, por lo que la conservación de la masa se expresa como:

$$m_a \omega_a + m_2 \omega_2 = m_3 \omega_3 \quad (4.57)$$

En donde;

m_a = Masa de aire seco ambiental. / [Kg_{aireseco}/min]

ω_a = Humedad específica aire ambiente. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

m_2 = Masa de aire seco a la salida. / [Kg_{aire seco}/min]

ω_2 = Humedad específica del aire a salida. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

m_3 = Masa de aire seco a después de mezcla. / [Kg_{aire seco}/min]

ω_3 = Humedad específica del aire después de mezcla. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

Las propiedades del aire resultantes después de la mezcla son conocidas, partimos que la humedad específica con las que el aire debe ingresar a la cabina es máxima de 0.216 Kg_{agua}/Kg_{aire seco}, ya que esta no se modifica al ser calentada en la cámara de resistencias y además de conocer el flujo másico necesario. Las condiciones del aire ambiental también son conocidas al igual que las propiedades del aire a la salida de la cámara pero es necesario determinar el porcentaje de aire para mezclar y conseguir las propiedades deseadas. El máximo porcentaje que se puede recircular del aire de la salida de cámara se obtiene por:

$$\%_{Rec} = \frac{m_1 \cdot \omega_1}{m_2 \cdot \omega_2} \quad (4.58)$$

En donde;

$\%_{Rec}$ = Porcentaje de aire máximo a recircular, / [%]

m_1 = Flujo másico de aire después de la mezcla. / [Kg/min]

ω_1 = Humedad específica de aire después de mezcla. / [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

m_2 = Flujo másico de aire a la salida de la cámara. / [Kg/min]

ω_2 = Humedad específica de aire a la salida de la cámara. /
[Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

El porcentaje máximo a recircular con estas condiciones es del 84 %, siendo necesario mezclar con aire ambiente un porcentaje menor, ahora se debe determinar cuanto flujo de aire ambiente entra y cuanto flujo aire empleado se debe desfogar hacia el exterior del horno si recirculamos un 80%. Para determinar la cantidad necesaria aplicamos la siguiente expresión:

$$\frac{m_{arec}}{m_{2rec}} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1 - \omega_a} \quad (4.59)$$

Obtenemos que es necesario recircular 22.16 Kg/min del aire a la salida de la cámara, e ingresar 1.20 Kg/min de aire ambiente para obtener las características del aire deseado para ingresar sobre el producto. Con todos los parámetros conocidos se debe determinar la entalpía de la mezcla obtenida, para conocer la temperatura y poder determinar el ahorro de energía para calentar el aire. La entalpía la determinamos a través de la siguiente ecuación:

$$h_3 = \frac{h_a + h_2 \frac{m_{2rec}}{m_{arec}}}{1 + \frac{m_{2rec}}{m_{arec}}} \quad (4.60)$$

En donde;

h_3 = Entalpía de la mezcla. / [KJ/Kg]

h_a = Entalpía del aire ambiental. / [KJ/Kg]

h_2 = Entalpía del aire a salida. / [KJ/Kg]

m_{2rec} = Masa de aire de salida a recircular. / [Kg/min]

m_{arec} = Masa de aire ambiente para mezclar. / [Kg/min]

Se ingresa con el valor de la entalpía obtenida de 448 KJ/Kg y la humedad específica resultante de la mezcla de 0.216 Kg_{agua}/Kg_{aire seco} en su respectiva carta psicométrica para determinar la temperatura resultante de la mezcla, siendo esta de 51 °C.

A través del sistema de regeneración logramos reducir el consumo de energía eléctrica requerida para calentar el aire a la temperatura de trabajo, el cual con la temperatura alcanzada en la mezcla solo se requiere de 8 KW, lo cual representa un ahorro aproximado del 60 %, lo cual disminuye los costos de producción.

4.5 SISTEMA DE CONTROL

Dentro de la cabina de secado es necesario garantizar las propiedades del aire que circula; dependiendo del control de estas variables se puede obtener el producto deseado.

Los parámetros que se necesitan controlar son la temperatura del aire, y la humedad relativa; la manera de poder controlar estas variables depende mucho del presupuesto, debido a que se pueden implantar desde sistemas básicos hasta sistemas totalmente automatizados, lo cual implica un elevado costo por todos los accesorios que esto involucra, siendo así que el sistema de control que se plantea es básico

El sistema de control para la temperatura se realiza con el uso de una termocupla ubicada en el interior de la cabina, la cual censa esta propiedad del aire y corta el flujo de corriente eléctrica a las resistencias en caso de superar la temperatura fijada o enciende las mismas cuando la temperatura sea inferior a la de trabajo automáticamente. El pirómetro empleado tiene un rango máximo de 200 °C y una apreciación de 1 °C, trabaja con 110 – 220 V y funciona con una termocupla tipo J.

La lectura de la humedad relativa en el interior de la cámara se la realizará a través de un higrómetro manual que puede ser introducido por la mirilla ubicada en la parte posterior del horno. Para regular esta propiedad en el interior del horno, se debe regular los dámpers manualmente de entrada y salida del aire, observando la lectura especificada en el indicador.

Dentro de la caja de control que se ubica en el lado derecho del horno, se encuentran los mandos de accionamiento para el ventilador, las resistencias y el temporizador que permita apagar el equipo una vez finalizado el tiempo estimado del ciclo de secado con sus respectivas seguridades. El gabinete de control contiene en su interior los contactores, reles y fusibles necesarios para proteger a los equipos.

En la compuerta del gabinete se encuentran ubicados un selector que permite alimentar de corriente a todo el tablero con su respectiva luz guía, además consta con un selector que permite operar de manera manual o automática, esto implica que si se selecciona el modo automático las resistencias y el ventilador trabajan continuamente mientras el temporizador emita la señal en el tiempo establecido, apagándose una vez terminado el tiempo. Mientras que al seleccionar el modo manual consta de dos selectores que permiten encender y apagar las resistencias y ventilador a disposición del operario.

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN

5.1. LISTA DE MATERIALES EXISTENTES EN EL MERCADO, MATERIALES ESCOGIDOS

Es necesario considerar que los materiales seleccionados sean de fácil adquisición en el mercado local, aplicables a procesos accesibles de manufactura y resistentes al trabajo a someterlos.

Para el proceso en el que se trabaja los materiales a emplear deben ser resistentes a la corrosión por la humedad a portar el aire, resistentes a golpes, resistentes a la temperatura de trabajo, buena apariencia y el material que tiene contacto directo con el producto no debe ser contaminante.

El horno deshidratador se encuentra constituido por una estructura base construida en perfil, el cual soporta las planchas de recubrimiento tanto interior como exterior con su respectivo aislante intermedio; dentro del cual se soporta el ventilador, la cámara de resistencias y las bandejas como se puede observar en los planos ubicados en el anexo A .

La selección de materiales debe estar enfocada en la optimización de estos, es decir evitar el desperdicio de materia prima, por lo cual es recomendable estandarizar los materiales a emplear y construir con mano de obra capacitada.

Es necesario conocer las máquinas y herramientas con las cuales se puede contar al trabajar en la construcción, para evitar seleccionar un material que no lo podamos maquinar, es así que dentro del taller de trabajo seleccionado tenemos las siguientes máquinas:

- Sierra circular de Cinta.
- Sierra de Vaivén.
- Esmeril.
- Cortadora para acero inoxidable de hasta 3 mm.
- Dobladora de tol de hasta 5 mm.
- Taladro de banco.
- Taladro manual.
- Amoladora.
- Suelda TIG.

- Suelda MIG.
- Sierra manual.
- Tijeras de tol.
- Elementos de medición.
- Alimentación de aire comprimido.
- Prensa hidráulica manual.

Una vez conocidos los requerimientos necesarios se determina la lista de materiales a comprar para la construcción:

Tabla 5.1 Listado de materiales

ELEMENTO	MATERIAL
Soporte Bandejas	Acero inoxidable AISI A304 de 2.5 mm de espesor.
Bandejas	Acero inoxidable AISI A304 de 0.8 mm de espesor.
Estructura Horno	Ángulo de 2" x 1/8" Platina de 2" x 1/8" Placas de Hierro ST-37 de 1/8"
Recubrimiento Interno Cabina	Acero Inoxidable AISI A304 de 0.4 mm de espesor.
Recubrimiento Interno Ventilación	Tol Galvanizado de 0.7 mm de espesor.
Recubrimiento Exterior	Tol Negro de 1.1 mm de espesor.
Aislante	Lana de Vidrio de 1 pulgada de espesor.
Tubo Resistencias	Acero inoxidable AISI A304 de 1 mm.

Tabla 5.1 Listado de materiales (Continuación)

ELEMENTO	MATERIAL
Resistencias	Kantal
Soporte Ventilador	Ángulo de 2" x 1/8"
Puertas	Ángulo de 2" x 1/8". Tol Negro de 1.1 mm de espesor. Acero inoxidable A304 de 0.4mm.
Electrodos	E-6011 E-6013
Dámpers	Perfilería de aluminio. Aluminio A1100 de 2.2 mm de espesor.
Plenum	Tol Galvanizado de 0.7 mm de espesor.

5.2. SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN

Según la especificación de los planos podemos observar que el horno se encuentra constituido por varias partes las cuales son construidas individualmente para luego ser ensambladas entre si para dar la forma del horno.

Con lo cual el proceso a seguir para la construcción de cada uno de los elementos del horno es el siguiente:

5.2.1 ESTRUCTURA DEL HORNO

Marco Superior:

- Cortar el ángulo de 2" x 1/8" en la sierra de vaivén, para obtener dos segmentos de 1570 mm y cinco de 1318 mm.
- En los perfiles de longitud 1318 mm realizar un corte de 2 pulgadas en cada uno de los extremos con la sierra circular para poder realizar el empate con los otros segmentos.
- Unir los dos segmentos de 1570 mm con dos segmentos de 1318 mm para formar un rectángulo, cuadrar con escuadra y proceder a soldar los elementos.
- Los restantes elementos soldar en el interior del marco como refuerzos según se indica en los planos anexos.
- Limpiar con la piqueta y el cepillo de alambre los cordones de soldadura.
- Con la amoladora proceder a retirar o igualar las superficies en las que se colocará las planchas para el forraje del horno.

Marco Inferior:

- Cortar el ángulo de 2" x 1/8" para obtener dos segmentos de 1570 mm y tres segmentos de 1318 mm.
- En los perfiles de longitud 1318 mm realizamos un corte de 2 pulgadas en cada uno de los extremos con la sierra circular para poder realizar el empate con los segmentos mas grandes.
- Unir los dos segmentos de 1570 mm con dos segmentos de 1318 mm para formar un rectángulo, cuadrar con escuadra y proceder a soldar los elementos.
- El elemento restante de 1318 mm soldar en el interior del marco como soporte para el ventilador a las dimensiones indicadas en los planos anexos
- Cortar cuatro placas de 140x200 mm con un espesor de 1/8", y soldarlas en las esquinas internas del marco, lo cual es para el soporte de las garruchas a colocar después.
- Limpiar con la piqueta y el cepillo de alambre los cordones de soldadura.
- Con la amoladora proceder a retirar o igualar las superficies en las que se colocará las planchas para el forraje del horno.

Marco Intermedio:

- Cortar el ángulo de 2" x 1/8" para obtener cuatro segmentos de 1214 mm y dos de 1230 mm.
- En los elementos obtenidos de menor tamaño realizar los destajos en cada uno de los extremos para facilitar el acople entre elementos.
- Formar un marco rectangular uniendo los dos segmentos de 1230 mm con dos segmentos de 1214 mm, poner a escuadra y proceder a soldar empleando electrodos E6013.
- Los dos elementos restantes soldarlos en el interior del marco como refuerzos del marco.
- Limpiar con la piqueta y cepillo de alambre todos los cordones, y corregir superficies con la amoladora.

Soporte Bandejas:

- Debido a costos se recomienda construir los perfiles en acero inoxidable a partir de una plancha estándar.
- Cortar de la plancha comprada de acero inoxidable de 2.5 mm de espesor en 20 tiras de 1220 mm de largo y 90 mm de ancho, a cada una de estas realizar un dobléz para obtener un ángulo de 40 x 50 mm.
- De la misma plancha cortar cuatro segmentos de 800 mm de largo y 132 mm de ancho para los soportes de los ángulos previamente obtenidos. A estos segmentos doblar dos veces para obtener un perfil C de 60 x 35 mm.
- Tomar dos segmentos soportes C y separarlos 1220 mm entre extremos; sobre la cara de 60 mm colocar diez ángulos los cuales se sueldan en el soporte con una separación de 38 mm de separación entre ángulos, el lado apoyado de estos es el de 40 mm.
- Realizar el mismo proceso anterior para obtener el otro soporte de bandejas, debido a que se necesita dos soportes con diez filas cada uno.

Columnas:

- Cortar el ángulo de 2"x1/8" en cuatro segmentos de 1240 mm, para las columnas exteriores, sin la necesidad de realizar ningún destajo en sus extremos.
- Cortar del mismo ángulo dos segmentos de 1288 mm, realizar un destajo de 2 pulgadas en uno de los extremos de cada elemento, para acoplar estas columnas en la parte frontal del horno como refuerzo para el soporte de bandejas y como soporte para las puertas, como se indica en su respectivo plano.

Puertas:

- Para las puertas se emplea el mismo ángulo para evitar el desperdicio de material por lo cual se corta cuatro segmentos de 847 mm y cuatro segmentos de 595 mm.
- Realizamos el destajo de 2" en cada uno de los lados de los segmentos de 847 mm para acoplar con los elementos de otras medidas.
- Formamos dos marcos iguales, cada uno está compuesto por el acople de dos segmentos de 847mm y dos segmentos de 595 mm, los cuales se cuadran y se suelda.
- Limpiar los cordones de suelda y amolar los residuos existentes en las caras exteriores.

Soporte Ventilador:

- Cortar dos segmentos de 485 mm cada uno del ángulo de 2" x 1/8".
- Realizar un destajo de 2" en cada uno de los lados de cada segmento.
- Realizar una perforación de 3/8" en cada segmento a una distancia de 218 mm de un extremo y en el centro de la cara.

5.2.2 PAREDES, PISO Y TECHO

- Para el conformado de las paredes, piso y techo es necesario cortar las planchas para el material interior y exterior, de tal manera que podamos formar una pestañas en cada uno de los extremos para facilitar el acople de elementos al montarlos en la estructura.
- Las dimensiones para el corte de cada plancha debe ser realizados según las medidas especificadas en los planos anexos.

5.2.3 AISLAMIENTO

- Para el aislamiento se debe cortar del rollo de lana de vidrio las dimensiones respectivas para rellenar cada pared, piso o techo.
- El aislamiento necesario para cada pared debe ser de un espesor de 2 pulgadas, por lo cual al solo conseguir comercialmente rollos de 1 pulgada de espesor, es necesario poner dos capas para el aislamiento total.

5.2.4 DAMPER

- Los dámpers de entrada y salida del aire están formados por un marco hecho en perfil de aluminio de 450 x 300mm, en el cual montamos el mecanismo de celosías que nos permite regular el flujo de aire tanto de entrada como de salida.
- Cada damper está formado por tres placas de aluminio de 100x440 mm.

5.2.5 PLENUM

- Dentro de lo que es el sistema de plenum para la distribución del aire en el interior de la cabina tenemos que es necesario construir la tolva que adapta la sección circular a rectangular, los deflectores y canal de distribución.
- Para la construcción de la tolva es necesario cortar varias piezas para proceder a ensamblar los elementos con remache pop y dar la forma correspondiente.
- Dentro del canal de distribución tenemos que en la pared interna del horno debemos evitar esquinas rectas, por lo cual realizamos dobleces para dar un radio en las esquinas. Al igual que en la pared de entrada ubicamos una pared intermedia para uniformizar la distribución del aire sobre todas las bandejas, la cual para construir es necesario cortar la plancha de acero inoxidable y dar un radio de curvatura en la esquina.

5.2.6 CAMARA RESISTENCIAS

- Cortar una plancha de acero inoxidable de 1005 x 770 mm, barolar el material hasta obtener un ducto circular de diámetro 320 mm, cerrar el lado de unión a través de suelda. En uno de sus extremos colocar una brida de diámetro interno 320 mm y diámetro externo 360 mm para usarlo como elemento de acople con la tolva.
- Dar la forma espiral al alambre de las resistencias, formando cuatro paquetes que serán conectados en paralelo para obtener la potencia final necesaria.
- Montar las resistencias en el interior del ducto con sus respectivos contactos y aislamientos.

5.2.7 BANDEJAS

- En una plancha estándar de acero inoxidable AISI A304 de 0.8 mm de espesor, realizar cuatro cortes para obtener segmentos iguales de 610 x 1220 mm.
- En cada plancha obtenida realizar el corte en las esquinas de 40x40 mm para realizar el dobléz correspondiente en cada lado y dar la forma a la bandeja.
- Proceder a soldar los lados con suelda MIG.
- Limpiar los lados de soldadura.
- Repetir el mismo proceso para obtener las 20 bandejas necesarias.

5.2.8 TABLERO DE CONTROL

- Colocar en el interior del gabinete de control dos rieles DIN para poder montar internamente los contactores, reles y fusibles.

- Realizar las perforaciones necesarias en la puerta del gabinete para colocar la pantalla del pirómetro, los pulsadores y luces piloto para el trabajo del equipo.
- Instalar los equipos dentro del gabinete de control para montar el gabinete en un lado del horno secador.

5.3. ENSAMBLE

Después de haber construido las partes anteriormente descritas para la construcción del horno deshidratador es necesario realizar los ensambles respectivos para obtener el equipo listo para funcionar.

Los pasos a seguir para ensamblar el horno deshidratador son:

5.3.1 ENSAMBLE ESTRUCTURA METÁLICA

Previamente se han construido los marcos respectivos y cortados los elementos que nos permitirán unir el conjunto. Por lo cual iniciamos ensamblando los componentes en el siguiente orden:

1. Una vez contruidos los soportes de bandejas, colocar cada uno de estos en un extremo del marco intermedio.
2. El nuevo conjunto obtenido se junta en los soportes soldados en el marco superior.
3. En cada una de las cuatro esquinas del marco superior soldar las columnas.
4. Ensamblar el marco inferior con las columnas soldadas en el conjunto que se ha venido trabajando.
5. Soldar las dos columnas de refuerzo para la sujeción de las puertas en la parte frontal del horno.
6. Ensamblar el soporte para el ventilador.

5.3.2 ENSAMBLE DE PAREDES, TECHOS Y PISO.

Para el ensamble de de las paredes techo y piso procedemos a realizar las operaciones en el siguiente orden:

1. Colocar la placa interna del piso.
2. Colocar la lana de vidrio bajo la placa de interna del piso.
3. Colocar la placa externa del piso.
4. Asegurar todas las placas del piso.
5. Colocar las cuatro garruchas sobre la placa externa.
6. Colocar la placa interna de la pared posterior.

7. Colocar el aislante térmico posterior.
8. Colocar la placa exterior para la pared posterior.
9. Asegurar las placas de la pared posterior.
10. Colocar la placa interna pared frontal lateral izquierda.
11. Colocar el aislante térmico.
12. Colocar la placa exterior de la pared izquierda.
13. Asegurar la pared en la estructura del horno.
14. Colocar placa interna de pared frontal lateral derecha.
15. Colocar aislante térmico.
16. Colocar pared exterior pared frontal derecha.
17. Asegurar pared frontal derecha.
18. Colocar pared interna lateral derecha.
19. Montar damper de entrada de aire en la estructura.
20. Montar damper de salida de aire en la estructura.
21. Colocar deflectores de aire.
22. Colocar aislante térmico.
23. Colocar pared exterior de pared lateral derecha.
24. Asegurar las placas de pared lateral derecha a estructura.
25. Colocar tolva de cambio de sección en la parte inferior del lado izquierdo.
26. Colocar plenum sobre la tolva.
27. Colocar placa interna de pared lateral izquierda.
28. Colocar aislante térmica.
29. Colocar placa exterior de pared lateral izquierda.
30. Asegurar placas del lado derecho a la estructura.
31. Colocar ventilador dentro de su soporte ubicado en la parte inferior.
32. Sujetar ventilador en el soporte.
33. Colocar cámara de resistencias de resistencias entre tolva y ventilador.
34. Colocar puerta delantera de mantenimiento.
35. Pintar exteriormente la el horno.
36. Subensamblar las puertas, el marco con la placa exterior e interior y el respectivo aislamiento térmico.
37. Pintar las puertas.
38. Colocar las bisagras en la pared frontal izquierda y derecha del horno.
39. Asegurar las puertas en las bisagras.
40. Colocar las bandejas en el interior del horno.

5.3.3 ENSAMBLE DEL GABINETE DE CONTROL

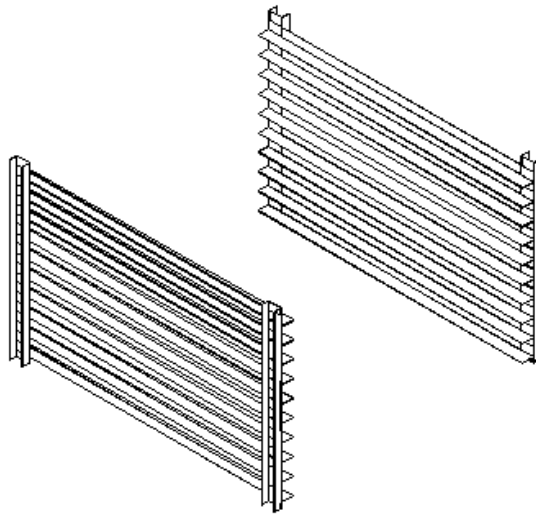
Dentro del tablero de control se ubicarán todos los controles respectivos para el manejo del horno:

1. Instalar la termocupla en el interior de la cámara
2. Colocar los respectivos rieles necesarios en el gabinete previo montaje.
3. Montar el gabinete de control en la pared derecha del horno.
4. Ensamblar el panel de mando. (Pirómetro, temporizador, contactores, luces piloto, botoneras, reles, fusibles, etc)
5. Realizar las conexiones eléctricas necesarias para las resistencias y ventilador.
6. Conectar los equipos de medición.

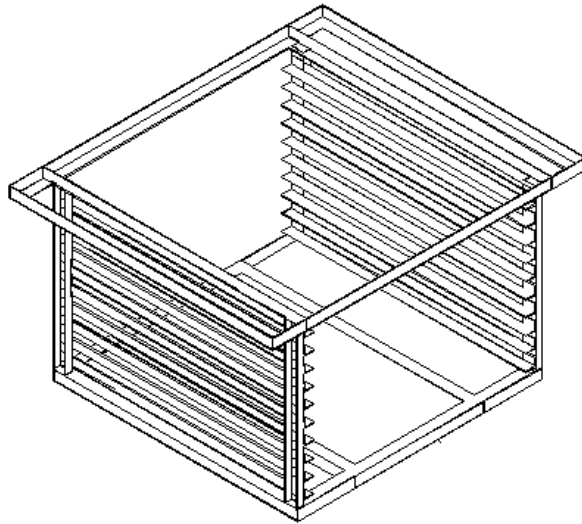
5.4. ESQUEMAS DE ENSAMBLE

Para la construcción del deshidratador se representa esquemáticamente el ensamble de las partes que componen el mismo. Los pasos de ensamble detalladamente fueron descritos anteriormente, ahora representamos esquemáticamente de manera breve:

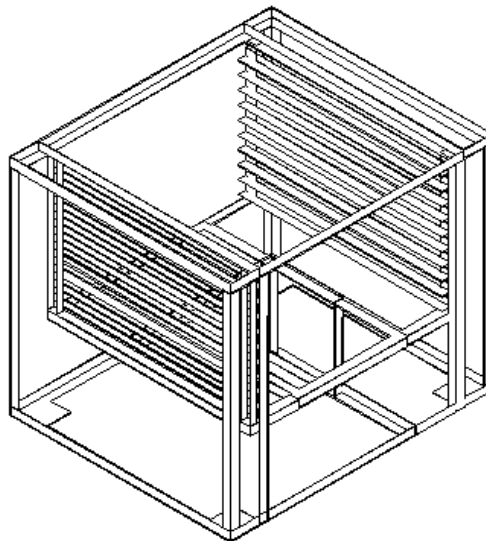
- 1.-Ensamblar los dos soportes porta bandejas.



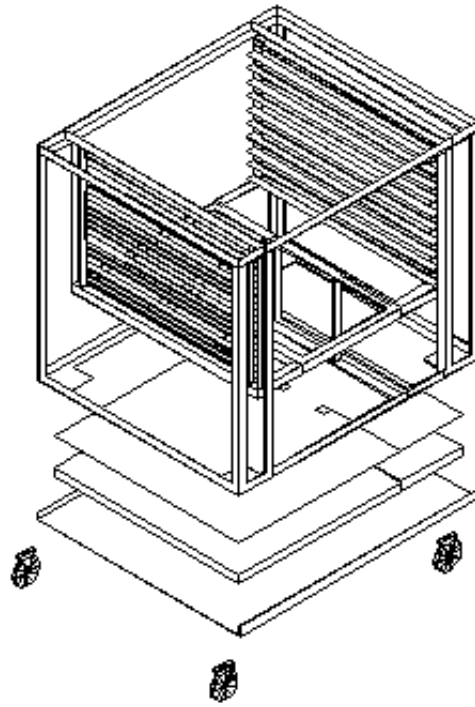
- 2.- Ensamblar en los soportes de bandejas el marco intermedio y el marco superior.



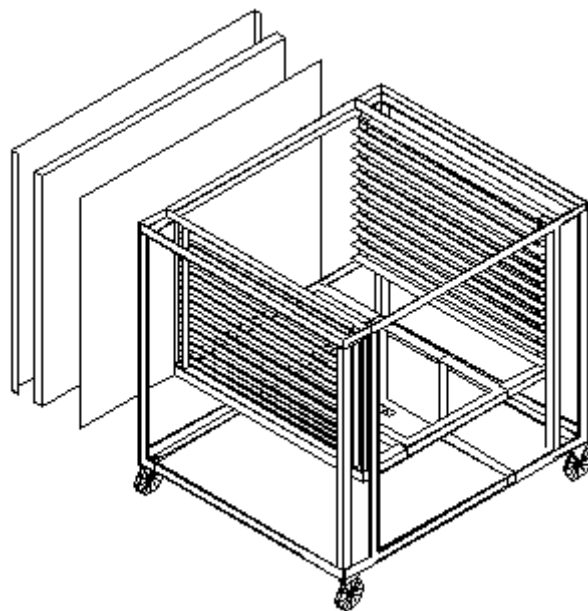
3.- Ensamblar las columnas, los soportes de puertas, el marco inferior y el soporte del ventilador.



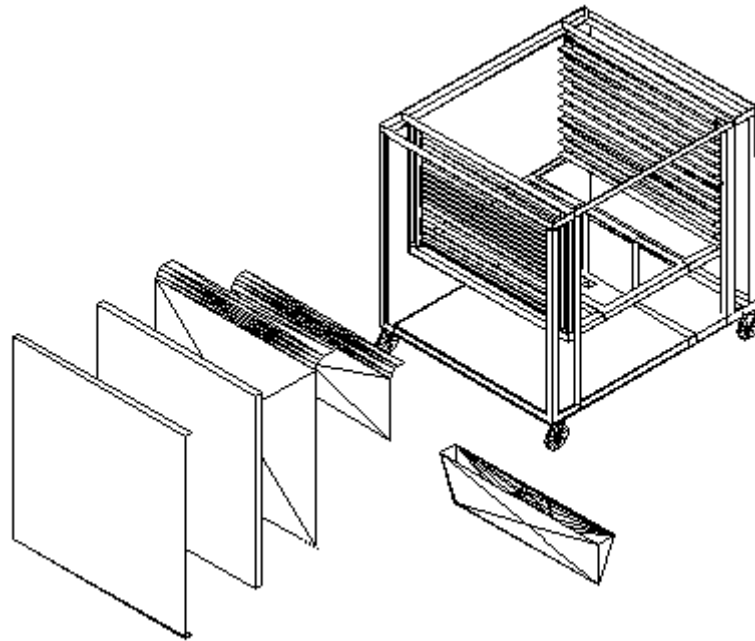
4.- Colocar y asegurar la placa exterior, el aislante térmico y la placa interior que conforman el piso del horno. Colocar las cuatro garruchas en las esquinas inferiores.



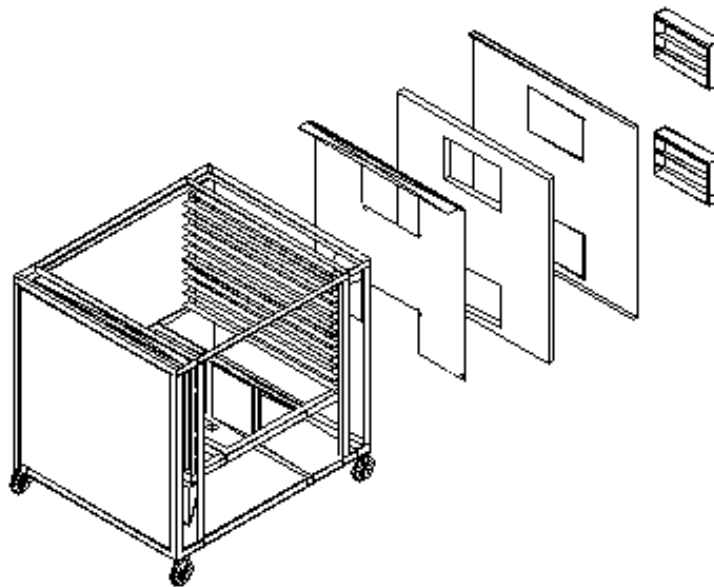
5.- Ensamblar las placas interiores, el aislante térmico y la placa interior de la pared posterior del horno.



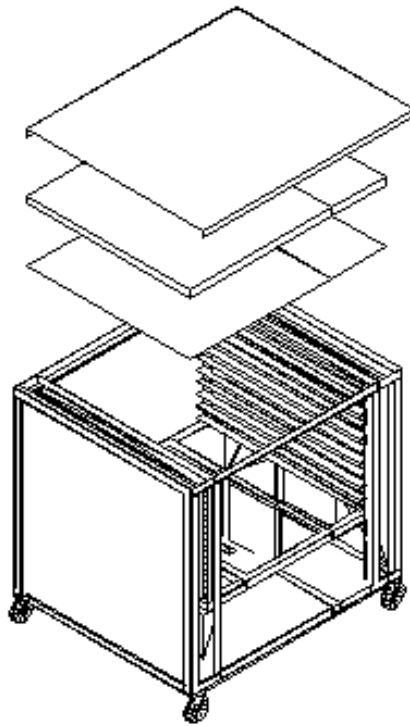
6.- Colocar la tolva de cambio de sección, el plenum, la placa interna, el aislante y la placa exterior de la pared izquierda,



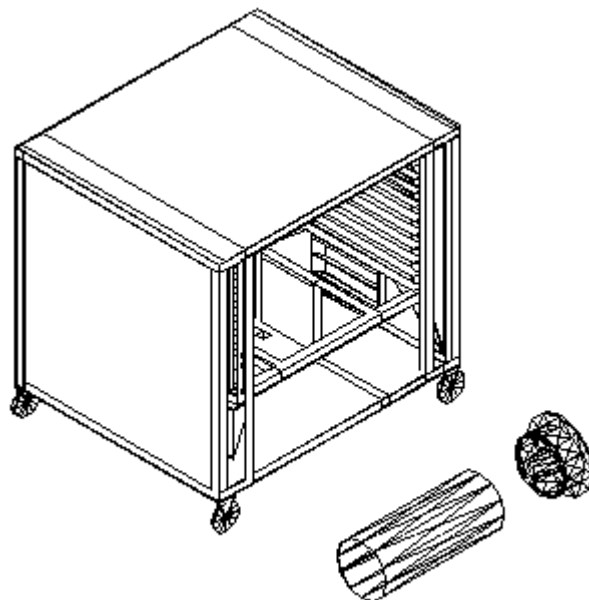
7.- Montar los dampers de entrada y salida en el lado derecho. Asegurar con las placas y el aislante que conforman la pared izquierda.



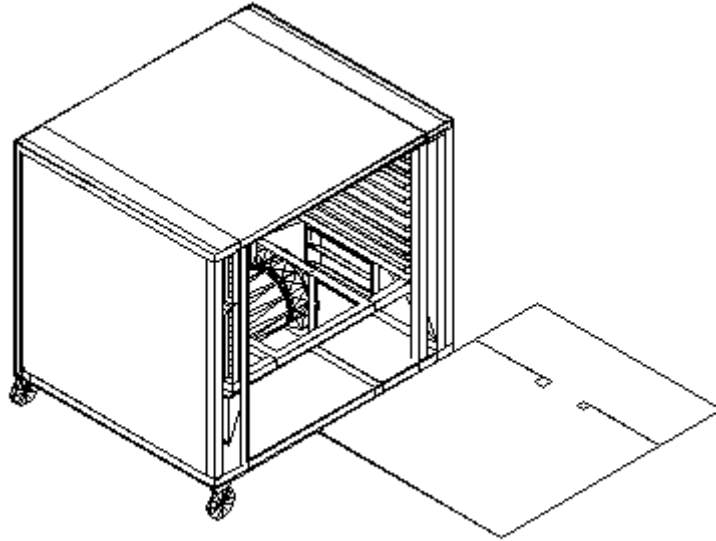
8.- Colocar el aislante termico y la placa exterior en el techo del horno.



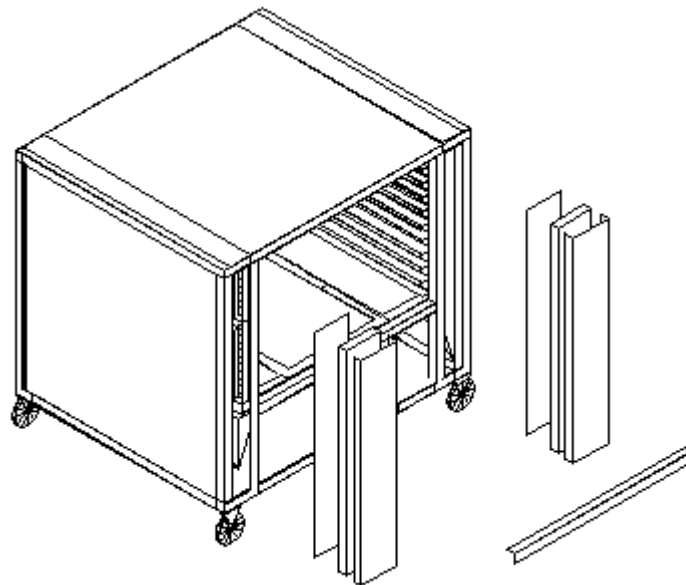
9.- Ensamblar en la parte inferior del horno el ventilador y la cámara de resistencias.



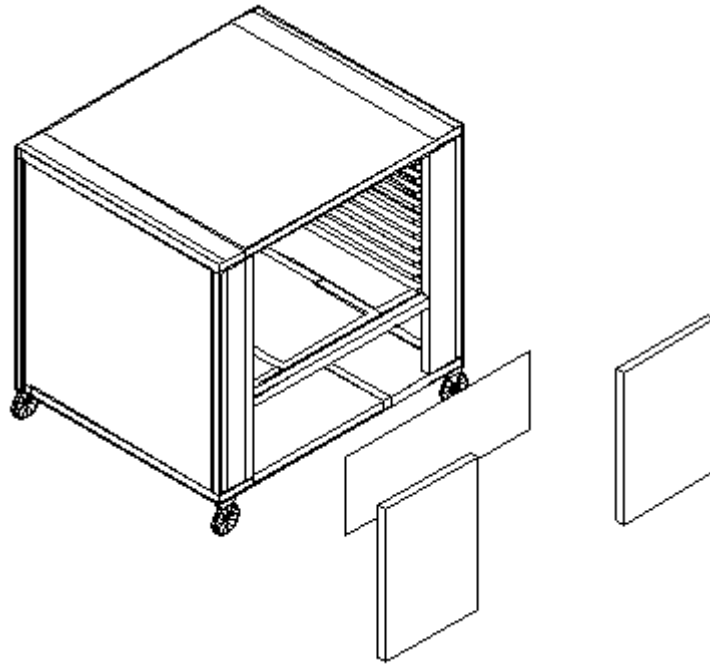
10.- Ensamblar la pared interna que divide la cámara del horno con el área del ventilador y resistencias.



11.- Ensamblar las placas interiores y exteriores que conforman las paredes frontales laterales.

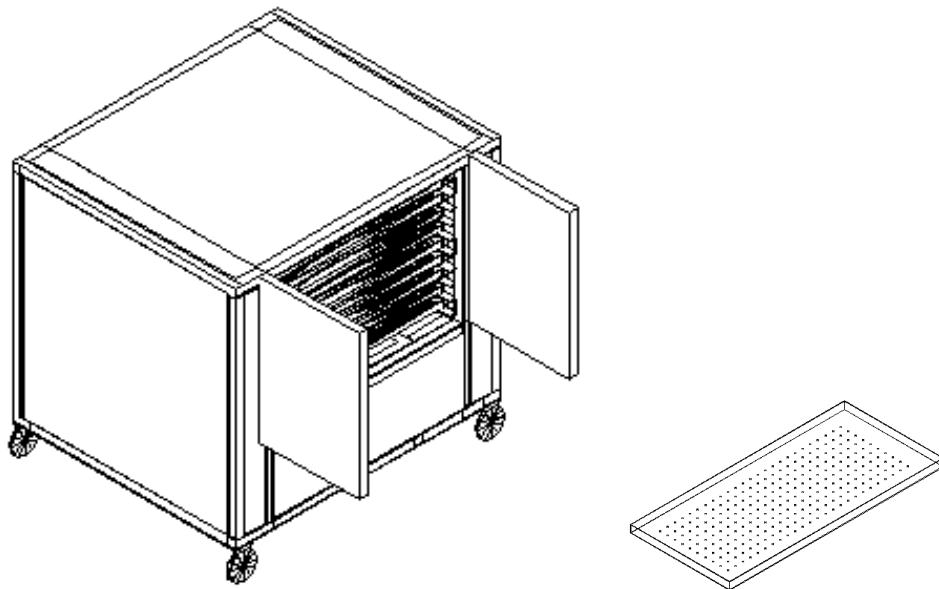


12.- Ensamblar las puertas del horno en la parte frontal con sus respectivas bisagras. Colocar y sujetar la puerta de mantenimiento.



13.- Luego de ensamblar todas las partes del horno se procede a aplicar el fondo anti-corrosivo previo al proceso de pintura exterior del equipo y montar el tablero de control.

14.- Finalmente es necesario colocar las bandejas en el interior del horno.



CAPITULO 7

EVALUACION ECONOMICA- FINANCIERA

7.1 EVALUACION ECONOMICA

7.1.1 Costos Directos

En los costos de construcción del deshidratador se ha considerado los rubros referentes a materiales y mano de obra.

A continuación detallamos los costos directos en las siguientes tablas:

COSTOS DE ESTRUCTURA Y FORRAJE

Para la construcción de la estructura y forraje del deshidratador, se empleo los siguientes materiales:

Tabla 7.1: Materiales estructura y forraje

Ítem	Material	Descripción	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Plancha Acero Inoxidable A304	2,5 mm	1	162,40	162,40
2	Plancha Acero Inoxidable A304	0,4 mm	2	45,00	90,00
3	Angulo Estructural A-36	50 x 3 mm	7	9,50	66,50
4	Plancha Tol Negro (1/20)	1,1 mm	6	21,17	127,02
5	Plancha Tol Galvanizado (1/40)	0,6 mm	3	13,28	39,84
6	Plancha Tol Galvanizado	1,2 mm	2	26,30	52,60

Tabla 7.2: Materiales estructura y forraje (Continuación)

Ítem	Material	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
				[\$/u]	[\$]
8	Kilo Electrodo AGA 1/8	6013	2	2,15	4,30
9	Ruedas Fijas	160	2	8,70	17,40
10	Ruedas Giratorias	160	2	10,95	21,90
11	Silicón Transparente Industrial	732	3	3,52	10,56
12	Celosis de Aluminio	Perfil	2	14,00	28,00
13	Flejes de Aluminio	100x450 mm	8	1,50	12,00
14	Brocas p/metal HSS	3/16 "	3	0,75	2,25
15	Remaches Pop	3/16 x 1/2	300	0,03	7,50
16	Masilla Epoxica	100 Gr	1	2,25	2,25
17	Lana de Vidrio	1"x48"x50`	2	40,85	81,70
18	Masilla Plástica	1 Lt.	1	4,30	4,30
19	Desoxicondor	4 Lt	1	5,42	5,42
20	Discos de Lija	180x22 mm	4	0,60	2,40
21	Bisagras	3 "	4	2,25	9,00
22	Pintura Azul Martillado E034	1 Galon	1	18,00	18,00
23	Thiner	1 Lt.	2	1,50	3,00
24	Fondo Antiox Condor	1 Galón	1	12,00	12,00
25	Kilo Electrodo Acero Inoxidable		1	16,00	16,00

Total (sin iva)	801,47
Total (con 12 % iva)	897,65

Los costos por concepto de mano de obra y maquinaria para estructura y forraje son:

Tabla 7.3 Mano de obra y maquinaria para estructura y forraje

Ítem	Proceso	Material	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Cortes 2 mm	Acero Inoxidable	24	0,54	12,96
2	Dobleces 2 mm	Acero Inoxidable	28	0,54	15,12
3	Cortes 1/25	Tol Negro	27	0,16	4,32
4	Dobleces 1/25	Tol Negro	46	0,16	7,36
5	Cortes 1/40	Tol Galvanizado	12	0,16	1,92
6	Dobleces 1/40	Tol Galvanizado	51	0,16	8,16
7	Cortes 0,4 mm	Acero Inoxidable	22	0,50	11,00
8	Dobleces 0,4 mm	Acero Inoxidable	4	0,50	2,00
9	Cortes 1,2 mm	Tol Galvanizado	65	0,22	14,30
10	Dobleces 1,2 mm	Tol Galvanizado	16	0,22	3,52
11	Cortes de Perfil	Angulo 50 x3 mm	48	0,45	21,60
12	Suelda Inoxidable (Cordón)	Acero Inoxidable	80	0,65	52,00
13	Suelda Perfil (Cordón)	Angulo 50 x3 mm	102	0,40	40,80
14	Ensamblaje horas	Mano de Obra	95	2,50	237,50
15	Pintada	Mano de Obra	5	2,50	12,50

Total (sin iva)	445,06
Total (con 12 % iva)	498,47

El costo de estructura y forraje, considerando materiales y mano de obra es de:

- SUBTOTAL : 1396,12 USD

COSTOS DE BANDEJAS

Para la construcción de bandejas para la cámara de deshidratación, se empleo el siguiente material:

Tabla 7.4: Materiales bandejas

Ítem	Material	Descripción	Cantidad	Costo Unitario [\$ /u]	Costo Total [\$]
1	Plancha de Acero Inoxidable A304	0,8 mm	5	68,44	342,20
Total (sin iva)					342,20
Total (con 12 % iva)					383,26

Los costos por concepto de mano de obra y maquinaria:

Tabla 7.5 Mano de Obra y Maquinaria bandejas

Ítem	Proceso	Material	Cantidad	Costo Unitario [\$ /u]	Costo Total [\$]
1	Corte	Acero Inoxidable	20	0,45	9,00
2	Dobles	Acero Inoxidable	80	0,25	20,00
3	Suelda	Acero Inoxidable	80	0,80	64,00
4	Perforaciones	Acero Inoxidable	1000	0,05	50,00
Total (sin iva)					143,00
Total (con 12 % iva)					160,16

El costo de las Bandejas para la cámara de deshidratación considerando materiales y mano de obra, es de:

- SUBTOTAL : 543,42 USD

COSTOS DE DUCTO DE RESISTENCIAS

Para la construcción de la Cámara de Resistencias del horno, se empleó los siguientes materiales:

Tabla 7.6: materiales ducto resistencias

Ítem	Material	Descripción	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Plancha Acero Inoxidable	1,1 mm	1	78,00	78,00
2	Kantal por metro	∅ 2 mm	3	15,00	45,00
3	Aislantes	Chinas	15	0,30	4,50
5	Terminales	Contactos	6	0,40	2,40
6	Termostato	100°C	1	20,00	20,00
7	Silicona de Alta Temperatura	732	1	3,95	3,95

Total (sin iva)	153,85
Total (con 12 % iva)	172,31

Los costos por concepto de mano de obra y maquinaria en la fabricación del ducto de resistencias:

Tabla 7.7 Mano de obra ducto de resistencias

Ítem	Proceso	Material	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Cortes	Acero Inoxidable	4	0,58	2,32
2	Barolado diámetro 320	Acero Inoxidable	1	8,00	8,00
3	Suelda (Cordones 1 cm)	Acero Inoxidable	40	0,85	34,00
4	Corte Bidas	Acero Inoxidable	2	3,00	6,00
5	Perforado	Acero Inoxidable	8	0,30	2,40
6	Ensamblaje	Acero Inoxidable	1	90,00	90,00

Total (sin iva)	142,72
Total (con 12 %iva)	159,85

El costo del ducto de resistencias considerando materiales y mano de obra, es de:

- SUBTOTAL : 332,16 USD

COSTOS DE SISTEMA DE CONTROL Y ACCESORIOS

Los costos para el tablero de Control y Accesorios del horno empleados, se detallan a continuación:

Tabla 7.8: Materiales y equipos sistema de control y accesorios

Ítem	Material	Descripción	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Ventilador Axial Industrial Siemens	1500 CFM	1	104,40	104,40
2	Controlador de Temperatura	Camsco	1	51,60	51,60
3	Termocupla Tipo J	5,5 x 10 mm	1	7,05	7,05
4	Gabinete Metálico Liviano	60x40x20 cm	1	39,29	39,29
5	Base Relay	8 Pines	1	1,00	1,00
6	Luz Piloto	22 mm	5	6,08	30,38
7	Focos Bayoneta	120V	5	0,62	3,10
8	Conector Recto	1 "	1	0,90	0,90
9	Girómetro	Manual	1	60,00	60,00
10	Selectores	2 posiciones	5	7,00	35,00
11	Braker Marlin Gren	80 Amperios	1	90,00	90,00
12	Contactador Telemecanique	80 Amperios	1	160,00	160,00
13	Rele de Fuerza Siemens	1 HP	1	15,00	15,00
14	Braker LG	1 HP	1	8,00	8,00
15	Temporizador	24 horas	1	36,00	36,00
16	Varios materiales	Global	1	20,00	20,00
Total (sin iva)					661,72
Total (con 12 % iva)					741,12

Los costos por concepto de mano de obra y maquinaria en el montaje y ensamble del gabinete de control será:

Tabla 7.8: Mano de obra y maquinaria sistema de control y accesorios

Ítem	Proceso	Material	Cantidad	Costo Unitario [\$/u]	Costo Total [\$]
1	Instalación Equipos	Global	1	120,00	120,00
Total (sin iva)					120
Total (con 12 % iva)					134,4

El costo del sistema de control para el equipo considerando materiales y mano de obra es de:

- SUBTOTAL : 875,52 USD

El total de costos directos una vez concluido el proyecto, incluyendo mano de obra y materiales utilizados para la construcción del equipo se detallan a continuación:

Tabla 7.9: Total costos directos

Descripción	[\$]
Materiales Estructura y Forraje	897,65
Mano de Obra Estructura Y F	498,47
Materiales Bandejas	383,26
Mano de Obra Bandejas	160,16
Materiales Cámara de Resistencias	172,31
Mano de Obra Resistencias	159,85
Materiales Control Eléctrico	741,12
Mano de Obra Control Eléctrico	134,40
Total Costos Directos	3147,22

7.1.2 Costos Indirectos

Los valores de la tabla de costos indirectos tratan sobre los diferentes gastos que no afectan directamente el valor referencial del equipo, gastos como pruebas que se realizaron para la calibración y ajuste del equipo, así como el transporte para las compras de materias, etc.

Tabla 7.10 Total costos indirectos

Ítem	Descripción	Costo [\$]
1	Pruebas de Calibración	50
2	Transporte	60
3	Varios	38

Total (sin iva)	148,00
Total (con 12 % iva)	165,76

El valor calculado de costos directos (3147,22USD) y costos indirectos (165,76USD), son costos que nos permiten conocer la inversión total por parte de la empresa que asciende a (3312,98 USD). Que es un valor referencial, que tiene por objetivo indicar el costo que representan los materiales y mano de obra que componen el deshidratador. Considerando que es un costo obtenido por ser proyecto de grado, por lo que el costo que representaría mandar a construir un deshidratador a un taller, haría que el monto calculado del equipo aumente aproximadamente de un 5 a 10 %.

7.1.3 Logística

La logística del proyecto se desarrollo, en 3 etapas a través de las cuales se entrego el diferentes monto de dinero, lo que nos permitió terminar la construcción en un lapso de dos meses y medio, el primer desembolso de dinero fue de \$1000,00 dólares, lo que nos permitió la compra de material para la estructura interna del equipo. A los 20 días después del primer pago, se realizo una segunda entrega de \$1000,00 dólares, que nos ayudo en la compra de material, confección y mano de obra para paredes, techo y bandejas. El tercer y desembolso que realizo la empresa Equinox Business Limited fue para la construcción de la cámara de resistencias y para el tablero de control, así como otros accesorios por ejemplo ventilador e higrómetro, etc.

7.1.4 Imprevistos

Los principales imprevistos que se generaron en la etapa de construcción del deshidratador, fue el momento de montar el ducto de resistencia, debido al problema ocasionado por la falla

de los soportes de aislamiento térmico en las paredes del ducto de resistencias, también llamadas losas o chinas, las cuales no soportaron el momento de realizar las pruebas y tuvieron que ser reemplazadas íntegramente, razón por la que perdimos dos semanas de construcción.

Las cerraduras también nos presentaron un inconveniente debido a que se presentaron fugas el momento de instalar un mecanismo magnético que estaba adosado a las puertas, estos no soportaron el peso propio de las puertas por lo que tuvimos que cambiar las cerraduras y colocar un mecanismo que cierre las dos puertas a la vez y no permita fugas de aire por las mismas.

7.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

7.2.1 Fuente de Financiamiento

La fuente de financiamiento de nuestro proyecto es la Empresa EQUINOX BUSINESS LIMITED, quienes auspiciaron desde el comienzo la consecución progresiva del proyecto. Quienes entregaron los montos en 3 partes, para que los desembolsos no afecten de manera directa al presupuestos de la compañía.

7.2.2 VAN, TIR, FLUJO DE CAJA

Para poder determinar el Valor Actual Neto (VAN), se debe calcular el costo total de producción total en donde intervienen varios parámetros para poder obtener el valor por kilo de uvilla deshidratada. Dichos precios se explican en las siguientes tablas.

Además se debe analizar la producción estimada por año.

Tabla 7.11: Producción estimada anual

Trabajo por semana	1	Vez
Carga de Producto Fresco	300	Kg/carga
Carga de Producto Fresco total SEM	300	Kg/carga
Producto Deshidratado a obtener	68,18	Kg/semana
Número de semanas mes	4	
Número de meses al año	12	
Carga Uvilla deshidratada total año	3272,73	[Kg/año]

Lo cual nos indica que al año de producción tendremos una carga de fruta deshidratada de 3272,73 [Kg/año]; se proyecta además que al tercer año y con un mercado en constante crecimiento, la demanda por parte de Equinox Business será mayor, y producirá dos veces por semana, con una capacidad de oferta de 6545,45 [Kg/año].

Tratamiento Previo

Para realizar el proceso de deshidratación de la uvilla, se tiene que realizar un tratamiento previo, el cual consiste en colocar toda la carga en una solución de azúcar con agua pura por el lapso de 24 horas, a continuación sumergir el producto en una solución de hidróxido de Sodio con una concentración del 3% y a una temperatura de 93 °C, por el lapso de 3 segundos; se lava la muestra en agua pura, y a continuación hay que neutralizar todo el producto en una solución de ácido ascórbico concentrado al 11%, por el lapso de 40 segundos.

Comercialmente los costos de los insumos para el proceso previo a la deshidratación son de 40,40 [\$/Kg] para el Hidróxido de Sodio, y de 10,50 [\$/Kg] para el ácido ascórbico.

En nuestro caso la preparación de las soluciones se la hizo en envases, de varios diámetros, lo que detallamos a continuación:

Tabla 7.12: Descripción del proceso previo

Capacidad olla	30	[Lt]
Capacidad de ocupación olla	50%	
Peso de solución en olla	15	[Kg]
Concentración hidróxido de sodio	3,00%	%

Concentración de ácido ascórbico	11%	%
Peso de hidróxido por olla	0,45	[Kg]
Peso de ácido por olla	1,65	[Kg]
carga de producto fresco	300,00	[Kg]
# de pasadas para toda carga	10	[pasadas]

Considerando que para el número de pasadas es necesario recargar las soluciones por varias ocasiones, pero para nuestro caso se lo realizo 1,5 veces.

Por lo que para cada carga se requiere la siguiente cantidad de hidróxido y ácido ascórbico:

Kg de hidróxido de sodio por carga	0,68	[Kg]
Kg de ácido ascórbico por carga	1,65	[Kg]

Tabla 7.13: Descripción de costos

Costo de hidróxido por carga	27,27	[\$]
Costo de ácido ascórbico por carga	17,33	[\$]
Costo azúcar por carga	12,00	[\$]

Por lo tanto el valor total para realizar el tratamiento previo a la deshidratación será de: \$ 56,60 USD/ Carga, y de \$0,83 USD/Kilo de producto fresco.

Mano de Obra

Por concepto de mano de obra, se considero los siguientes rubros:

Tabla 7.14: Descripción de costos mano obra

Sueldo Básico x Persona:	150	[\$/mes]	0,94	[\$/hora]
Número de trabajadores	3	[personas]		
Tiempo en pasadas:	90	[min]		
Tiempo en Pelar Uvillas:	300	[min]		
Tiempo en Carga Bandejas:	30	[min]		
Tiempo en colocar Bandejas:	15	[min]		
Tiempo en vaciar Bandejas:	40	[min]		
Tiempo empaque	150	[min]		
Tiempo Total preparado:	625	[min]	8,92	[horas]

Costo Mano de Obra por carga:	29,30	[\$/carga]
-------------------------------	-------	------------

Costo mano de Obra por Kg seco	0,43	[\$/Kgseco]
--------------------------------	-------------	-------------

En donde obtuvimos un costo por mano de obra en cada carga de 29,30USD, y por kilo de producto seco de 0,43 USD.

Consumo Energético

Para determinar la cantidad de energía consumida en el proceso de secado dentro del equipo, obtuvimos:

Tabla 7.15: Descripción de consumo energético

Carga Eléctrica Resistencias	20	[KW]
Tiempo de Ciclo	19	[horas]
Frecuencia encendido por hora	30%	
Consumo total Resistencias Ciclo	114	[Kwh]
Consumo ventilador y control	0,11	[KW]
Consumo total ventilador y otros en ciclo	2,09	[Kw/h]
Consumo total energía ciclo	116,09	[Kwh]
Costo energía por KWh	0,09	[\$/Kwh]
Costo total energía	10,45	[\$]

El costo de energía por Kilogramo de producto seco es de 0,15 USD

Empaque

El valor de la envoltura o empaque de la uvilla deshidratada esta en el orden de 0,12 USD/kilo.

Costo total de producción

Para determinar el costo final de producción de uvillas Deshidratadas, procedemos a enlistarlos y sabemos que el valor real del kilo de producto seco es de 5,95 USD.

FLUJO DE CAJA

El flujo de caja esta definido por el tiempo que la empresa que invirtió en el presente proyecto de grado, se estima recuperar en el menor tiempo posible. El análisis es realizado para recuperar la inversión en 3 años.

El flujo de caja del proyecto en nuestro caso mantendrá el costo de venta y de producción en los mismos niveles, debido a que la economía ecuatoriana esta dolarizada, y los índices inflacionarios son bajos. Y se podrá aumentar de manera gradual la producción de pasa de uvilla deshidratada, debido al incremento de mercado.

El producto en la actualidad se lo consigue comercialmente en el mercado en una presentación de 250,00 gramos y un precio promedio de 4,64 USD:

Por lo que de un kilo de Uvilla deshidratada tendremos 4 empaques. A su vez el costo del kilo de uvilla comercialmente se encuentra en 18,56 USD; razón por la que la empresa EQUINOX BUSINESS LIMITED estima un costo de venta por kilo de 9,00 USD.

En conclusión, para el desarrollo del Flujo de caja consideramos que la venta es lo estimado en producir dentro del año; y para el TERCER año por la ganancia esperada de mercado aumentaremos las ventas, y el costo de producción aumentará en un 2% máximo por la inflación, así como los costos de ventas.

Tabla 7.16: Flujo de Caja

RUBRO / AÑOS		0	1	2	3
INGRESOS	Venta Producto		29896,3636	60087,27	60087,27
EGRESOS	Producción		18336,587	36673,17	39716,66
	Administración (10%)		1833,66	3667,32	3971,67
	Financieros (10%)		1833,66	3667,32	3971,67
	Ventas (15%)		2750,49	5500,98	5957,50
	Otros (5%)		916,83	1833,66	1985,83
UTILIDAD PREVIO IMPUESTOS			4286,68	4225,14	8744,83
(- 15 %) Trabajadores			643,00	633,77	1311,72
(- 25%) IMPUESTO A LA RENTA			3591,37	7433,10	3811,36
			910,92	897,84	1858,28
UTILIDAD NETA			2732,76	2693,53	5574,83

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor actual neto de un proyecto de inversión es su valor medido en dinero de hoy, es decir el equivalente de dólares actuales de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto.

Tomar en cuenta la tasa de interés de oportunidad es de ($i= 20\%$) anual.

$$VAN = \frac{F_{neto}}{(1+i)^n} \quad (7.1)$$

En donde:

VAN . = Valor actual neto

F_{neto} = Flujo neto

i = Interés

El criterio de decisión que acompaña al índice del valor presente neto señala que la alternativa en cuestión es aconsejable económicamente cuando su VAN es mayor que cero, es indiferente cuando VAN es igual a cero, y no es aconsejable cuando el VAN es menor que cero., todo está sujeto a la condición que el VAN se haya calculado utilizando la tasa de interés de oportunidad.

En resumen se puede afirmar lo siguiente respecto al VAN, como índice para evaluar la bondad económica de los proyectos de inversión:

- Su valor depende de la tasa de interés que se emplea para computarlo.
- Si i es la tasa de interés que se utiliza en cálculo del valor , entonces:
- $VAN(i^*) > 0$ indica que los dineros invertidos en el proyecto rinden más del i^* .
- $VAN(i^*) = 0$ señala que los dineros invertidos en el proyecto rinden exactamente el i^* .
- $VAN(i^*) < 0$ muestra que los dineros invertidos en el proyecto rinden menos del i^* .

Además si i^* es la tasa de interés de oportunidad, entonces:

- $VAN(i^*) > 0$ señala que el proyecto es conveniente.
- $VAN(i^*) = 0$ indica que el proyecto es indiferente.
- $VAN(i^*) < 0$ muestra que el proyecto no es atractivo.

Si el valor obtenido del VAN a un i^* , podemos decir que el proyecto es aconsejable, pero el valor obtenido significa, si es positivo son las ganancias extraordinarias que genera el proyecto, es decir lo que nos deben pagar para que lo cedamos, y si es negativo representa lo

que nos cuesta comprometernos en el proyecto o lo que estamos dispuestos a pagar para que otro lo lleve a cabo en nuestro lugar.

Por lo tanto, para determinar el VAN el interés de oportunidad debe ser mayor al que estaría pagando un banco, que referencialmente esta el 5,6% anual.

Por lo que la empresa desea ganar un interés de 27%.

Tabla 7.17: Valor actual neto

AÑOS	FLUJO NETO	VAN
0	-3312,98	-3312,98
1	2732,76	2148,05778
2	2693,53	1664,21986
3	5574,83	2707,48054
		3206,78

Para nuestro caso el valor del VAN es positivo o mayor a cero, por lo que se concluye que la inversión se recuperara en menor tiempo al esperando inicialmente por los inversionistas. Lo que nos lleva a indicar que el presente proyecto de tesis es ACEPTABLE.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para medir la bondad económica de un proyecto de inversión, el índice más utilizado es la rentabilidad que produce la inversión. Existe un procedimiento correcto para el cálculo de la rentabilidad de un proyecto, el cual se denomina el método de la tasa interna de retorno (TIR) o rentabilidad. Para poder desarrollar esto es necesario:

- Tener en cuenta todos los ingresos y egresos que aparecen en el proyecto de inversión.
- Se debe tener en cuenta el valor relativo del dinero con el tiempo.
- Se debe tener en cuenta la tasa de interés de equivalencias o de oportunidad, cuando se comparan cantidades que aparecen en momentos diferentes.

Por lo que recordando que para determinar el TIR tenemos que tener el valor del $VAN(i)=0$.

Razón por la cual se probó el mejor valor que se acerque a cero en la tabla electrónica, y obtuvimos que:

Tabla 7.18: Tasa interna de retorno

i * =		79,75%
AÑOS	FLUJO NETO	VAN
0	-3312,98	-3312,98
1	2732,76	1520,31105
2	2693,53	833,649866
3	5574,83	959,897412
		0,88

La tasa interna de Retorno es de 79,75%

7.2.3 Relación Costo Beneficio

La relación costo beneficio se calcula (C/B) se calcula analizando los tres siguientes procedimientos:

- Se calcula el valor presente de los ingresos asociados con el proyecto en cuestión.
- Se calcula el valor presente de los egresos del proyecto.
- Se establece una relación entre el VPN de los ingreso el VPN de los egresos, al dividir la primer cantidad por la segunda. El resultado da como resultado la relación costo beneficio.

$$C / B(i) = \frac{VPN_{Ingresos}(i)}{VPN_{Egresos}(i)} \quad (7.2)$$

Debemos observar que la relación costo beneficio es una función de la tasa de interés que se emplea en los cálculos del VPN de los ingresos y de los egresos, de modo que al calcular este índice con propósito decisorios, es menester utilizar la tasa de interés de oportunidad.

La relación beneficio-costo puede asumir los siguientes valores:

$B/C(i) > 1$ Indica que el VAN de los ingresos es superior a de lo egresos, en consecuencia el proyecto es atractivo.

$B/C(i) = 1$ El VAN de los ingresos es igual al de los egresos, lo cual señala que el VAN de todo el proyecto es negativo, es decir que el proyecto no es atractivo.

$B/C(i) < 1$ Cuando el valor es negativo, indica que el proyecto es negativo, por lo cual no es atractivo.

Si la relación es mayor a 2 la consecución y conclusión del proyecto es del tipo dudoso.

Para poder determinar el costo beneficio del proyecto de grado trabajamos con un $i\%$ del VAN, del 27%

Tabla 7.19: Relación costo beneficio

AÑOS	INGRESOS	EGRESOS	I. ACTUAL	E. ACTUAL
0	0,00	3312,98	0	3312,98
1	29454,55	25167,86	23152,45	19782,95
2	29896,36	25671,22	18471,73	15861,19

3	60087,27	51342,44	29182,09	24935,06
			70806,26	63892,17

La relación Costo/Beneficio obtenido en el presente proyecto es de 1.11.

Con lo que se puede concluir que le proyecto es ATRACTIVO.

7.2.4 Puntos de Equilibrio

El punto de equilibrio se lo utiliza en todo análisis financiero, este factor se lo determina a partir de los costos fijos y costos variables, estos términos están definidos de la siguiente manera:

Costos Fijos.

Estos costos son llamados también muertos, un ejemplo los gastos administrativos que no aumentan cuando se piensa alterar el volumen de producción dentro de una misma planta.

Costos variables.

Este costo se refiere a los valores que se producen por concepto de Mano de obra directa en la producción, costo de materia prima, costo de insumos directos que intervienen en la elaboración del proyecto, etc.

Por concepto general tenemos que el Punto de Equilibrio es aquel volumen de producción para el cual siempre los costos totales son iguales a los ingresos totales.

A los costos Totales se los representa así:

$$CT = cf + cv \cdot x \quad (7.3)$$

En donde:

CT = Costos totales

cf = Costos fijos

cv = Costos variables

x = Producción

Y los ingresos son iguales a:

$$I = Pv \times x \quad (7.4)$$

En donde:

I = Ingresos

Pv = Precio de venta

x = Producción

Además al punto de equilibrio se lo obtiene cuando las utilidades son iguales a cero.

$$U=0$$

A la vez se conoce que, las utilidades de todo proyecto son iguales a los ingresos menos los costos totales, igualando tenemos que el punto de equilibrio se determina a través de la siguiente expresión:

$$X_{eq} = \frac{Cf}{Pv - Cv} \quad (7.5)$$

En donde se puede concluir que, mientras más alto es el punto de equilibrio, mas riesgo tenemos.

Y aplicando la ecuación para determinar el punto de Equilibrio podemos determinar la siguiente tabla.

Tabla 7.20: Tasa interna de retorno

PRODUCCIÓN / CARGA [Kg]	Costos Fijos	Costos Var	Costos Totales	Ingresos
0	2,20	5,49	2,20	0
1	2,20	5,49	7,69	9
2	2,20	5,49	13,18	18
3	2,20	5,49	18,68	27
4	2,20	5,49	24,17	36
5	2,20	5,49	29,66	45
6	2,20	5,49	35,16	54
7	2,20	5,49	40,65	63
8	2,20	5,49	46,14	72
9	2,20	5,49	51,63	81
10	2,20	5,49	57,13	90

En donde el punto de Equilibrio será igual a 1,68 lo que nos indica que no tenemos riesgos en la inversión, y que los índices de recuperación monetarios son aceptables.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- El comportamiento de todos los componentes del deshidratador, es decir, el sistema eléctrico, sistema de control, distribución del aire en la cámara de secado, trabajan satisfactoriamente obteniendo el producto deseado.
- Las propiedades organolépticas del producto deshidratado no fueron alteradas durante el proceso, manteniendo un color, sabor, textura y aroma agradable para el consumidor final.
- El tiempo total en el proceso de secado vario aproximadamente en la etapa práctica a 19 horas, con un incremento de 2 horas al tiempo estimado teóricamente; considerando que el tiempo puede variar por diferentes factores.
- Las paredes internas de la cámara de secado, alcanzan una mayor temperatura a la de formación del punto de rocío para evitar condensación de humedad internamente, debido al buen aislamiento térmico en las paredes.
- El sistema de recirculación del aire en la cámara de secado permite aumentar el rendimiento del horno y reducir el consumo energético, obteniendo menores costos en el proceso de secado.
- Se obtuvo un flujo de aire uniforme en la cámara se secado, con lo que logra obtener una fruta deshidratada de manera homogénea.
 - A través de las pruebas se determino que el producto debe pasar por un procedimiento previo a la deshidratación, para reducir el tiempo de secado y obtener un producto de calidad.
 - Después del análisis financiero con los cálculos del VAN, TIR, Flujo de Caja y Punto de Equilibrio, se estima que el proyecto es rentable y atractivo para la inversión.

8.2 RECOMENDACIONES

- Como tratamiento previo a la deshidratación se recomienda una inmersión en Hidróxido de sodio para retirar la cera protectora del fruto y acelerar el tiempo final de secado; y en ácido ascórbico para evitar oscurecimiento de la fruta.
 - Clasificar el producto en tamaño y apariencia física, previa a la deshidratación para obtener un secado homogéneo de la fruta.
 - Si se desea realizar un equipo de similares características, se recomienda una mayor inversión para automatizar el sistema de control, instalando sensores de peso y sensores de humedad para el aire interno; y equipar al horno deshidratador un generador de vapor para aumentar la gradiente de presión sobre el producto para mejorar el proceso de deshidratación.
 - Manejar adecuadamente a la fruta para evitar golpes y daños en la corteza, lo cual ayudara de cierta manera a obtener un mejor producto y evitar desperdicios finales.
-
- Realizar una rotación en orden y sentido a las bandejas, después de cierto tiempo de iniciado el proceso de deshidratación, dependiendo de la observación visual por parte del operario, para lograr un secado mas uniforme del producto.
 - Se deben emplear para la construcción del deshidratador, bandejas, cámara interna, y soportes de las bandejas, materiales como acero inoxidable A304 que garanticen total esterilización el momento del secado, para evitar contaminación de la fruta, y garanticen total resistencia el momento de someterse a variaciones de temperatura y humedad internas y externas.

BIBLIOGRAFÍA

AGA. Catálogo de electrodos y soldadura. Quito.

Alvarado, J. Principios de ingeniería aplicado a alimentos. 2da ed. Radio comunicaciones. Ecuador. 1985

American Conference of Gouvermental Industrial Hygienist. Industrial Ventilation. 24 ed. EEUU.2001

Araujo, G. Generalidades de electricidad y magnetismo. 1ra ed. Ecuador. 1992

Böhler. Manual de Aceros. Guía práctica para la adecuada selección y procesamiento de aceros especiales. Quito.

Carrier. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona. Boixareu. 1996

Cengel, Y. y Boles, M.. Termodinámica. Tomo I Y II. 2da ed. México. McGraw-Hill. 2000

Desrosier, N. Conservación de Alimentos. 2da ed. México. Continental. 1976

Estrella, E. Historia de los alimentos aborígenes en el Ecuador. 1ra ed. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. 1997

Geankoplis, C. Procesos de transporte y operaciones unitarias. EEUU.

Gilochrist, J.D. Hornos. Colombia. Alambra. 1969

Incropera, F. y De Witt, D. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta ed. México. Prentice Hall. 1999

Infante, A. Evaluación Financiera de proyectos de inversión. Colombia. Grupo Norma. 1996

Junta del Acuerdo de Cartagena. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. 1ra ed. Lima. Copyright. 1989

Karlekar, B. y Desmond, R. Transferencia de Calor. 2da ed. México. McGraw-Hill. 1996

Kern, D. Procesos de Transferencia de Calor. 1ra ed. México. Continental. 1992

Mott, R. Mecánica de fluidos aplicada. 4ta ed. México. Prentice Hall. 1996

Norton, R. Diseño de máquinas. 1ra ed. México. Prentice Hall. 1999

Raschieri, J. Deseccación de los productos. 3ra ed. McGraw- Hill.

Saltos, H. Fundamentos de Ingeniería de Procesos en Alimentos. Traducción Autorizada del Capítulo Octavo, UTA. Ambato.

Shigley, J. y Mischke, C. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5ta ed. México. McGraw-Hill. 1997

Treybal, R. Operaciones de Transferencia de Masa. Argentina. Hispano Americana . 1990

Welty, J. Transferencia de calor aplicada a la ingeniería. México. Limusa. 1981

Withman, W. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Tomo III. 1ra ed. EEUU. Paraninfo. 2000

ANEXOS

ANEXOS A PLANOS DEL HORNO DESHDRATADOR

- A1 Planos de Conjunto del equipo.**
- A2 Plano de Ensamble del equipo.**
- A3 Planos Constructivos.**
- A4 Planos de Circuitos eléctricos y control.**

ANEXOS B
MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL
EQUIPO

B1 Operación.
B2 Mantenimiento y seguridades.

ANEXOS C

ANEXO C

FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO

**Equipo de Deshidratación
Vista frontal**



ANEXO D
FOTOGRAFIAS DEL PRODUCTO

Producto fresco en el interior del Horno



Producto en proceso de deshidratación



ANEXO E

Instructivo de programación del temporizador

ANEXO F

Hoja técnica del ventilador

ANEXO G

Tablas de pérdidas por fricción