

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR SOLAR
PARA COCHINILLA DE 300 KG/MES DE CAPACIDAD DE
PRODUCCION”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO**

JORGE AUGUSTO SANCHEZ AYTE

PROMOCION 2006-I

LIMA-PERU

2009

*A Dios, a mis padres, mis
hermanos, esencia de mi vida*

Prólogo	
Capítulo 1: Introducción	
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	4
Capítulo 2: Fundamentos del Secado de Materiales	5
2.1. Contenido de Humedad de un Producto	5
2.2. Actividad de Agua	6
2.3. Isotermas de Sorción	6
2.4. Curvas de Secado	7
2.5. Energía Requerida	8
2.6. Formas de Secado	13
Capítulo 3: Secado Solar Técnico	16
3.1. Calentamiento Solar del Aire	16
3.2. Movimiento del Aire	16
3.3. Fundamentos del Secado Solar	17
Capítulo 4: Características de la Cochinilla	19
4.1. Descripción	19
4.2. Clasificación Entomológica	20
4.3. Ciclo Biológico de la Cochinilla del Carmin	20
4.4. Composición	24
4.5. Propiedades	24
4.6. Calidad	25
4.7. Proceso de Cochinilla Seca	26

Capítulo 5: Consideraciones para el Diseño del Secado Solar	34
5.1. Consideraciones Mecánicas	34
5.2. Consideraciones Químicas	34
5.3. Consideraciones Térmicas	34
5.4. Consideraciones de Flujo	35
5.5. Consideraciones Ambientales	35
Capítulo 6: Diseño y Cálculo	36
6.1. Diseño Conceptual del Secador	36
6.2. Definiciones	37
6.3. Cálculo del Colector Solar	39
6.4. Cálculo de la Cámara de Secado	43
6.5. Selección de Ventiladores	48
6.6. Dimensiones del Colector y Cámara de Secado	50
Capítulo 7: Descripción y Construcción	56
Capítulo 8: Operación de Secado	61
8.1. Operación	61
8.2. Mantenimiento	62
Capítulo 9: Materiales y Costos	64
Conclusiones	69
Bibliografía	71
Planos	
Anexos	

PROLOGO

Con la finalidad de generar mayores ingresos para la comunidad San José de Tía se realizó el estudio, diseño y construcción de un secador solar para cochinilla con el fin de entregar un producto de mejor calidad para su venta en el mercado local e internacional.

El contenido de la tesis se fija para este fin, además de servir de información a los interesados para la difusión o aplicación del Secado Solar.

En los capítulos 1, 2 y 3 se indican los objetivos, los conceptos teóricos y técnicos para el secado de materiales. En el capítulo 4 se describe las características, propiedades, calidad y proceso de producción de la cochinilla. En los capítulos 5 y 6 se especifican los requerimientos y se realizan los cálculos para el diseño del secador solar. En los capítulos 7 y 8 se describe la construcción del secador, el modo de operación y mantenimiento una vez culminada. En el capítulo 9 se detalla los gastos realizados en la construcción. Finalmente se dispone de planos de detalle de secador y anexos para sustentar unas afirmaciones sostenidas en la tesis.

Jorge Augusto Sánchez Ayte

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Durante los años 2004, 2005 y 2006 el Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) ejecuto el proyecto multilateral: “Energización Sustentable de Comunidades Rurales Aisladas con Fines Productivos” el cual fue financiado por la Organización de Estados Americanos (OEA) con el código AE-204/03, en dicho proyecto se seleccionaron dos comunidades rurales aisladas, San José de Tía y San Francisco de Raymina, ambas pertenecientes a la provincia de Vilcashuamán, departamento de Ayacucho.

La Comunidad de San José de Tía esta ubicada al suroeste de la ciudad de Vilcashuamán, a una altitud de 2,800 m.s.n.m. pertenece al distrito de Vilcashuamán, provincia de Vilcashuamán, departamento de Ayacucho. Está conformada por 76 familias y la actividad predominante del lugar es la agricultura en un 85 %, del cual el 90% es autoconsumo y el 10% para venta en la ciudad de Vilcashuamán. Esta actividad va complementada con la ganadería en un 15 %, las mismas que constituyen la fuente principal de sus ingresos.

1.2. Justificación

En la comunidad de San José de Tía la tuna ocupa un buen porcentaje de sus terrenos agrícolas, especialmente en la zona media y media baja ya sea como bosque natural o área cultivada, de la cual se beneficia con la producción de la tuna y la cochinilla, comercializando estos recursos en las ferias semanales de la provincia de Vilcashuamán.

El ingreso económico que se obtiene por la comercialización de estos productos es bajo por tal motivo se propone secar la cochinilla con el fin de obtener un valor agregado, cochinilla seca de primera y segunda calidad, el cual pueda competir en precios a nivel internacional.

Otras justificaciones son las siguientes:

- ***En la línea social***

Una organización efectiva con visión y misión comunitaria el cual es necesaria para cubrir la demanda de cochinilla de primera y segunda calidad.

- ***En la línea tecnológica***

Aportar un nuevo diseño de colector solar de sección variable para el secado de productos.

- ***En la línea económica***

El aumento de sus ingresos mensuales con la venta de cochinilla de primera y segunda calidad.

1.3. Objetivos

- 1.-Diseñar y construir un secador solar mixto de 100 kg de capacidad de carga de cochinilla húmeda, $1,7 \text{ m}^3$ en volumen de cámara de secado y $6,4 \text{ m}^2$ de área del colector.
- 2.-Demostrar que este secador con el tamaño referido puede producir 300 kg/mes de cochinilla seca bajo condiciones de radiación solar instantánea de 800 W/m^2 .

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DEL SECADO DE MATERIALES

El secado de un producto evita la proliferación de microorganismos que puedan afectar su calidad y consiste en que el aire absorba la humedad que pierde el producto al ser rociado por un aire caliente de flujo constante o por incidencia del sol en forma directa.

2.1. Contenido de Humedad de un producto

Se refiere a la cantidad de agua de un producto y se puede hallar de dos maneras, en relación con su masa total o su masa seca.

- *Contenido de humedad en base húmeda (M ó bh)*

$$M = \frac{m - m_s}{m} \dots\dots\dots (1)$$

- *Contenido de humedad en base seca (X ó bs)*

$$X = \frac{m - m_s}{m_s} \dots\dots\dots (2)$$

m : Masa total del producto
m_s : Masa seca del producto

De 1 y 2 tenemos:

$$X = \frac{M}{1 - M}$$

$$M = \frac{X}{1+X}$$

2.2. Actividad de Agua

Se define como la humedad relativa del aire a condiciones de equilibrio con el producto, para comprender mejor este concepto se dará un ejemplo: coloquemos dentro de un recinto cerrado harina con 3% de humedad y aire con 80% de humedad relativa a una temperatura constante de 27 °C luego de varios días podremos observar con ayuda de un higrómetro que el aire tendrá una humedad menor como 60% mientras que la harina un 12%, si continuamos dejándolo se mantendrá estos valores y es en esta situación que se indica que están en un estado de equilibrio y que la actividad de agua(humedad relativa del aire en equilibrio) es de 0,6 .

2.3. Isotermas De Sorción

Las isotermas de sorción son curvas que nos permiten observar para una determinada temperatura el contenido de humedad en el producto y la humedad relativa del aire en condiciones de equilibrio, su importancia radica en que se conoce la humedad mínima requerida del aire para el secado.

La figura 1.1 se muestra la isoterma de sorción del algarrobo, madera de la especie forestal, a las temperaturas de 30 °C y 40 °C con la isoterma para madera mencionada por Perry, *Chemical Engineer's Handbook*, pág. 780.

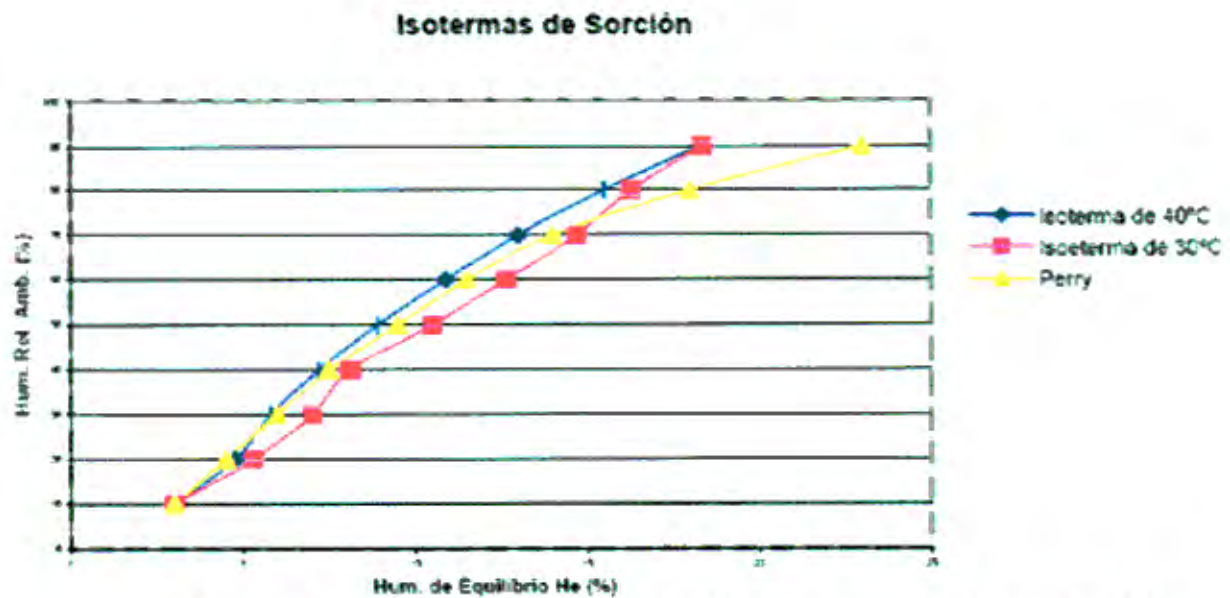


Figura 2.1.- Isoterma de sorción del algarrobo(Referencia 13).

2.4. Curvas de Secado

Corresponde al cambio del contenido de humedad del producto respecto al tiempo y generalmente se representa con un gráfico. La velocidad de secado depende de:

- Geometría del producto, mientras mayor es el área del producto a ser secado en relación a su volumen el secado es más rápido.
- La disposición del producto, el cual debe permitir la máxima exposición de las superficies del producto y pueda a la vez ofrecer poca resistencia al paso del aire.
- Las condiciones de humedad relativa, temperatura y velocidad del aire, a mayor temperatura o baja velocidad del aire se reduce el tiempo de secado.

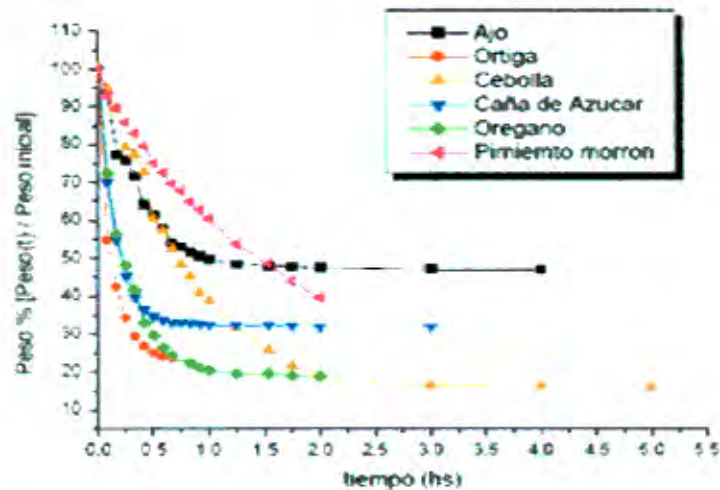


Figura 2.2.- Curva de secado para distintos productos a 60°C.
(Página 4, Referencia 1)

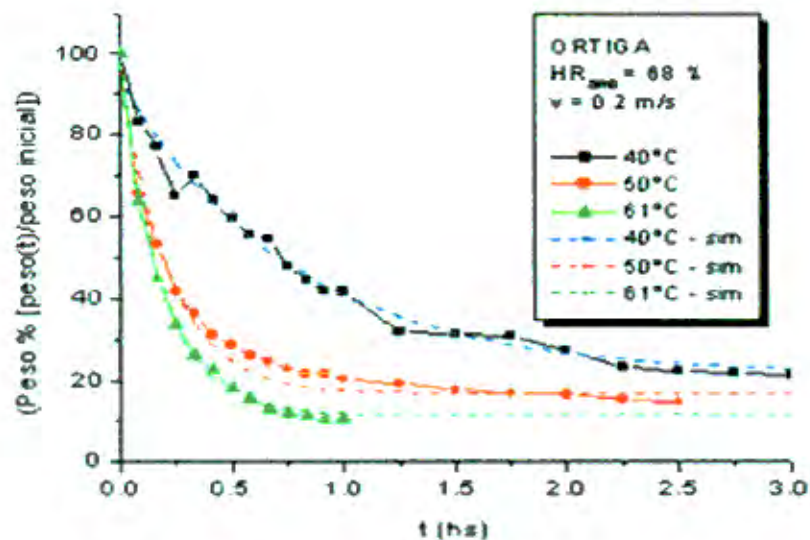


Figura 2.3.- Curvas de secado de la ortiga para diferentes temperaturas.
(Página 4, Referencia 1)

2.5. Energía Requerida

En esta parte revisaremos la cantidad de energía que se necesita para evaporar el agua del producto manteniendo relativamente bajo la humedad del aire, para este cometido veamos previamente algunas propiedades del aire húmedo y procesos de transferencia de calor.

2.5.1. Humedad Relativa (ϕ)

Es una relación expresada en tanto por ciento entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la cantidad que saturaría este aire a una temperatura presión dada:

$$\phi = \frac{P_v}{P_s}$$

P_v : Presión parcial del vapor de agua (Pa)
 P_s : Presión de saturación del aire (Pa)

2.5.2. Humedad Absoluta (Y)

Es la cantidad de vapor de agua en gramos por cada kilogramo de aire y se define:

$$Y = \frac{gr_{agua}}{kg_{aire\ seco}}$$

gr_{agua} : Gramos de agua en un determinado volumen de aire
 $Kg_{aire\ seco}$: Kilogramos de aire seco en un determinado volumen de aire

2.5.3. Entalpía del Aire (H)

La entalpía es la suma de la energía interna del aire y el producto de su volumen multiplicado por la presión. La entalpía es una función de estado cuantificable; la entalpía total de un sistema no puede ser medida directamente, en cambio la variación de entalpía de un sistema si puede ser medida.

$$H = U + pV$$

$$h = \frac{H}{m}$$

$$h = u + pv$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = C_p (t_2 - t_1)$$

u	:	Energía interna del aire	(KJ/kg)
p	:	Presión del aire	(Pa)
v	:	Volumen del aire	(m ³ /kg)
C_p	:	Calor específico del aire	(KJ/kg x °C)
t_2	:	Temperatura en el punto 2	(°C)
t_1	:	Temperatura en el punto 1	(°C)

2.5.4. Volumen Húmedo (V_h)

Es el volumen que ocupa el aire que contiene un kg de aire seco, este término depende de la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire.

2.5.5. Densidad del Aire Húmedo (δ_y)

Se define como el número de kg de aire seco contenidos en cada m³. Se puede calcular a partir del volumen húmedo, mediante la siguiente expresión

$$\delta_y = \frac{1 + Y}{V_h}$$

Y	:	Humedad absoluta del aire	(g _{agua} /kg _{aire seco})
V_h	:	Volumen húmedo	(m ³ /kg)

Estas propiedades están enteramente relacionadas y se pueden visualizar en un gráfico llamado carta psicométrica.

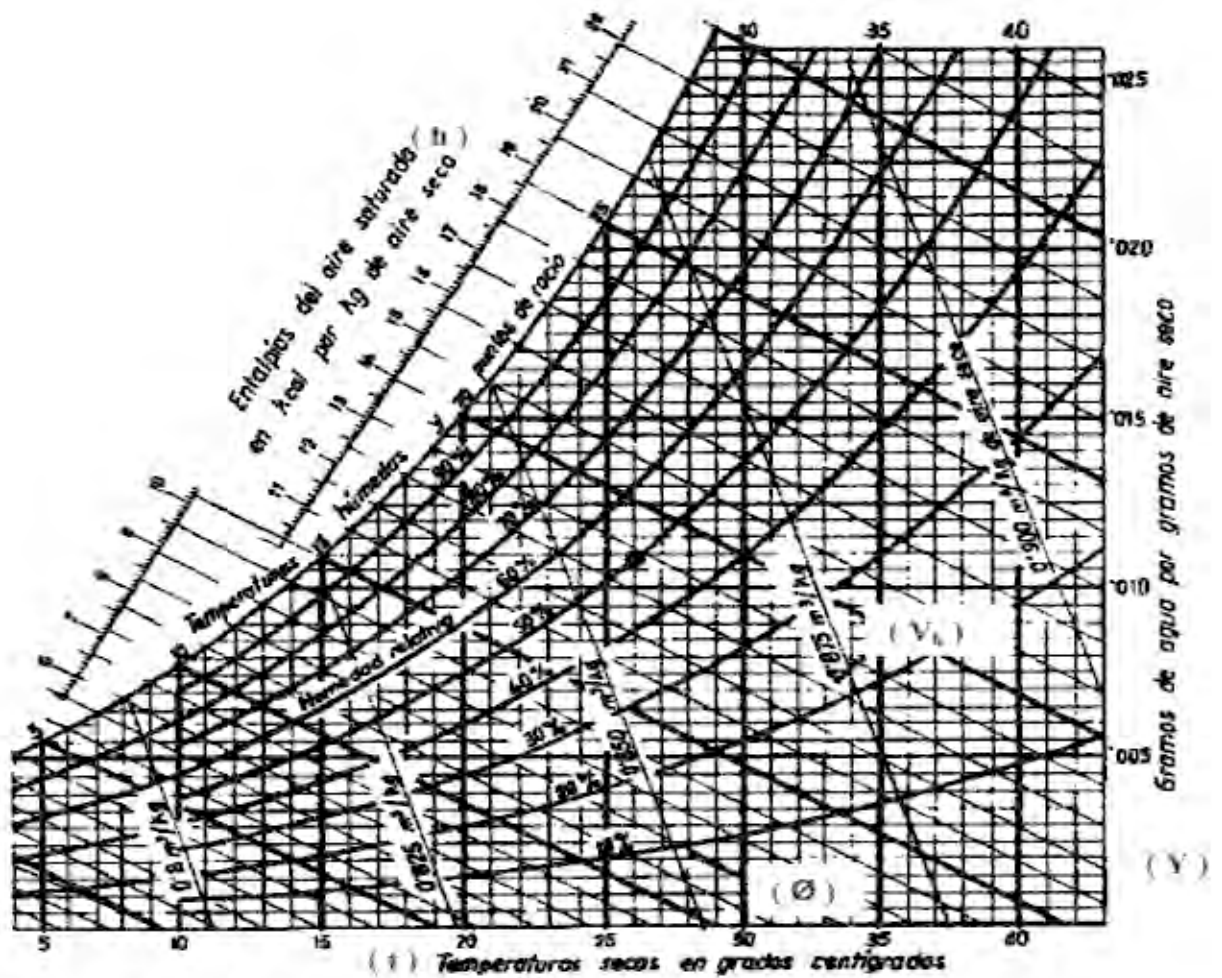


Figura 2.4.- Carta psicométrica a 0 m. s. n. m. (Página 12-20, Referencia 15)

2.5.6. Procesos de Transferencia de Calor

- **Conducción**

Es la transferencia de calor por contacto directo a través de un material. La facilidad con que el calor "viaja" a través de un material lo define como conductor o como aislante térmico. Ejemplos de buenos conductores son los metales, y de buenos aislantes, los plásticos, maderas, aire. Está expresado de la siguiente manera:

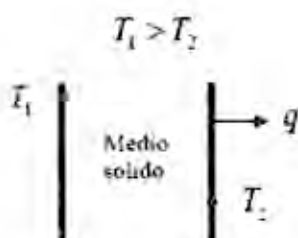


Figura 2.5.- Esquema de transferencia de calor por un medio sólido

$$q = \frac{k}{d} (t_1 - t_2)$$

k	: Coeficiente de conductividad térmica	(W/m °k)
d	: Distancia entre las superficies	(m)
t ₂	: Temperatura de superficie 1	(°k)
t ₁	: Temperatura de superficie 2	(°k)

Veamos la conductividad térmica de algunos materiales:

Material	W / m °K
Plata	427
Cobre	400
Aluminio	236
Hierro	80
Madera	0.15
Agua	0.6
Aire	0.025

Tabla 2.1. - Conductividad térmica de materiales.

- **Convección**

Proceso de transferencia de calor en el cual la energía es transportada de una región caliente a otra más fría por medio de un flujo de materia. Puede ser natural o forzado, por efecto de termosifón (diferencia de temperaturas) o el impulso de un ventilador. Está expresado:

$$q = h (t_c - t_f)$$

h	: Coeficiente de transferencia de calor por convección	(W/m ² °k)
T _s	: Temperatura de la superficie fría	(°k)
T _a	: Temperatura de la superficie caliente	(°k)

- **Radiación**

Proceso de transferencia de calor el cual la energía es emitida por la materia mediante ondas electromagnéticas(o fotones). Este proceso no requiere la presencia de un medio.

El calor que se propaga por radiación y se intercambian entre dos cuerpos que se encuentran a temperaturas t_1 y t_2 deviene en una transferencia de calor del cuerpo más caliente al cuerpo más frío y puede calcularse en base a la siguiente expresión.

$$q = h_r (t_2 - t_1) = FR_{1-2} \sigma (t_2^4 - t_1^4)$$

h_r	:	Coeficiente de transferencia de calor por radiación	(W/m ² °k)
t_2	:	Temperatura de la superficie caliente	(°K)
t_1	:	Temperatura de la superficie fría	(°K)
σ	:	Constante de Stefan – Boltzmann	(6,78 x 10 ⁻⁸ W/m ² °K ⁴)
$FR_{1,2}$:	Factor de forma real del cuerpo 1 respecto al cuerpo 2	

$$h_r = \frac{FR_{1-2} \sigma (t_2^4 - t_1^4)}{t_2 - t_1} \quad / \quad FR_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{F_{1-2}} + \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}$$

ϵ_1 y ϵ_2	:	Emisividades de los cuerpos 1 y 2	
F_{1-2}	:	Factor de forma del cuerpo 1 respecto al cuerpo 2	
A_1 y A_2	:	Área del cuerpo 1 y 2	(m ²)

2.6. Formas de Secado

2.6.1. Secado por Convección

En este tipo de secado se aprovecha la energía del aire lo cual es solo posible si la humedad relativa del ambiente es menor que la actividad del agua correspondiente a la humedad que se espera alcanzar en el producto. Para examinar esta posibilidad es necesario contar con la isoterma de sorción a la temperatura ambiente.

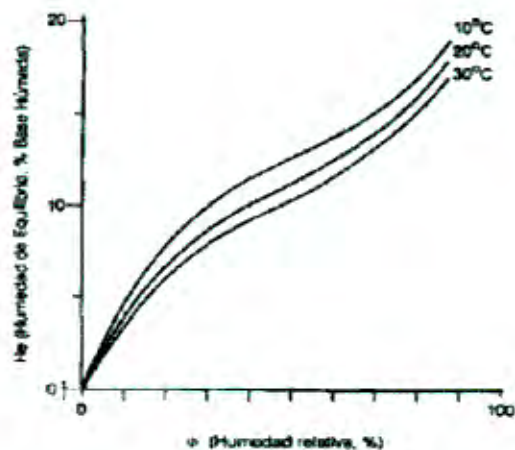


Figura 2.6. - Isoterma de sorción de agua del maíz.
(Figura 10 - Referencia 8)

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (t - t_a)$$

- \dot{Q} : Energía absorbida por el aire (W/m²)
 \dot{m} : Flujo de masa de aire (kg/s)
 C_p : Calor específico del aire (J/kg m²)
 t : Temperatura del aire (°C)
 t_a : Temperatura ambiente (°C)

2.6.2. Secado por Radiación

En este tipo de secado el producto se expone directamente a la radiación solar y tiene la ventaja de ser más rápido pero menos uniforme.

$$\dot{Q} = \tau \alpha H$$

- \dot{Q} : Energía absorbida por el colector o producto (J/m²)
 τ : Transmisividad media de la cubierta
 α : Absortividad de la superficie del producto
 H : Radiación instantánea (J/m²)

También puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = f H$$

Donde:

$$f = \tau \alpha$$

2.6.3. Secado por Convección-Radiación

En este tipo de secado el producto esta expuesto simultáneamente a la radiación solar y al aire previamente calentado con energía solar.

CAPITULO III

SECADO SOLAR TECNICO

3.1. Calentamiento Solar del Aire

Se efectúa por medio de un colector solar, su funcionamiento consiste en calentar el aire mientras atraviesa longitudinalmente el colector y su energía proviene de la incidencia del sol sobre la placa cobertora.

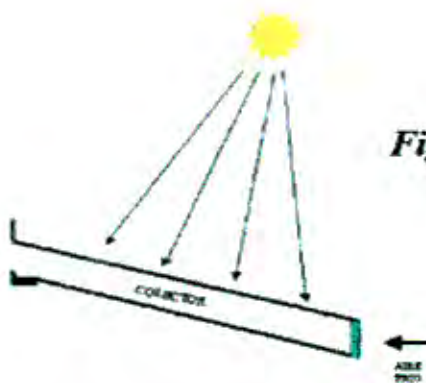


Figura 3.1. - Esquema de incidencia de radiación solar sobre el colector

3.2. Movimiento del Aire

Para que el secado sea uniforme y constante la circulación del aire sobre el producto debe ser permanente por tal motivo se utiliza frecuentemente ventiladores para su renovación parcial o total.

3.3. Fundamentos del Secado Solar

Llamados también secadores no convencionales por el uso de la energía solar. Su función principal es reducir la humedad del producto de manera directa, indirecta o una combinación de estos. Pueden clasificarse:

3.3.1. Secador Directo

El secador directo tiene el producto expuesto al sol en una superficie abierta, suelo, techo, bandeja o mesa. En algunos casos el producto se deja en la misma planta. La radiación suministra energía para la evaporación y el movimiento natural del aire. Este secado tiene estos problemas frecuentes:

- Pérdidas grandes de cosecha por acción de la lluvia, animales, etc.
- Contaminación por depósitos de polvo, contacto con animales, etc.



Figura 3.2.- Esquema de un secado de tipo directo

3.3.2. Secador Indirecto

El secador indirecto tiene el producto colocado en bandejas dentro de una cabina aislada térmicamente, el aire recorre el colector y entra por la parte inferior de la cabina atravesando las bandejas. Son apropiados para productos que se degradan con la radiación solar pero son menos eficientes y más costosos.



Figura 3.3.- Esquema de un secado de tipo indirecto

En la cabina se tiene un proceso adiabático porque no entrega o recibe calor del exterior.

3.3.3. Secador Mixto

Es una combinación de los casos antes mencionados, el producto está expuesto a la radiación solar además de la corriente de aire previamente calentada con energía solar en el colector.



Figura 3.4.- Secador de tipo mixto.

CAPITULO IV

CARACTERÍSTICAS DE LA COCHINILLA

4.1. Descripción

La cochinilla es un insecto miembro de de la familia Dactylopiidae (Coccidea). Los insectos cocideos se distribuyen en todo el mundo y viven asociados a una planta. La cochinilla o *Dactylopius coccus* Costa viven como parásito de los cladodios aéreos de los cactus de tuna o nopal, las hembras viven en colonias donde se encuentran muy unidas, se alimentan insertando su boquilla a la superficie del cactus, están cubiertos por una capa protectora de cera y son las portadoras de materia colorante cuyo componente activo es el ácido carminico. Las hembras que alcanzaron su total desarrollo tienen 6mm de largo, 4,5mm de ancho, 4mm de alto, un peso de 45 mg. y al ser secados pierden el 70 % de su peso.

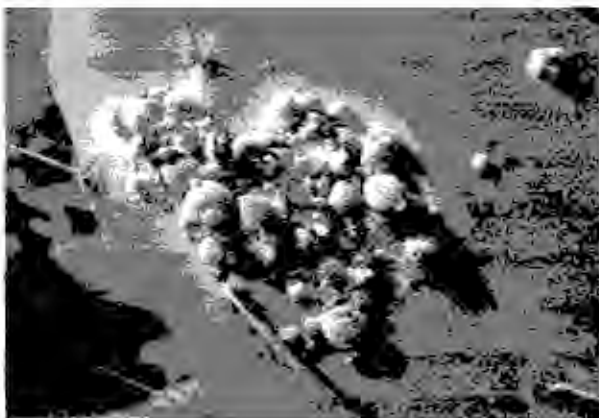


Figura 4.1. - Hoja de tuna infestada de cochinilla

4.2. Clasificación Entomológica

Phylum	: Artrópoda
Sub-Phylum	: Mandibulata
Clase	: Insecta
Sub-clase	: Peterigota
Orden	: Hemiptera
Sub-orden	: Sternorrhyncha
Super-familia	: Coccoidea
Familia	: Dactylopiidae (Coccida)
Género	: Dactylopius
Especie	: Dactylopius coccus Costa
Nombre vulgar	: Cochinilla del Carmin

4.3. Ciclo Biológico de la Cochinilla del Carmin

El macho y la hembra son similares en sus estados de huevo y ninfa I (migrante). A partir de la ninfa II la hembra muda para convertirse en adulta, el macho forma un cocón en cuyo interior muda para dar lugar a la pre-pupa, luego previa muda pasa al estado de pupa del cual emerge el macho adulto.

4.3.1. Desarrollo de la Hembra

• HUEVO

De forma ovoide, de 0,72 mm x 0,33mm de diámetros, rojo claro, superficie lisa y lustrosa. Inicialmente deposita los huevos individualmente y luego en cadenas. La eclosión se produce a los 10 ó 20 minutos luego de la postura.

- **NINFA O MIGRANTE**

Presenta una fase migrante y una fase fejamiento en la penca. Recién nacida es color rojo vivo oval de 1,06 mm x 0,52 mm, de ojos rojo oscuro; antenas algo más claras, proyectadas hacia delante y a los lados y con patas bien desarrolladas. A pocos minutos su cuerpo se cubre de una cera blanca. En las siguientes horas y hasta 2 días después el migrante busca lugar para fijarse introduciendo sus estiletes para alimentarse, de allí en adelante mantendrá ese lugar hasta completar su desarrollo.

- **NINFA II**

Recién emergida es ovoide, bruno-rojiza, lustrosa, se cubre de cera pulverulenta blanca que deja entrever la segmentación del cuerpo. No presenta filamentos ni otras características fáciles de visualizar. Este estado dura de 13 a 18 días en condiciones de La Molina y de 14 a 24 en condiciones de Ayacucho.

- **HEMBRA ADULTA**

La hembra adulta recién mudada es ovoide, bruno-rojizo y lustrosa, de 2,81 mm x 1,87 mm.; a pocas horas se cubre de cera pulverulenta blanca y excreta gotitas de líquido viscoso. La cópula se efectúa a los pocos días de haber mudado. El período de pre-oviposición es de 30 a 68 días en La Molina y de 35 a 59 días en Ayacucho. El ciclo total de la hembra desde huevo a inicio de oviposición es de 68 a 106 días en La Molina y de 74 a 114 días en Ayacucho.

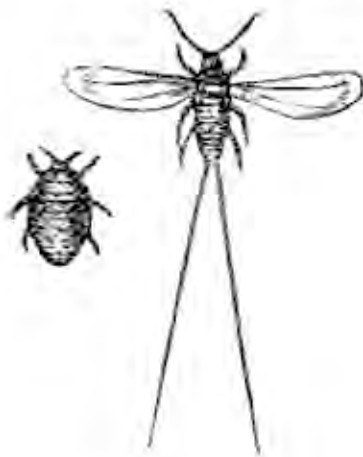


Figura 4.2. - Cochinilla hembra, izquierda
Cochinilla macho, derecha

- **HEMERA OVIPLANA**

Es más globosa, turgente, de mayor tamaño, menos cerosa y aspecto más oscuro que las anteriores, por no excretar el líquido viscoso; son hembras completamente maduras que a los pocos días de haber mudado efectúa la cópula e incrementan el volumen de su cuerpo hasta 6,24 mm x 4,7 mm. Su capacidad de reproducción es de 400 a 600 huevos. Después del desove pierden 25% de su peso.

4.3.2. Desarrollo del Macho

En los estados de huevo y ninfas I no se han encontrado caracteres morfológicos diferenciales entre machos y hembras, la diferenciación se hace evidente durante las N-II (ninfas II) al formar los machos un cocón ceroso.

- **NINFA II**

En los primeros días es similar en machos y hembras, miden de 1,14 mm x 0,65 mm. Al mudar se presenta con un cuerpo globoso cubierto de pulverulencia blanca. Los machos entre 8 a 12 días después de emergida producen abundante cera filamentosa que

forma un cocón blanco, ovoide, alargado de 2,5 mm x 1,2 mm. con una abertura en el extremo posterior. Este período dura de 8 a 12 días en La Molina y de 10 a 13 días en Ayacucho.

- **PROTO - PUPA**

Dentro del cocón se forma la propupa. Tiene cuerpo es rojizo de 1,3 mm x 0,75 mm. y son visibles las secciones del cuerpo. A nivel del mesotórax se forman proyecciones laterales que posteriormente constituirán las alas; son también distinguibles las antenas y las patas.

- **PUPA**

La pupa es el producto de la muda de la proto-pupa, es rojiza de 1,65 mm x 0,75 mm. Las regiones del cuerpo y sus apéndices se hacen más distinguibles: Cabeza, tórax y abdomen. La duración del período, desde la formación del cocón por la ninfa II hasta la emergencia del adulto, es de 18 a 22 días en condiciones de La Molina y de 20 a 23 días para Ayacucho.

- **ADULTO MACHO**

El adulto emerge de la pupa, dentro del cocón, saliendo de él a los pocos minutos por la abertura de la parte posterior. El adulto macho tiene cuerpo rojizo, con ligera pulverulencia cerosa, su apariencia frágil de 2,2 mm de largo por 4,8 mm de expansión alar. La cabeza posee tres pares de ojos simples y dos antenas bien desarrolladas. Carece de aparato bucal por lo que son de vida efímera. Del tórax esclerotizado nacen un par de alas mesotorácica membranosas relativamente anchas, de venación muy reducida. Abdomen de forma oval, con segmentos visibles acompañados de algunas setas sobre

todo en la parte ventral. En el extremo del abdomen, se proyecta la genitalia esclerotizada de forma cónica. Las patas son delgadas y bien desarrolladas. El insecto es de movimientos lentos y llega a vivir de 3 a 4 días en condiciones de La Molina y de 2-3 días para Ayacucho durante el cual copula con varias hembras. El ciclo total del macho es de 47 a 62 días para La Molina y de 55 a 70 días en condiciones de Ayacucho.

4.4. Composición

Su composición química de la cochinilla varía según su procedencia y variedad:

Acido carminico 10 – 22 %

Grasas 10 %

- Acido oleico 35%
- Acido linoleico 8%
- Acido mistirico 57%

Ceras 2%

Materia nitrogenada, Al, K, Na, P,
trazas Sn, Fe, Cu 70%

4.5. Propiedades

La cochinilla es de color rojo vinoso, inodora, sabor poco amargo, seco es frágil y fácilmente pulverizable. El ácido carminico es principio colorante de la cochinilla, las más altas concentraciones parecen estar en el núcleo del huevo para después incorporar a los tejidos del embrión.

La cochinilla puede ser recolectada todo el año siendo los periodos más apropiados los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre. Con adecuado control se puede recolectar hasta cuatro veces al año, a razón de 300 Kg. por ha. de tunales.

La densidad de la cochinilla seca entera es de 0,41 a 0,43 g/cm³, molida sin comprimir es de 0,54 a 0,56 g/cm³, mientras que molida y comprimida es de 0,68 a 0,70 g/cm³.

Las dimensiones de la cochinilla madura son: 6 mm de largo, 4,5mm de ancho y 4 mm de alto y un peso alrededor de 45 mg. Pierden aproximadamente 70% de su peso en el secado. Hay de 80 000 a 100 000 insectos por cada kilogramo. Los órganos biosintéticos de los pigmentos todavía no han sido establecidos. El contenido del ácido carmínico de la cochinilla fresca puede alcanzar un 22% del peso del insecto.

4.6. Calidad

La calidad de la cochinilla está dada por el tamaño de los insectos, contenido de ácido carmínico y no contar con impurezas ni sustancias tóxicas.

Según ITINTEC se clasifica la cochinilla en tres grados de calidad:

Calidad	/	Pasante Malla	/	Contenido Min. De Ácido Carmínico
Primera	:	3,17 mm.		17%
Segunda	:	1,68 mm.		10 %
Descarte	:	0,841 mm.		5 %

4.7. Proceso de Cochinilla Seca

4.7.1. Cosecha

La cosecha de la cochinilla se efectúa de forma manual y con cuidado, porque es muy delicada y puede destruirse.



Figura 4.3.- Modo de retiro de la cochinilla de la tuna

La cochinilla una vez que ha sido cosechada, se deposita en envases para su traslado, los envases deben ser resistentes (bateas), no se debe usar sacos.



Figura 4.4.- Recomendación para el depósito de cochinilla fresca

4.7.2. Traslado del Producto

La cochinilla se traslada hacia el almacén donde se procede a matarlas, introduciéndolas en una cacerola que se encuentra a alta temperatura.



Figura 4.5.- Modo de muerte a la cochinilla, mediante una cacerola a alta temperatura

4.7.3. Selección de Impurezas

Luego se realiza la selección de impurezas (piedras, hierba, paja, etc.).

4.7.4. Traslado del Producto al Secador

La cochinilla limpia es llevada al secador mixto por medio de bateas.



Figura 4.6.- Modo de transporte de la cochinilla al secador mixto

4.7.5. Carga del Secador

Se debe carga 100Kg de cochinilla en las 27 bandejas de la cámara de secado.

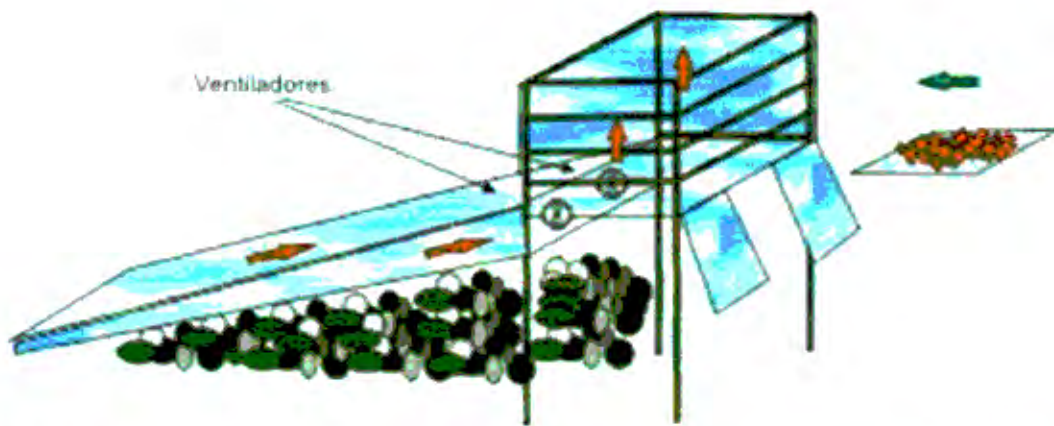


Figura 4.7.- Esquema de la colocación de las bandejas con cochinilla en el secador mixto

4.7.6. Secado

El secado de la cochinilla se efectúa en 3 días aproximadamente. En este tiempo se debe pesar el contenido de una bandeja diariamente, hasta que haya perdido $1/3$ de su peso.

4.7.7. Aporte de Energía Eléctrica Fotovoltaica

El secador utiliza ventiladores para favorecer el secado los que están accionados por el sistema fotovoltaico. Este sistema también servirá para el alumbrado de las labores realizadas durante la noche.

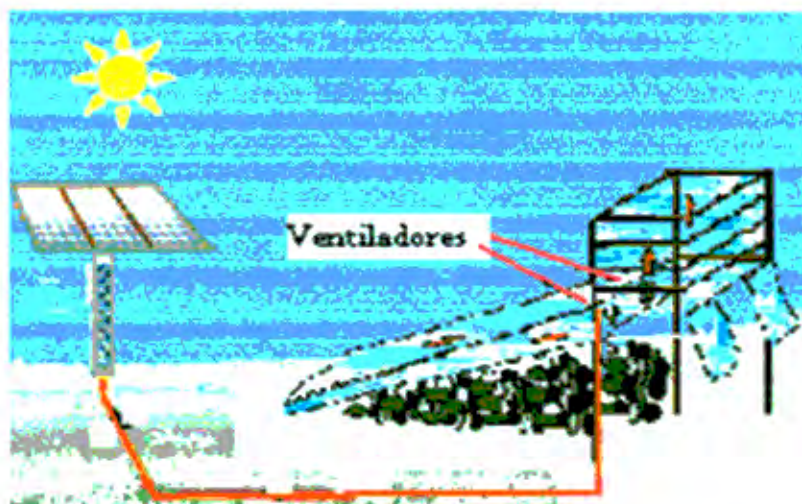


Figura 4.8.- Esquema del sistema fotovoltaico

4.7.8. Descargado del Producto del Secador

Cuando finalice el proceso de secado se procede a la descarga de la cochinilla de las bandejas a las bateas y luego es llevada al almacén para realizar su clasificación.



Figura 4.9.- Esquema del traslado de las bandejas con cochinilla seca

4.7.9. Clasificación del Producto

La cochinilla se debe tamizar utilizando 3 tamices de diferentes tamaños, así se tendrá:

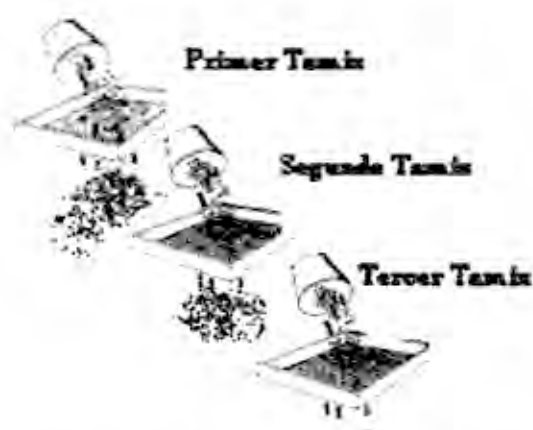


Figura 4.10.- Esquema de clasificación de cochinilla seca mediante tamices

- Cochinilla de Primera Calidad.-** Las más grandes, de 3,2 mm a más de diámetro.
- Cochinilla de Segunda Calidad.-** Las medianas de 1,7-3,2 mm de diámetro.
- Cochinilla de Tercera Calidad.-** Las más pequeñas, menos de 0,8 mm de diámetro.



Figura 4.11.- Gráfico de referencia para diferenciar la cochinilla de 1 y 2 calidad

4.7.10. Almacenamiento

En el almacén se coloca la cochinilla en costales, encima de estantes y evitando el contacto con el suelo.

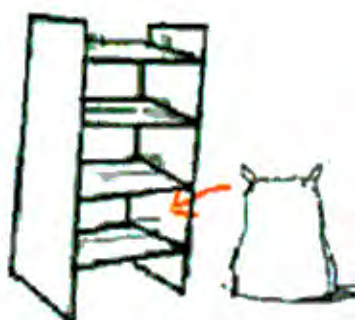


Figura 4.12.- Modo de almacenaje de la cochinilla seca

4.7.11. Preparación para la Comercialización

La cochinilla debe estar en buen estado y libre de toda impureza; luego debe ser pesada en diferentes cantidades: 100 g, 200 g, 500 g y 1 kg.



Figura 4.13.- Modo de separación manual de las impurezas en la cochinilla seca

4.7.12. Empacado del Producto

La cochinilla ya pesada debe ser envasada en bolsas de plástico, selladas en bolsas y luego etiquetadas.



Figura 4.14.- Modo de envasado de la cochinilla seca

4.7.13. Traslado hasta su punto de Venta

La cochinilla embolsada es introducida en sacos para transportarlos hasta el punto de comercialización, la carga de los sacos se debe realizar cuidadosamente sin golpearlos ni tirarlos porque se pueden deteriorar.



Figura 4.15.- Modo de traslado de la cochinilla envasada

El vehículo que transporte al producto debe estar protegido de la intemperie. Se recomienda que la carga del producto se realice durante el día porque de noche la luz artificial atrae insectos que pueden introducirse en los sacos.



Figura 4.16.- Modo de envío de la cochinilla

4.7.14. Venta y Comercialización

Una vez llevado el producto a los puntos de comercialización se vende, entregando boletas por cada venta realizada.



Figura 4.17.- Modo de venta de la cochinilla

CAPITULO V

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL SECADO SOLAR

5.1. Consideraciones Mecánicas

Las consideraciones mecánicas se refieren a:

- Estabilidad estructural del secador al cargar 100 kg de cochinilla húmeda en la cámara de secado.
- Armado y desarmado del secador para una fácil instalación, desinstalación y operatividad del sistema.
- Hermeticidad del secador solar de manera que evite la proliferación de microorganismos y cuerpos no deseados.

5.2. Consideraciones Químicas

Las consideraciones químicas se refieren a:

- Pintura anticorrosiva para el material de construcción del colector y la cámara de secado.

5.3. Consideraciones Térmicas

Las consideraciones térmicas se refieren a:

- Deshumedecer la cochinilla al valor de 10%.

- Obtener una placa absorbadora de calor en el fondo del colector.
- Obtener una placa transmisora de calor en la superficie del colector.

5.4. Consideraciones de Flujo

Las consideraciones de flujo se refieren a:

- Generar y mantener un flujo continuo de aire en el secador.

5.5. Consideraciones Ambientales

Las consideraciones ambientales se refieren a:

- Uso de las energías renovables para el secado de cochinilla.

CAPITULO VI

DISEÑO Y CALCULO

6.1. Diseño Conceptual del Secador

El secador a diseñar esta conformado por una cámara de secado y colector solar cuya estructura esta compuesta de ángulos ranurados con una cubierta de plástico Anti-UV, cuenta además con ventiladores en la salida del colector los cuales son accionados utilizando por un sistema fotovoltaico.

La altura a la entrada y salida del colector serán de 8 cm y 17cm respectivamente.

La cámara de secado cuenta con bandejas por niveles para la distribución de la cochinilla húmeda.

Para el ingreso y retiro de las bandejas se adaptara compuertas verticales en la parte posterior de la cámara de secado.

La descarga del aire húmedo en la cámara de secado estará ubicada en la parte superior de las compuertas verticales y tendrá la misma sección de salida del colector (17 cm de altura).

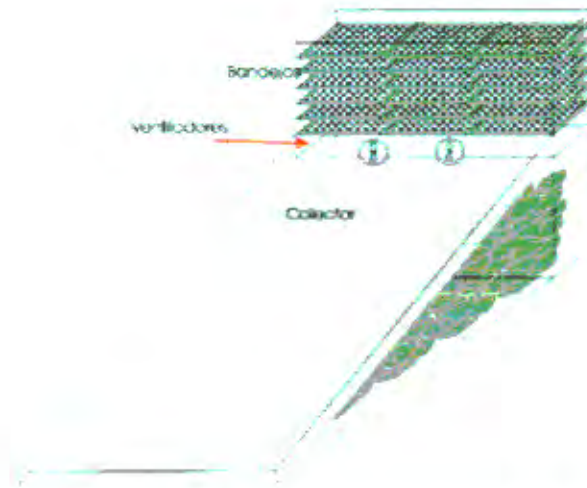


Figura 6.1.- Esquema del diseño conceptual del secador mixto

6.2. Definiciones

De la siguiente figura se indicaran 3 puntos para calcular las dimensiones del colector solar y la cámara de secado.

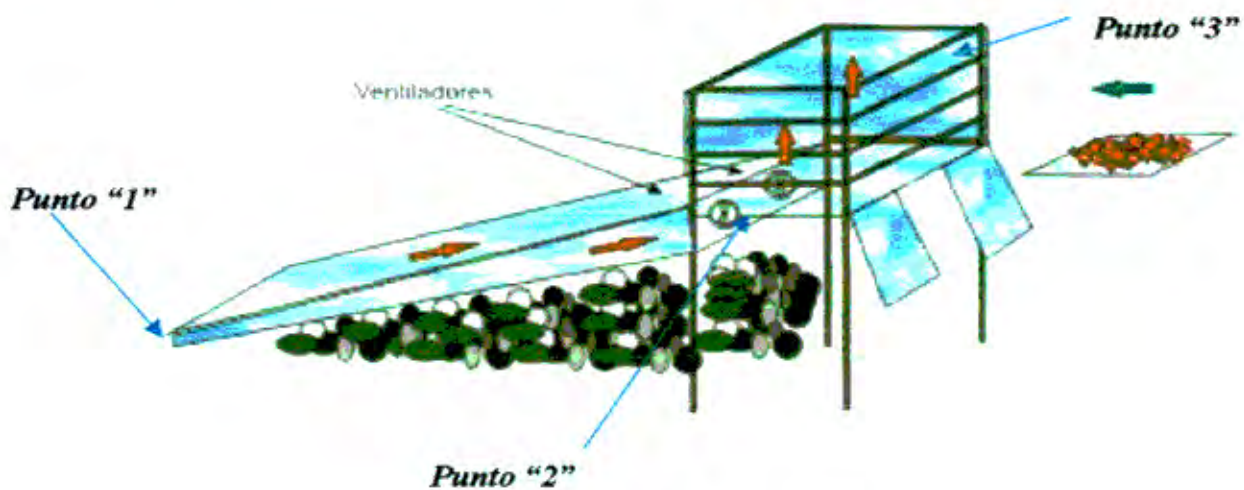


Figura 6.2.- Secador Mixto

En donde:

- Punto "1" : Entrada del aire al colector solar
- Punto "2" : Salida del aire del colector e ingreso a la cámara de secado
- Punto "3" : Salida del aire de la cámara de secado

Definimos las dimensiones en el colector solar:

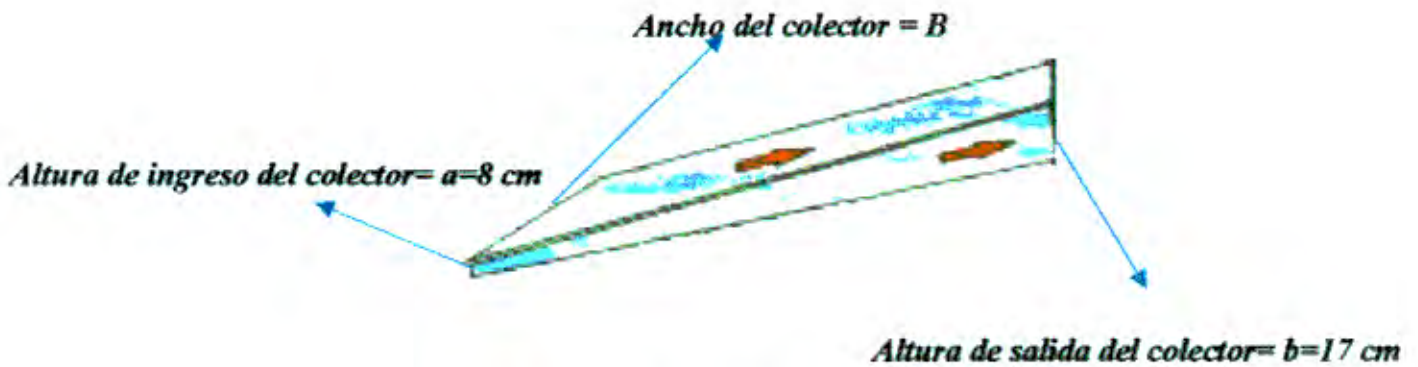


Figura 6.3. - Colector Solar de Secador Mixto

Definimos las dimensiones de la cámara de secado

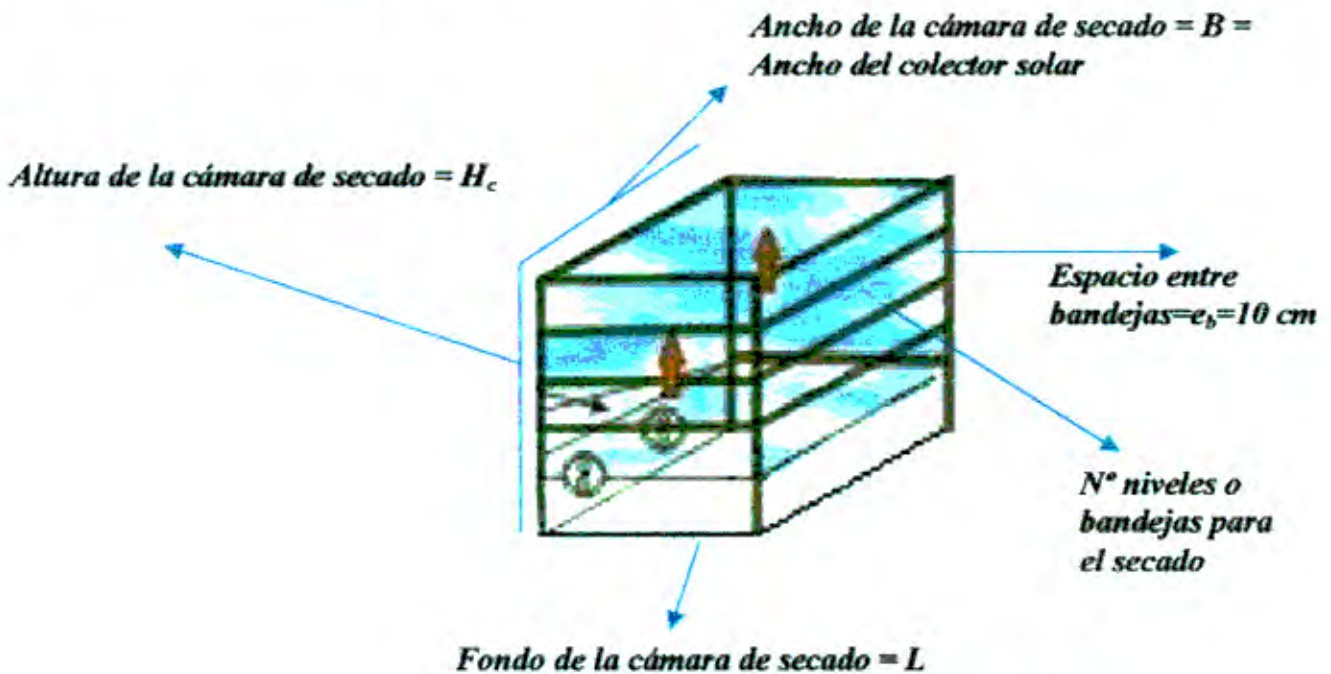


Figura 6.4. - Cámara de secado de Secador Mixto

6.3. Cálculo del Colector Solar

Términos a utilizar:

H	: Radiación solar instantánea	(W/m^2)
A	: Absortancia de la placa inferior del colector	
τ	: Transmitancia de la cubierta transparente del colector	
f	: Producto transmitancia absortancia	$(\tau\alpha)$
U_1	: Coeficiente Global de pérdidas térmicas del colector	$(W/m^2\ ^\circ C)$
T_1	: Temperatura del aire a la entrada del colector	$(^\circ C)$
t_a	: Temperatura ambiente	$(^\circ C)$
F'	: Factor de eficiencia de placa	
\dot{m}	: Flujo de masa de aire	(kg/s)
C_p	: Calor específico del aire	$(KJ/kg\ ^\circ C)$
ρ_a	: Densidad del aire	(kg/m^3)
v_1	: Velocidad del aire al ingreso del colector	(m/s)
v_2	: Velocidad del aire a la salida del colector	(m/s)
B	: Altura de paso de aire al final del colector	(m)
l_m	: Longitud media del colector	(m)
h_c	: Coeficiente de transferencia de calor por convección de placa absorbente	$(KJ/Kg\ ^\circ C)$

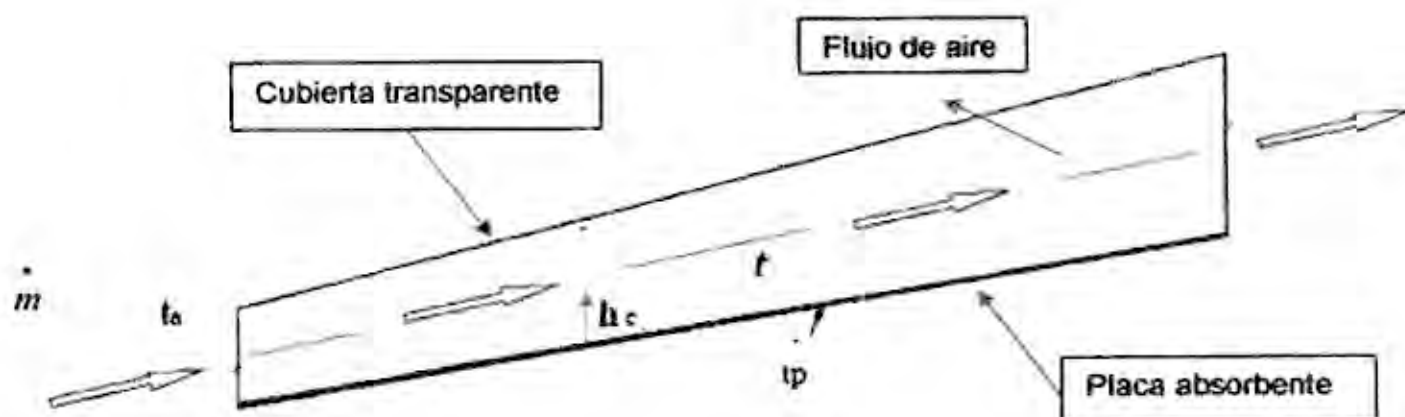


Figura 6.5.- Colector Solar de Secador Mixto. Indicación de las temperaturas y coeficientes de transferencia de calor por convección

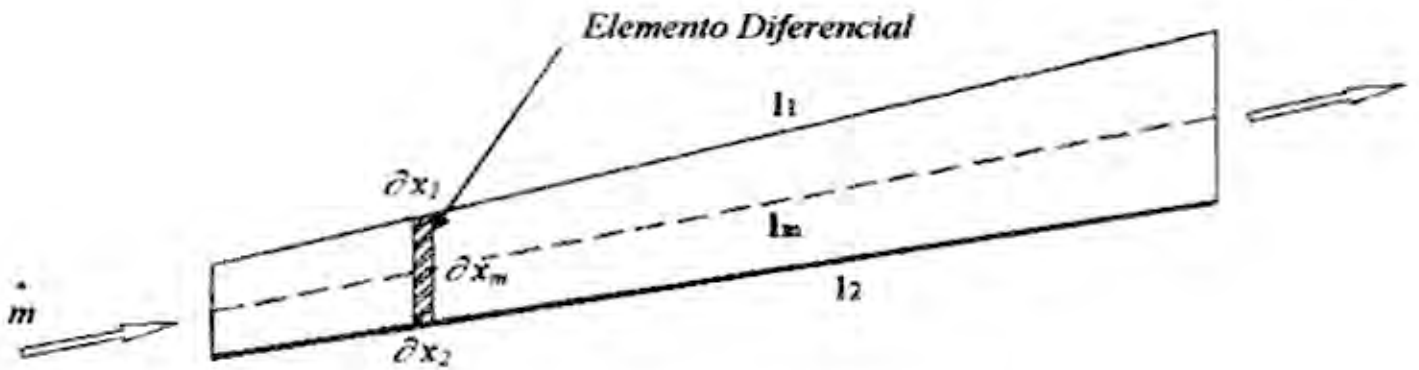


Figura 6.6.- Corte diferencial del colector solar

Balance de energía aplicado en la placa inferior y obtenemos:

$$Hf(B \partial x_2) = U_1 (B \partial x_2) (t_p - t_a) + h_c (B \partial x_2) (t_p - t) \dots \dots \dots (1)$$

De la figura 6.5 y 6.6 analizamos el volumen de control del aire en el elemento diferencial y obtenemos:

$$\dot{m} C_p \frac{dt}{dx_m} \partial x_m = h_c (B \partial x_2) (t_p - t) \dots \dots \dots (2)$$

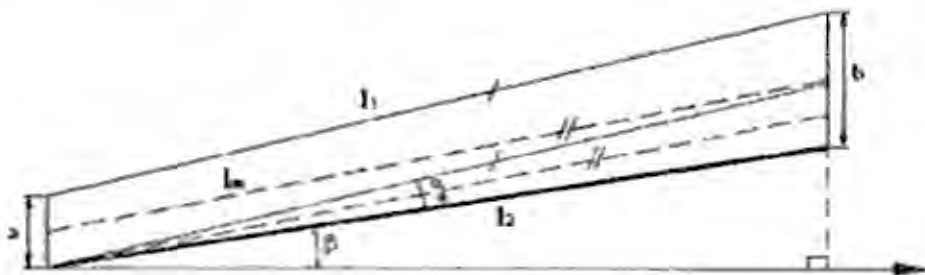


Figura 6.7.- Relaciones geométricas en el colector solar

Tenemos de la figura 6.7:

$$\beta = 15^\circ \text{ (Angulo de inclinación del colector)}$$

$$\text{sen}(2\alpha + \beta) = \frac{b + L_1 \cos(2\alpha + \beta) \tan(\beta) - a}{L_1} \dots \dots \dots (3)$$

$$L_2 = \frac{L_1 \cos(2\alpha + \beta)}{\cos(\beta)}$$

$$L_m = \frac{L_1 \cos(2\alpha + \beta)}{\cos(\alpha + \beta)}$$

$$\frac{\partial x_1}{L_1} = \frac{\partial x_2}{L_2} = \frac{\partial x_m}{L_m} \rightarrow \partial x_1 = \frac{L_1}{L_m} \partial x_m; \partial x_2 = \frac{L_2}{L_m} \partial x_m \quad \text{Sea: } z_1 = \frac{L_1}{L_m} \text{ y } z_2 = \frac{L_2}{L_m}$$

$$\rightarrow \partial x_1 = z_1 \partial x_m; \partial x_2 = z_2 \partial x_m \dots \dots \dots (4)$$

Reemplazando la ecuación 4 y 2 en la ecuación 1 tenemos:

$$Hf(Bz_2 \partial x_m) = U_1(Bz_2 \partial x_m)(t_p - t_a) + \dot{m}C_p \frac{dt}{\partial x_m} \partial x_m$$

$$\frac{\dot{m}C_p}{Bz_2} \frac{dt}{\partial x_m} = Hf - U_1(t_p - t_a) \frac{h_c}{h_c} = Hf - \frac{U_1}{h_c} (h_c t_p - h_c t_a) \dots \dots \dots (5)$$

Reemplazando las ecuaciones 2 y 4 en la ecuación 5:

$$\frac{\dot{m}C_p}{Bz_2} \frac{dt}{\partial x_m} = Hf - \frac{U_1}{h_c} \left\{ \frac{\dot{m}C_p}{Bz_2} \frac{dt}{\partial x_m} + h_c t - h_c t_a \right\}$$

$$\frac{\dot{m}C_p}{Bz_2} \frac{dt}{\partial x_m} \left(1 + \frac{U_1}{h_c} \right) = Hf - U_1 \{ t - t_a \} \dots \dots \dots (6)$$

Se deduce que:

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_1}{h_c}}, \text{ factor de eficiencia de placa}$$

De la ecuación 6 coloquemos F' , despejemos x_m e integremos la fórmula:

$$\int_{t_a}^t \frac{\dot{m}C_p}{Bz_2 F'} \frac{dt}{Hf - U_1 \{ t - t_a \}} = \int_0^x dx_m$$

$$\int_{t_a}^t \frac{\dot{m}C_p}{-U_1 Bz_2 F'} \left(\frac{-U_1 dt}{Hf - U_1 (t - t_a)} \right) = \int_0^x dx_m \rightarrow \frac{\dot{m}C_p}{-U_1 z_2 B F'} \ln [Hf - U_1 (t - t_a)] \Big|_{t_a}^t = x$$

$$\dots\dots\dots(7)$$

El flujo masivo de aire tiene la siguiente fórmula:

$$\dot{m} = B a v_1 \rho_a \dots\dots\dots(8)$$

Reemplazando la ecuación 8 en la ecuación 7, obtenemos:

$$\ln \left[\frac{Hf - U_1 (t - t_a)}{Hf - U_1 (t_e - t_a)} \right] = \frac{-U_1 B F' x}{\dot{m} C_p} = \frac{-U_1 B z_2 F' x}{B a v_1 \rho_a C_p}$$

$$\frac{Hf - U_1 (t - t_a)}{Hf - U_1 (t_e - t_a)} = e^{\frac{-U_1 z_2 F' x}{a v_1 \rho_a C_p}} \rightarrow 1 - \frac{Hf - U_1 (t - t_a)}{Hf - U_1 (t_e - t_a)} = 1 - e^{\frac{-U_1 z_2 F' x}{a v_1 \rho_a C_p}}$$

$$\frac{U_1 (t - t_e)}{Hf - U_1 (t_e - t_a)} = 1 - e^{\frac{-U_1 z_2 F' x}{a v_1 \rho_a C_p}} \rightarrow t - t_e = \left[\frac{Hf}{U_1} - (t_e - t_a) \right] \left(1 - e^{\frac{-U_1 z_2 F' x}{a v_1 \rho_a C_p}} \right)$$

Considerando $t_e \cong t_a$

$$t - t_a = \frac{Hf}{U_1} \left(1 - e^{\frac{-U_1 z_2 F' x}{a v_1 \rho_a C_p}} \right)$$

Despejando x:

$$x = -\frac{a v_1 \rho_a C_p}{U_1 z_2 F'} \ln \left[1 - \frac{U_1}{Hf} (t - t_a) \right]$$

Para $x = l_m$ tenemos:

$$l_m = -\frac{a v_1 \rho_a C_p}{U_1 z_2 F'} \ln \left[1 - \frac{U_1}{Hf} (t_1 - t_a) \right] \dots\dots\dots(9)$$

l_m = Longitud media del colector.

$l_m \cong l_1 \cong l_2$ (Ver anexo 1)

6.4. Cálculo de la Cámara de Secado

Términos a utilizar:

ρ_c	:	Densidad de la cochinilla	(kg/m ³)
H_i	:	Humedad de la cochinilla al inicio del secado	
H_f	:	Humedad de la cochinilla al final del secado	
X_3	:	Humedad absoluta en el punto 3 (salida del aire en la cámara de secado)	(kg agua/kg aire)
X_2	:	Humedad absoluta en el punto 2 (ingreso de aire en la cámara de secado)	(kg agua/kg aire)
ΔX	:	Capacidad de secado	(kg agua/kg aire)
N° niveles	:	Número de bandejas en la cámara de secado	
m_c	:	Masa de cochinilla total a secar	(kg)
e	:	Espesor de cama de cochinilla	(m)
L	:	Ancho de la cámara de secado	(m)
b	:	Altura de ingreso de aire en la cámara de secado	(m)
Y	:	Cantidad de aire para el secado	(kg)

Para la estabilidad del secador se utilizara ángulos ranurados los cuales son más resistentes en comparación con la madera. Este material también es resistente a la humedad (tiene anticorrosivo).

Por parte de producto, cochinilla, tenemos como datos:

$$\begin{aligned} \rho_c &= 417 \text{ kg/m}^3 \text{ (Página 12, Referencia 5)} \\ H_i &= 72 \% \end{aligned}$$

Queremos obtener al final del secado:

$$H_f = 9 \% \text{ (Página 14, Referencia 5, humedad mínima para obtener cochinilla de primera calidad)}$$

Para 100 kg de cochinilla tenemos que secar:

Inicialmente:

$$\left. \begin{array}{l} 100 \text{ kg} \\ \text{cochinilla} \\ (72 \%) \end{array} \right\} \begin{array}{l} 72 \text{ kg de agua} \\ \\ 28 \text{ kg de materia seca} \end{array}$$

Finalmente:

$$\left. \begin{array}{l} \text{"X" kg} \\ \text{cochinilla} \\ \text{(9\%)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{"Y" kg de agua} \\ \\ 28 \text{ kg de materia seca} \end{array}$$

9% es a "Y" kg tal como 91% es a 28 kg

Calculando "Y" por regla de tres simple, obtenemos:

$$Y = 3,3 \text{ kg de agua}$$

$$X = Y + 28 = 3,3 + 28 = 31,3 \text{ kg de cochinilla al final del secado}$$

Calculando la cantidad de agua para extraer de la cochinilla:

$$72 - 3,3 = 68,7 \text{ kg de agua}$$

Se debe extraer 68,7 kg de agua del producto para obtener cochinilla de primera calidad que contenga 9% de humedad final.

Actualmente no se ha encontrado formulaciones para hallar la capacidad de secado en la cámara de secado tipo mixto por ser complejas y de materia de otro estudio. Se utilizará para el diseño de la cámara las ecuaciones del secador tipo indirecto por ser de conocimiento y aproximado.

Con ayuda de la carta psicométrica halleemos la capacidad de secado del aire:

CARTA PSICOMETRICA
 ALTURA: 2,800 msnm

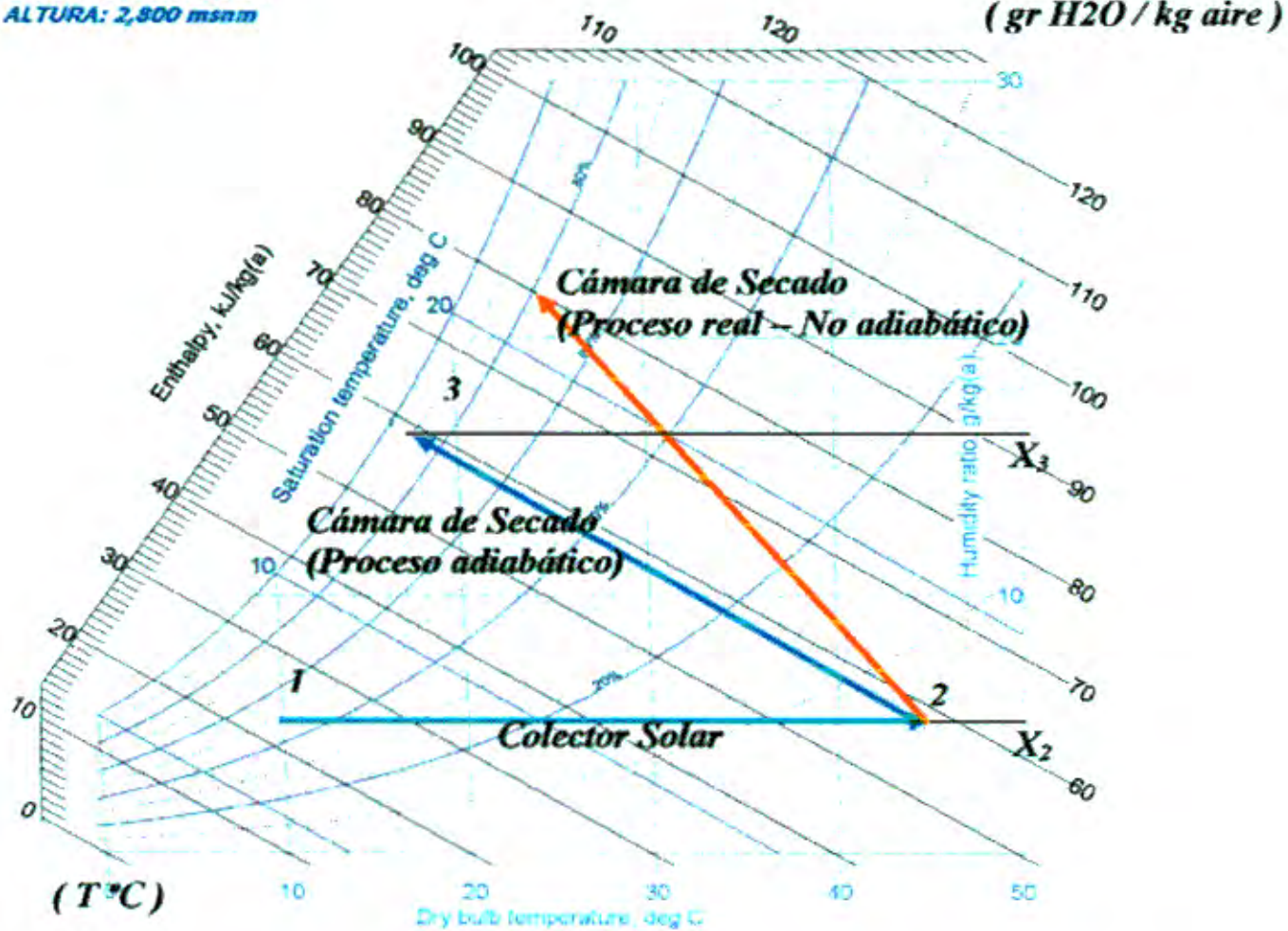


Figura 6.8.- Carta psicométrica del aire a una altura de 2,800 m.s.n.m

De la figura 6.8 y los datos de t_1 (condiciones ambientales del lugar: 60% de humedad relativa y 10°C), t_2 (temperatura requerida a la salida del colector) y t_3 (temperatura hallada de la intersección de la línea adiabática 2-3 y la curva 100% de humedad relativa) obtenemos la capacidad del secado del aire:

$$\Delta X = X_3 - X_2 \text{ (kg agua / kg aire)}$$

Con la capacidad de secado podemos obtener la cantidad de aire que se necesita para obtener 31,3 kg de cochinilla seca.

$$Y(\text{kg de aire}) = 68,7 \text{ kg de agua} / (\Delta X \text{ kg} / 1 \text{ kg de aire}) \dots\dots\dots (17)$$

- **Tiempo de secado:**

Si en un mes deseamos obtener 300 kg de cochinilla seca y tenemos que el secador a diseñar va producir 31,3 kg de cochinilla seca por cada 100 de cochinilla fresca entonces:

300 kg de cochinilla seca ————— 30 días

31,3 kg de cochinilla seca ————— "t" tiempo de secado

$$t_{\text{secado}} = \frac{31,3 \times 30}{300} = 3,13 \text{ días} \cong 3 \text{ días}$$

En conclusión disponemos de 3 días para secar los 100 kg de cochinilla fresca y llegar al mes produciendo 300kg de cochinilla seca. Se considerara 6 horas de secado diario para el producto por lo cual tendremos:

$$t_{\text{secado}} = 3 \text{ días} \times \frac{6 \text{ hora}}{\text{día}} \times \frac{3600 \text{ seg}}{\text{hora}} = 64\,800 \text{ segundos de secado} \dots\dots\dots(18)$$

- **Ancho de la cámara de secado:**

Al disponer la cantidad de aire y el tiempo para el secado podemos calcular el caudal de aire que va atravesar el colector y hallar de esta manera el ancho de la cámara de secado:

Caudal de aire = Sección del colector x velocidad

$$\frac{\text{masa de aire}}{\text{densidad del aire} \times \text{tiempo de secado}} = (B \times a) \times v_1$$

$$\frac{Y(\text{kg de aire})}{\rho_a \times t_{\text{secado}}} = (B \times a) \times v_1$$

Despejando B tenemos:

$$B = \frac{Y(\text{kg de aire})}{\rho_a \times t_{\text{secado}} \times a \times v_1} \dots\dots\dots(19)$$

- **Niveles en la cámara de secado:**

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{\text{área que ocupa la cochinilla en las bandejas}}{\text{área de cada bandeja}}$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{\left(\frac{\text{Volumen que ocupa la cochinilla en las bandejas}}{\text{espesor de cama de cochinilla}} \right)}{\text{área de cada bandeja}}$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{\left(\frac{\text{masa que ocupa la cochinilla en las bandejas}}{\text{densidad de cochinilla x espesor de cama de cochinilla}} \right)}{\text{área de cada bandeja}}$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{m_c / (\rho_c * e)}{Bl} \dots\dots\dots(20)$$

Donde:

e = 1,7 cm. (espesor de cama de la cochinilla en una bandeja)

L = 1 m (fondo de la cámara de secado)

Para un espaciado entre de bandejas igual a 10 cm tenemos:

- **Altura de la cámara de secado:**

$$H = N^{\circ} \text{ niveles} * 0,1 + b \dots\dots\dots(21)$$

6.5. Selección de Ventiladores

Términos a utilizar:

f	Coeficiente de pérdida de carga por fricción	
L_m	Longitud media del colector	(m)
D_h	Diámetro hidráulico del colector	(m)
ρ_c	Densidad de cochinilla	(kg/m ³)
ρ_a	Densidad del aire	(kg/m ³)
v_m	Velocidad media del aire en el colector	(m/s)
A	Área media del colector	(m ²)
p	Perímetro medio del colector	(m)
w	Coeficiente de resistencia específica al paso del aire	(m ⁻¹)
v_c	Velocidad del aire al paso por las bandejas	(m/s)
v_1	Velocidad del aire al ingreso al colector	(m/s)
v_2	Velocidad del aire a la salida al colector	(m/s)
Nºniveles	Número de bandejas en la cámara de secado	
B	Ancho de la cámara de secado	(m)
b	Altura de entrada a la cámara de secado	(m)
P_d	Caída requerida del ventilador	Pa
Q_d	Caudal requerido para el secado	(m ³ /s)
e	Espesor de cama de cochinilla en una bandeja	(m)
e_b	Espacio entre bandejas	(m)
Y	Cantidad de aire para el secado	(kg)
L	Fondo de la cámara de secado	(m)

Para seleccionar los ventiladores se necesitan como datos la presión total y el caudal de aire a utilizar.

- **Caída de presión en el colector solar:**

Para el caso de una sección rectangular se dispone de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{colector}} = f \frac{L_m}{D_h} \rho_a \frac{v_m^2}{2} \text{ (Referencia 2, página 223)} \dots \dots \dots (22)$$

$$D_h = \frac{4A}{p}, \text{ de la sección media del colector solar, (Referencia 2, página 224)}$$

- **Caída de presión en la cámara de secado:**

Para calcular la pérdida de presión a través de la cámara de secado se dispone la siguiente expresión:

$$P_{\text{comara}} = w e \rho_a \frac{v_c^2}{2} \times N^{\circ} \text{ niveles (Referencia 2, página 234)} \dots \dots \dots (23)$$

Sumando las ecuaciones 22 y 23 hallamos la presión requerida del ventilador:

$$P_d = f \frac{L_m}{D_h} \rho_a \frac{v_m^2}{2} + w e \rho_a \frac{v_c^2}{2} \times N^{\circ} \text{ niveles}$$

Sabemos que $0 < f < 1$, tomamos el valor máximo para tener valor estimado y de diseño, entonces:

$$P_d = \frac{L_m}{D_h} \rho_a \frac{v_m^2}{2} + w e \rho_a \frac{v_c^2}{2} \times N^{\circ} \text{ niveles} \dots \dots \dots (24)$$

Donde la velocidad media y la velocidad del aire al paso de las bandejas se calcula:

$$v_m = \frac{v_1 \times a}{(a + b) / 2}$$

$$v_c = \frac{v_1 \times a}{L}$$

El caudal de aire requerido para secar el producto es:

$$Q_d = B b v_2 \dots \dots \dots (25)$$

6.6. Dimensiones del Colector y Cámara de Secado

Considerando los siguientes valores de radiación solar y del aire en la comunidad de San José de Tía.

H	:	800	(W/m ²)
H _i	:	60	%
t _a	:	10	(°C)
C _p	:	1 005	(J/kg °C) - (Referencia 6, Tabla A-2 , página A-6)
ρ _a	:	0,928	(kg/m ³) - (Referencia 15, página 4-15)

El diseño inicial cuenta con estos únicos datos para el colector y cámara de secado:

a	:	0,08	(m)
b	:	0,17	(m)
e _b	:	0,10	(m)

Considerando los siguientes datos, de acuerdo a trabajos anteriores, página 3 de referencia 14, de pérdida de calor, eficiencia del colector y transmitancia y absorptancia de la cubierta transparente y placa absorbente tenemos:

f	:	0,82	(s/d)
U _l	:	4,5	(W/m ² °C)
F'	:	0,85	

De cochinilla tenemos los siguientes datos:

ρ _c	:	417	(kg/m ³) (Página 12, Referencia 5)
w	:	60 000	(no se dispone esta información por lo cual se considerara su valor aproximado a arroz por ser geoméricamente parecidos. Ver página 235, Referencia 2 y Anexo 2)

A continuación se realizarán 3 diseños con el fin de elegir al que disponga de medidas adecuadas para la instalación y operatividad del secador.

6.6.1. Diseño 1

Considerando:

v ₁	:	0,5	(m/s)
t ₂	:	45	(°C)

De la fórmula 16 tenemos:

$$L_m = -\frac{a v_1 \rho_a C_p}{U_i F} \ln \left[1 - \frac{U_i}{Hf} (t_2 - t_a) \right]$$

$$L_m = -\frac{0,08 \times 0,5 \times 0,928 \times 1\,005}{4,5 \times 0,85} \ln \left[1 - \frac{4,5}{800 \times 0,82} (45 - 10) \right]$$

$$L_m = 2,68m$$

De las fórmulas 18, 19 y la carta psicométrica (ver página 47 y Anexo 5 para obtener las humedades absolutas, X_3 y X_2) tenemos:

$$t_{\text{sec. adiab.}} = 64\,800 \text{ segundos}$$

$$\Delta X = X_3 - X_2 \text{ (kg agua / kg aire), Ver anexo 5}$$

$$\Delta X = 0,0176 - 0,0064$$

$$\Delta X = 0,0112 \text{ kg de agua/kg de agua}$$

$$Y \text{ (kg de agua)} = 68,7 \text{ kg de agua} / (\Delta X \text{ kg} / 1 \text{ kg de agua})$$

$$Y = 68,7 / 0,0112$$

$$Y = 6\,134 \text{ kg de agua}$$

$$B = \frac{Y \text{ (kg de agua)}}{\rho_a \times t_{\text{sec. adiab.}} \times a \times v_1}$$

$$B = \frac{6\,134}{0,928 \times (64\,800) \times 0,08 \times 0,5}$$

$$B = 2,55m$$

De las ecuaciones 20 y 21 se tiene:

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{m_c / (\rho_c * e)}{B l}$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = \frac{100 / (417 \times 0,017)}{2,55 \times 1}$$

$N^{\circ} \text{ niveles} = 5,5 \text{ niveles}$, aproximando a valor entero:

$N^{\circ} \text{ niveles} = 6 \text{ niveles}$

$$H = N^{\circ} \text{ niveles} * 0,1 + b = 6 \times 0,1 + 0,17$$

$H = 77 \text{ cm}$

De las ecuaciones 24 y 25 se tiene:

$$v_m = \frac{v_1 \times a}{(a+b)/2} = \frac{0,5 \times 0,08}{(0,08 + 0,17)/2} = 0,32$$

$$v_c = \frac{v_1 \times a}{L} = \frac{0,5 \times 0,08}{1} = 0,04$$

$D_h = \frac{4A}{p}$, la sección media tiene como dimensiones 0,125 m x 2,5 m el cual es el

resultado de la media aritmética de la altura de la entrada y salida del colector.

$$D_h = \frac{4 \times 0,125 \times 2,5}{2 \times (0,125 + 2,5)} = 0,24$$

$$P_d = \frac{L_m}{D_h} \rho_a \frac{v_m^2}{2} + w e \rho_a \frac{v_c^2}{2} \times N^{\circ} \text{ niveles}$$

$$P_d = \frac{2,55}{0,24} \times 0,928 \times \frac{0,32^2}{2} + 60\,000 \times 0,017 \times 0,928 \times \frac{0,04^2}{2} \times 6$$

$P_d = 0,48 \text{ mm H}_2\text{O}$

$$Q_d = B a v_1 = 2,55 \times 0,08 \times 0,5$$

$$Q_d = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_d = 367 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.6.2. Diseño 2

Considerando:

$$\begin{aligned} v_f &:: 0,75 \quad (\text{m/s}) \\ t_f &:: 45 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

De la fórmula 16 y reemplazando valores tenemos:

$$L_m = 4 \text{ m}$$

De las fórmulas 18, 19, la carta psicométrica y reemplazando valores tenemos:

$$t_{\text{sec. ado}} = 64\,800 \text{ segundos}$$

$$Y = 6\,134 \text{ kg de aire}$$

$$B = 1,7 \text{ m}$$

De las ecuaciones 20, 21 y reemplazando valores se tiene:

$$N^\circ \text{ niveles} = 8,3 \text{ niveles, aproximando a valor entero:}$$

$$N^* \text{ niveles} = 9 \text{ niveles}$$

$$H = 1,07 \text{ cm}$$

De las ecuaciones 24, 25 y reemplazando valores se tiene:

$$P_d = 1,63 \text{ mm H}_2\text{O} \approx 16 \text{ Pa}$$

$$Q_d = 367 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.6.3. Diseño 3

Considerando:

$$\begin{aligned} v_f &:: 0,9 \quad (\text{m/s}) \\ t_f &:: 45 \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

De la fórmula 16 y reemplazando valores tenemos:

$$L_m = 4,8 \text{ m}$$

De las fórmulas 18, 19, la carta psicométrica y reemplazando valores tenemos:

$$t_{\text{sec. ado}} = 64\,800 \text{ segundos}$$

$$Y = 6\,134 \text{ kg de aire}$$

$$B = 1,4 \text{ m}$$

De las ecuaciones 20, 21 y reemplazando valores se tiene:

$$N^{\circ} \text{ niveles} = 10 \text{ niveles}$$

$$H = 1,17 \text{ cm}$$

De las ecuaciones 24, 25 y reemplazando valores se tiene:

$$P_d = 2,82 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$Q_d = 367 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se eligió el diseño 2 porque dispone de medidas adecuadas para la instalación y operación.

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 17 \text{ cm}$$

$$L_m = 4 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$B = 1,7 \text{ m}$$

$$N^{\circ} \text{ niveles} = 9 \text{ niveles}$$

$$H = 1,07 \text{ cm}$$

$$t_{\text{secado}} = 3 \text{ días}$$

$$Q_d = 367 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_d = 16 \text{ Pa}$$

Se utilizarán los siguientes ventiladores cuyas características son las siguientes:

MARCA : EBM PAPST

MODELO : 7200N

TIPO : AXIAL

CANTIDAD : 2

CAUDAL : 330 m³/h

PRESION : 16 Pa

TAMAÑO : ø155 mm x 55 mm de ancho

CAPITULO VII

DESCRIPCION Y CONSTRUCCION

El secador a construir tiene estas diferencias al diseño elegido:

- El ancho del colector al igual que de la cámara de secado es de 1,6 m y no de 1,7 m del diseño elegido, este pequeño cambio no influye significativamente en la obtención de los 300 kg de cochinilla seca. Para mayor detalle ver Anexo 3.
- El colector no dispone de aislamiento como madera o tecnopor sino de un apilamiento de piedras pintadas de negro y una estructura de ángulos ranurados de 1 1/4" pintados con epóxica. El apilamiento ayudara en la eficiencia de concentración de calor (Referencia 14, Técnicas de Secado y Referencia 9, Pagina 3-2). La estructura a construir tiene la ventaja de la desinstalar e instalar del colector con el fin de ser transportado de un lugar a otro. Otra ventaja que no se deteriora con la lluvia y el sol en comparación con la madera.
- Los ventiladores a utilizar generan un caudal individual de 330 m³/h (ver anexo 4) con una caída de presión de 16 Pascales y no de 367 m³/h. Esta pequeña variación no influye significativamente en la obtención de los 300 kg de cochinilla seca. Para mayor detalle ver Anexo 3.

Se considerará que el Coeficiente Global de pérdidas del colector al ambiente se mantiene puesto que el aislamiento es reemplazado por las piedras pintadas de negro, las cuales aportan además en la mejora de la eficiencia de concentración de

calor. Un aporte adicional es que el colector funciona durante un tiempo corto de tiempo por el efecto de acumulación de energía que tiene las piedras pintadas de negro.

El secador cuenta con 2 ventiladores que funcionan gracias a un sistema fotovoltaico, las dimensiones de la cámara de secado es de 1 m de fondo de cámara, 1,6 m de ancho y una altura de 1,07 m y las dimensiones del colector son 1,6 m de ancho, 4 m de largo y la altura varia de 0,08 m a 0,17 m, además esta compuesto de 28 ángulos ranurados, cada ángulo es de 2,4 m x 1 1/4" x 1/16" los cuales están pintados con anticorrosivo(resistente a la humedad) y unidos por esquineros y pernos de 5/16" x 3/4".

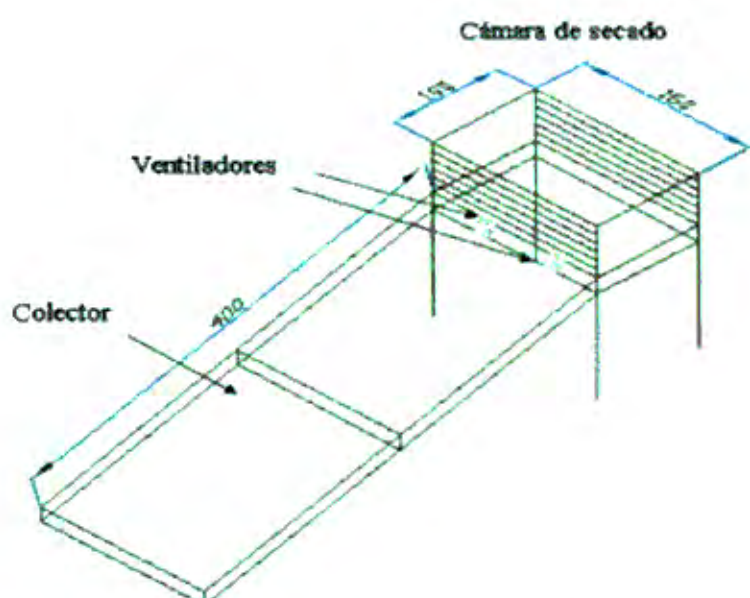


Figura 7.1.- Esquema final del secador mixto (medidas en cm)

Este secador mixto de tiro forzado cuenta con 27 bandejas que están hechas de perfiles de aluminio de 3/4" x 3/4" y un espesor de 1,5 mm, tienen un ancho de 50 cm, un largo de 98cm y un área de 0,49 m², además de una malla mosquitero para la carga de la cochinilla.

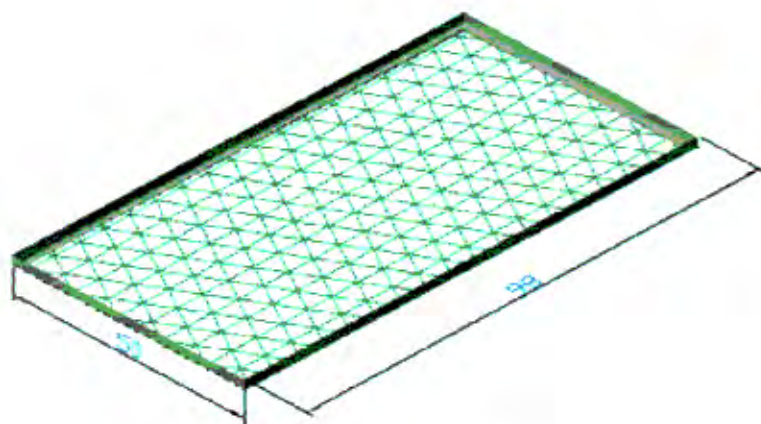


Figura 7.2.- Dimensiones de la bandeja

Con respecto a la unión de perfiles, en la construcción se debe tomar en cuenta los tamaños ya establecidos de los ángulos así como la manera de unir las esquinas ya que ahí es la intersección de tres ángulos y se debe utilizar esquineros (Ver planos IM-02, IM-03, IM-04).



Figura 7.3.- Detalle de la construcción, se aprecia la unión entre el colector y la cámara de secado, donde estarán ubicados los ventiladores. Taller de la Facultad de Mecánica-UNI 2005.

La construcción del colector solar, la cámara de secado, las 3 compuertas, y las bandejas se hicieron en el taller (Ver planos IM-02 al IM-07).



Figura 7.4.- Detalle de la colocación de las bandejas en la cámara de secado.
Taller de la Facultad de Mecánica-UNI 2005.

La finalización del resto del secador se realiza en la comunidad ya que ahí se fija el plástico con la lámina acanalada y se asegura que este bien sellado y hermético el secador (Ver planos IM-02, IM-04, IM-07)



Figura 7.5.- Detalle del sellado del plástico Anti-UV con lámina acanalada,
Comunidad San José de Tía-Año 2006

Además se coloca los dos ventiladores en la salida del colector como se aprecia en la siguiente figura (Ver plano IM-07).



Figura 7.6.- Aquí mostramos los ventiladores del secador mixto de tiro forzado.
Vista por debajo del colector. Comunidad San José de Tia-Año 2006

CAPITULO VIII

OPERACIÓN DE SECADO

8.1. Operación

Se carga el secador mixto con 100 kg de cochinilla distribuidas en las 27 bandejas. Cada bandeja debe contener 3,7 kg de cochinilla.

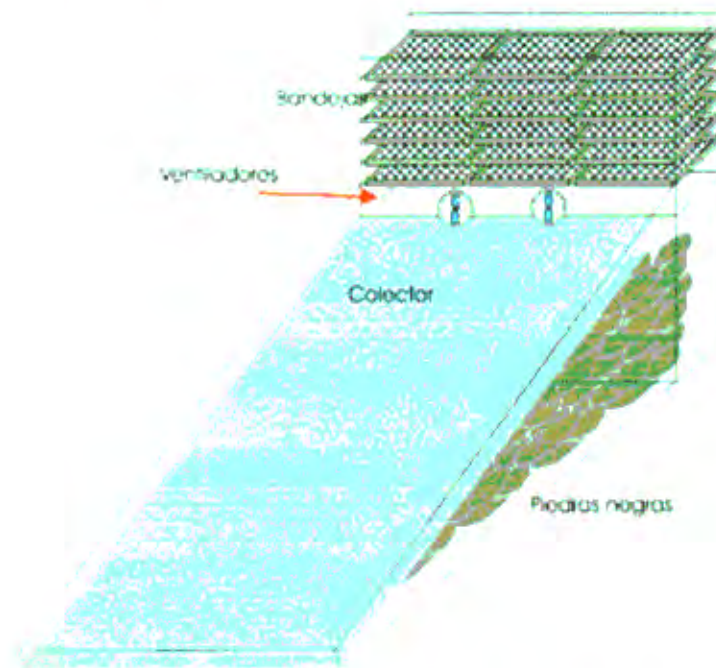


Figura 8.1.- Secador Mixto

Las tres compuertas verticales deben estar completamente cerradas para evitar las fugas de aire. El tiempo en secar la cochinilla es de 3 días. Se debe pesar al menos una vez por día el contenido de una bandeja.

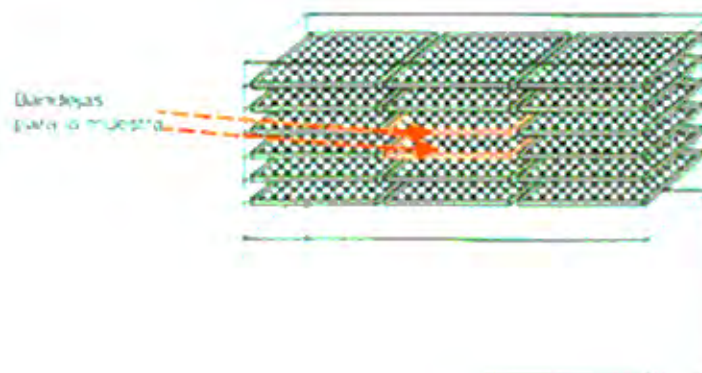


Figura 8.2. - Disposición de las bandejas en la cámara de secado

Se tomará como referencia las bandejas indicadas en el gráfico para observar el peso del producto. La cochinilla al finalizar el proceso de secado debe tener $1/3$ de su masa inicial (1,2 Kg. aproximadamente).



Figura 8.3. - Esquema del estado inicial y final del secado de cochinilla

Este proceso se repite 10 veces en el mes, es decir se deberá colocar 10 tandas de 100kg de cochinilla fresca durante el mes para obtener 300 Kg. de cochinilla seca. Es necesario controlar los pesos diariamente.

8.2. Mantenimiento

- Se debe de realizar una limpieza superficial del polvo con un paño a la estructura del secador, no debe tener contacto alguno con agua u otro elemento que pueda corroerlo. Esta acción se realizara cada 15 días, en caso de presentar óxido, se debe de repintar.
- Verificar si los ventiladores presentan calentamiento excesivo palpando manualmente. Se realizará cada 15 días.

- Revisar todo el cableado del ventilador se encuentre en buenas condiciones, ningún cable debe estar suelto. Se realizará cada 15 días.
- Verificar mensualmente que las uniones entre los ángulos ranurados con las láminas acanaladas, que sirven de ajuste del plástico Anti-UV, se encuentren en buen estado. Ajustar los pernos en caso de encontrarse flojos.
- En caso de que exista algún corte en el plástico, repararla colocando la cinta Anti-UV.

CAPITULO IX

MATERIALES Y COSTOS

9.1. Cantidad de Ángulos ranurados 1 ¼" x 1 ¼" x 1,5 mm x 2,4m

(Ver plano IM-01 al IM-06)

- Se requiere para el colector: 4 piezas de 4 m, 3 piezas de 1,6 m, 2 piezas de 1m y 2 piezas de 0,10, para esto se requiere 12 ángulos ranurados (2,4 m cada uno). Se debe indicar que las partes solicitadas son enteras y no uniones de piezas sobrantes, por este motivo se pide 12 ángulos y no 10 ángulos según el cálculo inmediato

Nota:

Cálculo inmediato para hallar la cantidad de ángulos ranurados:

- Sumando las medidas de las piezas: $4 \times 4 + 3 \times 1,6 + 2 \times 1 + 2 \times 0,1 = 23\text{m}$;
- Hallando la cantidad de ángulos ranurados: $23\text{m} / 2,4\text{m} = 10$ ángulos

Cálculo verdadero para hallar la cantidad de ángulos ranurados:

- Medida de ángulo ranurado = 2,4m
- Para 4 piezas de 4 m se necesitan 8 ángulos ranurados: 4 piezas de 2,4m y 4 piezas de 1,6m; queda como residuo 3 piezas de 0,8m
- Para 3 piezas de 1,6 m, se necesitan 3 ángulos ranurados: 3 piezas de 1,6m; queda como residuo 3 piezas de 0,8m
- Para 2 piezas de 1m y 2 piezas de 0,10, se necesita 1 ángulo ranurado: 1 pieza de 2,2m; queda como residuo 1 pieza de 0,2m

➤ Hallando la cantidad de ángulos ranurados: $8+3+1=12$ ángulos

- Se requiere para la cámara: 2 piezas de 2,1 m, 22 piezas de 1,6 m, 2 piezas de 2,3 m, 4 piezas de 1,0 m y 2 piezas de 1,10 m, para esto se requiere 29 ángulos ranurados (2,4 m cada uno). Se debe indicar que las partes solicitadas son enteras y no uniones de piezas sobrantes. Se repite el mismo procedimiento de cálculo anterior para hallar la cantidad de ángulos ranurados.
- Se requiere para la base de la cámara: 2 piezas de 1,6 m y 2 piezas de 1 m, para esto se necesita 3 ángulos ranurados.

Total de ángulos ranurados=12+29+3=44 unidades

9.2. Cantidad de perfiles de aluminio $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{16}$ " x 6m

(Ver planos IM-01, IM-05, IM-06 y IM-07)

- Se requiere para las 27 bandejas, 54 piezas de 0,98 m y 54 piezas de 0,5 m, para esto se necesita 14 perfiles de aluminio (6 m cada uno).
- Se requiere para los rieles de los 9 niveles, 54 piezas de 1m, para esto se necesita 6 perfiles de aluminio(6 m cada uno)
- Se requiere para las puertas de acceso, 6 piezas de 1,07 m y 6 piezas de 0,50 m, para esto se necesita 2 perfiles de aluminio (6m cada uno).

Total de perfiles de aluminio=14+6+2=22 unidades

9.3. Cantidad de platinas de aluminio $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{8}$ " x 6 m

(Ver planos IM-07 y vista de corte)

- Se requiere para las 27 bandejas, 54 piezas de 0,94 m y 54 piezas de 0,46 m, para esto se necesita 14 platinas de aluminio (6 m cada uno)
- Se requiere para las puertas de acceso, 6 piezas de 1,03 m y 6 piezas de 0,46 m, para esto se necesita 2 platinas de aluminio (6m cada uno).

Total de platinas de aluminio=14+2=16 unidades

9.4. Cantidad de plástico Anti-UV

(Ver plano IM-01)

- Se requiere para el colector: 2 m x 4 m de área, para esto se necesita 8 m²
- Se requiere para la cámara: 2 x (1,7 m² + 1,6 m² + 1,07 m²) de área, para esto se necesita 8,7 m²

Total de plástico Anti-UV=8+8,7=16,7 m² < 17 m²

9.5. Cantidad de malla mosquitero

(Ver plano IM-07)

- Se requiere para las bandejas: 0,6 m x 1,10 m de área por cada una de las 27 bandejas, para esto se necesita 17,82 m²

Total de malla mosquitero=18 m²

9.6. Cantidad de esquineros

(Ver plano IM-01 al IM-04)

- Se requiere para el colector: 2 por cada una de las 4 esquinas del ingreso de aire al colector, 1 por cada una de las 4 esquinas de la salida del colector, para esto se necesita 12 esquineros.
- Se requiere para la cámara: 3 por cada una de las 12 uniones principales entre ángulos ramurados, entre ellas están la base de la cámara, en la entrada y salida de la cámara de secado, para esto se necesita 36 esquineros.

Total de esquineros=12+36=48 unidades

9.7. Equipos

- 2 ventiladores axiales de 12W, 12 VDC, Modelo: 7200N, Tipo Axial, Marca EBM - PAPST

- 2 módulos fotovoltaicos de 80W, Marca KYOCERA
- 1 controlador de 20 Amp, 12 VDC, Marca STECA
- 2 Baterías SB12/130Ah, Marca SONNENSCHNEIN
- 1 inversor fotovoltaico de 150W

9.8. Material de Ferretería:

Para la estructura y la cubierta transparente:

- 200 pernos con tuercas uni cromados de 5/16" x 3/4"
- 2 cajas de remaches
- 37m de láminas acanaladas

Para las bandejas y puertas de acceso:

- 2 caja de remaches
- 3 bisagras
- 3 cerrojos

La mano de obra y las herramientas fueron puestas por personal del proyecto y el apoyo de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

9.9. Costos

A continuación se muestra la tabla de costos en resumen de los materiales empleados, los precios incluyen el 19% del IGV.

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PRECIO TOTAL (S/.)
Angulos ranurados	44	11,0	484,0
Perfiles de aluminio	22	14,0	308,0
Platinas de aluminio	16	7,5	120,0
Pernos de 5/16" x 3/4"	200	0,2	37,8
Esquineros	48	0,7	33,3
Caja de remaches	4	14,5	58,0
Plástico anti UV en m2	17	5,0	85,0
Malla mosquitero en m2	18	1,5	27,8
Lámina acanalada en m	37	2,5	92,5
Bisagras	3	2,0	6,0
Cerrojos	3	3,0	9,0
Ventiladores axiales de 12 W	2	745,0	1490,0
Módulos fotovoltaicos de 80 W	2	1700,0	3400,0
Controlador de 20 Amp	1	300,0	300,0
Baterias de 130 Ah	2	940,0	1880,0
Inversor fotovoltaico de 150W	1	560,0	560,0
		TOTAL	S/. 8.891

Tabla 9.1.- Gastos realizados en la construcción del secador mixto

CONCLUSIONES

1. Las dimensiones del colector para el secado de cochinilla son: 1,6m de ancho, 4m de largo, la altura de ingreso del aire es de 8cm y la altura de salida del colector es de 17cm (Ver páginas 54, 55 y anexo 3).
2. Las dimensiones de la cámara de secado son: 1,6m de ancho, 1,07m de altura con 9 niveles y con una distancia de separación de 10cm; cada nivel dispone de 3 bandejas de 98cm de largo con 50 cm de ancho. Para el retiro de las bandejas se tiene 3 puertas de acceso de 77cm de largo con 50 cm de ancho cada una (Ver páginas 54, 55 y anexo 3).
3. El secador solar esta conformado por el colector y la cámara de secado descritos anteriormente y su producción mensual es de 300 Kg. de cochinilla seca con un cambio de 10 tandas por mes (Ver páginas 54, 55, 62 y anexo 3).
4. Las dimensiones del secador solar varían al realizar cambios de velocidad del aire como se aprecia en los diseños 1, 2, 3(Ver páginas 50 al 54).

5. Los secadores forzados son más caros porque necesitan de un sistema fotovoltaico u otro sistema que abastezca de energía a los ventiladores (Ver página 68).
6. El diseño del secador mixto no es exclusivo para cochinilla también puede ser utilizado para frutas, hierbas aromáticas u otros productos.
7. El secador solar mixto puede ser desarmado en las oportunidades requeridas gracias al uso de los ángulos ranurados en su construcción que facilitan esta acción.

BIBLIOGRAFIA

1. **Busso, A. - Sogari, N. - Lancelle, H. G. - Arrieta, F. - Tokeff, J. P. - Leyes, M., 2001**, Secado solar de productos hortícolas de hoja: análisis en laboratorio y modelo simple para el proceso de secado, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
2. **Centro de Energías Renovables, 1991**, Teoría y Práctica del Secado Solar, Universidad Nacional de Ingeniería y Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, Lima, Perú.
3. **Centro de Energías Renovables, 2005**, Manual Del Proyecto Energización sustentable en comunidades Rurales Aisladas con fines Productivos, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
4. **Centro de Energías Renovables, 2005**, Proyecto para la CC San José de Tia, Proyecto AE-204/03 CER-UNI, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
5. **Ciro Montes de Oca A., Secador Solar Técnico de la Cochinilla – Parte I**, Perú.
6. **Dr. Yunus A. Cengel – Dr. Michael A. Boles, 1996**, Termodinámica Tomo I, Mcgraw Hill, Estados Unidos.
7. **Dr. Yunus A. Cengel – Dr. Michael A. Boles, 1996**, Termodinámica Tomo II, Mcgraw Hill, Estados Unidos.
8. **José Antonio Marques Pereira - Daniel Marcal de Queiroz, 1991**, Principios de Secado de Granos Psicometría higroscopia, Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile, Chile.
9. **Merle C. Potter – David C. Wiggert – Midhat Hondzo, 1998**, Mecánica de Fluidos, Prentice Hall, México.

10. **M. Salvador G., 1997, Termodinámica – Sustancia Pura y Primera Ley, Serie Habich, Lima, Perú.**
11. **M. Salvador G., 1997, Termodinámica – Segunda Ley, Entropía, Disponibilidad y Mezclas, Serie Habich, Lima, Perú.**
12. **Peggy Oti-Baateng - Barrie Axtel, 1998, Técnicas de Secado de Papa, ITDG, Lima, Perú.**
13. **Perry, R.H.- Green, D.W. , 1997, Chemical Engineer's Handbook, McGraw-Hill, Estados Unidos**
14. **Rafael Espinoza, 1991, Estudio de Secador Tipo Indirecto, Lima, Perú.**
15. **R. Corvalan - M. Horn. – R. Corvalan – R. Roman - L. Saravia, 1996, Ingeniería de Secado Solar, Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo V Centenario.**