



**Cooperativa:**  
**"Planta comunitaria para el secado de productos pesqueros operada con energía termosolar para su integración en comunidades rurales"**

**PROPUESTA DE NORMATIVIDAD  
APLICABLE AL SECADO DE ALIMENTOS  
MEDIANTE EQUIPOS SOLARES**



## **TERCER ENTREGABLE**

**PLANTA COMUNITARIA PARA EL SECADO DE PRODUCTOS PESQUEROS OPERADA CON ENERGÍA TERMOSOLAR PARA SU INTEGRACIÓN EN COMUNIDADES RURALES**

---

## **Prefacio**

Durante la elaboración de la presente propuesta de norma participaron las siguientes instituciones:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE  
Facultad de Ingeniería

TecNM - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC  
Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Facultad de Química

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS

# CONTENIDO

1. OBJETIVO .....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. DEFINICIONES .....	3
4. NOMNCLATURA .....	6
5. CLASIFICACIÓN .....	6
5.1 Secadores solares de calentamiento directo .....	6
5.2 Secadores solares mixtos .....	7
5.3 Secadores solares tipo industrial .....	7
6. CONSTRUCCIÓN .....	8
6.1 Materiales .....	8
6.2 Pinturas, recubrimientos o selladores .....	9
6.3 Elementos de sujeción y herrajes .....	9
7. LIMPIEZA .....	9
7.1 Utencilios .....	9
7.2 Productos químicos .....	10
7.3 Frecuencia .....	10
8. MANTENIMIENTO .....	11
9. EVALUACIÓN TÉRMICA .....	11
9.1 Parámetros generales .....	11
9.2 Instrumentos de medición .....	13
9.3 Evaluación térmica de secadores solares .....	14
10. SECADO SOLAR DE ALIMENTOS .....	15
10.1 Equipo personal .....	15
10.2 Utencilios .....	15
10.3 Lavado de alimentos .....	15
10.4 Preparación de alimntos previo al secado .....	16
10.5 Monitoreo de alimentos durante el proceso de secado .....	16
10.6 Prepración de alimentos posterior al secado .....	16
11. REFERENCIAS .....	18
12. ANEXOS .....	18
12.1 Determinación de parámetros solares .....	15
12.2 Curva de temperatura .....	15
12.3 Formatos relacionados .....	15

---

# 1. OBJETIVO

La siguiente norma tiene como objetivo establecer los lineamientos generales que deben ser considerados en la fabricación de secadores solares, así como los procedimientos que deben seguirse cuando son usado para el procesamiento de alimentos.

## 2. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías solares ha permitido que cada vez más personas tengan acceso a ellas. En el caso particular de los deshidratadores solares se puede revisar en diferentes artículos, patentes y diseños industriales, y se encontrará una gran variedad de configuraciones. El desarrollo de nuevos diseños implica el uso de diferentes materiales que permitan aumentar el rendimiento térmico de estos sistemas, sin embargo, pudieran existir ocasiones en que el uso de materiales favorezca los procesos de transferencia de calor pero no sean del todo recomendados para uso con alimentos.

Por lo anterior, la presente norma pretende establecer lineamientos y condiciones generales para garantizar la inocuidad de los alimentos al ser secados mediante equipos solares.

## 3. DEFINICIONES

### 3.1 Alimentos preparados

Son aquellos que se someten a un procedimientos mecánico como picado, mezclado, entre otros; así como físico-químicos como calor húmedo o seco, de fritura, enfriamiento o congelación para su consumo.

### 3.2 Ángulo azimutal solar

Mide la desviación de la posición del sol respecto al sur.

### 3.3 Ángulo cenital

Ángulo que mide qué tan desviado se encuentra el sol respecto a la vertical en un momento dado.

### 3.4 Ángulo horario

Es el ángulo que describe el sol en el plano de su trayectoria aparente.

### 3.5 Área de producción o elaboración

Sitio en donde se realizan las operaciones para la transformación de materias primas e insumos para la obtención de los alimentos.

### 3.6 Áspero

---

Objeto que posee una superficie desigual no pulimentada.

### **3.7 Bisagra**

Herraje de dos piezas con un eje común que sirve para unir dos superficies permitiendo el giro de ambas o de una sobre la otra.

### **3.8 Cofia**

Equipo de uso personal que cubre el cabello para evitar que éste sea un contaminante.

### **3.9 Captador solar**

Dispositivo que recibe energía solar para transferirla a un fluido receptor.

### **3.10 Conservación**

Acción de mantener un producto en buen estado, guardándolo cuidadosamente, para que no pierda sus características a través del tiempo.

### **3.11 Contaminante**

Materia extraña, sustancia tóxica o microorganismo en cantidades que rebasen los límites permisibles establecidos por la Secretaría de Salud o en cantidades tales que representen un riesgo a la salud.

### **3.12 Contaminación cruzada**

Es la contaminación que se produce por la presencia de materia extraña, sustancias tóxicas o microorganismos procedentes de una etapa, un proceso o un producto diferente.

### **3.13 Corrosión**

Deterioro que materiales metálicos mediante reacciones químicas y electroquímicas.

### **3.14 Cubrebocas**

Equipo de uso personal sobre la boca y nariz para evitar la dispersión de gotículas y evitar que se conviertan en contaminantes biológicos.

### **3.15 Declinación solar**

Se refiere al ángulo formado entre el vector que une los centros de la Tierra y el Sol, con el plano ecuatorial de la Tierra.

### **3.16 Desinfección**

Se refiere a la reducción del número de microorganismos presentes, por medio de agentes químicos y/o métodos físicos, a un nivel que no comprometa la inocuidad o la aptitud del alimento, bebida o suplemento alimenticio.

### **3.17 Despostillado**

Objeto cuyo borde está roto o quebrado.

---

### **3.18 Día juliano**

Referencia de un día del año en particular medido desde el inicio del año, por esta razón toma un valor entre 1 y 365.

### **3.19 Ingestión**

Introducción de un objeto por la boca para su consumo.

### **3.20 Inmersión**

Acción de introducir algo dentro de un fluido.

### **3.21 Inocuidad**

Condición de no hacer o causar daño a la salud.

### **3.22 Irradiancia solar**

Se refiere a la energía proveniente del sol que incide en 1 metro cuadrado (MJ/m<sup>2</sup>).

### **3.23 Latitud**

Valor que representa la localización de un lugar en dirección norte o sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° en el ecuador hasta los 90°N del polo norte y los 90°S del polo sur.

### **3.24 Longitud**

Valor que proporciona la localización de un lugar en dirección Este u Oeste desde el meridiano de referencia 0°, también conocido como meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares que van desde los 0° hasta los 180°E y 180°W.

### **3.25 Pendiente**

Inclinación de una superficie con respecto a la horizontal.

### **3.26 Pirheliómetro**

Instrumento para medir la radiación solar directa incidente expresada en W/m<sup>2</sup>.

### **3.27 Piranómetro**

Instrumento para medir la radiación solar total incidente (difusa, directa y reflejada del suelo) expresada en W/m<sup>2</sup>.

### **3.28 Rendimiento térmico**

Es la relación que existe entre la energía útil aprovechada por el equipo solar y la energía total que recibió.

## 4. NOMNCLATURA

Símbolo	Nombre	Unidades
B	parámetro de ecuación del tiempo	---
C <sub>1</sub>	parámetro para ángulo azimutal solar	---
C <sub>2</sub>	parámetro para ángulo azimutal solar	---
C <sub>3</sub>	parámetro para ángulo azimutal solar	---
E <sub>t</sub>	ecuación del tiempo	min
G	irradiancia	W/m <sup>2</sup>
H	insolación	MJ
L <sub>est</sub>	longitud de meraidano estandar	°
L <sub>local</sub>	longitud de meridiano local	°
N	día juliano	---
t <sub>est</sub>	tiempo solar	min
t <sub>sol</sub>	tiempo estandar	min
V	hora de verano	min
Alfabeto griego		
β	ángulo de inclinación respecto a la horizo	
Υ	ángulo sobre el eje norte-sur	°
Υ <sub>s</sub>	ángulo azimutla solar	°
Υ <sub>s</sub> '	parámetro para ángulo azimutal solar	---
δ	declinación solar	°
θ	Ángulo de incidencia	°
θ <sub>z</sub>	ángulo zenital	°
Φ	latitud	°
ω	ángulo horario	°
ω <sub>ew</sub>	parámetro para ángulo azimutal solar	---

## 5. CLASIFICACIÓN

Actualmente existe una gran variedad de diseños de secadores solares, sin embargo, es posible clasificarlos en tres categorías: secadores solares de calentamiento directo, secadores solares mixtos y secadores solares tipo industrial. Las categorías antes mencionadas no dependen de las dimensiones del equipo, sino de la forma en que se hace llegar el calor al producto que se seca.

### 5.1 Secadores solares de calentamiento directo

En esta categoría se encuentran considerados todos los secadores solares cuya única fuente de calor sea la energía solar térmica captada de forma directa por la cámara de secado. El modelo general se observa en la Figura 5.1.



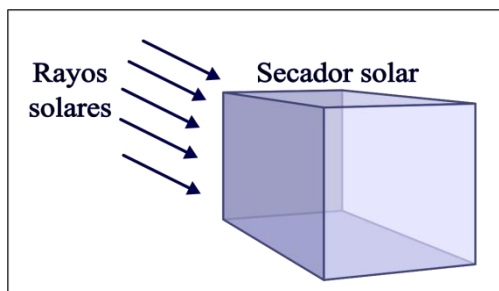


Figura 5.1. Modelo general de un secador solar de calentamiento directo.

## 5.2 Secadores solares mixtos

En esta categoría se encuentran considerados todos los secadores solares que se encuentren formados por una cámara de secado acoplada a un captador solar, teniendo así como fuentes de energía la recibida directamente en la cámara de secado y la acumulada en el captador solar. El modelo general se observa en la Figura 5.2.

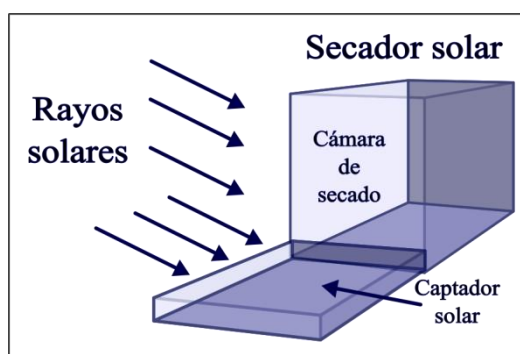


Figura 5.2. Modelo general de un secador solar mixto.

## 5.3 Secadores solares tipo industrial

En esta categoría se encuentran considerados todos los secadores solares que no tengan acoplado el captador solar a la cámara de secado y en consecuencia requieran de un motor para mover el aire desde el/los captador/es solar/es hacia el interior de la cámara de secado. En este diseño la radiación solar puede o no incidir sobre la cámara de secado. El modelo general se observa en la Figura 5.3.

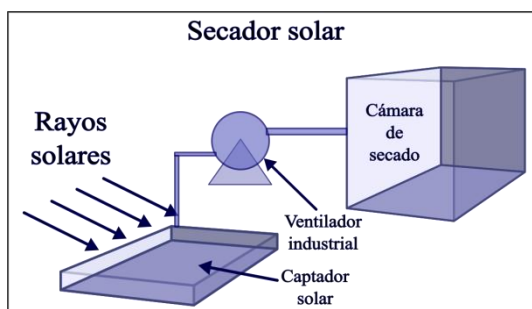


Figura 5.3. Modelo general de un secador solar tipo industrial.

## 6. CONSTRUCCIÓN

Con el desarrollo de la tecnología se tienen disponibles en el mercado diversos tipos de materiales que traen beneficios a los sistemas de calentamiento solar, entre los beneficios se encuentran mejor absorción de energía, mejor aislamiento térmico, materiales más ligeros y con menores costos por mencionar algunos. A continuación se presentan las consideraciones general a tomar en cuenta para el diseño y fabricación de secadores solares.

### 6.1 Materiales

La selección de los materiales deberá considerar en todo momento la no contaminación de los alimentos. Dependiendo del tipo de material usado serán las consideración a tomar en cuenta.

#### 6.1.1 Maderas

Las maderas son susceptibles a la formación de hongos cuando quedan expuestas a condiciones de humedad, por esta razón, cuando se tengan partes de madera en el secador se podrán sellar con algún barniz considerando las pruebas señaladas en la sección 6.2 o en caso de dejarse en su forma natural, el usuario deberá considerar revisiones semanales para verificar que se encuentre libre de estos microorganismos.

#### 6.1.2 Metales

Los materiales metálicos elaborados con hierro son susceptibles al proceso de corrosión en presencia de agua (incluyendo la contenida en forma de humedad en el ambiente), por esta razón, cuando el secador solar se construya con partes metálicas de hierro deberán tratarse con una pintura primaria y posteriormente con una pintura esmaltada para su recubrimiento, esto prolongará la formación de óxido en la parte metálica. En el proceso de protección del metal debe considerarse que el canto de las piezas metálicas es el que normalmente queda oculto cuando se ensambla el equipo y queda desprotegido, generando óxido en los secadores a corto plazo, en estos casos se sugiere pintar las piezas antes de ser ensambladas para proteger los cantos. La pieza pintada deberá someterse a las pruebas señaladas en la sección 6.2.

Pese a la protección anticorrosiva del metal, deberán realizarse revisiones semanales a las partes metálicas para verificar que se encuentren libres de óxido.

#### 6.1.3 Plásticos

Se ha verificado que algunos plásticos liberan vapores o sufren degradación con temperaturas cercanas a los 70°C. Por esta razón se deberá contar con estudios previos (avalados por un organismo especializado) que muestren la no emisión de vapores, desintegración o alguna otra transformación de estos plásticos al ser expuestos a temperaturas equiparables a las que el fabricante reporte como temperatura máxima de operación del equipo de secado.

## 6.2 Pinturas, recubrimientos o selladores

En caso de que al interior del secador solar se hayan usado pinturas, recubrimientos y/o selladores se deberán realizar estudios previos (avalados por un organismo especializado) que muestren la no emisión de vapores, desintegración o alguna otra transformación de estos agentes químicos al ser expuestos a temperaturas equiparables con la temperatura máxima de operación del secador solar.

## 6.3 Elementos de sujeción y herrajes

Para el armado y acabado de los secador solares se requiere del uso de elementos de sujeción y herrajestales como remaches, tornillos, clavos, grapas, jaladeras, bisagras, etc. El cuidado que se debe tener con estos elementos se divide en dos categorías: elementos con riesgo de ingestión y elementos con riesgo de contaminación.

### 6.3.1 Elementos con riesgo de ingestión

Derivado del tamaño tan reducido que algunos objetos pueden llegar a tener, el desprendimiento de uno de estos elementos puede ocasionar que caigan sobre el producto que se esté secando y en consecuencia producir un riesgo de ingestión. Se deberá cuidar el no usar elementos tan pequeños y de ser posible armarlos desde afuera hacia adentro, de esta manera en caso de que uno de estos elementos se desprenda lo haga hacia afuera y no por dentro (por ejemplo un proceso de engrapado se preferirá desde afuera y no desde adentro).

### 6.3.2 Elementos con riesgo de contaminación

La contaminación química con elementos de sujeción y herrajes puede referirse a la sección 6.2 para aquellos elementos que queden ubicados al interior del secador solar.

# 7. LIMPIEZA

Una parte importante para mantener en buenas condiciones a los secadores solares es la limpieza, la cual deberá efectuarse de la mejor forma para garantizar condiciones salubres en la manipulación de productos de secado. Para conseguirlo se deberán seguir los lineamientos establecidos en el: Curso de Manejo Higiénico de Alimentos basado en la NOM-251-SSA1-2009.

## 7.1 Utencilios

A reserva de las indicaciones del fabricante, se deberá contar con los siguientes utencilios:

### 7.1.1 Esponja suave

Usar en todo momento esponjas suaves para realizar el lavado del secador, el uso de estas esponjas resultan ser poco agresivas para los materiales del secador. Es importante evitar el uso de fibras metálicas o ásperas que raspen los materiales y los deterioren rápidamente.

### **7.1.2 Cepillos suaves**

Dependiendo de la geometría del secador solar, pueden existir zonas en las cuales la esponja no alcance a limpiar de manera correcta (como en el caso de rendijas o algunas esquinas), para estos casos se podrá hacer uso de cepillos con cerdas suaves que garanticen la limpieza en este tipo de zonas.

### **7.1.3 Franelas o paño de microfibras**

Una vez que se ha lavado el secador solar, se deberá secar completamente para reducir el riesgo de formación de hongos. Cuando el secado se realiza previo a la introducción de alimentos, se deberá añadir una solución diluida de hipoclorito de sodio (cloro casero) a la franela para desinfectar el interior del secador.

### **7.1.4 Espátula de plástico o madera**

En algunas ocasiones, durante el proceso de limpieza se observan partes del producto seco adheridas en las superficies del secador, en este caso se sugiere mojar el residuo y raspar suavemente con una espátula de plástico o de madera, cuidando en todo momento no dañar el material del secador.

### **7.1.5 Sistema de agua a presión**

El sistema de agua a presión es útil en secadores de tipo industrial que poseen grandes dimensiones, agilizando así la etapa de enjuagado.

## **7.2 Productos químicos**

### **7.2.1 Jabón líquido**

El jabón líquido para trastes es un producto aceptado para la limpieza de secadores solares, deberá cuidarse para su preparación seguir las indicaciones colocadas en la etiqueta del producto para evitar exceso de jabón al interior del secador solar.

### **7.2.2 Jabón en polvo**

El jabón en polvo también puede usarse para el lavado de secadores solares, deberán respetarse las cantidades sugeridas del producto y antes de su uso el jabón deberá encontrarse totalmente disuelto para evitar la presencia de partículas no disueltas en forma de grano puedan maltratar las partes del secador solar.

### **7.2.3 Cloro**

El cloro de uso doméstico se utiliza en la etapa de desinfección previa al secado de productos, la cantidad establecida para desinfección es 10 ml (equivalente a una tapa) de cloro por cada litro de agua. Es importante no exceder estas cantidades porque podrían causar daño por ataque químico a ciertos materiales presentes en el secador solar.

### **7.2.4 No recomendables**

Deberá evitarse en todo momento el uso de productos químicos más agresivos tales como vinagre, ácido muriático y sosa cáustica, toda vez que estos productos pueden causar un ataque químico mayor sobre los materiales del secador.

## **7.3 Frecuencia**

Invariablemente, la limpieza de los secadores solares tendrá que realizarse en los siguientes momentos:

### **7.3.1 Limpieza inicial**

Esta limpieza deberá realizarse horas antes del inicio del secado, teneiendo cuidado que al inicio de la prueba el secador solar se encuentre totalmente seco.

### **7.3.2 Limpieza final**

Esta limpieza deberá realizarse al término del proceso de secado, ayudando a no dejar que los productos de carácter ácido que se hayan quedado incrustados ataquen químicamente a los materiales al interior del secador.

## **8. MANTENIMIENTO**

Cuando se presente algún desgaste, rutpura o pérdida de funcionalidad del secador solar o de alguna de sus partes, se deberá contactar al fabricante para recibir la orientación adecuada. Por ningún motivo se deberán realizar reparaciones al secador sin previa orientación del fabricante. Deberá evitar modificar o añadir partes nuevas al secador, pues pudieran contener materiales que no han sido verificados con base a los lineamientos de la presente norma que garantiza la inocuidad de los productos de secado.

## **9. EVALUACIÓN TÉRMICA DE LOS SECADORES SOLARES**

### **9.1 Parámetros generales**

Uno de los parámetro térmicos importantes en los secadores solares es la temperatura máxima de operación, por esta razón la evaluación presentada en este documento será orientada a la obtención de este parámetro.

Antes de revisar la evaluación en cada uno de los tipos de secadores solares se revisarán algunos conceptos fundamentales relacionados.

#### **9.1.1 Insolación**

La ecuación para calcular la insolación del periodo de prueba es:

$$H = \frac{60}{1000000} \sum_{n=0}^{480} G \quad (9.1)$$

Donde H es la insolación en [MJ] y G es el valor registrado para la irradiancia en cada minuto.

#### **9.1.2 Declinación solar**

La ecuación para determinar la declinación solar se muestra en la ecuación (9.2)

$$\delta = 23.45 \text{sen} \left( \frac{360}{365} (284 + N) \right) \quad (9.2)$$

Siendo N el número de día juliano para el cual se calcula la declinación.

### 9.1.3 Ecuación del tiempo

La ecuación (9.3) permite convertir de tiempo estándar a tiempo solar ( $t_{sol}$ ):

$$t_{sol} = t_{est} + 4(L_{est} - L_{local}) + V + E_t \quad (9.3)$$

Donde  $t_{sol}$  es el tiempo solar medido en minutos medido desde las 00:00 horas,  $t_{est}$  es el tiempo estándar en minutos del reloj,  $L_{local}$  es la longitud correspondiente al meridiano local,  $L_{est}$  es la longitud del meridiano estándar, V es una corrección debida al horario de verano (en los lugares y fechas donde se aplique) y el valor de  $E_t$  puede determinarse de acuerdo a la ecuación (9.4).

$$E_t = 229.2[0.000075 + 0.001868\cos(B) - 0.0320\sen(B) - 0.014615\cos(2B) - 0.04089\sen(2B)] \quad (9.4)$$

$$\text{Siendo } B = (N - 1) \frac{360}{365}$$

### 9.1.4 Ángulo horario

La ecuación (9.5) permite calcular el ángulo horario medido en minutos:

$$\omega = 0.25(t_{sol} - 720) \quad (9.5)$$

### 9.1.5 Ángulo cenital

La ecuación (9.6) puede utilizarse para determinar el ángulo cenital ( $\theta_z$ )

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sen \phi \sen \delta \quad (9.6)$$

Donde  $\phi$  es el valor de la latitud del lugar de la prueba.

### 9.1.6 Ángulo azimutal solar

La ecuación (9.7) permite calcular el ángulo azimutal solar.

$$\gamma_s = C_1 C_2 \gamma'_s + C_3 \left( \frac{1 - C_1 C_2}{2} \right) 180 \quad (9.7)$$

Donde:

$$\gamma'_s = \frac{\sen \omega \cos \delta}{\sen \theta_z}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & \text{si } |\omega| < \omega_{ew} \\ -1 & \text{para cualquier otro valor} \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 1 & \text{si } \phi(\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{para cualquier otro valor} \end{cases}$$

$$C_3 = \begin{cases} 1 & \text{si } \omega \geq 0 \\ -1 & \text{para cualquier otro valor} \end{cases}$$

$$\cos \omega_{ew} = \tan \delta / \tan \phi$$

Es importante considerar que si  $\tan \delta / \tan \phi$  es mayor a 1, indica que el sol no se debe al este o al oeste del observador. En este caso se coloca  $C_1=1$ .

### 9.1.7 Ángulo de incidencia

Con la ecuación (9.8) es posible determinar el ángulo de incidencia solar sobre una superficie.

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (9.8)$$

Donde  $\beta$  es la pendiente de la superficie con respecto a la horizontal y  $\gamma$  es el ángulo formado entre la línea del eje norte-sur y el giro hacia el este u oeste que tenga la superficie a observar. Ver Figura 9.1.

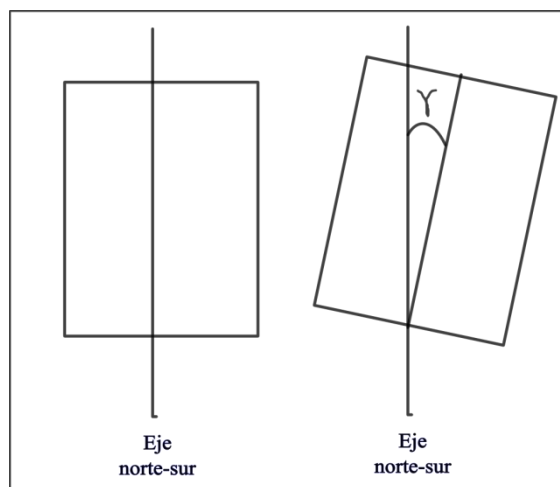


Figura 9.1 Ángulo formado por el eje norte-sur.

## 9.2 Instrumentos de medición

Para llevar a cabo la medición de los diferentes parámetros térmicos se requieren de los siguientes instrumentos.

### 9.2.1 Termómetro

Los instrumentos utilizados para medir la temperatura deberán tener una precisión del 1% o superior.

### 9.2.2 Piranómetro

El piranómetro deberá ser de tipo hemiesférico de clase I o superior. Para el caso en que las pruebas se realicen en días con cielo parcialmente nublado, se deberá contar con un segundo piranómetro acondicionado con su elemento de sombreado para determinar la radiación directa o bien, puede utilizarse un pirheliómetro.

### 9.2.3 Anemómetro

El anemómetro deberá contar con una precisión de al menos 0.5m/s.

#### **9.2.4 Medidor de flujo de aire**

El medidor de flujo volumétrico de aire deberá contar con una precisión igual o mejor del  $\pm 2\%$ .

#### **9.2.5 Medidores de ángulo**

Los ángulos deberán medirse utilizando instrumentos que tengan una precisión igual o mejor de  $\pm 1^\circ$ .

### **9.3 Evaluación térmica de secadores solares**

#### **9.3.1 Periodo de prueba**

El periodo de prueba será el comprendido entre 4 horas antes y 4 horas después del medio día solar. La hora del medio día solar se puede determinar a partir de la ecuación (9.3) de tiempo solar de acuerdo a lo ejemplificado en el Anexo 12.1.1.

#### **9.3.2 Montaje del secador**

##### **9.3.2.1 Secadores solares de calentamiento directo**

El secador solar deberá instalarse de modo tal que pueda recibir de manera perpendicular los rayos de sol sobre la línea este-oeste; para conseguirlo se puede determinar la fecha del año en que los rayos de sol serán perpendiculares o si las dimensiones del secador lo permiten, podrá colocarse sobre una superficie inclinada para conseguir esta condición. El ángulo de inclinación del secador se puede determinar a partir de la ecuación (9.8) evaluando valores hasta que el valor del ángulo de incidencia  $\theta$  al medio día solar sea 0 (cero).

##### **9.3.2.2 Secadores solares de calentamiento mixto**

Debido a que en estos secadores se obtiene el mayor aporte de calor mediante el captador solar, el secador solar deberá instalarse de modo tal que el captador solar pueda recibir de manera perpendicular los rayos de sol sobre la línea este-oeste; para conseguirlo se puede determinar la fecha del año en que los rayos de sol serán perpendiculares o si las dimensiones del secador lo permiten, podrá colocarse sobre una superficie inclinada para conseguir esta condición.

##### **9.3.2.3 Secadores solares tipo industrial**

Debido a que en estos secadores se obtiene el mayor aporte de calor a través del banco de captadores solares, los captadores solares deberán instalarse de modo tal que puedan recibir de manera perpendicular los rayos de sol sobre la línea este-oeste; para conseguirlo se puede determinar la fecha del año en que los rayos de sol serán perpendiculares o si las condiciones de instalación de los captadores lo permiten, podrán colocarse sobre una superficie inclinada para conseguir esta condición.

#### **9.3.3 Desarrollo de la prueba**

Una vez que haya iniciado la prueba, se deberán registrar minuto a minuto los valores de temperaturas e irradiancia. Además se deberá registrar en una bitácora aquellos incidentes que pudieran afectar el comportamiento térmico, por ejemplo, la obstrucción solar por algunos minutos debido a una nube.



---

Las mediciones a monitorear serán: la radiación global sobre el plano de la base del secador solar (o sobre el plano del captador solar para cuando el sistema cuenta con uno), la temperatura del centro geométrico del secador solar, la temperatura del medio circundante (temperatura ambiental) y para días parcialmente nublados la radiación solar directa.

#### **9.3.4 Resultados de la prueba**

Con los datos obtenidos de monitorear la prueba será posible identificar la temperatura máxima que alcanzó el secador solar. Sin embargo, la ventana completa de rango de tiempo y temperaturas serán consideradas para las pruebas de exposición de materiales mencionadas en la sección 6.1 y también para el caso de secado de alimentos en donde se cuidan los niveles de temperatura para no perder propiedades nutrimentales. Por lo anterior, resulta práctico presentar una gráfica de tiempo contra temperatura de toda la prueba.

#### **9.3.5 Validez de la prueba**

La prueba se considera válida si el cálculo de la insolación (ver ecuación (9.1)) durante el periodo de prueba es mayor a 17MJ y además que los valores de radiación difusa no excedieran del 30% respecto a la directa. También se deberán revisar los datos para verificar que durante la realización de la prueba no se hayan tenido velocidades de viento superiores a 3m/s±1m/s.

Los resultados obtenidos serán considerados como aceptados una vez que se tengan al menos 3 pruebas válidas. A partir de estos resultados se podrá presentar la temperatura promedio máxima sin carga que alcanza el secador solar, así como los valores de temperatura promedio e insolación a los cuáles se obtuvo la temperatura máxima. Esta información deberá presentarse en una etiqueta tal y como se muestra en el Anexo 12.3.1.

## **10. SECADO SOLAR DE ALIMENTOS**

Una etapa clave para garantizar la inocuidad de los alimentos es la preparación de los alimentos, la cual debe llevarse a cabo con las medidas de higiene mínimas necesarias que marca la norma NOM-251-SSA1-2009.

### **10.1 Equipo personal**

Para manipular alimentos durante el proceso de secado será necesario contar con el siguiente equipo:

#### **10.1.1 Guantes de latex**

Éstos deben mantenerse limpios e íntegros. El uso de guantes no exime el lavado de las manos antes de su colocación.

#### **10.1.2 Cubrebocas**

Deberá cubrir la zona de la boca y de la nariz.

#### **10.1.3 Cofia**

---

Verificar que cubra en su totalidad la zona del cabello.

#### **10.1.4 Mandil**

Deberá encontrarse limpio antes de su uso.

### **10.2 Utencilios**

Durante el proceso de preparación de los alimentos se requiere de la utilización de diferentes utensilios tales como cuchillos, peladores, rebanadoras, licuadoras, tablas de picar entre otros, que en general están elaborados de materiales metálicos, plásticos y maderas. Los puntos a cuidar referente a los utensilios son:

#### **10.2.1 Materiales metálicos**

Antes de su uso se deberá comprobar que no presenten señales de corrosión.

#### **10.2.2 Materiales plásticos y maderas**

Antes de su uso se deberá comprobar que no se encuentren fisurados o destostillados, de ser así deberá evitarse el uso del utensilio.

### **10.3 Lavado de alimentos**

Las etapas generales para el lavado de alimentos son:

#### **10.3.1 Primer lavado**

Con agua fluyendo para el arrastre de partículas contaminantes como la tierra, hojas de plantas, pelusas, etc.

#### **10.3.2 Segundo lavado**

Mediante inmersión de los alimentos en agua clorada o algún otro agente desinfectante. Se recomienda revisar el tiempo de desinfección que marca el producto y respetarlo.

#### **10.3.3 Alimentos hervidos**

Existen alimentos que deben ser hervidos para su preparación, si fuera el caso, no es necesario llevar a cabo el segundo lavado con agua clorada ni desinfectantes, pasando del primer lavado al recipiente de calentamiento.

### **10.4 Preparación de alimentos previo al secado**

Dependiendo de las características de los alimentos como el tamaño, grosor de cáscara o presentación, serán las etapas a seguir.

#### **10.4.1 Condiciones de separación de alimentos**

Las etapas de separación de cáscaras, semillas y/o huesos deberán realizarse en áreas debidamente desinfectadas.

#### **10.4.2 Separación de cáscaras**

Tratándose de frutas o verduras, cuando la cáscara es gruesa y/o no comestible, se deberá establecer una etapa de separación de cáscaras. Cuando los alimentos

---

contienen semillas no procesables como por ejemplo el mango o el aguacate, deberán retirarse del proceso.

#### **10.4.3 Separación de semillas**

Tratándose de frutas o verduras, cuando contengan semillas no comestibles (como por ejemplo el mango y el aguacate), se deberá establecer una etapa para la separación de semillas.

#### **10.4.4 Separeción de huesos**

Tratándose de desperdicios de animales, se deberán separar partes no procesables como huesos gruesos.

#### **10.4.5 Condiciones de rebanado, picado y triturado**

La etapa de rebanado, picado o triturado de alimentos deberá realizarse en áreas debidamente desinfectadas.

#### **10.4.6 Rebanado, picado o triturado**

Una vez que se tiene el alimento sin cáscara gruesa, sin huesos y sin semillas no procesables, se puede proceder a la etapa de rebanado, picado o triturado del alimento.

### **10.5 Monitoreo de alimentos durante el proceso de secado**

En general, en las cámaras de secado solar queda producto ubicado cerca de la entrada de aire y también hay producto que queda ubicado cerca de la salida de aire, de igual manera existe producto que recibe de manera directa los rayos del sol y producto que queda sombreado, estas diferencias de condiciones ocasionan que el producto se seque a diferentes tiempos dependiendo de su ubicación.

Una de las técnicas usadas para aprovechar los puntos favorables de secado es quitar el producto seco o próximo a secarse e intercambiarlo con el producto ubicado en las zonas menos favorecidas para ponerlo en las zonas favorecidas.

Cuando sea necesaria la manipulación de producto como se ha descrito en el párrafo anterior, la o las personas que realizarán el procedimiento deberán portar su equipo personal completo (cofia, guantes, cubrebocas y mandil) para realizar la manipulación del producto.

### **10.6 Preparación de alimentos posterior al secado**

El personal que participe en esta actividad deberá:

#### **10.6.1 Lavarse la manos con agua y con jabón**

Para ello se deberán revisar las técnicas establecidas por la secretaría de salud.

#### **10.6.2 Colocarse su equipo personal completo**

En algunas ocasiones las charolas se encuentran a temperaturas no tolerables para las manos, en estos casos se podrán llevar quemones de cocina o franelas higienizadas.

### 10.6.3 Extraer el producto del secador solar y llevarlo directamente al área de post procesamiento

En general, para llegar al área de procesado se debe caminar en el exterior, si es el caso, las bandejas en las cuales se transporte el alimento deberán ser cubiertas por un paño exclusivo para esta etapa, así se evitará contaminación en el trayecto. Esta condición no aplica para el caso de secadores solares industriales en donde la cámara de secado con el alimento se encuentren en un espacio cerrado junto con el área de post procesamiento.

## 11. REFERENCIAS

- Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Worek, W. M. (1994). Solar engineering of thermal processes.
- International Standard, ISO9806. (2013). Solar Energy - Solar Thermal Collectors - Test Methods.
- NMX-ES-001-NORMEX-2005.(2005). Energía Solar - Rendimiento Térmico y Funcionalidad de Colectores Solares para Calentamiento de Agua - Métodos de Prueba y Etiquetado.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009. (2009). Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.

## 12. ANEXOS

### 12.1 Determinación de parámetros solares

#### 12.1.1 Cálculo del medio día solar

Para ejemplificar el cálculo de la hora del medio día solar se presenta el siguiente caso: se desea determinar la hora del medio día solar en la comunidad de Champotón, Campeche el 17 de marzo.

$$t_{sol} = t_{est} + 4(L_{est} - L_{local}) + V + E_t$$
$$t_{est} = t_{sol} - 4(L_{est} - L_{local}) - V - E_t$$

Se pueden investigar los valores de la región:

$$L_{est}=90$$

$$L_{local}=90.52$$

El tiempo solar que se busca es medio día (12:00) y como la referencia de la ecuación es a partir de las 12:00 entonces  $t_{sol}=0$ , el día juliano para el 17 de marzo se calcula mediante  $N=31$  (días de enero) + (28 días de febrero) + 17 (día deseado de marzo) = 76. El horario de verano no se aplica en marzo por lo que  $V=0$ .

Para  $E_t$  se requiere el parámetro B:

$$B = (76 - 1) \frac{360}{365} = 73.97$$

B en radianes será B=1.29

Evaluando la ecuación del tiempo:

$$E_t = 229.2[0.000075 + 0.001868\cos(1.29) - 0.0320\sen(1.29) - 0.014615\cos(2(1.29)) - 0.04089\sen(2(1.29))]$$

$$E_t = -9.066$$

Sustituyendo en la ecuación de tiempo solar:

$$t_{sol} = 0 - 4(90 - 90.52) - 0 + 9.066 = 11.146$$

Este valor indica que el medio día solar ocurre 11.146 minutos después del medio día estándar, entonces la hora del medio día solar será:

HH:MM=12:11h

## 12.2 Curva de temperatura

La curva de temperatura de un día de prueba tendrá la forma mostrada por la Figura 12.1.

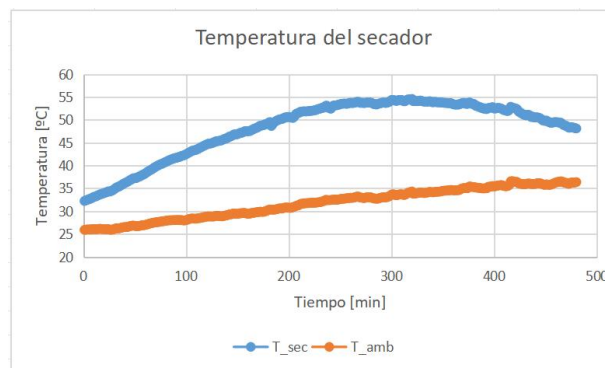


Figura 12.1. Temperatura al interior del secador solar.

## 12.3 Formatos relacionados

### 12.3.1 Etiqueta informativa

Los secadores solares deberán contar con una etiqueta donde se indique la temperatura máxima que alcanzan el equipo sin producto, con la temperatura promedio y el valor de insolación a los cuáles se obtuvo dicha temperatura máxima. Un ejemplo de esta etiqueta se muestra en la Figura 12.2.

DESEMPEÑO TÉRMICO	
T <sub>max</sub> [°C]:	67.3
T <sub>amb</sub> [°C]:	32.1
H [MJ]:	19.8

Figura 12.2 Etiqueta informativa del secador solar.