



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

“DISEÑO DE HORNO DESHIDRATADOR DE BANANO”

PROYECTO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO.

PRESENTA:
DARINEL MERIDA HERNANDEZ

TUXTLA GUTIERREZ CHIAPAS, SEPTIEMBRE DE 2017.

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|------|
| Introducción..... | 2 |
| 1. GENERALIDADES..... | 3 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.2. Objetivo general..... | 3 |
| 1.3. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.4. Justificación del problema | 4 |
| 1.5. Alcances..... | 4 |
| 1.6. Limitantes..... | 4 |
| 1.7. Estado del arte..... | 4 |
| 2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES GENERALES DEL BANANO Y DESHIDRATADORES..... | 9 |
| 2.1. Fundamentos teóricos de proyecto..... | 9 |
| 2.2. Historia del Horno deshidratador..... | 11 |
| 2.3. Banano historia..... | 12 |
| 2.3.1. Origen del banano y su distribución..... | 12 |
| 2.3.2. Características y usos..... | 12 |
| 2.3.3. Descripción botánica..... | 13 |
| 2.3.4. Propiedades nutritivas..... | 14 |
| 2.3.5. Consumo en fresco e industrializaciones..... | 15 |
| 2.3.6. Cultivo en México..... | 15 |
| 2.3.7. Importancia de cultivo en Chiapas..... | 16 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 18 |
| 3.1. Métodos de deshidratación..... | 18 |
| 3.1.1. Deshidratador por radiación..... | 19 |
| 3.1.2. Deshidratador por convección..... | 19 |
| 3.1.3. Deshidratador por conducción..... | 20 |
| 3.2. Tipos de hornos..... | 20 |
| 3.2.1. Horno de túnel..... | 21 |
| 3.2.2. Horno deshidratador de bandejas o gabinetes..... | 21 |
| 3.2.3. Horno deshidratador vertical..... | 23 |
| 3.2.4. Mecanismo de deshidratación..... | 24 |
| 3.3. Matriz de decisión..... | 28 |
| 3.4. Parámetros de diseño..... | 28 |
| 3.4.1. Humedad en el producto..... | 28 |
| 3.4.2. Factores que influyen en la deshidratación de un Producto..... | 29 |
| 3.4.3. Temperatura de deshidratación en la superficie del producto..... | 33 |
| 3.4.4. Estimación del tiempo de deshidratación de un producto..... | 34 |
| 3.4.5. Estimación de la velocidad de deshidratación de un producto..... | 39 |
| 3.4.6. Bandejas de horno..... | 40 |
| 3.4.7. Diseño de horno..... | 49 |
| 3.4.7.1. Calculo de extractor de aire..... | 53 |
| 3.4.7.2. Capacidad de horno..... | 56 |
| 3.4.7.3. Quemador de gas..... | 59 |
| 3.4.7.4. Espesor de aislamiento..... | 62 |
| 4. RESULTADOS..... | 70 |

4.1. Observaciones. -----71

5. RECOMENDACIONES-----72

Bibliografía.-----73

Anexos.-----74

Introducción.

La participación de México en la exportación de harina de banano es muy poca a nivel mundial, debido a que no se tiene la tecnología necesaria para su procesamiento, lo que hace que la utilizada en el país para su consumo sea de alto costo, debido a que se obtiene en el extranjero.

Dentro de los diferentes métodos de conservación de alimentos, el secado es uno de los métodos más antiguos y uno de los más eficaces. La utilización del sol para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más ancestral y menos costoso de conservación. Diversos autores indican que el paleolítico, hace 400,000 años, se secaban al sol alimentos, carnes y pescados especialmente.

Con la deshidratación de un producto se consigue una gran reducción de peso, hasta su quinta parte cuando se trata de raíces o tubérculos y hasta quince veces menor en vegetales y hojas. La conservación y reducción de peso son los principales factores que se aconsejan para la utilización de este proceso, puesto que además de conseguir la conservación del alimento asegura una reducción substancial de los costos de almacenamiento y/o transporte.

El aire caliente es usado en muchas operaciones de secado, por lo que los secadores de aire han estado en uso de la deshidratación por muchos años alrededor del mundo. Por todo esto se plantea el diseño de un horno deshidratador de banano con la intención de disminuir los costos de producción de harina de banano mediante una optimización de recursos, aumentar tanto calidad como cantidad de harina de banano y satisfacer la demanda de alimentos en el mercado.

1. GENERALIDADES.

En este capítulo se describe las necesidades, problemas y objetivos que son necesarios resolver con la elaboración de un proyecto de esta magnitud, así también la participación que tiene México en este rubro y la importancia del proceso de secado para la conservación, almacenamiento y consumo de la fruta.

1.1 Planteamiento del problema.

Existen empresas que se dedican a elaboración de productos derivados del banano entre ellos la harina de banano, para dicho propósito las empresas utilizan equipos artesanales deficientes las cuales afectan las propiedades de la fruta (sabor, aroma, color) y las cantidades a producir. Con este proceso, la producción de harina de banano se ve limitada, además de utilizar demasiados trabajadores para su elaboración.

Por todo lo ya mencionado se tiene como planeamiento el diseño de una cámara que sirva como secador de la fruta (banano), para después continuar con el proceso de la elaboración de harina de banano, que es para lo que se requiere esta cámara de secado.

1.2 Objetivo general.

Es necesario la fabricación de una cámara de secado para la deshidratación de una carga de 1000 kg de banano diarios que requiere la empresa para satisfacer la demanda del mercado, cumpliendo con calidad y costos de producción.

1.3 Objetivos específicos.

- Lograr una deshidratación de producto en menor tiempo; así mismo disminuyendo los costos de producción.
- Satisfacer la cantidad necesaria de producto deshidratado de manera eficiente.

1.4 Justificación del problema.

La falta de un equipo tan importante en una planta harinera de banano como lo es una cámara de secado, es lo que nos lleva a la creación del diseño de dicho horno, es necesario disminuir los costos de producción y aumentar calidad y cantidad de producto para satisfacer la creciente demanda de alimentos en el mercado.

1.5 Alcances.

Que se logre la deshidratación de una mayor cantidad de producto en un menor tiempo posible.

1.6 Limitantes.

- La deshidratación del fruto como máximo de una carga por día.
- La delimitación en dimensiones de la cámara sin poder ajustar el volumen.

1.7 Estado del arte.

El secado de frutos a través de la historia es una de las técnicas más utilizadas para la conservación de los alimentos. En la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios sino que también nutritivos. Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento.

Este es uno de los métodos más antiguos utilizado por el ser humano para preservar los alimentos. El método se basa en el hecho de que los microorganismos que contaminan los alimentos no pueden crecer en los alimentos secos. Carnes, frutas, vegetales, etc., eran colocados a la luz solar para que se les evaporara el agua que tenían y de esta manera, se lograba a que duraran mucho más tiempo que si se mantuvieran sin ese tratamiento.

El éxito de este procedimiento reside en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la actividad del agua, y fisicoquímica, aporta otras ventajas derivadas de la reducción del peso, en relación con el transporte, manipulación y almacenamiento. Para conseguir esto, la transferencia de calor debe ser tal que se alcance el calor latente de evaporación y que se logre que el agua o el vapor de agua atraviesen el alimento y lo abandone.

Su aplicación se extiende a una amplia gama de productos: pescados, carnes, frutas, verduras, té, café, azúcar, almidones, sopas, comidas precocinadas, especias, hierbas, etc.

Es muy importante elegir el método de deshidratación más adecuado para cada tipo de alimento, siendo los más frecuentes: la deshidratación al aire libre, por rocío, por aire, al vacío, por congelación y por deshidrocongelación. También es vital conocer la velocidad a la que va a tener lugar el proceso, ya que la eliminación de humedad excesivamente rápida en las capas externas puede provocar un endurecimiento de la superficie, impidiendo que se produzca la correcta deshidratación del producto.

Los primeros deshidratadores eran solares constaban de camas inclinadas expuestas al sol sin ningún tipo de cámara ya que solo se tomaba en cuenta la radiación directa del sol. Después se remodelaron y se consiguió adaptar una serie de métodos aprovechando la energía del sol en su máxima expresión, colocando cámaras recubriendo los alimentos con una salida de los vapores y material refractario de luz esto para dirigir los rayos

solares en diferentes direcciones dentro de la cámara de secado esto aumentado la radiación y al mismo tiempo la temperatura.

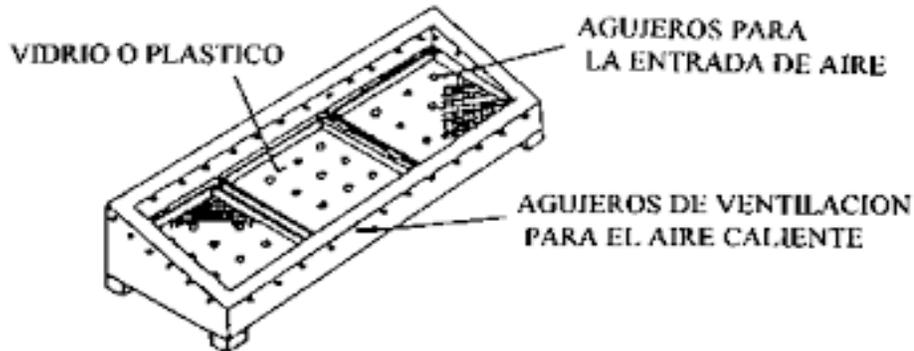
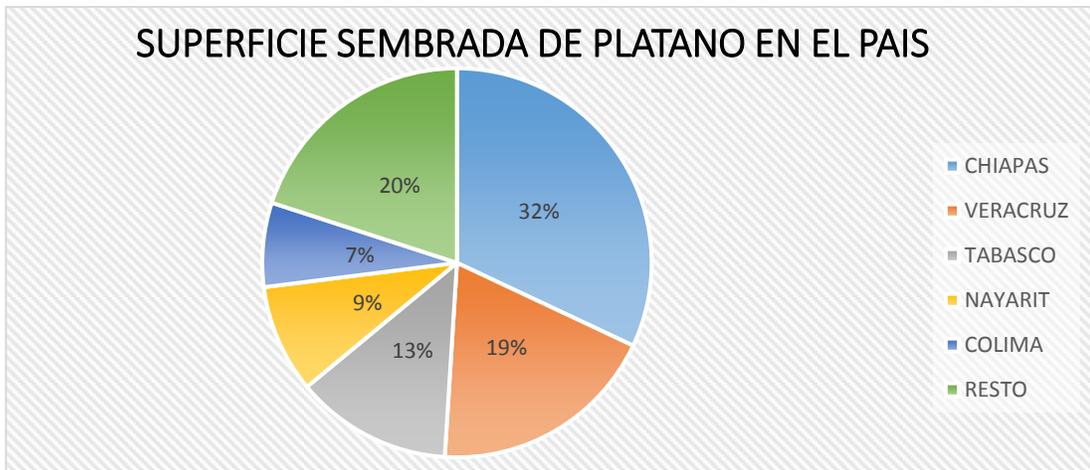


Figura 1.1. Deshidratador solar

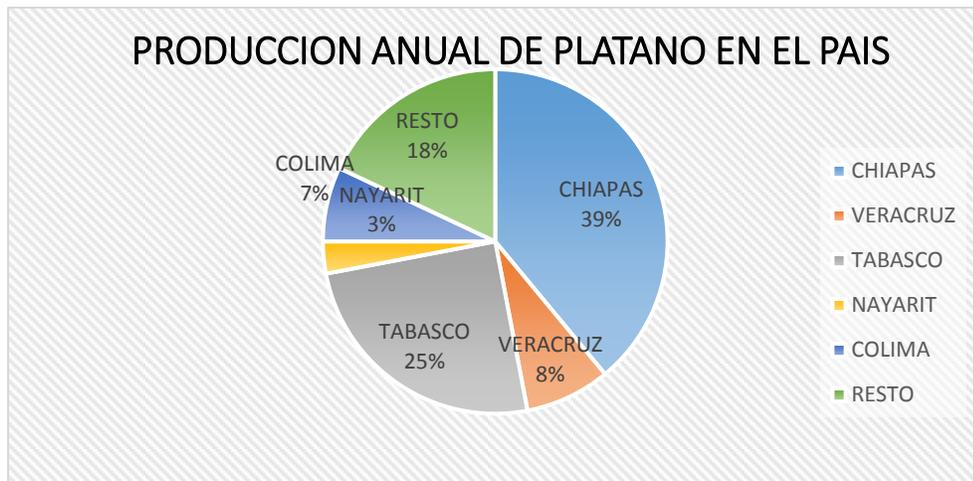
- **La deshidratación al aire libre**, es el procedimiento más económico y fácil de secado, esto consiste en exponer los géneros al medio ambiente, sol y viento se encargaran de secar el producto. Este sistema, tiene grandes ventajas con respecto al consumo de energía, ya que utiliza la energía del sol y el viento, para el proceso de secado. Solo se necesitan “camas” para apoyar los géneros, y dejar así que el aire y el sol hagan su trabajo. El costo de este procedimiento es casi nulo. Su eficiencia es relativa, y está sujeta a las variaciones climáticas, y también a los agentes externos.
- **La deshidratación por hornos solares:** es un sistema más elaborado del sistema al aire libre ya que posee las ventajas del uso del sol como energía. Los hornos solares están sujetos a las variaciones térmicas del sol, su temperatura y funcionamiento son intermitentes, y los procesos sufren variaciones importantes. El costo de instalación, montaje y funcionamiento, es muy bajo, y el rendimiento de kg de producto desecado es también muy bajo. Sirve para producciones artesanales, con cierta calidad artesanal, y el alcance de este sistema solo abastece necesidades regionales. También, en cierto modo, los agentes externos afectan, pero en menor grado, los alimentos allí depositados.
- **Los Hornos Deshidratadores Mecánicos** a combustión interna indirecta es la opción más moderna y limpia para tratar alimentos. Los alimentos deshidratados están en crecimiento en los mercados de

consumo, por esa razón hay que aplicar soluciones racionales en los procesos de transformación. Uno de los problemas por la del desarrollo de este proyecto es la necesidad de producción de harina de banano para el consumo humano a bajo costo y de buena calidad, siendo Villa Comaltitlan una comunidad pequeña y con suficiente materia prima para la creación de harina de banano y se determinó que era conveniente la creación de una planta deshidratadora en su tipo. Chiapas uno de los productores de banano con más auge en el país, en los municipios de Suchiate, Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico, Huehuetán, Huixtla, **Villacomaltitlán**, Acapetahua y Mapastepec se produce el banano de exportación de la más alta calidad del mundo, según los grados Britz en cuando a su sabor, además de la vida en anaquel; siendo nuestro municipio un buen productor de banano se optó por la creación de la deshidratadora de banano en esta comunidad debido a su fácil obtención de materia prima, Chiapas ocupa el primer lugar, con 23, 624 hectáreas plantadas de banano, esto demuestra que es óptima la creación de una planta deshidratadora de banano en esta parte del estado, por la fácil



obtención de la materia prima para la deshidratación.

Grafica 1.1. Muestra la superficie sembrada del estado de Chiapas en el país.



Grafica 1.2. Muestra la producción de banano del estado de Chiapas en el país.

2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES GENERALES DEL BANANO Y DESHIDRATADORES.

En este capítulo se verá los fundamentos principales del proyecto, así también los tipos de deshidratación, la historia de los hornos deshidratadores y el banano; la distribución, características, usos, propiedades nutritivas, consumo y la importancia de su cultivo.

2.1 Fundamentos teóricos de proyecto.

La deshidratación es un método de conservación de los alimentos que ha venido realizándose desde principios de los tiempos, es la manera más antigua de conservar alimentos sin alterar los nutrientes que estos contengan, no solo sirve para alargar la vida de ellos, sino también para facilitar el almacenaje, transporte y su manipulación.

La deshidratación consiste en la eliminación máxima de agua que contenga el producto a deshidratar, bien ya sea de una forma natural o por la acción de la mano del hombre en la que se ejecuta la transformación por desecación simple al sol o por medio de una gran corriente a gran velocidad de aire caliente.

El propósito primordial en los procesos de deshidratación de alimentos es detener la proliferación de microorganismos y la mayoría de reacciones químicas y enzimáticas que alteran su composición, ya que la actividad del agua se reduce al mínimo. En realidad no se consigue detener por completo estas acciones pero si se consigue retrasarlas por un periodo más largo de tiempo.

Físicamente en la deshidratación o eliminación de agua de un alimento húmedo, la extracción de esta es echa en forma de vapor, grosso modo el agua es vaporizada es trasportada del interior al exterior, aquí ocurre un fenómeno de transferencia de materia, pero para hacer posible esta transferencia es necesaria tener un aporte de energía para pasar el agua de líquido a vapor, esto se consigue por el fenómeno de transferencia

de calor, a partir de estos fenómenos se realiza el análisis y desarrollo de la deshidratación del alimento para perfeccionar el sistema de secado.

El método para la realización de deshidratación en este proyecto es de secado por aire caliente.

La mirada productiva en el rubro de preservación de alimentos en los últimos tiempos, está dirigida a la deshidratación o desecación. Este método puede lograrse por tres procesos:

1. La deshidratación al aire libre o en “playones” de secado.
2. La deshidratación por hornos solares.
3. La deshidratación por Hornos deshidratadores mecánicos a combustión interna.

Para entender el principio de deshidratación de un alimento, hay que comprender la naturaleza inestable del agua.

El agua está dentro de las fibras de los productos, para que esta se evapore hay que facilitar su “viaje” a la superficie del producto. El aire, que se mueve a velocidad y que mantiene una temperatura determinada, es el que acelera el proceso de pérdida de agua de un producto.

La deshidratación al aire libre: es el procedimiento más económico y fácil de secado, esto consiste en exponer los géneros al medio ambiente, sol y viento se encargaran de secar el producto. Este sistema, tiene grandes ventajas con respecto al consumo de energía, ya que utiliza la energía del sol y el viento, para el proceso de secado. Solo se necesitan “camas” para apoyar los géneros, y dejar así que el aire y el sol hagan su trabajo. El costo de este procedimiento es casi nulo. Su eficiencia es relativa, y está sujeta a las variaciones climáticas, y también a los agentes externos.

La deshidratación por hornos solares: es un sistema más elaborado del sistema al aire libre ya que posee las ventajas del uso del sol como energía. Los hornos solares están sujetos a las variaciones térmicas del sol, su temperatura y funcionamiento son intermitentes, y los procesos sufren variaciones importantes. El costo de instalación, montaje y funcionamiento, son muy bajos, y el rendimiento de Kg. de producto desecado es también

muy bajo. Sirve para producciones artesanales, con cierta calidad artesanal, y el alcance de este sistema solo abastece necesidades regionales. También, en cierto modo, los agentes externos afectan, pero en menor grado, los alimentos allí depositados.

Los Hornos Deshidratadores Mecánicos a combustión interna indirecta es la opción más moderna y limpia para tratar alimentos. Los alimentos deshidratados están en crecimiento en los mercados de consumo, por esa razón hay que aplicar soluciones racionales en los procesos de transformación.

2.2. Historia del Horno deshidratador.

El hombre desde el principio de su historia ha buscado la manera de preservar sus alimentos.

Los aceites, las salmueras, los vinagres, la salazón, la inmersión en grasa, la elaboración de cándidos, el secado, el hielo natural y otros métodos, han sido sus sistemas de preservación iniciales.

Las maquinas frigoríficas, a principio del siglo 20, suplantaron el hielo natural, y evolucionó el tratamiento de la preservación de alimentos. La refrigeración se perfecciono, y nació la congelación. Esto industrializo los alimentos, pudo pescarse en cantidades industriales en alta mar. Pudo exportarse a diferentes países, carne, pescado, pollo, frutas, y todos los alimentos imaginables.

Otro de los procedimientos ensayados para preservar alimentos, es la radiación, también llamado método de irradiación, pero este sistema muy bueno, que esteriliza y estabiliza el alimento en su envase, no tiene buena reputación entre los consumidores, por su origen en el uso de elementos radiactivos. También está la deshidratación al aire libre, y la deshidratación en hornos mecánicos a combustión interna. Sistemas en que la energía consumida es mucho más baja en relación con el costo del producto y el valor de venta, y que además, produce resultados muy buenos y aceptables entre los consumidores.

Sabemos entonces que para cumplir con el proceso de deshidratación de alimentos es necesaria la construcción de un horno que trabaje con una técnica diferente y obteniendo los mismos resultados en la deshidratación con aplicación de nuevos componentes que sustituyen modelos anteriores, llegando con mayor eficiencia a su objetivo, ahorrando tiempo y procesos en la deshidratación que ayudara a la conservación de los alimentos.

2.3 Historia del banano.

2.3.1 Origen del banano y su distribución.

El plátano se originó en Asia Meridional y se conoce en el mediterráneo desde el año 650 cuando la especie llegó a las islas canarias en el siglo XV; desde allí fue llevado a América en el año 1516. Es la fruta más consumida en el mundo. El sur del Lago de Maracaibo es una región platanera por excelencia en Venezuela, por su clima tropical, riqueza del suelo y la tradición que se mantiene por herencia familiar. Su cultivo se realiza en parcelas, conucos y haciendas. Los plátanos grandes se llaman petacones. La calidad de los plátanos del Sur del permite distinguirlos de otros plátanos, por su tamaño, su consistencia más succulenta y carnosa, con sabor más dulce.

El plátano es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del suroeste asiático. Los consumidores del hemisferio norte lo aprecian como postre, sin embargo en muchos países tropicales y subtropicales constituye una parte esencial de la dieta diaria de sus habitantes.

El plátano o banano es un fruto que estado inmaduro presenta hasta un 70% de almidón en base seca, además de que contiene fibra dietética en un 14.5%.

2.3.2 Características y usos.

Los plátanos o bananos tienen forma oblonga, alargada y algo curvada. Existen distintas variedades que van desde las más grandes como

el plátano macho, que llega a pesar unos 200 gramos o más cada unidad, hasta los más pequeños como el bananito, cuyo peso oscila entre los 100 y 120 gramos. El color de la piel de los frutos puede ser amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo. El plátano macho tiene una piel gruesa y verdosa y su pulpa es blanca; en el bananito, la pulpa es de color marfil y la piel fina y amarilla. El plátano y el bananito destacan porque su sabor es dulce, intenso y perfumado. En el plátano macho, la pulpa tiene una consistencia harinosa y su sabor, a diferencia del resto de plátanos de consumo en crudo, no es dulce ya que apenas contiene hidratos de carbono sencillos. Los plátanos se pueden cosechar todo el año y son más o menos abundantes según la estación. Se cortan cuando han alcanzado su completo desarrollo y cuando empiezan a amarillear. Con frecuencia, y especialmente en invierno, se anticipa la recolección y se dejan madurar los frutos suspendiéndolos en un local cerrado, seco y cálido conservado en la oscuridad. El envasado se realiza en cajas de cartón con un peso aproximado de 12 a 15 kilogramos. El transporte de la fruta se realiza en vehículos refrigerados con una temperatura aproximada de 14°C.

2.3.3. Descripción botánica.

Es una planta herbácea, que pertenece al grupo de las musáceas. Las raíces son gruesas, carnosas y se ramifican en pelos absorbentes, que son los responsables de la absorción del agua y los nutrientes. Normalmente, las raíces están situadas en los primeros 30 cm de profundidad. El verdadero tallo de la platanera es un órgano subterráneo que se le conoce como cabeza, cepa o cormo. De este órgano cilíndrico nacen las raíces, las hojas, los hijos y la inflorescencia. De la cabeza nacen los hijos, que crecen casi perpendiculares a la superficie de ésta y luego su extremo tiende a enderezarse para salir a la superficie del suelo de forma casi perpendicular. Las hojas están dispuestas de forma helicoidal. El conjunto de vainas constituyen el pseudotallo o tronco. Las hojas nuevas cuando aparecen, se encuentran enrolladas y se le conoce como “cigarro”. Las hojas suelen

romperse de forma transversal con mucha facilidad, debido principalmente al viento, quedando en ocasiones totalmente desflecadas. El eje floral o raquis asciende por el interior del pseudotallo en posición vertical y terminando en un racimo que emerge por la parte superior, lo que se conoce como parición.

Las brácteas que cubren las flores de dominancia hembra se van replegando y caen. Mientras, que las brácteas que cubren las manos masculinas se mantienen unidas al eje del racimo, formando lo que se conoce como bellota. Las flores son hermafroditas, aunque las primeras manos que se ven, tienen dominancia hembra y son los que darán lugar a los plátanos. Los plátanos se desarrollan partenocápicamente, sin necesidad de polinización. El fruto es una baya alargada y algo encorvada.

2.3.4 Propiedades nutritivas.

Destaca su contenido de hidratos de carbono, por lo que su valor calórico es elevado. Los nutrientes más representativos del plátano son el potasio, el magnesio, el ácido fólico y sustancias de acción astringente; sin pasar por alto su elevado aporte de fibra, del tipo fruto-oligosacáridos. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un efecto laxante. El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis del material genético y la formación anticuerpos del sistema inmunológico.

También contribuye a tratar o prevenir anemias y de espina bífida en el embarazo. La composición por cada 100 gramos de porción comestible es la siguiente:

- Calorías 85.2
- Hidratos de carbono 20.8 g
- Fibra 2.5 g
- Magnesio 36.4 mg

- Potasio 350 mg
- Provitamina A 18 microgramos (mcg)
- Vitamina C 11.5 mg
- Ácido fólico 20 mcg

2.3.5. Consumo en fresco e industrializaciones.

Para su consumo en fresco los plátanos deben estar intactos, sin golpes ni magulladuras, el color de la piel es indicativo del grado de madurez.

La fruta no requiere condiciones especiales de conservación, basta mantenerlos en un lugar fresco, seco y protegido de la luz directa del sol. Si se conservan en refrigeración, la cáscara se torna oscura por lo que se altera su aspecto externo, pero esto no afecta su calidad nutritiva. El oscurecimiento de la piel puede evitarse si se envuelven en papel. Los plátanos también se pueden congelar, de forma que se conservan durante unos 2 meses. En el caso de la industrialización del plátano, existen diversas técnicas para su procesamiento en verde, con la finalidad de obtener productos como:

- Harina de plátano (mezclas para concentrado animal).
- Harinas para consumo humano.
- Hojuelas de plátano: secas o fritas.
- Tostones.

En México, de acuerdo a datos del estudio Medición de Pobreza 2010, realizado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), se estima que el consumo diario de plátano tabasco por habitante en la zona urbana es de 34.7 gramos, mientras que en la zona rural es de 32.5 gramos.

2.3.6. Cultivo en México.

El cultivo del plátano ocupa una superficie de 79,375 hectáreas a nivel nacional, distribuidas en las regiones tropicales, principalmente en áreas de las costas del Golfo de México y del Océano Pacífico, los cinco principales

estados productores son Chiapas, Veracruz, Tabasco, Nayarit y Colima, en los cuales se siembra el 80% de la superficie nacional (Figura 1). De estos estados, Chiapas ocupa el primer lugar, con 23, 624 hectáreas plantadas, lo cual equivale al 32% de la superficie sembrada a nivel nacional.

2.3.7. Importancia de cultivo en Chiapas.

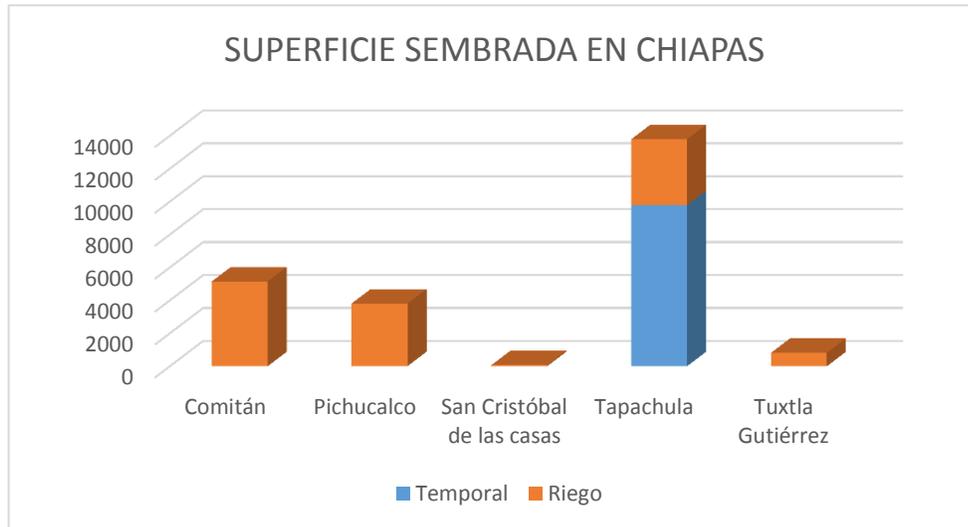
En Chiapas, se tiene una superficie sembrada en promedio anual de 23,624 hectáreas, con una producción de 658,662 toneladas. El Cuadro 1 muestra los datos de producción de banano en el estado por Distrito de Desarrollo Rural (DDR). Se puede ver que se cultiva principalmente en los DDR de Tapachula, Comitán y Pichucalco. Es importante señalar que el mejor rendimiento se obtiene en el DDR de Tapachula, donde se cosechan 39.8 toneladas anuales por hectárea, mientras que el menor rendimiento se obtiene en el DDR de Tuxtla Gutiérrez, donde solo se cosechan 7.6 toneladas anuales por hectáreas (SIAP, 2010).

Tabla 2.1. Producción de banano en Chiapas superficie, producción y rendimiento.

| DDR | Sup. Sembrada (ha) | Producción (ton) | Rendimiento (ton/ha) |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Comitán | 5,152.00 | 82,973.11 | 18.3 |
| Pichucalco | 3,809.67 | 86,198.86 | 22.4 |
| San Cristóbal de las casas | 63.00 | 634.56 | 12.4 |
| Tapachula | 13,786.49 | 483,406.72 | 39.8 |
| Tuxtla Gutiérrez | 813.22 | 5448.94 | 7.6 |
| Total estatal. | 23,624.38 | 658,662.19 | 20.1 |

En la gráfica mostramos la superficie que es sembrada por DDR según las condiciones del clima húmedo o también podemos decir que la humedad es un factor fundamental para la producción de la materia prima;

solamente en el DDR Tapachula se reporta superficie sembrada bajo condiciones de riego, en el resto del estado la superficie sembrada se realiza bajo condiciones de temporal. El disponer de condiciones de riego permite que en el DDR de Tapachula se tenga los rendimientos más altos en el estado.



Grafica 2.1. Superficie sembrada con banano en Chiapas, esto según su régimen de humedad (SIAP 2010).

En la gráfica anteriormente descrita se observa que la zona costa de Chiapas es uno de los principales productores de banano, en el cual el municipio de Villa Comaltitlan tiene una producción similar a la de Tapachula en condiciones climáticas normales, así mismo se determina como un lugar apropiado para la obtención y producción de la materia prima.

3. METODOLOGÍA.

En este capítulo se presentan los principios básicos de la deshidratación, métodos y los tipos de deshidratadores. Se demuestra el mecanismo de deshidratación, la elección del secador a diseñar y los parámetros para la formación del diseño.

3.1. Métodos de deshidratación.

El secado de alimentos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. En el siglo XVIII comienza el secado acelerado por el humo de combustión del carbón, pero este sistema implica una alteración del sabor. En el siglo XIX las ciencias intervienen en la deshidratación, pero es en el siglo XX cuando las técnicas industriales aportan el extraordinario resurgimiento de este sistema de conservación, que todavía continúa dando lugar al nacimiento de productos nuevos: en polvo, en copos, de utilización instantánea.

La industria agroalimentaria utiliza la deshidratación como método de conservación de un gran número de productos, sin entrar en una relación exhaustiva debido a la evolución rápida y permanente de las posibles aplicaciones.

Con la deshidratación de un producto se consigue un incremento de las posibilidades de conservación y una gran reducción de peso hasta su quinta parte cuando se trata de raíces o tubérculos y hasta quince veces menor en vegetales de hoja. Estos son los dos factores que aconsejan la utilización de este proceso, puesto que además de conseguir la conservación del alimento asegura una reducción substancial de los costos de almacenamiento y/o transporte. No obstante, el secado es una operación que afecta profundamente a las características del alimento tratado. El valor nutritivo de la mayoría de los alimentos deshidratados no se ve afectado de forma importante por el proceso, pero la mayor parte de ellos, una vez rehidratados, no presentan las características del producto fresco, ni en

sabor ni en textura, y normalmente requieren también mayor tiempo para cocer.

Existen muchas clasificaciones de los métodos y equipos de deshidratación de alimentos, ya que pueden clasificarse de acuerdo con los diferentes criterios, entre los que pueden mencionarse:

- Deshidratación por radiación.
- Deshidratación por convección (por aire)
- Deshidratación por conducción.

3.1.1. Deshidratador por radiación.

En estos sistemas, el calentamiento del producto se efectúa mediante energía radiante (infrarroja, dieléctrica o microondas). Al igual que en la deshidratación por conducción, el aire circundante arrastra el vapor del producto.

3.1.2. Deshidratador por convección.

En la literatura de la transferencia de calor generalmente se reconocen tres distintos modos de transferencia de calor: conducción, radiación y convección, siendo la convección en los intercambiadores de calor la principal forma en la que se lleva el intercambio de energía por lo que es la que se menciona a continuación.

La transferencia de calor por convección es complicada por el hecho de que comprende el movimiento del fluido así como conducción del calor. El movimiento del fluido mejora la transferencia de calor, ya que pone en contacto porciones más calientes y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios. Por lo tanto, la velocidad de la transferencia de calor a través de un fluido es mucho más alta por convección que por conducción. De hecho entre más alta es la velocidad del fluido, mayor es la velocidad de la transferencia de calor.

En este proceso, el calor requerido para evaporar el agua del producto es suministrado por aire caliente en contacto directo con el material que se va a

deshidratar, efectuándose una transferencia de calor por convección. Cuando la deshidratación por aire se efectúa a presión atmosférica, el mismo aire caliente es el que arrastra la humedad del producto. En este caso, inicialmente el producto en contacto con el aire caliente incrementara su temperatura superficial, pero en el momento en el que la humedad del producto empieza a ser evaporada, su superficie sufre un enfriamiento hasta la temperatura de saturación adiabática del aire y esta temperatura se mantiene constante hasta que se ha eliminado el agua libre del producto. Por esta razón, a los procesos de deshidratación con aire a presión atmosférica se les denomina procesos adiabáticos.

3.1.3. Deshidratador por conducción.

Como su nombre lo indica, el calentamiento del producto se lleva a cabo por conducción a través del contacto del producto con una superficie caliente. En este caso, la temperatura de la superficie caliente. En este caso, la temperatura de la superficie del producto expuesta a la fuente de calentamiento, se incrementa constantemente durante la deshidratación, aproximándose a la temperatura de calentamiento. Normalmente, el agua es removida por aire circundante al producto.

3.2. Tipos de hornos.

Los equipos industriales de deshidratación por lo general poseen dimensiones muy grandes y un alto consumo energético, que pueden resultar por velocidades limitadas de transferencia de calor y de masa o una capacidad de remoción de agua restringida por el aire utilizado para la deshidratación. Por tales razones, los principales aspectos que hay que tomar en consideración para el diseño de equipo son los balances de masa y energía, y la creación de suficiente área de contacto entre el producto y el medio de calentamiento con objeto de que el tamaño del equipo se mantenga dentro de límites razonables.

Entre los equipos más utilizados para la deshidratación por aire en cama o banda de alimentos sólidos se encuentran los que a continuación se comentan.

3.2.1. Horno de túnel.

Estos deshidratadores consisten en túneles relativamente largos a través de los cuales mueven carretillas en serie que contienen charolas, y en ellas se coloca el sólido por deshidratar, los cuales se ponen en una corriente de aire caliente. Una carretilla con sólido fresco se introduce periódicamente por unos de los lados del túnel, la cual desplaza a la carretilla con el producto deshidratado. El tiempo de estancia de las carretillas en el túnel debe de ser lo suficientemente grande para lograr que el producto de salida posea la humedad final requerida.

El flujo de aire caliente puede ser paralelo, ya sea concurrente o a contra corriente, o bien transversal.

Este tipo de secador es típico de la industria alimenticia ya que el área superficial no es tan importante debido al tiempo que pasan las carretillas dentro del secador es por ello que estos secadores son utilizados para materiales de gran tamaño.

En el siguiente diagrama muestra el esquema de funcionamiento de un deshidratador de túnel con flujo paralelo a contracorriente.

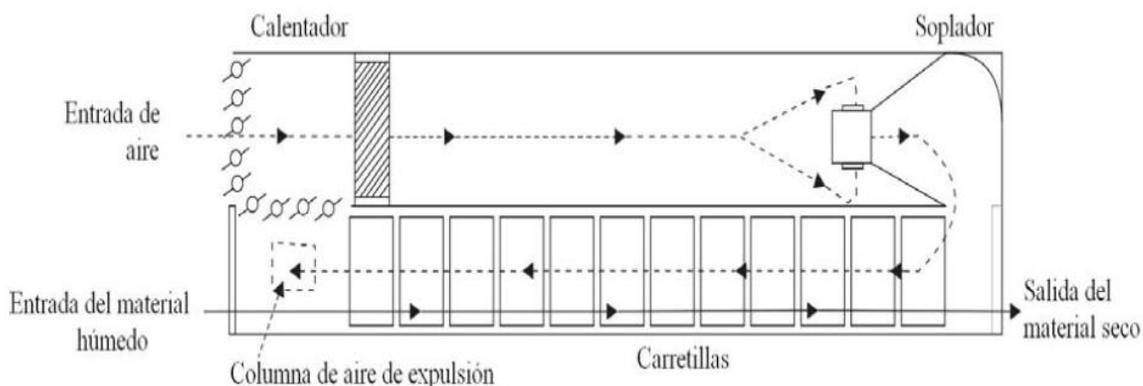


Figura 3.1. De horno deshidratador de túnel paralelo al producto a contracorriente.

3.2.2. Horno deshidratador de bandejas o gabinetes.

El secador de bandejas, o secador de anaqueles, consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por vapor, pero no saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente. En este tipo de secadores, el aire caliente circula sobre el material húmedo hasta que este alcance el contenido final de la humedad requerido para poder ser almacenado, por lo general el sólido es soportado en bandejas metálicas, estos recintos son bien aislados con serpentines de caldeo y con mutiladores que darán el movimiento al aire caliente, generalmente las velocidades del aire varían.

Las bandejas pueden ser montadas en carretillas o sobre bastidores, dependiendo esto de la intensidad de secado que se requiere.

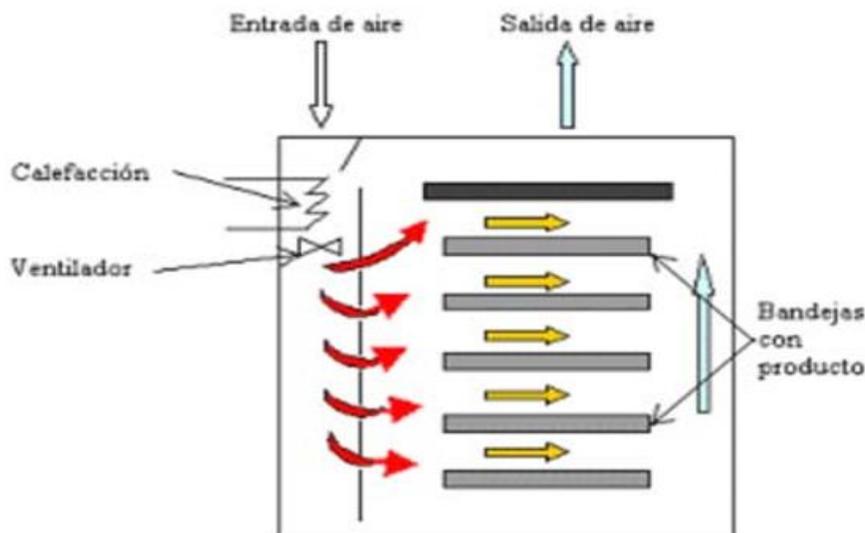


Figura 3.2. Secador de bandejas.

La duración del ciclo de secamiento puede variar entre 6 y 48 horas. Es necesario notar una situación interesante de optimización de secadores. En este caso, cuando se calienta el aire con vapor, se deben de tomar en cuenta varios aspectos, si se sitúa en la carta psicométrica el aire a utilizar, debe poseer una temperatura de bulbo húmedo alta, una entalpia alta, pero una humedad relativa baja. Puesto, que la operación de secado, como

cualquier operación de transferencia, depende del tipo de contacto interfacial (el cual no varía notablemente en este tipo de secador debido a la variación de la velocidad del aire), el área de contacto interfacial (que para el caso se requieren que sean sólidos, en terrones, granos o rebanadas, para aumentar esta relación) el gradiente de temperatura, humedad y resistencia.

En general, en este tipo de secadores, las variables que pueden fijarse o variarse son los gradientes, he allí la importancia que el aire no entre frío ni húmedo, puesto que esto minimiza el gradiente y elimina la eficiencia del secador. Esto último es cierto para todos los tipos de secadores, no obstante, es más marcado en este tipo de secador, puesto que en los siguientes, las otras variables no son tan rigurosamente fijas.

3.2.3. Horno deshidratador vertical.

En la siguiente figura se observa el tubo vertical secador, el cual se utiliza para secar materiales de grano fino de una forma rápida y cuidadosa. Por lo general, se recurre a un ciclón para separar el material seco.



Figura 3.3 Horno deshidratador vertical.

En caso necesario, el tubo secador puede combinarse con un molino de martillos, que se encargará de aportar la granulometría deseada del producto. El material es alimentado al tubo vertical secador y transportado desde abajo hacia arriba con los gases calientes de secado (que pueden proceder de una cámara de combustión o ser gases de escape de un proceso termo técnico).

El especial diseño del tubo vertical secador asegura una perfecta dispersión del material en el gas caliente. El producto seco es separado finalmente en un ciclón.

Gracias a su excelente dispersión en el gas caliente y a las buenas condiciones del flujo, el material es secado rápidamente, de forma que un tiempo de permanencia de sólo unos pocos segundos es muchas veces suficiente para secar incluso materiales muy húmedos. Ello es de especial importancia a la hora de tratar materiales muy sensibles a temperaturas.

Cualquier aglomerado se desintegra por choque térmico según pasa por la entrada, cuando el agua superficial se evapora espontánea y violentamente.

A diferencia del tambor secador, el tubo vertical necesita sólo de un reducido espacio para su instalación. El dispositivo contiene pocas partes rotantes, por lo que precisa de poco mantenimiento. Por el corto tiempo de permanencia del material en el tubo, el sistema es muy flexible, ya que puede reaccionar rápida y fácilmente ante variaciones en las propiedades del material alimentado, como p.ej. ante diferentes humedades de alimentación.

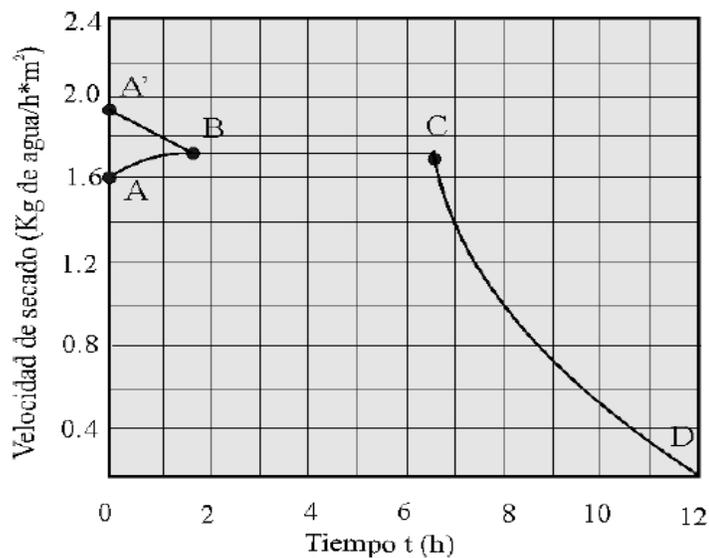
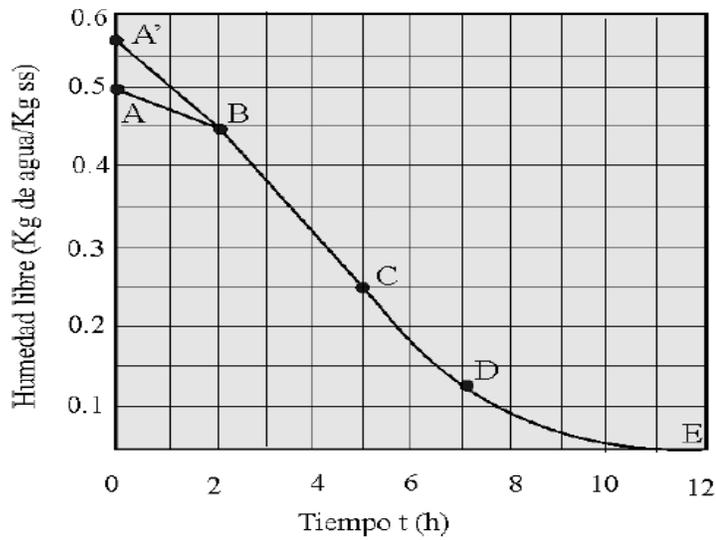
El tubo vertical secador puede ser utilizado así perfectamente como parte de una instalación mayor, capaz de neutralizar cualquier variación en las propiedades de la materia prima.

3.2.4. Mecanismo de deshidratación.

Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta al producto tanto el calor sensible como el calor latente de evaporación, y también actúa como acarreador de la humedad que se está evaporando del sólido.

Cuando se coloca un producto sólido húmedo con una corriente de aire caliente y se mantienen constantes la temperatura, humedad, velocidad, y dirección de flujo sobre el sólido de dicha corriente de aire, se lograra deshidratar el sólido.

Si el cambio en el contenido de humedad del producto (expresado en base seca: kg agua/kg de solido seco) se ve registrado a intervalos pequeños de tiempo durante todo el proceso de deshidratación, pueden obtenerse, según el dato graficado, las curvas que se muestran en la siguiente figura.



W_o = Humedad inicial del producto
 W_c = Humedad crítica del producto
 W_f = Humedad final del producto
 W_e = Humedad de equilibrio del producto

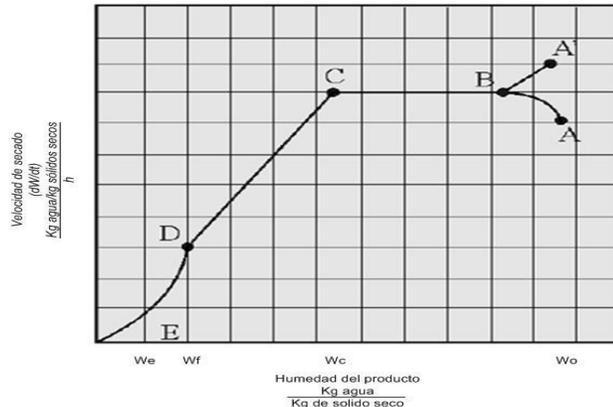


Figura 3.4. Curvas distintivas de deshidratación de alimentos.

En dichas curvas se pueden distinguir varias etapas del proceso de deshidratación:

- **ETAPA A-B.** Periodo de estabilización de las condiciones, es decir, la superficie del sólido se equilibra con el aire de secado y alcanza su temperatura de evaporación. Normalmente esta etapa puede despreciarse en el proceso total, aunque en algunos casos puede ser importante.

- **ETAPA B-C.** También llamada etapa de velocidad constante. En esta etapa lo que se evapora es el agua libre, que se elimina fácilmente, en tanto que la superficie del producto se mantiene saturada de agua, debido a que el movimiento de agua desde el interior del producto hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de evaporación en la superficie. La deshidratación tiene lugar por el movimiento del vapor de agua, desde la superficie saturada del producto así la corriente del aire de secado.

Durante esta etapa la velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor de forma que la temperatura en la superficie del producto se mantiene constante y corresponde a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado.

- **ETAPAS C-D Y D-E.** Debido a que muchas veces no se distinguen entre sí, se les considera como una sola etapa, llamada etapa de velocidad decreciente. Conforme avanza la deshidratación alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal, que la superficie del producto

empieza a resecarse. Como lo que se elimina en esta etapa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo del movimiento de la humedad dentro del sólido (capilaridad o difusión).

En la etapa de velocidad decreciente, la velocidad de transferencia de calor es mayor que la de masa, por lo que la temperatura en la superficie del producto se incrementa paulatinamente hasta acercarse a la temperatura de bulbo seco del aire de secado.

Humedad inicial del producto (W_0)

La humedad inicial es la cantidad de agua que contiene el producto a deshidratar en el inicio del proceso de deshidratación o podría decirse que es la cantidad de agua que se desea extraer del proceso de la deshidratación o eliminación de agua.

Humedad final del producto (W_f)

Al final del proceso de deshidratación y se obtiene el producto deshidratado tenemos que tomar en cuenta la cantidad de humedad final en el producto ya que en base a esto obtendríamos el porcentaje de humedad restante que no pudo ser extraída del fruto.

Humedad crítica del producto (W_c)

Corresponde al contenido de humedad del producto cuando se ha eliminado prácticamente toda su agua libre y solo le resta agua débilmente ligada y agua ligada. Es importante, en virtud de que establece el final de la etapa de velocidad constante y el inicio de la etapa de velocidad decreciente. La humedad crítica de los alimentos normalmente se encuentra entre 15% y 45% pero depende mucho de factores como:

- Composición química (presencia de componentes hidrofílicos, como polisacáridos, proteínas, etc.).
- Integridad de los tejidos
- Para frutas y verduras: variedad y estado de madurez.

Para carne y pollo: raza, edad, alimentación, lugar de crianza.

3.3. Matriz de decisión.

Para una toma de decisión se deben de tomar en cuenta tres de los factores más importantes en el diseño; esto se hace para tener más opciones de mantenimiento, de construcción y de producción.

Debemos de tomar en cuenta que la toma de decisión es uno de los puntos más importantes ya que a partir de esto es cuando se ha tomado en cuenta todas las ventajas y desventajas que esto nos provee.

- El primer punto a tomar es lo técnico, ya que en este se debe de reconocer si el equipo a seleccionar cumplirá con todas las características técnicas requeridas, esto quiere decir que si en realidad cumplirá su trabajo o bien si el equipo cumplirá con la función por la que ha sido seleccionado; al mismo tiempo necesitaremos que cumpla con la demanda de producción, y esta es la parte más importante ya que sin esto no se podrá cubrir todo lo que la empresa necesita para que sea rentable.
- El siguiente punto y también uno de los más importantes es el económico, ya que en este criterio es donde recae la mayor parte del peso sobre el equipo a utilizar, dado que si los recursos económicos no son los suficientes aunque este sea el mejor equipo disponible no habrá la posibilidad de su adquisición y mantenimiento.
- El último punto que tomaremos en cuenta en la decisión es la operación, estos nos lleva a que el equipo a trabajar sea uno de fácil manejo ya que sería incompetente que un equipo funcione con demasiado personal y su producción sea demasiado pequeña.

3.4. Parámetros de diseño.

3.4.1. Humedad en el producto.

El contenido de humedad de un alimento es la cantidad de agua total que contiene y que puede expresarse de tres diferentes formas:

- **Porcentaje de humedad.** Es la forma más común de expresar el contenido de humedad de un alimento y puede calcularse con la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (Kg)}}{\text{Masa total de producto humedo (Kg)}} * 100$$

- **Contenido de humedad en base húmeda (W_{bh}).** Que puede determinarse mediante la expresión:

$$W_{bh} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg agua)}}{\text{Masa total del producto humedo (kg producto humedo)}}$$

- **Contenido de humedad en base seca (W).** Esta forma de expresar el contenido de humedad de un alimento es la que se utiliza en la construcción de las curvas de secado, así como en los cálculos del tiempo y velocidad de deshidratación y puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$W = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg agua)}}{\text{Masa de sólidos seco del producto (kg sólidos secos)}}$$

3.4.2 Factores que influyen en la velocidad de deshidratación de un producto.

Existen diversos factores que influyen en la velocidad de deshidratación un alimento. Estos factores pueden dividirse en:

Condiciones de proceso. Entre estas condiciones se encuentra la temperatura, velocidad de aire y humedad relativa del aire utilizado para la deshidratación, así como la presión existente en el sistema.

Temperatura del aire de entrada. La velocidad de deshidratación de un alimento varia en relación directa con la temperatura del aire utilizado para la deshidratación; es decir, con el aire que entra en al deshidratador. Cuando se emplea aire a altas temperaturas se incrementa la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Por otra parte, la humedad relativa del aire decrece conforme aumenta la temperatura del mismo, lo cual aumenta el gradiente entre el aire la superficie del producto, y acelera la remoción del agua del producto. Así mismo, la difusión interna del agua del producto se incrementa a altas temperaturas debido a que las moléculas de agua migran con mayor rapidez conforme aumenta la temperatura, por lo que la velocidad de deshidratación tanto en el periodo de velocidad constante como en el de velocidad

decreciente, se ve favorecida por las altas temperaturas de proceso. Sin embargo, temperaturas extremadamente altas promueven el desarrollo de reacciones físicas y químicas indeseables, que se reflejan en el deterioro de la calidad del producto. Una temperatura idónea para el deshidratado de banano está entre los 75 y 85 grados centígrados.

Temperatura de aire de salida: Conforme ocurre la deshidratación de un producto, el aire del interior del deshidratador va cediendo calor sensible al producto y adquiriendo su humedad. En consecuencia, a la salida del deshidratador de aire se encontrara a menor temperatura y mayor humedad relativa que el aire de entrada. La mayor eficiencia en el deshidratador se obtiene con la mayor temperatura del aire de entrada y la menor temperatura del aire de salida. El mínimo de temperatura del aire de salida se fija de acuerdo con su humedad y las especificaciones de humedad final que el producto debe tener a la salida del deshidratador.

Velocidad del aire: La velocidad del aire utilizado para la deshidratación fluye sobre el producto afecta la velocidad de evaporación del agua de la superficie del producto. Un incremento en la velocidad del aire, y su consecuente aumento en su turbulencia de la corriente, aumenta la velocidad de la transferencia de masa por convección y, por consiguiente aumenta la velocidad de deshidratación. Sin embargo velocidades excesivamente altas del aire provocan arrastre de producto, dificultando el control de las condiciones de proceso e incrementan los costos de operación debido al mayor gasto energético requerido para calentar y hacer circular una mayor masa de aire.

Humedad relativa del aire: El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para la transferencia externa de masa, en este caso la remoción del agua del producto. Cuanto menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente y, por ende, mayor velocidad de deshidratación. En el periodo de velocidad constante, la transferencia interna de agua en el producto es buena y la velocidad de deshidratación se controla casi exclusivamente por

la resistencia superficial a la evaporación, lo cual se reduce cuando se emplea un aire con baja humedad relativa. Así mismo a una temperatura dada de aire, una reducción en su humedad relativa trae como consecuencia una reducción en el valor de la temperatura de bulbo húmedo del mismo y, por consiguiente, la temperatura de la superficie del producto se mantendrá más baja, disminuyendo con esto la susceptibilidad del producto a sufrir reacciones adversas debidas a las altas temperaturas. En el periodo de velocidad decreciente, el factor limitante para la remoción de humedad suele ser la transferencia interna de masa, por lo que la reducción en la humedad relativa del aire tiene poco efecto.

La humedad relativa del aire al final del proceso de deshidratación también determina la humedad de equilibrio del producto. Una vez que el aire y el alimento alcanzan una humedad en equilibrio, el producto no puede deshidratarse más, por lo que la humedad del aire de salida influye mucho en la calidad del producto deshidratado.

Presión del sistema: La presión del sistema a la que se realiza el proceso determina las reacciones de equilibrio del agua, por lo que influye en la velocidad de deshidratación. Cuando la deshidratación se efectúa bajo vacío, se reduce la presión de vapor de aire y la remoción de agua del producto, en el periodo de velocidad constante, se realiza con mayor rapidez. Sin embargo, en el periodo de velocidad decreciente, donde la deshidratación está limitada por la transferencia de masa interna en el producto, el vacío ejerce poca influencia.

Características del producto por deshidratar: Entre las características del producto, que posee mayor influencia en la velocidad de deshidratación por aire, se encuentra su composición química y estructural celular, así como la forma y tamaño del mismo.

Carta psicométrica.

Bajo condiciones normales de temperatura y presión, la mezcla vapor de agua-aire seco se comportan de acuerdo con la ley de los gases ideales.

Debido a ello, la humedad relativa (HR), la presión de saturación del vapor y la presión total para la elaboración de una carta o diagrama psicrométrico.

La carta psicrométrica fue elaborada en principio por Grosvenor (1908) y Carrier (1911) y luego modificada ligeramente por Molier (1923) y consiste en un conjunto de graficas donde puede leerse en el eje vertical la humedad absoluta y en el eje horizontal la temperatura de bulbo seco. La línea curvada superior corresponde al punto de saturación y las curvas paralelas a ella representan la humedad relativa. Las líneas diagonales corresponden a la temperatura de bulbo húmedo.

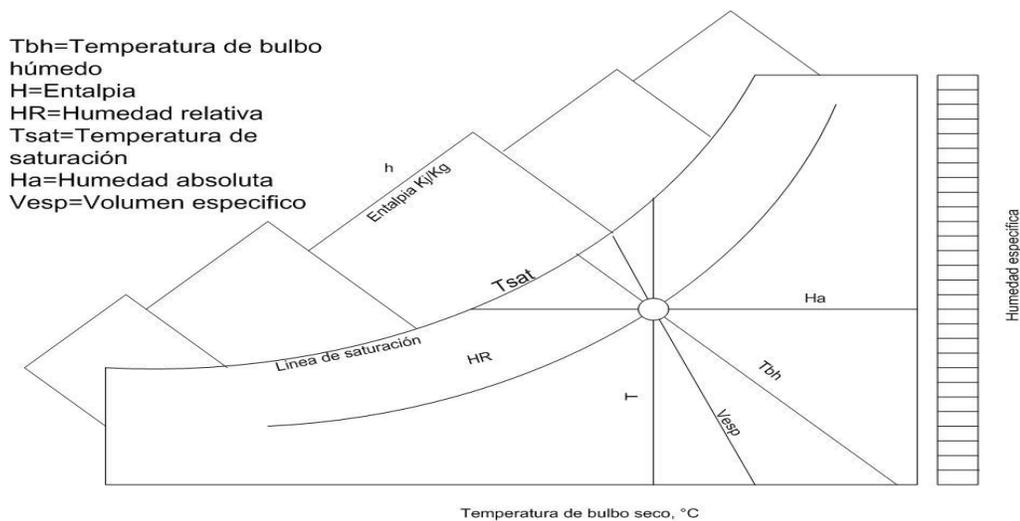


Figura 3.5. Diagrama esquemático de carta psicrométrica.

Otros datos que pueden obtenerse de la carta psicrométrica son el contenido de calor o entalpia en el punto de saturación y el volumen específico de la mezcla de vapor de agua-aire, por kilogramo de aire seco.

El estudio de las reacciones termodinámicas entre el vapor de agua y el aire se conoce como psicrometría. Estas reacciones son de suma importancia en la deshidratación de alimentos debido que, por lo general, están involucradas en la extracción de la humedad del producto.

Humedad (H). Es el contenido de agua de un aire. La capacidad de una corriente de aire para extraer humedad depende de su humedad y

temperatura. La humedad de un aire puede expresarse de diversas maneras, como son:

Humedad absoluta (H_A). Es la masa de vapor de agua contenida en una masa de aire y se expresa como $\frac{\text{kg de vapor de agua}}{\text{kg de aire seco}}$. Cuando la humedad del aire es la máxima que puede tener a una presión y temperatura dada, se dice que está saturado.

Humedad relativa (HR). Es la relación entre la humedad de una muestra dada de aire y la humedad del aire saturado en las mismas condiciones de presión y temperatura y se expresa en porcentaje.

Temperatura de bulbo seco (T). Es la temperatura de un aire tal como se registra en un termómetro.

Temperatura de saturación adiabática (T_{sat}). Esta temperatura es la que se obtiene cuando la humedad relativa alcanza el 100%, esto quiere decir que ya no puede absorber más agua de lo que tiene a la temperatura dada.

Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}). Cuando una corriente de aire no saturado (con cierta T y H_A) se pone en contacto, bajo condiciones adiabáticas, con una superficie húmeda, parte del agua de esta última se evapora hacia el aire (hasta llegar finalmente a la saturación del mismo). La evaporación del agua de la superficie húmeda trae como consecuencia una disminución de su temperatura, ya que se consume calor latente de evaporación.

Volumen específico (V_{esp}). El volumen específico de un determinado aire es definido como el volumen de una unidad de masa de aire seco y su vapor acompañante en la mezcla a una temperatura y presión dadas.

3.4.3 Temperatura de deshidratación en la superficie del producto.

Un aspecto relevante que permite la deshidratación de alimentos delicados con aire a alta temperatura durante tiempos considerablemente prolongados sin que se queme el alimento, es el hecho de que mientras se elimina el agua libre, la superficie del producto se mantiene húmeda, lo cual ocurre en la etapa de velocidad constante, la temperatura en la superficie del

producto no corresponde a la temperatura del aire, si no a la temperatura de bulbo húmedo del mismo, la cual, dependiendo de la humedad relativa del aire, es considerablemente menor que la anterior.

Por lo contrario, en la etapa de velocidad decreciente, cuando el agua que se está eliminando es el agua débilmente ligada, la superficie del producto no se encuentra totalmente humedad debido a la dificultad que tiene el agua para atrasar la masa del producto y salir a la superficie. Esto trae como consecuencia que la temperatura de la superficie se incremente de modo paulatino hasta acercarse a la temperatura de bulbo seco del aire de secado.

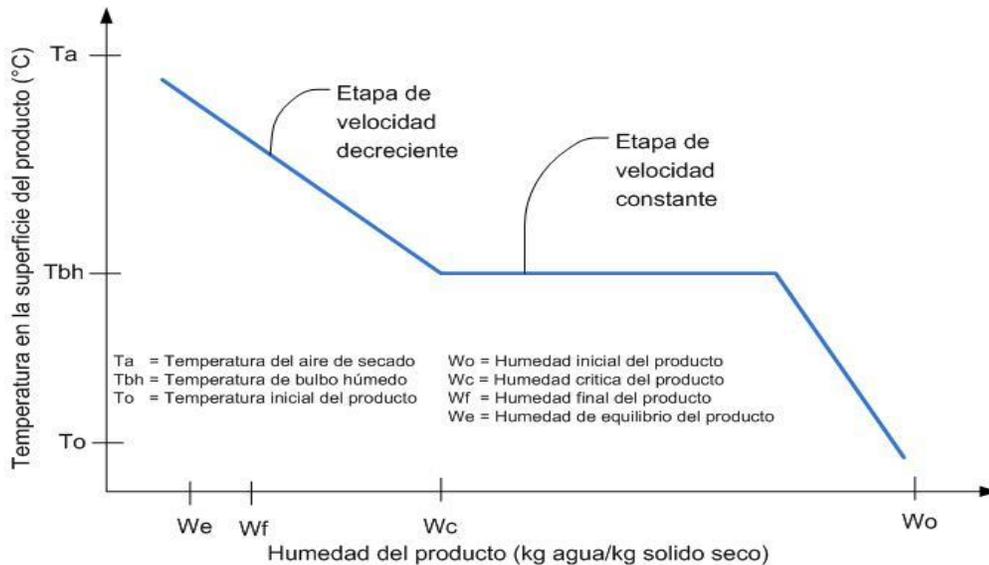


Figura 3.6. Temperatura en la superficie del producto durante la deshidratación.

3.4.4. Estimación del tiempo de deshidratación de un producto.

Para estimar el tiempo de deshidratación por aire de un producto mediante in deshidratador de cama o banda, deben calcularse por separado las etapas de velocidad constante y decreciente, y luego sumarlas para obtener el tiempo total de deshidratación.

Etapa de velocidad constante (por unidad de masa de sólido seco):

La fuerza motriz que determina el movimiento del vapor durante esta etapa es el gradiente entre la presión del vapor de agua de la superficie del

producto y la del aire empleado para la deshidratación, que expresado en términos de humedades, equivale al gradiente entre la humedad en la superficie del producto y la humedad del aire.

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_c = -k_m A(H_s - H_a) \text{ --- (3.1)}$$

Donde:

$\left(\frac{dW}{dt}\right)_c$: *Velocidad de deshidratación, etapa de velocidad constante (kg/h).*

k_m : *Coficiente de transferencia de masa (kg/m²h)*

A : *Area de la superficie de deshidratación. (m²)*

H_s : *Humedad de la superficie del producto (kg de agua / kg de aire seco)*

H_a : *Humedad del aire de secado (kg de agua / kg de aire seco)*

A su vez, la velocidad de transferencia de calor a la superficie de desecación puede expresarse como:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_c = -h_c A(T_a - T_s) \text{ --- (3.2)}$$

Donde:

$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_c$: *Velocidad de transferencia de calor en etapa de velocidad cte (kcal/h)*

h_c : *Coficiente de transferencia de calor por convección (kcal/hm²°C)*

A : *Área de transferencia de calor. (m²).*

T_s : *Temperatura de la superficie del producto deshidratado (°C)*

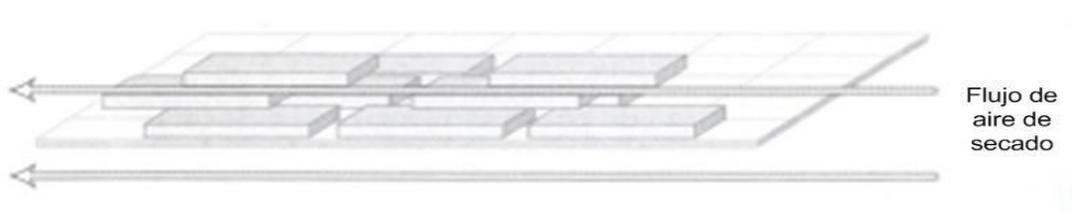
T_a : *Temperatura del aire de deshidratación (°C)*

Puesto que establece un equilibrio entre la velocidad de transferencia de masa en el producto y la velocidad de transferencia de calor es el mismo, dichas velocidades pueden relacionarse de la siguiente manera:

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_c \lambda = -\left(\frac{dQ}{dt}\right)_c \text{ --- (3.3)}$$

Donde:

λ : *Calor latente de evaporación * a T_s (kcal/kg)*



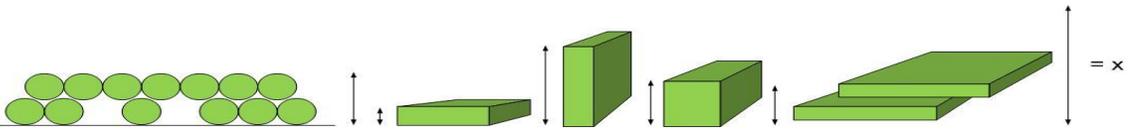
Entonces el área efectiva de desecación corresponderá a:

$$A' (m^2 / kg \text{ solidos secos}) = \frac{1}{\delta_s x / 2} (m^2 / kg \text{ solido seco})$$

Donde:

δ_s : Densidad del producto deshidratado (kg solidos secos/m³)

x : Espesor del producto sobre cama (m)



Y análogamente, la ecuación 3.5 se transforma ahora en:

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_c = -\frac{h_c(T_a - T_s)}{\lambda \delta_s x / 2} \text{ --- --- --- (3.6)}$$

Como también en este caso se está calculando la etapa de velocidad constante, el producto perderá humedad desde su contenido inicial (W_0) hasta que alcance su humedad crítica (W_c), por lo que integrando la ecuación 3.6 bajo los límites $t = 0$, cuando $W = W_0$ y $t = t$, cuando $W = W_c$, se obtiene:

$$t_c = \frac{(W_0 - W_c)\lambda \delta_s x / 2}{h_c(T_a - T_s)} \text{ --- --- --- (3.7)}$$

Donde:

t_c : Tiempo de deshidratación del producto en la etapa de velocidad constante

δ_s : Densidad del producto deshidratado (kg solidos secos/m³)

x : Espesor del producto sobre cama (m)

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección (kcal/hm²°C)

T_s : Temperatura de la superficie del producto deshidratado (°C)

T_a : Temperatura del aire de deshidratación (°C)

W_c : Humedad critica. (%)

W_0 : Humedad inicial del producto. (%)

Etapa o periodo de velocidad decreciente.

La estimación de tiempo de deshidratación durante la etapa de velocidad decreciente es compleja, ya que en esta etapa la velocidad de deshidratación depende de mucho del mecanismo por el cual la humedad se desplaza a través de la masa producto y sale a la superficie del mismo para su eliminación. En esta etapa el agua puede ser eliminada básicamente por capilaridad o mediante difusión.

Eliminación de agua por difusión.

Cuando en un producto la eliminación de agua se controla por el mecanismo de la difusión, la velocidad de deshidratación y, por ende, el tiempo de deshidratación del producto en la etapa de velocidad decreciente dependerá en gran medida de la geometría del solido por deshidratar. Así, se tiene que:

Para un producto de forma esférica:

$$t_d = \frac{r^2}{D_m \pi^2} \ln \left(\frac{8(W_c - W_e)}{\pi^2 (W_f - W_e)} \right) \text{ --- (3.8)}$$

Para un producto en forma de ladrillo (paralelepípedo):

$$t_d = \frac{4x^2}{D_m \pi^2} \ln \left(\frac{8(W_c - W_e)}{\pi^2 (W_f - W_e)} \right) \text{ --- (3.9)}$$

Para un producto en forma de cilindro:

$$t_d = \frac{r^2}{5.78 D_m} \ln \left(\frac{0.642(W_c - W_e)}{(W_f - W_e)} \right) \text{ --- (3.10)}$$

Donde:

D_m : Difusividad masica del agua del producto

r : Radio del producto (m)

x : Espesor del producto (m)

t_d : Tiempo de deshidratación del producto en la etapa de velocidad decreciente.

Cuando la deshidratación se efectúa por dos caras, x se transforma en $x/2$.

El valor de D_m varia con la estructura y contenido de agua y grasa del producto, así como con la temperatura de proceso y puede determinarse experimentalmente para cada caso específico. Se ha estimado que el valor medio de la difusividad másica del agua en los alimentos es de $2 * 10^9 m^2/s$ ($7.15 * 10^{-5} ft^2/h$).

Tiempo total de deshidratación.

Para cualquier tipo de flujo de aire y mecanismos de eliminación de agua, el tiempo total (t_T) requerido para la deshidratación de un producto será la suma del tiempo en la etapa de velocidad constante (t_c) mas el tiempo en la etapa de velocidad decreciente (t_d).

$$t_T = t_c + t_d \quad \text{--- --- (3.11)}$$

Donde:

t_T : *Tiempo total de deshidratacion del producto(s).*

t_c : *tiempo de deshidratacion en etapa de velocidad constante(s).*

t_d : *Titmpo de deshidratacion en etapa de velocidad decreciente(s).*

3.4.5 Estimación de la velocidad de deshidratación de un producto.

Independientemente del tipo de flujo de aire y del mecanismo de eliminación de agua, la velocidad de deshidratación ($\frac{dW}{dt}$) para las diferentes etapas de la deshidratación puede estimarse de la siguiente manera:

Velocidad de deshidratación en la etapa de velocidad constante:

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_c = \frac{(W_0 - W_c)}{t_c} \quad \text{--- --- (3.12)}$$

Donde:

t_c : *Tiempo de deshidratación del producto en etapa de velocidad constante*

W_c : *Humedad critica. (%)*

W_0 : *Humedad inicial del producto. (%)*

Velocidad de deshidratación en la etapa de velocidad decreciente:

$$\left(\frac{dW}{dt}\right)_d = \frac{(W_c - W_f)}{td} \text{ --- (3.13)}$$

Donde:

W_f : humedad final del producto. (%)

W_c : Humedad critica. (%)

t_d : Tiempo de deshidratación del producto en la etapa de velocidad decreciente.

3.4.6. Bandejas de horno.

Para continuar con el proceso tenemos la situación de la selección de la malla o las medidas, como mencionamos con anterioridad y por las normas de salubridad se necesitan una malla de acero inoxidable, también para evitar la caída del fruto en el momento de la deshidratación.

Sabemos cómo inicio del proceso que la humedad del banano en su estado natural es de 75% es por ellos tenemos que:

| | |
|----------------------|------------------------|
| En 100 kg de plátano | El 75% de agua.(75kg) |
| | El 25% de pulpa.(25kg) |

A partir de estos datos comenzamos calculando la humedad inicial del producto.

$$H_{bh} = \frac{m_w}{m_s} \text{ --- (3.14)}$$

Donde:

H_{bh} : Humedad inicial del producto(base humedad)

m_w : Porcentaje de humedad

m_s : Porcentaje de producto seco

Al tener todos los datos de la ecuación se procede para realizar el cálculo y así determinar la humedad con la que se inicia el proceso de deshidratación.

$$H_{bh} = \frac{75}{25} = 3.0$$

Una vez realizada la deshidratación y obteniendo el producto final se le descompone de la siguiente manera:

| | |
|----------------------|------------------------|
| En 100 kg de plátano | El 10% de agua.(10kg) |
| | El 90% de pulpa.(90kg) |

Con los datos finales de agua y secado se calcula la humedad final del producto:

Entonces tenemos la ecuación que nos marca para el cálculo de lo requerido:

$$H_{bh} = \frac{m_w}{m_s} \text{ --- (3.15)}$$

Donde:

H_{bs} : Humedad inicial del producto(base seca)

m_w : Porcentaje de humedad

m_s : Porcentaje de producto seco

Una vez con los datos requeridos para la obtención de la humedad final requerida que es de 10% tenemos que:

$$H_{bs} = \frac{10}{90} = 0.111$$

A continuación se procederá a calcular el peso de cada pieza rebanada de banano, sabiendo que después de pasar por la rebanadora se obtendrán rebanadas con un **espesor** promedio de 0.01 m y el **diámetro** promedio del banano de 0.043 m, con esto aplicamos lo siguiente:

De la fórmula de:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ --- (3.16)}$$

Entonces tenemos que la masa es igual.

$$m = \rho * V$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$m = \left(850 \frac{kg}{m^3} \right) * (1.4522E^{-5} m^3) = 123.437E^{-4} kg.$$

$$m = 123.437E^{-4}kg$$

La rebanada de banano que de masa tiene $123.437E^{-4}kg$ y por ende podemos calcular su proceso inicial.

Donde a una rebanada de plátano con las características y porcentajes de agua del 75% se le considera de la siguiente manera:

| | |
|-------------------|-----------------------------------|
| $123.437E^{-4}kg$ | $9.25777E^{-3}kg$ de agua |
| | $3.0859E^{-3}kg$ de producto seco |

La rebanada de plátano obtendrá al final de su proceso de secado y ya con lo requerido del 10% de humedad final y un porcentaje de producto seco de 90% los siguientes datos:

| | |
|-------------------|-----------------------------------|
| $3.42877E^{-3}kg$ | $3.42877E^{-4}kg$ de agua |
| | $3.0859E^{-3}kg$ de producto seco |

Al final calculamos el nuevo volumen de la rebanada de plátano ya deshidratado, donde se consideran una serie de suposiciones:

La reducción del volumen en cada pieza de plátano deshidratada no es otra cosa que el volumen de agua que se evaporó de cada porción de banano.

El material se encuentra constituido por la parte solida del producto que contiene una densidad ρ_s ; así también un volumen V_s ; y entre los poros del producto que se encuentra ocupado por agua con densidad ρ_{H2O} y volumen V_{H2O} .

Una vez obtenido los resultados tenemos a bien calcular la diferencia de volumen de cada rebanada de banano, con lo que tenemos lo siguiente:

$$\Delta V = \left(\frac{H_{bh}}{\rho_{H2O}} - \frac{H_{bs}}{\rho_{H2O}} \right) * m_s \text{ ----- (3.17)}$$

Donde;

H_{bh} : Humedad inicial del producto(base seca)

H_{bh} : Humedad inicial del producto(base húmeda)

m_s : Porcentaje de producto seco

ρ_{H_2O} : Densidad del agua.

$$\Delta V = \left(\frac{3.0}{1000} - \frac{0.111}{1000} \right) * 3.0859E^{-3} = 8.9151E^{-6}m^3$$

Entonces la diferencia de volumen es:

$$\Delta V = 8.9151E^{-6}m^3$$

Con la ecuación 3.25 de diferencia de volumen y teniendo los datos sustituimos en:

$$\Delta V = (V_{inicial} - V_{final}) \text{ --- (3.18)}$$

Entonces despejamos densidad final y sustituimos valores:

$$V_{final} = (1.4522E^{-5} m^3 - 8.9151E^{-6}m^3)$$

Por lo tanto tenemos como resultado:

$$V_{final} = 5.6069E^{-6}m^3$$

El volumen final del producto que es el ya deshidratado, quedara en las bandejas del horno, es importante recalcar que la disminución del tamaño de cada rebanada de banano deberá permanecer en la bandeja y no caer al momento de perder sus dimensiones, es para esto y para la selección del tipo de malla que se necesitan para las bandejas del horno.

Tenemos entonces el volumen final del producto seco, es por ello que necesitamos calcular de una manera práctica la longitud que disminuye por lado rebanada de banano, tenemos que el 100% de volumen en estado húmedo o mejor bien dicho el volumen inicial es $1.4522E^{-5} m^3$ y el volumen ya en estado seco o el volumen final es de $5.6069E^{-6}m^3$ por medio de una

regla de tres simple tenemos el porcentaje de disminución en volumen de la rebanada de banano y tenemos que es 38.6% entonces $\approx 38\%$.

Para tener una idea que tanto disminuirá por lado del banano tenemos que restando el 38% de diámetro que es lo que en realidad más nos interesa para evitar la caída del banano de la bandeja tenemos que el nuevo diámetro es $D=0.03116m$.

Tabla 3.1. Calibre de mallas de aceros inoxidable

MATEX **PRINCIPALES TEJIDOS EN ACERO INOXIDABLE ***

| Malla o Mesh | Diámetro de alambre | | | Abertura | | |
|--------------|---------------------|-------|----------|----------|----------|------|
| | Calibre | mm | pulgadas | mm | pulgadas | % |
| 2 x 2 | 16 | 1.600 | 0.0630 | 11.1000 | 0.4370 | 76.4 |
| 3 x 3 | 16 | 1.600 | 0.0630 | 6.8600 | 0.2700 | 65.6 |
| 4 x 4 | 18 | 1.220 | 0.0480 | 5.1600 | 0.2030 | 65.9 |
| 5 x 5 | 20 | 0.890 | 0.0350 | 4.1800 | 0.1640 | 67.7 |
| 6 x 6 | 18 | 1.220 | 0.0480 | 3.0500 | 0.1200 | 51.8 |
| 6 x 6 | 20 | 0.890 | 0.0350 | 3.3500 | 0.1318 | 62.7 |
| 6 x 6 | 22 | 0.710 | 0.0270 | 3.5300 | 0.1318 | 69.6 |
| 8 x 8 | 21 | 0.810 | 0.0320 | 2.3600 | 0.0930 | 55.4 |
| 10 x 10 | 23 | 0.630 | 0.0250 | 1.9100 | 0.0750 | 56.3 |
| 10 x 10 | 24 | 0.580 | 0.0228 | 1.5400 | 0.0602 | 51.8 |
| 12 x 12 | 24 | 0.560 | 0.0220 | 1.5200 | 0.0600 | 51.8 |
| 14 x 14 | 25 | 0.500 | 0.0200 | 1.3000 | 0.0510 | 51.0 |
| 16 x 16 | 26 | 0.460 | 0.0180 | 1.1300 | 0.0450 | 50.7 |
| 18 x 18 | 26 | 0.460 | 0.0180 | 0.9600 | 0.0380 | 46.4 |
| 20 x 20 | 27 | 0.410 | 0.0160 | 0.8600 | 0.0340 | 46.2 |
| 24 x 24 | 28 | 0.350 | 0.0140 | 0.7000 | 0.0280 | 44.2 |
| 30 x 30 | 30 | 0.300 | 0.0120 | 0.5400 | 0.0210 | 40.8 |



Figura 3.7 Medida de la malla en la base de la bandeja

Para efectos de cálculo tomamos las medidas para las bandejas estas las tomamos con las medidas ya calculadas de la cámara de secado esto para no excederse de lo largo y ancho del secado, es por eso que se determina la cantidad rack y bandejas esto en el siguiente cálculo, debido a que las bandejas no pueden ser demasiado grandes para su maniobrabilidad es por ello que se necesitan bandejas de la mitad de medida de la parte frontal de la cámara de secado esto es 1 m de frente y disminuyendo 20 centímetros de la bandeja esto sería 80 cm de frente de igual manera disminuir los 20 cm de fondo y quedarnos una medida de 1.80 m. para

determinar el espesor de las bandejas tomamos en cuenta la medida del ángulo para la construcción de estas bandejas.

Para el cálculo de numero de bandejas necesarias para la cámara de secado tomaremos en cuenta únicamente el área de la bandeja ya que para mayor rapidez en el secado de cada banano necesitamos únicamente el espesor de la bandeja, es decir que el espesor de las bandejas quedaran cubiertas de las rebanadas de banano; debido a que el espesor de cada una de las bandejas 2.6cm. = 0.026 m. tenemos entonces el volumen de fruta que llevara la bandeja, 0.80m x 1.8m x 0.026m; esto es:

$$V = 0.8\text{m} \times 1.8\text{m} \times 0.026\text{m} = \mathbf{0.0375\text{m}^3}$$

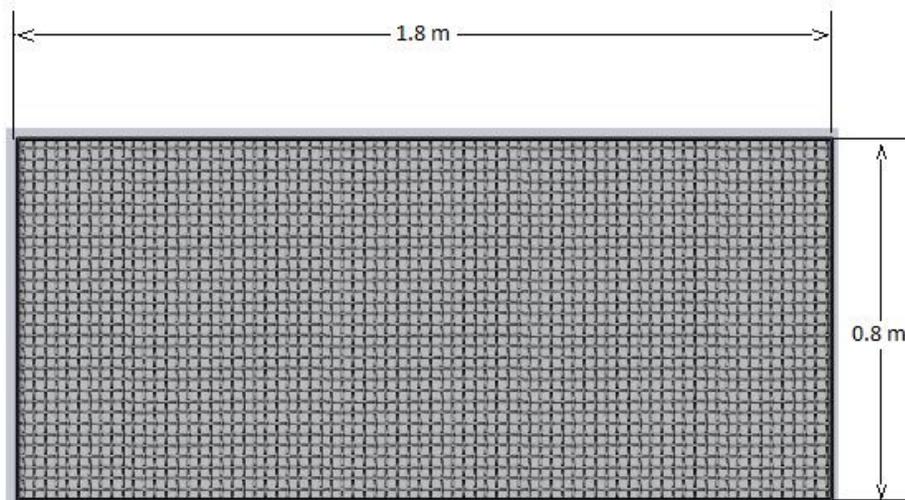


Figura 3.8 Bandeja para secado de banano.

Se toma así también en cuenta que el banano será rebanado para su ingreso al horno; esto es que se tienen rebanadas de plátano de manera redonda para ser colocada en las bandejas tratando de ocupar la mayor parte de ella.

Las rebanadas de plátano de 0.043m de diámetro y con un espesor de 0.01m esto nos da un volumen para cada rebanada de banano de $1.4522 \times 10^{-5} \text{ m}^3$; a partir de este dato iniciamos el cálculo del volumen para cada una de las bandejas entonces tenemos que:

Volumen de cada bandeja: $0.15m^3$ a esto ya que conocemos la densidad del banano que es de $850 \frac{kg}{m^3}$; de aquí partimos para saber la cantidad de banano que entrara en cada bandeja.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V = \left(850 \frac{kg}{m^3} \right) * (0.0375m^3) = \mathbf{31.82 kg}.$$

Como resultado se obtuvo una cantidad por bandeja de 31.82 kg de banano esto no es en específico la cantidad exacta ya que debido a la falta de simetría en la fruta por lo que tomamos como referencia que el peso de la fruta soportada en cada bandeja debería de ser de 31 kg.

Como se espera que la cantidad de secado de banano sea de 1 ton. Tenemos que:

$$m = 1ton * \frac{1000kg}{1ton} = 1000kg \text{ de banano.}$$

De esta situación tomamos la cantidad de plátano en kg a deshidratar y dividimos en la cantidad de banano por bandeja.

$$No. \text{ de bandejas} = \frac{1000 kg}{31 kg} = \mathbf{32.25 bandejas}.$$

De igual manera tenemos que la cantidad de bandejas es de 32 esto nos sirve para calcular las dimensiones del horno que estará compuesto por dos rack o estantes en donde estarán asentadas cada una de las bandejas.

Para el cálculo de las bandejas que llevara cada rack tenemos que:

$$No. \text{ de bandejas por rack} = \frac{32 \text{ bandejas totales}}{2 \text{ rack o modulos}} = \mathbf{16 bandejas / rack}$$



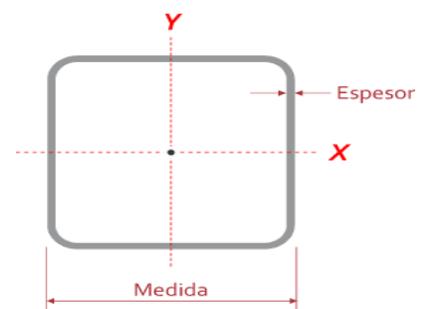
Figura 3.9 Rack para 16 bandejas.

Tubos estructural cuadrado. Los tubos estructurales (HSS) son tubos de acero formados en frío. Estos tubos tienen una excelente resistencia a la compresión y a la torsión. Los tubos estructurales tienen gran versatilidad para la fabricación de estructuras, porque pueden ser doblados, soldados, perforados, punzados y requiere menos mantenimiento.

Es necesario construir la armadura para el rack donde serán colocadas las bandejas que estarán en un contacto directo con el producto y por ello será de acero inoxidable; se toman referencias de experiencias anteriores que han resultado exitosas para la construcción del rack, es por ello que seleccionamos un tubular específicamente para el rack de diámetro nominal de 1"x1" y un espesor de 1mm para que su peso no sea demasiado.

Tabla 3.2. Selección de tubular de acero inoxidable diámetro nominal 1"x1", para armadura de rack.

| DIÁMETRO NOMINAL | DIÁMETRO NOMINAL (mm) | ESPESOR NOMINAL (mm) | PESO Kg / m |
|------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| 3/4" x 3/4" | 20 x 20 | 0.80 | 0.49 |
| | | 1.00 | 0.60 |
| | | 1.20 | 0.72 |
| 1" x 1" | 25 x 25 | 1.00 | 0.76 |
| | | 1.20 | 0.91 |
| | | 1.50 | 1.12 |
| 1 1/4" x 1 1/4" | 30 x 30 | 1.00 | 0.91 |
| | | 1.20 | 1.09 |
| | | 1.50 | 1.35 |
| 1 1/2" x 1 1/2" | 40 x 40 | 2.00 | 1.78 |
| | | 1.20 | 1.47 |
| | | 1.50 | 1.82 |
| 2" x 2" | 50 x 50 | 2.00 | 2.41 |
| | | 1.50 | 2.29 |
| | | 2.00 | 3.03 |



Perfil estructural "L". Es el producto de acero laminado que se realiza en iguales que se ubican equidistantemente en la sección transversal con la finalidad de mantener una armonía de simetría, en ángulo recto.

El ángulo es un elemento estructural utilizado en edificios, estructuras, torres metálicas y una variedad de soportes.

Tabla 3.3. Tabla de selección de perfil para bandeja, dado No. 801.



Ángulo estructural lados iguales

| DADO No. | A Pulgadas | B Pulgadas | T Pulgadas | R Pulgadas | R1 Pulgadas | PESO Lb/Ft | PESO Kg/m | 6061 T-6 |
|----------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|----------|
| 850 | 0.750 | 0.750 | 0.125 | 0.125 | 0.093 | 0.201 | 0.299 | OK |
| 801 | 1.000 | 1.000 | 0.125 | 0.125 | 0.093 | 0.275 | 0.410 | OK |
| 50284 | 1.000 | 1.000 | 0.188 | 0.125 | 0.094 | 0.400 | 0.596 | OK |
| 791 | 1.000 | 1.000 | 0.250 | 0.125 | 0.093 | 0.397 | 0.768 | OK |
| 802 | 1.250 | 1.250 | 0.125 | 0.187 | 0.125 | 0.350 | 0.522 | OK |
| 1013 | 1.250 | 1.250 | 0.187 | 0.187 | 0.125 | 0.509 | 0.758 | OK |
| 855 | 1.250 | 1.250 | 0.250 | 0.187 | 0.125 | 0.662 | 0.985 | OK |
| 792 | 1.500 | 1.500 | 0.125 | 0.187 | 0.125 | 0.424 | 0.630 | OK |
| 793 | 1.500 | 1.500 | 0.187 | 0.187 | 0.125 | 0.619 | 0.922 | OK |
| 766 | 1.500 | 1.500 | 0.250 | 0.187 | 0.125 | 0.809 | 1.204 | OK |
| 50260 | 1.750 | 1.750 | 0.125 | 0.187 | 0.125 | 0.497 | 0.740 | OK |
| 767 | 2.000 | 2.000 | 0.125 | 0.250 | 0.125 | 0.577 | 0.860 | OK |
| 768 | 2.000 | 2.000 | 0.187 | 0.250 | 0.125 | 0.846 | 1.260 | OK |
| 794 | 2.000 | 2.000 | 0.250 | 0.250 | 0.125 | 1.110 | 1.652 | OK |
| 807 | 2.000 | 2.000 | 0.375 | 0.250 | 0.125 | 1.606 | 2.390 | OK |
| 804 | 2.500 | 2.500 | 0.188 | 0.250 | 0.125 | 1.066 | 1.587 | OK |
| 50259 | 2.500 | 2.500 | 0.125 | 0.250 | 0.125 | 0.724 | 1.078 | OK |
| 795 | 2.500 | 2.500 | 0.250 | 0.250 | 0.125 | 1.404 | 2.090 | OK |
| 995 | 2.500 | 2.500 | 0.375 | 0.250 | 0.125 | 2.047 | 3.047 | OK |
| 796 | 3.000 | 3.000 | 0.187 | 0.312 | 0.250 | 1.275 | 1.900 | OK |
| 797 | 3.000 | 3.000 | 0.250 | 0.312 | 0.250 | 1.683 | 2.505 | OK |
| 834 | 3.000 | 3.000 | 0.375 | 0.312 | 0.250 | 2.473 | 3.681 | OK |
| 816 | 3.000 | 3.000 | 0.500 | 0.312 | 0.250 | 3.227 | 4.802 | OK |
| 769 | 3.500 | 3.500 | 0.250 | 0.375 | 0.250 | 1.988 | 2.959 | OK |
| 770 | 4.000 | 4.000 | 0.250 | 0.375 | 0.250 | 2.282 | 3.397 | OK |
| 771 | 4.000 | 4.000 | 0.375 | 0.375 | 0.250 | 3.366 | 5.010 | OK |
| 839 | 4.000 | 4.000 | 0.500 | 0.375 | 0.250 | 4.414 | 6.568 | OK |
| 851 | 6.000 | 6.000 | 0.375 | 0.500 | 0.375 | 5.226 | 7.643 | OK |
| 840 | 6.000 | 6.000 | 0.500 | 0.500 | 0.375 | 6.753 | 10.840 | OK |

Especificación Federal: QQ-A-200/9, 6063-T5/QQ-a-200/8, 6061-T6

Seleccionamos de igual manera que el tubular cuadrado, el ángulo que servirá de base para sentar las bandejas y también para la fabricación de las bandejas, el ángulo de 1" de lado y un espesor de 0.125" para montarlas como se muestra en la fig. 3.10, todo esto de acero inoxidable.

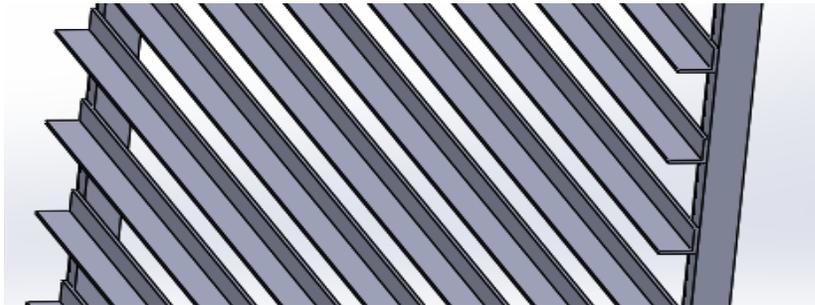


Fig.3.10 Bases hechas por ángulos donde se sentarán las bandejas.

UNION EN ACERO INOXIDABLE

Para la unión del material seleccionado en la fabricación del horno deshidratador se necesita una soldadura del mismo tipo de material, en este caso de acero inoxidable, es por ello que a continuación se explica el método de soldadura necesario en este tipo de material.

SOLDADURA ELECTRICA

La soldadura eléctrica, electrosoldadura o soldadura por resistencia es un proceso termoeléctrico en el que se genera calor, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de las piezas, en zona de unión de las partes que se desea unir durante un tiempo controlado con precisión y bajo una

presión controlada. Los metales se unen sin necesidad de material de aporte, es decir, por aplicación de presión y corriente eléctrica sobre las áreas a soldar sin tener que añadir otro material.

Los aceros inoxidable se pueden soldar empleando la mayoría de los procesos comerciales de soldadura, siendo los más populares: la soldadura manual con electrodo revestido (SMAW), el procedimiento TIG y el procedimiento MIG.



Fig.3.11. Soldadura de acero inoxidable.

En este proceso el electrodo es un alambre revestido, donde el soldador controla el proceso manualmente sobre la longitud y dirección del arco que se establece entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar (metal base).

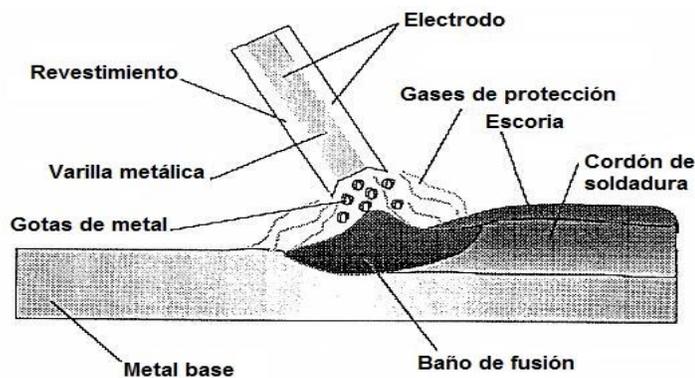


Fig. 3.12 Método SMAW para soldadura de acero inoxidable.

El calor generado por el arco eléctrico funde el revestimiento y la varilla metálica del electrodo, a la vez que la combustión del revestimiento sirve para crear una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido. Las gotas de metal fundido procedente de la varilla metálica del electrodo van a depositarse en el baño de fusión. A la vez, el material procedente de la fusión del revestimiento del electrodo genera una escoria,

que por viscosidad flota sobre el baño de fusión, protegiéndolo contra un enfriamiento rápido y de la contaminación del aire circundante. Una vez frío el cordón se procede a eliminar la escoria que queda como una especie de costra sobre la superficie del cordón.

3.4.7. Diseño de horno.

Una vez obtenidos los datos de una rebanada de banano los datos serán expresados en la siguiente tabla 3.1; estos son las características promedio iniciales y finales de cada rebanada de banano al inicio y final del proceso de secado.

Tabla 3.4. Características promedio obtenidas de una rebanada de banano con los cálculos obtenidos.

| Parámetro de unidad | Antes de secar | Después de secar |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Diámetro (m) | 0.043 m | 0.03116 m |
| Peso total (kg) | $123.437E^{-4}kg$ | $3.42877E^{-3}kg$ |
| Porcentaje de humedad % | 75 % | 10 % |
| Porcentaje de producto seco % | 25 % | 90 % |
| Contenido de agua (kg) | $9.25777E^{-3}kg$ | $3.42877E^{-4}kg$ |
| Contenido de producto seco(kg) | $3.0859E^{-3}kg$ | $3.0859E^{-3}kg$ |
| Volumen total (m³) | $1.4522E^{-5} m^3$ | $5.6069E^{-6}m^3$ |
| Densidad (kg/m³) | $850 kg/m^3$ | $550.375 kg/m^3$ |

Para calcular la cantidad de agua a evaporar determinamos como dato inicial la capacidad a secar (kg/seg) esto es que la capacidad en kg de banano a secar por un determinado tiempo. Es por eso que tomamos como referencia la cantidad de 200 kg/hr lo equivalente a **0.0555 kg/seg**; para esto

es necesario eliminar de la fruta una cantidad considerable de agua disminuyéndola desde un 75% que es la cantidad de agua que contiene el banano en su estado natural hasta un 10% que sería la cantidad de agua que con la que quedaría la fruta al final de su deshidratación.

En la tabla 3.2 sustituyendo algunos valores en la ecuación de la masa total y considerando la capacidad a secar, que con anterioridad se determinó, se obtiene la cantidad de agua a evaporar.

Sabemos que el porcentaje de agua en el banano es de 75% y el 25% de masa del banano, esto se especifica en la siguiente tabla; queremos disminuir hasta el 10% de humedad del banano.

Para determinar la cantidad de agua a evaporar se realiza un análisis termodinámico del proceso, donde a la masa final que será desconocida se le asignará el valor de **X**.

Por ello se tiene que:

$$masa\ de\ agua + masa\ seca = masa\ total.$$

Tabla 3.5. Determinación de cantidad de agua a evaporar.

| Masa de agua | Masa seca | Masa total | Unidad de masa (x) | Unidades de agua (1-x) | Capacidad a secar (kg agua/seg) | Cantidad de agua a evaporar (kg agua/seg) |
|---------------|-----------|------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| 0.75 + 0.25 = | | 1 | | | | |
| 0.1X + 0.25 = | | X | 0.2777 | 0.7222 | 0.05555 | 0.040122 |

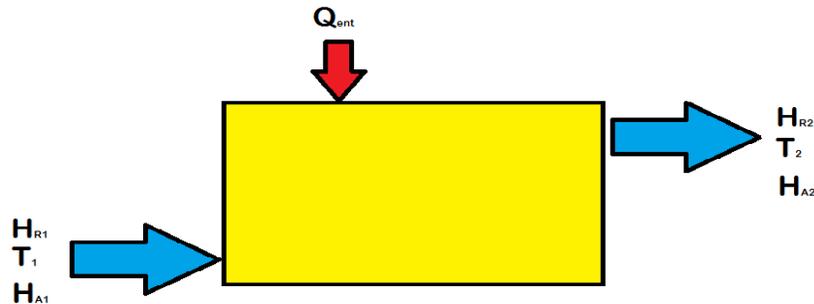
Se procederá al cálculo del flujo másico del aire (*m*) que se necesita para extraer el agua del banano o platano.

Para determinar el flujo másico de aire ocuparemos la ecuación 3.8:

$$m' = \frac{cantidad\ de\ agua\ a\ evaporar}{cantidad\ de\ agua\ absorbida} \text{ --- (3.8)}$$

Para la cantidad de agua absorbida utilizaremos la carta psicométrica y con los datos ya conocidos la humedad relativa inicial en el primer punto que es 75% la temperatura inicial o temperatura ambiente de 30°C (86°F). Para el segundo punto tenemos la temperatura de salida de 70°C (158°F) y por tabla psicométrica tenemos que la humedad relativa en el segundo punto es de **11.75%**.

Después de esto y con los datos ya encontrados localizamos en la carta psicométrica el primero y segundo punto con una línea horizontal hasta los datos de la relación de humedad y tenemos que:



Donde:

H_{R1} : humedad relativa inicial. (75%)

H_{R2} : humedad relativa final. (11.75%)

T_1 : temperatura inicial del producto. (86°F)

T_2 : temperatura final del producto. (158°F)

H_{A1} : temperatura absoluta inicial. (0.0195 kg humedad / kg aire seco)

H_{A2} : temperatura absoluta final. (0.029716 kg humedad / kg aire seco)

Q_{ent} : cantidad de calor de entrada al producto. (198 kJ / seg)

contenido de humedad punto 1 = 0.0195 kg humedad / kg aire seco

$$\text{contenido de humedad punto 2} = 0.029716 \text{ kg humedad / kg aire seco}$$

Para la cantidad de agua absorbida ocupamos la siguiente ecuación:

$$\text{humedad punto 2} - \text{humedad punto 1} = \text{agua absorbida}$$

Entonces tenemos que:

$$0.029716 - 0.0195 = \mathbf{0.010216} \text{ kg humedad / kg aire seco}$$

De esta manera tenemos que la cantidad de agua absorbida del primer y segundo punto es de: $0.010216 \text{ kg humedad / kg aire seco}$

Así también una vez calculada la cantidad de agua a evaporar de: $0.0401222 \text{ kg agua / seg}$

Utilizando la ecuación 3.8 para la obtención del flujo másico del aire para la evaporación del agua tenemos que:

$$m' = \frac{\text{cantidad de agua a evaporar}}{\text{cantidad de agua absorbida}}$$

Sustituyendo valores para la ecuación obtenemos el siguiente resultado:

$$m' = \frac{0.0401222 \text{ kg agua / seg}}{0.010216 \text{ kg humedad / kg aire seco}}$$

Por lo que tenemos:

$$\dot{m} = \mathbf{3.9270 \text{ kg / seg.}}$$

3.4.7.1. Calculo de extractor de aire.

Dentro de la cámara de secado encontramos una gran cantidad de humedad es por ello que se necesita un extractor que ayude a facilitar la salida del exceso de humedad de la cámara, es por ello que a continuación realizaremos uno de los cálculos fundamentales para el secado de banano. Cabe mencionar que proceso de extracción se tiene que, el flujo másico de aire que ingresa tiene que ser igual al flujo másico de aire que pase entre las bandejas y entre el fruto, para poder extraer la humedad con mayor facilidad, a este flujo másico le aplicaremos un factor de seguridad de 1.5.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} * \eta \text{ ----- (3.9)}$$

Donde:

$$\dot{Q} = \text{caudal del aire } m^3/seg$$

$$\dot{m}_a = \text{flujo masico del aire. } kg/seg$$

$$\rho_a = \text{densidad del aire. } kg/m^3$$

$$\eta = \text{factor de seguridad para el extractor. (1.5)}$$

Sustituyendo datos en la ecuación 3.9 tenemos que:

$$\dot{Q} = \frac{3.9270 \text{ } kg/seg.}{2.1567 \text{ } kg/m^3} * 1.5$$

$$\dot{Q} = 2.731256 \text{ } m^3/seg$$

$$\dot{Q} = 9,832.52 \text{ } m^3/h$$

Con este dato y el área transversal de la cámara de secado nos disponemos a calcular la velocidad y para esto usamos la ecuación 3.10:

$$\dot{Q} = V * A \text{ ----- (3.10)}$$

Donde:

\dot{Q} : caudal del aire que ingresa a la camara de secado (m^3/seg).

V : velocidad del aire (m/seg).

A : area de la seccion transversal de la camara(m^2)

Despejando la velocidad y con los valores del área de la sección transversal del secador aplicadas a la ecuación, sustituyendo tenemos que:

$$V = \dot{Q}/A \text{ ----- (3.11)}$$

$$V = \frac{2.731256 m^3/seg}{4m^2} = 0.6828 m/seg$$

Tabla 3.6. Modelos y capacidades de extractores.

| Modelo | Potencia motor (kW) | Intensidad nominal motor (A) | | Caudal máximo (m³/h) | Peso (kg) |
|--------------------|---------------------|------------------------------|-------|----------------------|-----------|
| | | 230 V | 400 V | | |
| CHGT/4-400-6/-0,25 | 0,25 | 1,4 | 0,8 | 4.340 | 47 |
| CHGT/4-450-6/-0,25 | 0,25 | 1,4 | 0,8 | 5.100 | 49 |
| CHGT/4-450-6/-0,37 | 0,37 | 1,8 | 1,1 | 6.200 | 51 |
| CHGT/4-450-6/-0,55 | 0,55 | 2,2 | 1,3 | 7.390 | 52 |
| CHGT/4-500-6/-0,55 | 0,55 | 2,2 | 1,3 | 7.900 | 54 |
| CHGT/4-500-6/-0,75 | 0,75 | 2,8 | 1,6 | 10.000 | 60 |
| CHGT/4-500-6/-1,1 | 1,1 | 4,2 | 2,4 | 10.450 | 62 |
| CHGT/4-560-6/-0,55 | 0,55 | 2,2 | 1,3 | 8.920 | 59 |
| CHGT/4-560-6/-0,75 | 0,75 | 2,8 | 1,6 | 10.340 | 65 |
| CHGT/4-560-6/-1,1 | 1,1 | 4,2 | 2,4 | 13.340 | 67 |
| CHGT/4-560-6/-1,5 | 1,5 | 5,7 | 3,3 | 15.080 | 72 |
| CHGT/4-560-6/-2,2 | 2,2 | 8,1 | 4,6 | 15.690 | 78 |

Para cubrir las necesidades requeridas para la cámara de secado tomamos en cuenta los datos obtenidos en los cálculos como es el caudal y la intensidad nominal requerida para la zona de trabajo. Tomamos como referencia el caudal de 10,000 m³/h ya que es la requerida para este proyecto.

DIMENSIONES (mm)

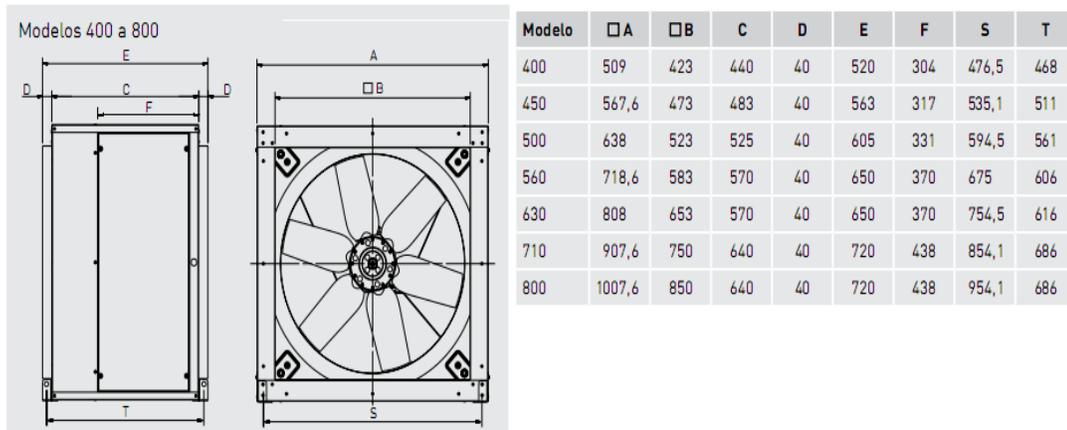


Figura 3.21. Dimensiones respecto a los modelos de extractor.

3.4.7.2. Capacidad de horno.

Para el diseño de la cámara de secado tenemos que determinar cómo inicio las dimensiones del gabinete ya que a partir de esta información se tomaran los datos primordiales para el inicio del cálculo y diseño del horno.

Uno de los requisitos importantes de la planta deshidratadora de banano es la cantidad de fruta que se necesita deshidratar es por ello que tomaremos en cuenta las necesidades de producción, la cantidad que la empresa deshidratadora nos puso como límite es de 1 tonelada de banano; a partir de esta cantidad tomaremos en cuenta las medidas y capacidad del horno.

Densidad de las frutas:

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra *rho* ρ del alfabeto griego; es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ --- (3.11)}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad } \text{kg}/\text{m}^3$$

$m = \text{masa del producto (kg)}$

$V = \text{volumen del producto (m}^3\text{)}$

Tabla 3.7. Tabla de densidades para algunas frutas.

| Fruta | Densidad ρ kg/m^3 | Contenido de agua % (masa) |
|----------|--|----------------------------|
| Manzanas | 840 | 85 |
| Plátano | 850 | 75 |
| Durazno | 960 | 89 |
| Papas | 1055 | 78 |

Con esta tabla realizamos los cálculos para determinar el volumen del banano total que se desea deshidratar y así comenzar a tomar las primeras

medidas de la cámara deshidratadora, esto es importante ya que el volumen del horno es primordial para los cálculos tanto del generador de calor como el espesor que se necesita para el aislamiento.

Con esto tenemos que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del banano } 850 \text{ kg/m}^3$$

$$m = \text{masa total a deshidratar del bnano kg}$$

$$V = \text{volumen del banano a deshidratar m}^3$$

Despejando y sustituyendo la ecuación 3.11 tenemos que:

$$V = \frac{m}{\rho} \text{ --- (3.12)}$$

$$V = \frac{1000 \text{ kg}}{850 \text{ kg/m}^3}$$

Tenemos como resultado un volumen de 1.17647 m^3 este es el volumen total del banano es por ello que debido a que hay que separar o distribuir este volumen y tomando en cuenta que por cada lado del horno deshidratador tenemos una longitud de $\sqrt[3]{1.17647 \text{ m}^3} = 1.05567 \text{ m}^3$; para ello y tomando en cuenta la experiencia en otras empresas deshidratadoras duplicamos las medidas y las dejamos en 2m por lado y 2.2 metros de fondo por lo largo de las bandejas esto nos da un volumen de 8.8 m^3 .

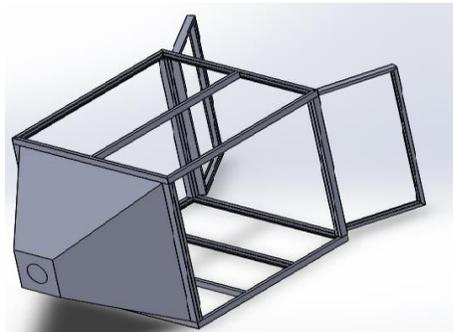


Figura 3.22. Sección estructural posterior de la cámara de secado.

Para determinar las medidas de la cámara de secado tomamos en cuenta que las medidas de la bandeja es de 0.8m x 1.8m x 0.026m dejamos como referencia que de base será 2m, de altura 2m por las 16 bandejas apiladas y de fondo será 2.2m y tendrá un área frontal de $4m^2$.

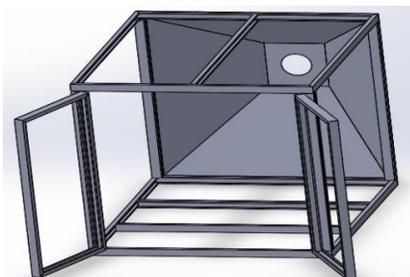


Figura 3.23. Sección estructural de la cámara de secado y rack.

Perfil estructural “G”. Las corregas “G” o perfil estructural “G” son utilizados en la construcción como viguetas, vigas, columnas, además en muebles metálicos y en estructuras de cubiertas.

Para la fabricación de la estructura es necesario una medida acorde al espesor del horno deshidratador, es por ello que buscamos un perfil cumpla con esta necesidad y al mismo tiempo que sea poco peso, es por ello que tomamos las medidas que de tablas nos muestra con las siguientes medias:

A: 80mm

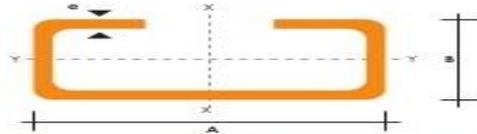
B: 40mm

e: 1.5mm

Material de acero inoxidable como se muestran en las tabla 3.8; esto para cumplir con las normas de higiene que son requeridas para los alimentos.

Tabla 3.8. Selección de perfil “G” de acero inoxidable para estructura de horno deshidratador.

**PERFILES ESTRUCTURALES
CORREAS "G"**



| DIMENSIONES | | | | PESOS | | | SECCION | EJE X-X | | | PROPIEDADES | | |
|-------------|----|----|-----|---------|--------|-------|---------|---------|------|--------|-------------|------|--|
| A | B | C | e | 5metros | 1metro | I | | W | I | I | W | I | |
| mm | mm | mm | mm | Kg | Kg | cm4 | cm3 | cm | cm4 | cm3 | cm | | |
| 60 | 30 | 10 | 1.5 | 9.19 | 1.53 | 1.95 | 11.02 | 3.67 | 2.38 | 2.43 | 1.25 | 1.12 | |
| 60 | 30 | 10 | 2 | 11.94 | 1.99 | 2.54 | 13.98 | 4.66 | 2.35 | 3.01 | 2.85 | 1.09 | |
| 60 | 30 | 10 | 3 | 16.98 | 2.83 | 3.61 | 18.9 | 6.3 | 2.29 | 3.87 | 3.69 | 1.04 | |
| 80 | 40 | 15 | 1.5 | 13.18 | 2.20 | 2.80 | 27.43 | 6.86 | 3.13 | 6.38 | 2.53 | 1.51 | |
| 80 | 40 | 15 | 2 | 16.68 | 2.78 | 3.54 | 35.30 | 8.81 | 3.16 | 8.07 | 3.18 | 1.51 | |
| 80 | 40 | 15 | 3 | 24.06 | 4.01 | 5.11 | 49.00 | 12.30 | 3.10 | 10.80 | 4.27 | 1.46 | |
| 100 | 50 | 15 | 2 | 20.40 | 3.40 | 4.34 | 69.20 | 13.80 | 4.00 | 15.00 | 4.57 | 1.86 | |
| 100 | 50 | 15 | 3 | 29.70 | 4.95 | 6.31 | 97.80 | 19.60 | 3.94 | 20.50 | 6.25 | 1.80 | |
| 100 | 50 | 20 | 4 | 40.26 | 6.71 | 8.55 | 126.70 | 25.34 | 3.85 | 28.50 | 9.05 | 1.83 | |
| 100 | 50 | 25 | 5 | 51.12 | 8.52 | 10.86 | 152.51 | 30.50 | 3.75 | 36.52 | 12.09 | 1.83 | |
| 125 | 50 | 15 | 2 | 22.80 | 3.80 | 4.84 | 116.00 | 18.60 | 4.91 | 16.20 | 4.69 | 1.83 | |
| 125 | 50 | 15 | 3 | 33.24 | 5.54 | 7.06 | 165.00 | 26.50 | 4.84 | 22.20 | 6.43 | 1.77 | |
| 125 | 50 | 20 | 4 | 44.99 | 7.49 | 9.55 | 217.00 | 34.70 | 4.77 | 30.90 | 9.32 | 1.80 | |
| 125 | 50 | 25 | 5 | 57.00 | 9.50 | 12.11 | 264.32 | 42.29 | 4.67 | 39.88 | 12.46 | 1.82 | |
| 125 | 50 | 30 | 6 | 70.78 | 11.78 | 14.73 | 307.13 | 49.14 | 4.56 | 48.69 | 15.81 | 1.81 | |
| 150 | 50 | 15 | 2 | 25.14 | 4.14 | 5.34 | 179.00 | 23.80 | 5.79 | 17.10 | 4.78 | 1.79 | |
| 150 | 50 | 15 | 3 | 36.78 | 6.13 | 7.81 | 255.00 | 34.00 | 5.72 | 23.50 | 6.56 | 1.73 | |
| 150 | 50 | 20 | 4 | 49.68 | 8.28 | 10.50 | 337.00 | 44.90 | 5.65 | 32.90 | 9.52 | 1.77 | |
| 150 | 75 | 25 | 5 | 74.70 | 12.45 | 15.86 | 545.36 | 72.71 | 5.86 | 117.22 | 24.17 | 2.72 | |

También en galvanizado e inoxidable

3.4.7.3. Quemador de gas.

Se requiere mantener en dentro del horno una temperatura de 70°C, sabiendo que la temperatura ambiente promedio en la zona costa esta entre 28°C y 32°C; es por ello que tomamos como un promedio de esta temperatura y tenemos que:

$$T_{promedio\ ambiente} = \frac{28^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{C}}{2} = 30^{\circ}\text{C}$$

Esta temperatura obtenida es la promedio para el inicio de los cálculos tanto para el aire como para la fruta que ingresara a la cámara de secado; para esto determinamos por experiencia y visitas a otras plantas deshidratadoras de banano que la temperatura común a la que necesitamos ingresar el aire a la cámara de secado es de 80°C.

Sabemos de inicio que la humedad a la que ingresara la fruta a la cámara de secado es de 75% y tendrá que salir con una humedad de 10%; la cantidad de producto a deshidratar es de 1000 kg de banano con un tiempo de retención de 0.05555 *kg de agua / seg.*

Tabla 3.9. Especificación de datos que se requieren para elevar la temperatura del aire de 30°C (303F) a 80°C (353.15°C).

| Datos para la cámara de secado. | |
|---|---------|
| Temperatura inicial del aire (°K) | 353 |
| Temperatura final del aire (°K) | 343 |
| Temperatura inicial del agua en el producto (°K) | 303 |
| Temperatura final del agua en el producto (°K) | 343 |
| Humedad inicial | 0.75 |
| Humedad final | 0.10 |
| Calor específico del aire $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{°K}$ | 1.0083 |
| Calor específico del agua $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{°K}$ | 4.18 |
| Capacidad de la cámara de secado | |
| Masa de banano a secar (kg) | 1000 |
| Tiempo de retención (kg de agua/seg) | 0.05555 |

Para el cálculo del flujo de calor tenemos la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \Delta T * C_{p_a} * \dot{m}_a \text{ --- (3.13)}$$

Donde:

\dot{Q} : flujo de calor necesario para el aire (J/seg)

ΔT : diferencia de temperatura inicial del aire y el producto(K)

C_{p_a} : calor específico del aire($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{°K}$)

\dot{m}_a : flujo masico del aire($\text{kg}/\text{seg.}$)

La diferencia de temperatura de la entrada del aire y la temperatura ambiente o la temperatura del producto a deshidratar.

$$\Delta T = (353\text{°K} - 303\text{°K})$$

$$\Delta T = 50\text{°K}$$

Con estos datos y los de la tabla disponemos para calcular el flujo de calor para que el aire eleve su temperatura y tenemos que:

$$\dot{Q} = 50^{\circ}K * 1008.3 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}K * 3.9270 \text{ kg/seg.}$$

$$\dot{Q} = 197979.705 \text{ J/seg} \approx 675,903 \text{ BTU}$$

Con este resultado buscamos un proveedor que nos pueda proporcionar un equipo de quemador de gas que cumpla con las especificaciones calculadas como son el calor que se desea generar y el flujo másico del aire que se desea en la cámara.

Tabla 3.10 modelos de quemadores de gas

| | | | | |
|--|--------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|
|  | QUEMADORES DE GAS A UN ESTADIO | | | MOD.: FP 20-30-45 |
| | | | | 071035_8E 01 |
| DATOS TÉCNICOS | | | | |
| MODELO | | FP 20 | FP 30 | FP 45 |
| Potencia térmica min-max * | [Mcal/h] | 100-200 | 130-300 | 200-450 |
| Potencia térmica min-max * | [kW] | 116-232 | 151-348 | 232-522 |
| Caudal G20 (METANO) min-max * | [Nm/h] | 11,7-23,4 | 15,2-35 | 23,4-52,6 |
| Caudal G31 (G.P.L.) min-max * | [Nm/h] | 4,5-9 | 5,8-13,5 | 9-20,3 |
| Combustible: GAS NATURAL (segunda familia) - GPL (tercera familia) | | | | |
| Categoría combustible : I _{2R} , I _{2H} , I _{2L} , I _{2E} , I _{2E+} , I _{2E+} , I _{2E+} , I _{2ELL} , I _{2E(R)B} / I _{3B/P} , I ₃₊ , I _{3P} , I _{3B} , I _{3R} | | | | |
| Funcionamiento a servicio intermitente (mín. 1 detención cada 24 horas), un estadio | | | | |
| Condiciones entorno permitido en ejercicio / almacenaje : -15... +40°C / -20... +70°C, humedad rel. máx. 80% | | | | |
| Máx temperatura aire comburente | [°C] | 60 | 60 | 60 |
| Presión mínima rampa D1" FS32 METANO/GPL ** | [mbar] | 16/21 | 29/27 | 47/30 |
| Presión mínima rampa D1"1/2 FS40 METANO/GPL ** | [mbar] | - | 15/21 | 15/18 |
| Presión mínima rampa D1"1/2 FS50 METANO/GPL ** | [mbar] | - | - | 12/16 |
| Presión máxima entrada válvulas (Pe.max) | [mbar] | 360 | 200 | 200 |
| Potencia eléctrica nominal | [W] | 470 | 690 | 935 |
| Motor ventilador | [W] | 250 | 370 | 740 |
| Absorción nominales potencias | [A] | 1.7 | 2.5 | 2 |
| Absorción nominales auxiliares | [A] | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| Alimentación eléctrica: | | 1/N~230V-50Hz | 1/N~230V-50Hz | 3~400V, 1/N~230V-50Hz |
| Grado de protección eléctrica: | | IP44 | IP44 | IP44 |
| Rumorosidad *** mín-máx | [dBA] | 68-70 | 69-73 | 73-76 |
| Peso quemador | [kg] | 27 | 28 | 31 |

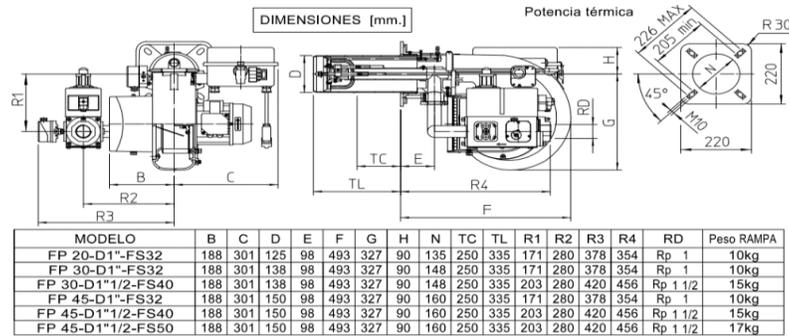


Figura 3.24 medidas de quemadores de gas.

3.4.7.4. Espesor de aislamiento.

Otra consideración importante en el proyecto en desarrollo es determinar el espesor del aislamiento para el secador de banana tomando en cuenta las consideraciones de las perdidas por radiación y convección.

El cálculo se basa en el espesor mínimo óptimo de aislamiento de la lana de vidrio para obtener una temperatura no mayor a 34 °C en la superficie exterior del aislamiento esto para la seguridad de las personas que operaran el equipo.

Para determinar el espesor se está considerando los siguientes pasos:

- 1.- Cálculo del coeficiente de convección libre de una pared plana vertical del secador.
- 2.- Se realizara un balance de energía esto alrededor de una sección plana del secador, de igual manera realizamos el despeje de las fórmulas para el espesor óptimo.
- 3.-Ya para finalizar comprobamos que el flujo de calor total sea menor al estimado en el balance de energía.

COEFICIENTE DE CONVECCION LIBRE DE PARED PLANA VERTICAL.

Tomando como datos que la temperatura interior de la cámara de secado deberá ser de 70°C que es un promedio de temperatura tanto de entrada a la cámara de secado como a la salida en un flujo constante de gases. De igual manera se considera una temperatura de la superficie exterior de 34°C maleable para los operarios del secador. Por consiguiente la

temperatura ambiente del entorno donde está ubicado geográficamente la planta deshidratadora de bananos es considerado en promedio de 30°C

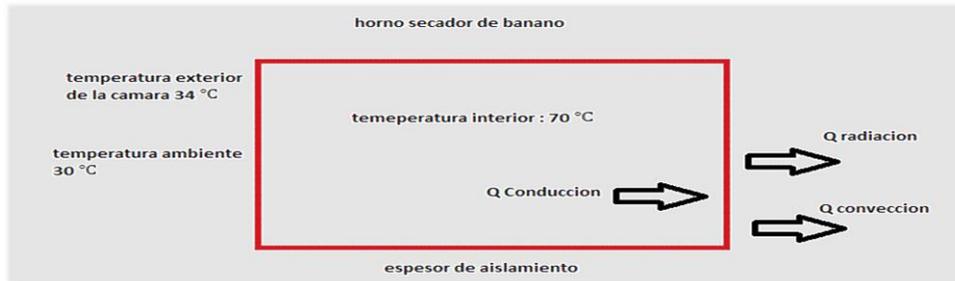


Figura 3.25 Diagrama y balance de energía de la pared de la cámara de secado.

De la tabla 3.13 determinaremos las propiedades del aire a una temperatura media

$$T = \frac{T_e + T_{amb}}{2} \text{ --- (3.14)}$$

Donde:

Te=temperatura exterior del horno.

Tamb=temperatura ambiente.

Y tenemos que:

$$T = \frac{34^\circ\text{C} + 30^\circ\text{C}}{2} = 32^\circ\text{C} = 305 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Tabla 3.11 Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica.

| T (K) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg · K) | $\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m · K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|-------------|-----------------------------|-------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|---|-------|
| Aire | | | | | | | |
| 100 | 3.5562 | 1.032 | 71.1 | 2.00 | 9.34 | 2.54 | 0.786 |
| 150 | 2.3364 | 1.012 | 103.4 | 4.426 | 13.8 | 5.84 | 0.758 |
| 200 | 1.7458 | 1.007 | 132.5 | 7.590 | 18.1 | 10.3 | 0.737 |
| 250 | 1.3947 | 1.006 | 159.6 | 11.44 | 22.3 | 15.9 | 0.720 |
| 300 | 1.1614 | 1.007 | 184.6 | 15.89 | 26.3 | 22.5 | 0.707 |
| 350 | 0.9950 | 1.009 | 208.2 | 20.92 | 30.0 | 29.9 | 0.700 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 230.1 | 26.41 | 33.8 | 38.3 | 0.690 |
| 450 | 0.7740 | 1.021 | 250.7 | 32.39 | 37.3 | 47.2 | 0.686 |
| 500 | 0.6964 | 1.030 | 270.1 | 38.79 | 40.7 | 56.7 | 0.684 |
| 550 | 0.6329 | 1.040 | 288.4 | 45.57 | 43.9 | 66.7 | 0.683 |
| 600 | 0.5804 | 1.051 | 305.8 | 52.69 | 46.9 | 76.9 | 0.685 |
| 650 | 0.5356 | 1.063 | 322.5 | 60.21 | 49.7 | 87.3 | 0.690 |
| 700 | 0.4975 | 1.075 | 338.8 | 68.10 | 52.4 | 98.0 | 0.695 |
| 750 | 0.4643 | 1.087 | 354.6 | 76.37 | 54.9 | 109 | 0.702 |
| 800 | 0.4354 | 1.099 | 369.8 | 84.93 | 57.3 | 120 | 0.709 |
| 850 | 0.4097 | 1.110 | 384.3 | 93.80 | 59.6 | 131 | 0.716 |
| 900 | 0.3868 | 1.121 | 398.1 | 102.9 | 62.0 | 143 | 0.720 |
| 950 | 0.3666 | 1.131 | 411.3 | 112.2 | 64.3 | 155 | 0.723 |
| 1000 | 0.3482 | 1.141 | 424.4 | 121.9 | 66.7 | 168 | 0.726 |
| 1100 | 0.3166 | 1.159 | 449.0 | 141.8 | 71.5 | 195 | 0.728 |
| 1200 | 0.2902 | 1.175 | 473.0 | 162.9 | 76.3 | 224 | 0.728 |
| 1300 | 0.2679 | 1.189 | 496.0 | 185.1 | 82 | 238 | 0.719 |
| 1400 | 0.2488 | 1.207 | 530 | 213 | 91 | 303 | 0.703 |

Por medio de una interpolación lineal a una temperatura de $305^{\circ}K$ tenemos que:

$$\rho = 1.447 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.8696 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$Pr = 0.7063$$

$$k = 0.02668 \text{ W/m.s}$$

Para poder medir el aumento de la transferencia de calor desde una superficie por la que el fluido discurre nos apoyamos con el número adimensional de Nusselt, el cual es utilizable para la determinación del coeficiente de la transferencia de calor por convección

Número de Reynolds para una placa plana.

El No. de Reynolds crítico depende en gran parte de las condiciones de rugosidad de la superficie y del “nivel de turbulencia” de corriente libre. El intervalo normal para el comienzo de la transición se encuentra entre 5×10^5 y 10^6 . Cuando existen perturbaciones muy grandes en el flujo, la transición puede comenzar con números tan bajos como 10^5 y para flujos casi libres de fluctuaciones, esta comenzará hasta $Re = 2 \times 10^6$ o más.

Para esta situación comenzamos calculando la viscosidad cinética con los datos ya obtenidos desarrollamos lo siguiente:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

v = viscosidad cinética (m^2/s)

μ = viscosidad dinámica (kg/seg).

ρ = densidad del aire (kg/m^3)

$$v = \frac{1.8696 E^{-5} \text{ kg/m.s}}{1.447 \text{ kg/m}^3} = 1.2921E^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Con la viscosidad cinética y la distancia equivalente de 2m que recorrerá el fluido de aire tenemos la ecuación de Reynolds:

$$Re = \frac{u_{\infty} * x}{v}$$

Donde:

x = distancia desde el borde principal. (m)

u_{∞} = velocidad promedio del fluido. (m/s)

v = viscosidad cinética (m²/s)

Entonces tenemos:

$$Re = \frac{2m * 0.6828 \text{ m/s} *}{1.2921E^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = \mathbf{105,696.594}$$

Entonces para el número de Nusselt tenemos la ecuación 3.17:

$$Nu_x = \mathbf{0.453} Re_x^{1/2} Pr_x^{1/3} \text{ --- (3.17)}$$

Donde:

Re_x = Numero de reynolds.

Pr_x = Numero de prandtl.(0.7063)

Sustituyendo valores tenemos que el número de Nusselt;

$$Nu_x = (0.453)(105,696.594)^{1/2}(0.7063)^{1/3}$$

$$Nu_x = \mathbf{131.157}$$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor utilizamos la ecuación 3.18:

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} \text{ --- (3.18)}$$

Donde:

h_x = coeficiente de transferencia de calor. (W/m² * °C)

x = longitud característica. (m)

k = conductividad termica del fluido. (W/m * °C)

Despejando el coeficiente de transferencia de calor y con un valor de la conductividad térmica de $26.68E^{-3} \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ sustituyendo valores tenemos:

$$h_x = \frac{(26.68E^{-3} \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C})(131.157)}{2m} = 1.7496 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Tenemos entonces que el coeficiente de transferencia de calor por convección calculada $h_x = 1.7496 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ que se aplicara para las paredes del horno deshidratador de banano.

BALANCE ENERGETICO

Continuamos con un balance de energía en una pared plana del secador utilizaremos la conductividad promedio de la lana de vidrio como $0.065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ y la emisividad térmica de la superficie de 0.95.

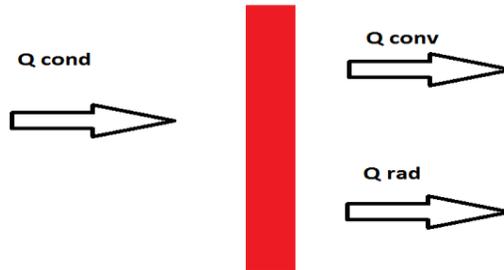


Figura 3.26 Balance de energía de una pared plana

$Q_{cond} = Q_{conv} + Q_{rad}$

Entonces tenemos que:

$$KAs \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = hAs(T_s - T_\infty) + \epsilon\sigma As(T_s^4 - T_\infty^4) \quad \text{--- (3.19)}$$

A esto nos queda que el espesor del aislamiento necesario para el horno deshidratador:

$$\Delta x = \frac{K(T_1 - T_2)}{h(T_s - T_\infty) + \epsilon\sigma(T_s^4 - T_\infty^4)} \quad \text{--- (3.20)}$$

$$\Delta x = \frac{0.065(70 - 34)}{1.7496(34 - 30) + 0.95 * 5.67E^{-8}(307^4 - 303^4)}$$

$\Delta x = 0.07439m$

$\Delta x \approx 2.929 \text{ pulgadas.}$

Lana de vidrio. La lana de vidrio es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumenta la resistencia a la transferencia de calor.



Figura 3.27. Lana de vidrio

Tabla 3.12. Selección de espesor para lana de vidrio (espesor 80 mm).

| PRODUCTO | DIMENSIONES | | | RESISTENCIA TERMICA | | |
|------------------------------|-------------|-------|-------|-------------------------|--------------------|---------------|
| | espesor | ancho | largo | m ² h C/Kcal | m ² R/W | pie H F F/BTU |
| | mm | m | m | | | |
| FIELTRO TENSADO ALU HR | 50 | 1.20 | 16 | 1.4 | 1.2 | 6.9 |
| | 80 | | 12 | 2.2 | 1.9 | 11.1 |
| | 100 | | 7 | 2.8 | 2.4 | 13.8 |
| | 150 | | 5 | 4.3 | 3.7 | 20.8 |
| | 200 | | 4 | 5.7 | 4.9 | 27.0 |

Lamina de acero inoxidable. Durante la producción, y para proteger el alimento, los componentes de la máquina no deben desprender ni absorber sustancias nocivas ni que alteren negativamente el sabor ni el olor de los alimentos, tanto por contacto directo como indirecto. Para garantizar la seguridad durante la limpieza, los materiales de los componentes de la máquina no deben reaccionar al producto de limpieza ni a los productos químicos antimicrobianos (desinfectantes). Por lo tanto, deben ser resistentes a la corrosión, estables mecánicamente y diseñados de manera que la superficie del material no sufra alteraciones.

Esto nos lleva a seleccionar láminas de acero inoxidable para el forrado de nuestro equipo que nos ayude a mantener las características antes mencionadas.

Tabla 3.13 Tabla de calibres para láminas.

| Tabla de Calibres para Lámina | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| Calibre | Pulgadas | Milímetros | Libras por Pie Cuadrado |
| 7 | .187 | 4.7 | 7.871 |
| 8 | .165 | 4.2 | 6.93 |
| 10 | .135 | 3.4 | 5.670 |
| 11 | .120 | 3.0 | 5.040 |
| 12 | .105 | 2.7 | 4.427 |
| 13 | .090 | 2.3 | 3.780 |
| 14 | .075 | 1.9 | 3.154 |
| 16 | .060 | 1.5 | 2.520 |
| 18 | .048 | 1.2 | 2.016 |
| 20 | .036 | 0.9 | 1.512 |
| 22 | .030 | 0.8 | 1.260 |
| 24 | .024 | 0.6 | 1.008 |
| 26 | .020 | 0.5 | 0.756 |
| 28 | .015 | 0.4 | 0.634 |

A manera práctica y a fines maniobrables como se observa en la tabla para la selección de calibres para laminas, el calibre 16 es el permisible y/o adecuada para la construcción y delimitación del equipo.

4. RESULTADOS.

En este capítulo se hace el análisis de los resultados obtenidos mediante el proceso de diseño; para la selección y fabricación del equipo en cuestión, se deban considerar la existencia de elementos primordiales que son esenciales en el cálculo, los cuales son:

Espesor

Para conservar la temperatura dentro del horno de 70 °C y una conductividad promedio de la lana de vidrio de $0.065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ y emisividad térmica de la superficie de 0.95 con esto obtenemos un espesor necesario de aislamiento de 3 in.

Quemador

Para la eliminación de agua del banano que en un 75% del producto es agua de acuerdo a las tablas porcentuales de humedad; para obtener un producto seco es necesario disminuir el porcentaje de humedad hasta un 10%; para ello elevamos la temperatura del aire de 303°K a 343°K; inducimos 197.979 Kw. de calor para mantener la temperatura necesaria dentro del horno y lograr la deshidratación.

Extractor

Para la eliminación del exceso de vapor dentro del horno es preciso un extractor de vapores o aire, esto para tener una recirculación del aire caliente, con la cantidad de flujo másico de 3.9270 kg/seg., la densidad del aire de 2.156 kg/m^3 y un factor de seguridad de 1.5 para el extractor tenemos el caudal de $2.7312 \text{ m}^3/\text{seg}$

Bandeja

La bandeja es indispensable para el horno por ser donde la fruta pasara todo el proceso de deshidratación, para una tonelada requerida es necesario esparcir la fruta es por ello que en base a la cantidad de humedad extraída del producto se requiere un total de 32 bandejas que toleraran alrededor de 31 kg de producto en cada una de los recipientes, del mismo modo tenemos las medidas de cada una de ellas que son 1.8m x 0.8m.

Debido a la disminución de volumen de la fruta ya deshidratada continuamos con la selección de la malla para la bandeja donde reposara la fruta durante todo el proceso de secado y es una malla 2x2 con una hendidura de 11.1 mm calibre 16, esto debido a que el producto deshidratado deberá permanecer en la bandeja de principio a fin.

Los beneficios son el obtener alimentos limpios y nutritivos de autoconsumo que les permitan a las familias rurales conservarlos para consumirlos fuera de temporada y el excedente venderlo localmente, así como el hecho de poder disminuir su peso haciendo más sencillo el envasado y conllevando a la utilización de menos espacios para su almacenaje.

4.1 Observaciones.

- En el armado se toma en cuenta que no deberá tener ninguna hendidura entre cada unión de los ensambles de la lana de vidrio y la delimitación con la lámina galvanizada, que consienta el flujo de calor del interior del horno hacia el exterior, esto para aumentar la eficiencia energética al interior del horno.
- Los equipos aquí seleccionados para la construcción del horno cumplen con las especificaciones obtenidas en lo más cercano a los caculos aquí descritos.
- Adicionalmente para contribuir a que el flujo de aire sea uniforme se concluye que las rodajas de banano se deben disponer en la bandeja intercaladas unas con otras para que el aire se reparta a lo largo de las hendeduras que resultan.

5. RECOMENDACIONES.

- Para cumplir con las normas de alimentos es necesario que la construcción del horno básicamente sea con material de acero inoxidable; esto también ayudará a aumentar la vida útil de la estructura en sí.
- El horno deshidratador estará en funcionamiento 12 horas diarias que es el tiempo que requiere la empresa harinera; es por esto que se recomienda una inspección semanal y un mantenimiento mensual de cada uno de sus componentes.
- Con el fin de que el aire que circula por las bandejas y entre las rodajas de banano sea de manera uniforme, las bandejas que contienen las rodajas deben de evitar interrumpir el flujo, por lo que estas se construyen en malla de tal forma que su espesor no obstruya el camino del aire, además para dar estabilidad a la estructura y no afectar esta característica.

BIBLIOGRAFIA.

- “Transferencia de calor” J.P. Holman 8ª Edición.
- “Transferencia de calor y masa” Yunus A. Cengel. Tercera edición.
- “Guía técnica del cultivo del platano” ing. Mauricio Guerrero. Programa MAG-CENTA-FRUTALES.
- “Monografía del sector plátano en México: situación actual y oportunidades de mercado.” Secretaria de economía, Dirección general de industrias básicas.
- “Termodinámica” Yunus A. Cengel, Michel A. Boles. Cuarta edición. Mc. Graw Hill.
- http://www.infoalimentacion.com/documentos/deshidratacioin_la_forma_mas_antigua_sana_de_conservar_alimentos.htm.(marzo de 2016)
- <https://prezi.com/dhyyqllly2ilp/deshidratacion-en-los-alimentos/>.(marzo2016)
- <http://www.ecoagricultor.com/el-platano-o-banana-sus-beneficios-y-propiedades/>.(marzo de 2017)
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf/(julio de 2017)
- <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html/>(julio de 2017)

Anexos