

**DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCION PARA FRUTAS Y  
VEGETALES**

**CESAR AUGUSTO MURILLO ARIAS**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR DE CONVECCION PARA FRUTAS Y  
VEGETALES**

**CESAR AUGUSTO MURILLO ARIAS**

Trabajo de Grado para optar el titulo de  
Ingeniero Mecánico

Director

**GIOVANNI TORRES**

Msc. Ingeniería Mecánica

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en Cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.

ING. CRISTIAN CHAMORRO  
Jurado

ING. JULIAN PORTOCARRERO  
Jurado

Santiago de Cali, 27 Julio de 2007

Dedico este proyecto a mis padres a quienes agradezco por darme alientos para terminar mi carrera y me dieron el empuje necesario para sacar este proyecto adelante, ellos son las personas mas valiosas que tengo en la vida junto con mi hermana agradezco a ellos infinitamente por estar a mi lado en los momentos buenos y en los malos, que mi futuro y el éxito de mi carrera se lo dedico en especial a ellos.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Especialmente a Dios quien me dio la vida y que con su voluntad y su fuerza me dio la entereza necesaria para concluir con éxito este proyecto.

Doy gracias a una persona que me dio oportunidad para lograr este objetivo el Ing. STEVENSON MONTENEGRO de la empresa GASEINOX LTDA. Así mismo a todas las personas que en un momento dado me colaboraron con la consecución de la información.

Todo el personal del CIAT (Centro de Investigación de Agricultura Tropical)

Ing. NESTOR ARTURO PINCAY quien me colaboro con su experiencia y me oriento en el proyecto.

Ing. GIOVANNI TORRES quien con su asesoría constante sirvió como mi director en este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	14
RESUMEN	18
INTRODUCCION	20
1. JUSTIFICACION	22
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
3. METODOS DE SECADO	24
3.1 DESHIDRATACION POR OSMOSIS	24
3.2 DESHIDRATACION POR SECADO AL SOL	25
3.3 DESHIDRATACION POR LIOFILIZACION	25
3.4 DESHIDRATACION POR CONGELACION	26
3.5 DESHIDRATACION POR CONVECCION	26
4. MECANISMO DE DESHIDRATACION	28
4.1 MECANISMOS DE SECADO	28
4.2 DETERMINACION DE LOS TIEMPOS DE SECADO	30
4.2.1 Periodo de velocidad constante	30
4.2.2 Periodo de velocidad decreciente	31
5. CARACTERISTICAS DE FRUTOS ALIMENTICIOS	33
5.1 ESTADO DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS	33
5.1.1 Isotermas de Sorción	35
5.2 CARACTERISTICAS DE PRODUCTOS A DESHIDRATAR	37
5.3 CARACTERISTICAS GENERALES	40
5.4 EL MANGO EN COLOMBIA	43

6. ANALISIS GENERAL DE DISEÑOS EXISTENTES	47
6.1 TIPOS DE DESHIDRATADORES DE AIRE CALIENTE	47
6.1.1 Deshidratadores de tolva	47
6.1.2 Secador de aspersión	48
6.1.3 Secador de lecho fluidizado	49
6.1.4 Secador rotativo	50
6.1.5 Secador solar	51
6.1.6 Secador de bandejas	52
6.1.7 Secador neumático	53
6.2 CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO	54
6.2.1 Velocidad de secado	54
6.2.2 Capacidad	55
6.2.3 Temperatura de trabajo	55
6.2.4 Tamaño	55
6.2.5 Producto	55
6.2.6 Energía	55
6.3 CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS	55
6.3.1 Manejo	55
6.3.2 Marco tecnológico	56
6.3.3 Costo	56
6.3.4 Calidad del producto	56
6.3.5 Seguridad y tipo de proceso	56
6.4 SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATADOR	56
7. MODELO DEL SISTEMA DE SECADO	60
7.1 CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN	60
7.1.1 Uso del aire en el secador	60
7.1.2 Escaldado	60
7.2 BALANCE DEL SISTEMA DEL SECADOR	62
7.2.1 Balance de masa de agua	62

7.2.2 Balance de energía	63
7.3 BALANCE DEL SISTEMA DE RECIRCULACION	63
7.3.1 Balance de masa	64
7.3.2 Balance de energía	64
7.4 BALANCE EN EL CALENTADOR	65
7.4.1 Balance de energía	65
7.5 ESTABLECIMIENTO GENERAL DE LOS VALORES DE DISEÑO	65
7.5.1 Calculo de condiciones del secador	65
7.5.2 Calculo de condiciones de la cámara de mezcla	68
7.5.3 Calculo para el calentador	68
8. ANALISIS DEL SECADOR	69
8.1 ANALISIS DE VARIABLES DE DISEÑO Y DESEMPEÑO	69
8.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	75
8.3 CALCULO DEL CAUDAL DE AIRE	76
8.4 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA FRUTA	77
8.5 CALCULO DE ENERGIA REQUERIDA	78
8.5.1 Calculo de energía requerida para calentar el aire	79
8.5.2 Calculo de energía necesaria para calentar la fruta	80
8.5.3 Calculo de energía perdida	80
8.5.4 Calculo de energía total requerida para el sistema	87
9. DISEÑO DEL CUERPO DEL DESHIDRATADOR	89
9.1 DISEÑO DE LAS BANDEJAS	89
9.2 DISEÑO DE LOS PORTABANDEJAS	91
9.3 DISEÑO DEL TUNEL DE SECADO	94
10. SELECCION DEL SISTEMA DEL DESHIDRATADOR	96
10.1 SISTEMA DE CALEFACCION	96
10.2 VARIABLES DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	96
10.2.1 Costo	97
10.2.2 Disponibilidad	97



10.2.3 Mantenimiento	97
10.3 MATRIZ DE SELECCION	98
10.4 SELECCION DEL CALENTADOR	98
10.5 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	99
11. SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL	102
11.1 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO	103
11.2 SISTEMA DE CONTROL DEL DESHIDRATADOR	103
12. CONCLUSIONES	108
BIBLIOGRAFIA	110
ANEXOS	113

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Porcentajes de humedad y actividad de agua en algunos alimentos	36
Tabla 2. Características del mango	41
Tabla 3. Características del aguacate	41
Tabla 4. Características de la guayaba	42
Tabla 5. Características de la papaya	42
Tabla 6. Condiciones optimas de secado del mango a diferentes temperaturas en función del tiempo de secado	45
Tabla 7. Matriz de selección de secador	58
Tabla 8. Matriz de relación entre sistema eléctrico y a gas.	98

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Velocidades de secado	30
Figura 2. Actividad del agua en los alimentos	34
Figura 3. Isoterma de desorción experimental de la papaya comparada con el modelo GAB.	38
Figura 4. Orden geográfico de grandes cultivadores	44
Figura 5. Tolva de secado	48
Figura 6. Secador de aspersion	49
Figura 7. Secador de lecho fluidizado	50
Figura 8. Secador rotativo	51
Figura 9. Secador solar	52
Figura 10. Secador de bandejas	53
Figura 11. Secador neumático	54
Figura 12. Operación de aire a contraflujo	61
Figura 13. Esquema del secador	62
Figura 14. Esquema de cámara de mezcla de aire	64
Figura 15. Efecto de la recirculación del aire de salida del secador sobre humedad de entrada para el calentador.	70
Figura 16. Efecto de recirculación de aire del secador evaluado en función de los valores de entalpía.	71
Figura 17. Cantidad de energía por unidad de hora necesaria para calentar el aire a la temperatura de secado.	73
Figura 18. Humedad de salida del secador contra la masa de aire de entrada.	74
Figura 19. Esquema de entrada y salida de energía del sistema	79
Figura 20. Aislamiento de las paredes del deshidratador	81
Figura 21. Esquema ducto rectangular	83

Figura 22. Esquema de funcionamiento del sistema	89
Figura 23. Bandeja de secado	90
Figura 24. Área de tubería cuadrada	91
Figura 25. Caso de deflexión en las columnas	92
Figura 26. Portabandejas.	94
Figura 27. Esquema de túnel de secado.	95
Figura 28. Esquema de conexión	104
Figura 29. Ejemplos de esquemas de trabajo y funciones que permite labVIEW	106
Figura 30. Diagrama general de la disposición de los higrómetros	107

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Catalogo de selección calentador eléctrico marca Caloritech	113
Anexo 2. Catalogo de descripción calentador eléctrico marca Caloritech	114
Anexo 3. Tabla de factor de humedad relativa y altitud en pies	115
Anexo 4. Tabla del factor de densidad	116
Anexo 5. Catalogo del ventilador siemens seleccionado.	117
Anexo 6. Catalogo de la malla expandida de acero inoxidable.	118
Anexo 7. Catalogo de la lana mineral para recubrimiento.	119
Anexo 8. Carta psicométrica para la ciudad de Cali.	121
Anexo 9. Catalogo de tarjetas de adquisición de datos marca KEITHLEY.	122
Anexo 10. Planos del sistema	123
Anexo 11. Análisis de costos del deshidratador	127
Anexo 12. Análisis de esfuerzos del portabandejas	128
Anexo 13. Tabla de propiedades características del acero inoxidable	129

## **GLOSARIO**

**DIFUSION:** es el movimiento neto de sustancia (líquida o gaseosa) de un área de alta concentración a una de baja concentración.

**ISOTERMA:** grafica donde la temperatura es constante.

**LIOFILIZACION:** deshidratación mediante un proceso de vacío.

**ORGANOLEPTICAS:** propiedades de los alimentos orientadas primordialmente a los procesos de conservación de calidad de los productos.

**OSMOSIS:** paso de líquidos de distinta densidad a través de una membrana porosa que los separa.

**PARDEAMIENTO:** momento en el cual por efectos del secado los alimentos se tornan ásperos y oscuros, y pierden sus propiedades y aroma.

## APENDICE

$\dot{m}_{a_1}$	Flujo Masa de aire que entra al secador en kg/h
$\dot{m}_{a_2}$	Flujo Masa de aire que sale del secador en kg/h
$W_1$	Humedad absoluta del aire a la entrada del secador
$W_2$	Humedad absoluta a la salida del secador
$\dot{m}_4$	Flujo Masa de fruta a la entrada del secador en kg/h
$\dot{m}_5$	Flujo Masa de fruta que sale del secador en kg/h
$\dot{m}_{evap}$	Flujo Masa de agua a evaporar en kg/h
$\dot{m}_f$	Flujo masa de la fruta en kg/h
$c_{pf}$	Calor especifico de la fruta en KJ/kg °C
$C_{pT1}$	Calor especifico del aire a la temperatura de entrada
$C_{pT2}$	Calor especifico del aire a la temperatura de salida
$C_f$	Coeficiente de fricción en flujo turbulento
$F_D$	Fuerza de resistencia al movimiento
$h_3$	Entalpía del agua de entrada en KJ/kg
$h_6$	Entalpía del vapor a la salida en KJ/kg
$T_4$	Temperatura de entrada de la fruta en el secador
$T_5$	Temperatura de salida de la fruta en el secador
$T_1$	Temperatura de entrada del aire en el secador
$T_2$	Temperatura de salida del aire en el secador
$h_{v1}$	Entalpía del vapor de agua a la temperatura de entrada
$h_{v2}$	Entalpía del vapor de agua a la temperatura de salida
$w_{r1}$	Humedad absoluta del aire ambiente que ingresa en la cámara de mezcla

$w_{r2}$	Humedad absoluta del aire recirculado que ingresa en la cámara de mezcla
$w_{r3}$	Humedad absoluta del aire de salida de la cámara de mezcla
$h_{r1}$	Entalpía del aire ambiente que ingresa en la cámara de mezcla
$h_{r2}$	Entalpía del aire recirculado que ingresa en la cámara de mezcla
$h_{r3}$	Entalpía del aire de salida de la cámara de mezcla
$\dot{Q}_{cal}$	Potencia de energía en el calentador
$h_s - h_e$	Diferencia de entalpías de entrada y de salida en el calentador
$\dot{m}_{ac}$	Flujo de Masa de aire que ingresa en el calentador en kg/h
$\phi_i$	Humedad relativa del aire ambiente en valor porcentual
$p_v$	Presión de parcial de vapor de agua en el aire en (Kpa)
$p_g$	Presión de saturación del vapor de agua en el aire en (kpa)
$p$	Presión atmosférica del aire
$\rho$	Densidad del aire que ingresa al sistema en kg/m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	Flujo volumétrico de aire en el sistema en m <sup>3</sup> /h
$\dot{m}$	Flujo de masa que entra al sistema en kg/h
$V$	Velocidad de aire que ingresa al deshidratador en m/h
$A$	Área de sección transversal por donde pasa el aire en m <sup>2</sup>
$D_H$	Diámetro hidráulico del área de flujo de aire
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido en kg.m/s
$f$	Factor de fricción para superficies lisas
$Pr$	Numero de prandtl
$K$	Conductividad térmica del aire en W/m <sup>2</sup> °C



$\dot{Q}_{CA}$	Potencia de energía para calentar el aire
$\dot{Q}_{CAC}$	Potencia de energía para calentar el material
$C_{pa}$	Calor específico del aire a la temperatura promedio en KJ/kg°C
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas de entrada y de salida del aire en el calentador hacia el sistema
$\dot{V}$	Caudal de aire que ingresa al calentador en ft <sup>3</sup> /min
$V_s$	Velocidad de aire a la salida del ventilador en pulg/s
$A_s$	Área de salida de aire del ventilador
$P_s$	Presión del aire a la salida del ventilador en lbf/pulg <sup>2</sup>
$P_e$	Presión del aire a la entrada del ventilador en lbf/pulg <sup>2</sup>
$V_e$	Velocidad de aire a la entrada del ventilador en pulg/s

## RESUMEN

En el proyecto se hace referencia a los modelos de secado que se utilizan hoy día en la industria, se hace una comparación con el fin de establecer según la necesidad cual es el modelo óptimo para usar en un tipo de alimento como el mango, para lo cual se utiliza una matriz de selección con grados de importancia sobre las variables más relevantes y se resalta la importancia de las características de las propiedades de las frutas en el proceso de deshidratación.

En el diseño del deshidratador se realizó una investigación previa para encontrar los parámetros óptimos de trabajo para un grupo de frutos, con lo que se estableció primero la formulación del problema para establecer una idea general de cómo va a ser el proceso de deshidratación y con que tipo de mecanismo se trabajara para los productos seleccionados. El siguiente paso está basado primordialmente en el análisis de ecuaciones que rigen el sistema de operación de secado dentro del túnel de deshidratación; el cual se seleccionó como método óptimo de secado. Se hace un análisis de las ventajas y desventajas de la recirculación dentro de un secador de frutas de tipo semicontinuo, teniendo en cuenta los valores óptimos de temperatura para la deshidratación de un grupo de frutas dentro de las cuales el mango es una de las mejores alternativas de deshidratación pues en la región del valle del Cauca hay mucho terreno que es apropiado para este tipo de cultivo y aun así el departamento sigue en el último lugar dentro de los grandes productores de mango en el país por lo que para el proyecto esta fruta representa una alternativa más hacia los productores de alimentos de la región.

Mediante modelos gráficos y matemáticos se llega a establecer parámetros de operación adecuados para el diseño del túnel, con los cuales se seleccionan los

componentes funcionales del sistema; como son el ventilador y el calentador de resistencias.

## INTRODUCCION

Con el proyecto del deshidratador se pretende ayudar a crecer un sector de la industria agrícola colombiana, la cual presenta grandes falencias frente a las grandes cadenas de producción.

La deshidratación consiste en la eliminación del agua de un alimento en forma de vapor mientras el producto está siendo calentado. Y se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos, por evaporación, aplicando calor. El objetivo principal de la deshidratación consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su cantidad de agua.

La deshidratación reduce también el peso y volumen del producto, lo que disminuye los gastos de transporte y almacenamiento. Esta técnica sirve también para poner al alcance del consumidor una mayor variedad de alimentos derivados del secado. Un efecto no deseado de la deshidratación es que esta altera en cierto grado, tanto las características organolépticas, como el valor nutritivo de los alimentos.

La fruta deshidratada es una alternativa para conservar la producción de los fruticultores y una oportunidad que puede dejar grandes resultados económicos; Se calcula que cerca de 40 por ciento de las cosechas de fruta se arruinan por las condiciones climáticas o pérdidas en el transporte de la mercancía, y con los procesos para deshidratar la fruta se ayudaría a mejorar ese tipo de falencia en la industria.

El proyecto presenta una solución hacia el sector agrícola en Colombia donde los mecanismos de conservación de los productos son deficientes y es a los

agricultores a quien más interesaría este tipo de tecnología, ya que los mercados que muestran mayor interés por frutas tropicales como plátano, mango, guayaba y fresa son Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos con lo que la exportación de este variedad de alimentos secos puede representar ganancias económicas a la industria agrícola del país.

## **1. JUSTIFICACION**

La deshidratación es una de las soluciones al problema de conservación de productos alimenticios naturales en el sector agrícola, le permite a esté competir con una producción de alta calidad y con una variedad muy amplia de productos con valor agregado, pensando en el panorama que se abre con la entrada del TLC y dado que el país se encuentra en una posición privilegiada del sector agrícola debido a los pocos cambios climáticos y a las características geográficas que este posee.

La idea es para presentar una alternativa de producción, dentro de un rango competitivo en el sector económico, con el cual se puedan lograr mayores ganancias y mayor explotación de las zonas rurales del país que permitan lograr una mayor diversificación, facilidades de almacenaje y transporte, por la conservación de alimentos en temporadas de alta cosecha; para utilizarlo en épocas de baja cosecha, lo cual redundara en la mejora de la sociedad campesina del sector agrícola.

El deshidratador de frutas es una de tantas soluciones tecnológicas aplicadas al desarrollo de los sectores rurales del país y representa muchísimas soluciones para otro tipo de productos que se puedan estar elaborando en las diferentes regiones.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una máquina para deshidratar frutas, aplicable al sector agrícola de Colombia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Establecer una base teórica para el diseño de deshidratadores (modelo teórico)
- Establecer un rango de productos agrícolas con características similares en cuanto al proceso, que permita establecer la misma plataforma del sistema de deshidratación.
- Determinar el esquema de diseño del sistema de calentamiento mas adecuado.
- Realizar el Diseño del sistema estructural.
- Establecer el esquema general de control para el deshidratador.

### **3. METODOS DE SECADO**

Los métodos de secado han sido utilizados desde la prehistoria pero es solo hasta la segunda guerra mundial que se crea una necesidad real de llevar estos a un nivel de producción y de refinación, y buscar nuevos métodos mucho más eficientes que tarden un menor tiempo además de obtener la mejor calidad.

Por ello Las técnicas exploran las propiedades del material y como cada proceso afecta de manera diferente la calidad del producto, además de que tienen en cuenta las temperaturas de trabajo y el consumidor final a fin de encontrar y desarrollar la mejor de las técnicas que mas se adapte a las necesidades de cierta población de consumo.

#### **3.1. DESHIDRATACION POR OSMOSIS**

La deshidratación Osmótica (DO) es una técnica que aplicada a productos frutihortícolas permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60 % en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles. Si bien el producto obtenido no es estable para su conservación, su composición química permite obtener, después de un secado con aire caliente o una congelación, un producto final de buena calidad organoléptica.

En este proceso el producto es puesto en contacto con una solución concentrada de alcohol, sales y/o azúcares, estableciéndose una doble transferencia de materia: agua desde el producto hacia la solución – junto con sustancias naturales (azúcares, vitaminas, pigmentos) – y, en sentido opuesto, solutos de la solución hacia el producto. En consecuencia el alimento pierde agua, gana sólidos solubles y reduce su volumen.



### **3.2. DESHIDRATACION POR SECADO AL SOL**

Este tipo de secado es una técnica sencilla en la cual el alimento es expuesto a una acción directa de la radiación solar con la cual se produce calor suficiente para extraer el agua en muchos de los alimentos. Existen dos tipos de Secadores dentro de los que se haya el de exposición directa, en que el producto preparado se expone al sol en una caja ventilada de paredes y tapa transparentes sobre una base aislada que absorbe el calor; pero este tipo de secadores no permiten controlar debidamente la temperatura ni la corriente de aire. Y los secaderos de exposición indirecta, en los que una trampa térmica inclinada y aislada dirige una corriente de aire calentado por el sol hacia lo alto de una torre, donde está expuesto el producto en bandejas de tela metálica (malla); la corriente de aire y la temperatura pueden controlarse mediante rejillas colocadas en los orificios de entrada y de salida del aire. La exposición directa se combina con la indirecta cuando las paredes de un secadero indirecto se hacen de un material transparente a fin que el producto puesto a secar quede también expuesto en alguna medida al calor del sol. Utilizando el método de secado solar indirecto se reduce el ritmo de pérdida de vitamina C del producto.

### **3.3. DESHIDRATACION POR LIOFILIZACIÓN**

Liofilización o secado al vacío, proceso que consiste en la deshidratación de una sustancia por sublimación al vacío. Consta de tres fases: congelación, desecación primaria y desecación secundaria. La liofilización, ideada a principios del siglo XX, no se difundió hasta después de la II Guerra Mundial. Limitada inicialmente al campo de la sanidad (conservación de medicamentos), no se aplicó hasta 1958 al sector alimentario. Es una técnica costosa y enfocada a unos pocos alimentos, como la leche, la sopa, los huevos, la levadura, los zumos de frutas o el café. Este

sistema presenta la ventaja que la evaporación del agua es más fácil con presiones bajas. En los secadores mediante vacío la transferencia de calor se realiza mediante radiación y conducción; puede funcionar por baches o mediante banda continua con esclusas de vacío en la entrada y la salida.

### **3.4. DESHIDRATACION POR CONGELACIÓN**

Consiste en la eliminación de agua mediante sublimación directa desde el hielo, y esto se consigue manteniendo la temperatura y la presión por debajo de las condiciones del punto triple (punto en el que pueden coexistir los tres estados físicos, tomando el del agua un valor de 0,0098 °C). Este método presenta las siguientes ventajas: se reduce al mínimo la alteración física de las hortalizas, mejora las características de reconstitución y reduce al mínimo las reacciones de oxidación y de tratamiento térmico. Cuando se realiza la deshidratación mediante congelación acelerada se puede apurar la desecación colocando el material a deshidratar entre placas calientes.

### **3.5. DESHIDRATACION POR CONVECCIÓN**

La capacidad del aire para eliminar el agua de un alimento depende de su temperatura y del agua que contiene este, que se expresa como (humedad absoluta), (HA) en kg; humedad relativa (HR) en porcentaje, que representan la relación existente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura multiplicado por cien. El proceso implica simplemente el hacer pasar alrededor de el alimento una corriente de aire caliente la cual elimina el agua que se encuentra dentro y en la superficie del alimento, en este proceso se debe tener presente que cada alimento presenta sus

características especiales de trabajo y que sus índices de difusión del agua varían por lo cual hay ciertos productos que tardan bastante en secarse hasta un porcentaje óptimo de conservación; este tipo de estructuras y proceso es el menos complejo y uno de los más baratos por eso se hace tan aplicable a muchos tipos de producciones.

## **4. MECANISMO DE DESHIDRATACION**

La deshidratación o desecado de cualquier sólido consiste, en separar un líquido de un sólido por evaporación y no mediante métodos mecánicos como lo podría hacer el secado. En alimentos se suele hablar de deshidratación está es la eliminación casi completa del agua de los mismos en forma de vapor bajo condiciones de temperaturas controladas.

Existen varias formas de extraer el agua de un alimento o de una sustancia pero se mostraran las más utilizadas en la deshidratación de productos como las hortalizas y frutas incluyendo sus derivados. Sin embargo sigue siendo la técnica de aire caliente la más conveniente para este diseño.

### **4.1 MECANISMOS DE SECADO**

Cuando el aire caliente entra en contacto con un alimento húmedo, su superficie se calienta y el calor transmitido se utiliza como calor latente de evaporación, con lo que el agua que contienen pasa a estado de vapor. El vapor de agua, que atraviesa por difusión la capa de aire en contacto con el alimento, es arrastrado por el aire en movimiento, generándose sobre aquél una zona de baja presión y creándose entre el aire y el alimento un gradiente de presión de vapor. Este gradiente proporciona la fuerza impulsora que permite eliminar el agua. El agua escapa de la superficie del alimento por los siguientes mecanismos:

- Por capilaridad
- Por difusión, provocada por las diferencias en la concentración de solutos entre las distintas partes del alimento

- Por difusión del agua, absorbida en diversas capas sobre la superficie de los componentes sólidos del alimento
- Por difusión gaseosa provocada por el gradiente de presión de vapor existente en el interior del alimento.

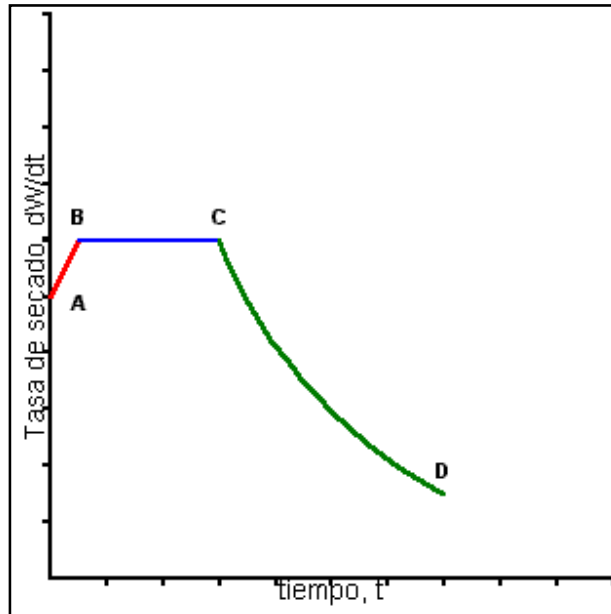
Cuando un alimento se introduce en un desecador hay tres periodos diferentes en los cuales se produce la deshidratación total (ver figura 1), en el primero transcurre un periodo inicial de estabilización al final del cual la superficie del alimento alcanza la temperatura del bulbo húmedo (zona AB). Seguidamente la desecación comienza y si el agua migra a la superficie del alimento a la misma velocidad que se produce la evaporación, aquella permanece húmeda. Este periodo (zona BC) que se denomina **periodo de velocidad constante** se mantiene hasta que se alcanza la **humedad crítica** \*. La temperatura durante este periodo permanece constante y se aproxima a la temperatura de bulbo húmedo.

Una vez que la humedad superficial ha sido eliminada, es preciso enviar la humedad interna remanente hacia el exterior para que pueda ser evaporada; en consecuencia la velocidad de secado decrece a medida que se va perdiendo humedad interna por evaporación en la superficie. Este periodo es el llamado de **velocidad decreciente** (zona CD). Claramente se ve entonces las tres etapas en un modelo grafico que muestra la razón de humedad del alimento con respecto al tiempo.

---

\* Humedad crítica: también conocida como humedad de equilibrio, es en la que el producto ni pierde ni gana más humedad

**Figura 1. Velocidades de secado**



#### **4.2 DETERMINACION DE LOS TIEMPOS DE SECADO**

4.2.1 Periodo de velocidad constante (zona BC, ver figura 1). Durante este periodo de secado de velocidad constante, los dos fenómenos de transporte que tienen lugar son la transferencia de materia (vapor de agua), hacia el medio ambiente desde la superficie del producto a través de una película de aire que rodea el material y la transferencia de calor a través del sólido. Con base en ello se puede determinar teóricamente el tiempo  $\theta_C$  que tarda en realizarse este proceso en el material dentro de un secador. Es importante resaltar la influencia de el contenido de humedad inicial ( $X_0$ ) y la el contenido de humedad crítica del material ( $X_c$ ).

$$\theta_c = \frac{W^*(X_o - X_c)}{A * N_c} \quad (1)$$

**Donde:**

**W = Kg. De Matera Seca**

**A = Área total de Transferencia**

**Nc = Velocidad de Secado**

4.2.2 Periodo de velocidad decreciente (zona CD, ver figura1). En este el periodo el movimiento del agua en el solidó puede explicarse por distintos mecanismos, como son: difusión del líquido debido a gradientes de concentración, difusión del vapor debido a la presión parcial de vapor, movimiento del líquido por fuerzas capilares. Todos estos fenómenos del movimiento del agua a través del alimento dependen tanto de su estructura como del momento en el tiempo  $\theta_f$  en que el producto alcance el contenido de humedad crítica  $X^*$ . Este se caracteriza por confrontar su ecuación de cálculo teórico con un nivel de humedad menor que el crítico pero mayor que el de humedad de equilibrio  $X_s$ .

$$\theta_f = \frac{W^*(X_c - X^*)}{N_c * A} * Ln \frac{(X_c - X^*)}{(X_s - X^*)} \quad (2)$$

**Donde:**

**$(X_c - X^*)$  = Humedad libre al principio del periodo**

**$(X_s - X)$  = Humedad libre al final del periodo**

**$N_c$  = Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante**



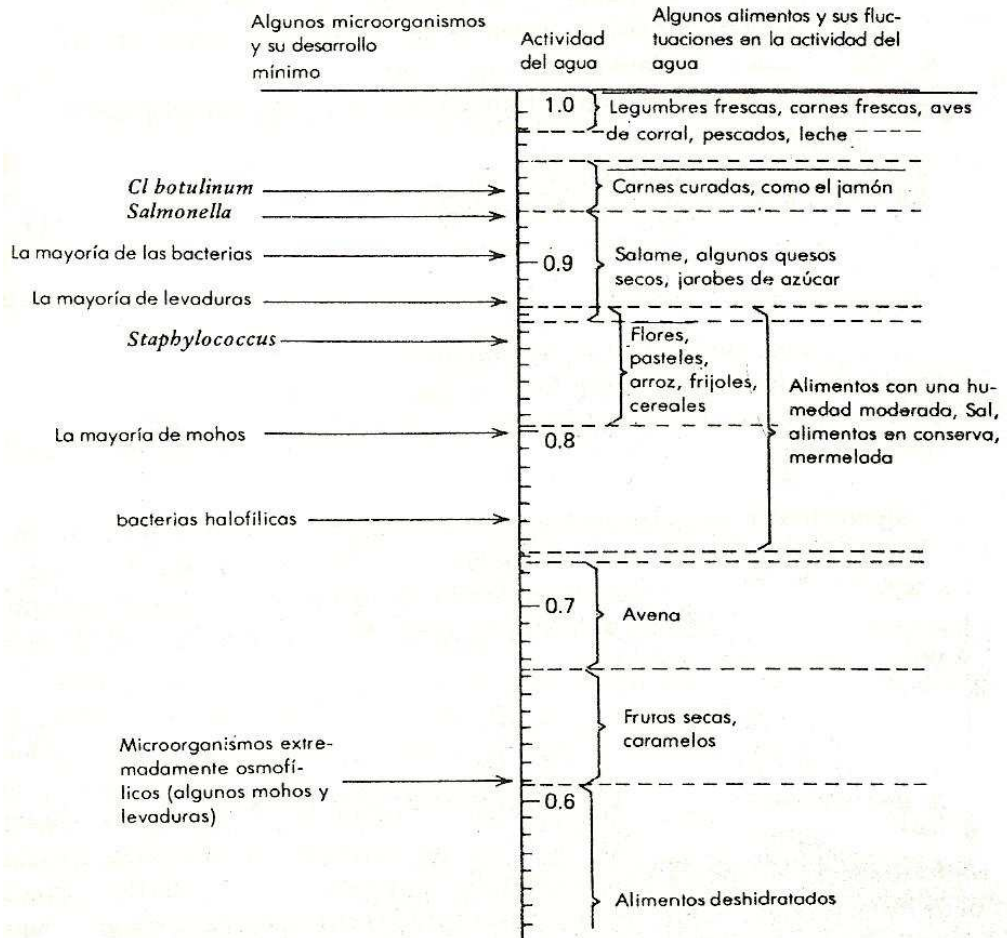
## 5. CARACTERISTICAS DE FRUTOS ALIMENTICIOS

### 5.1 ESTADO DEL AGUA EN LOS ALIMENTOS

La disponibilidad del agua para crecimiento microbiano y actividad química no solo se determina por el contenido total del de agua, sino también por la naturaleza de su unión con los alimentos, la cual esta determinada por la actividad de agua  $a_w$ .

El método más adecuado para estudiar las propiedades del agua es el estudio de las isotermas de sorción. Estas son curvas que relacionan la presión parcial del agua en el alimento con el contenido de agua. Llamando así a esta relación como actividad del agua  $a_w$  del alimento (ver figura 2); esta también es conocida como la humedad relativa en equilibrio de una sustancia, y es igual a la humedad relativa cuando una sustancia se sella en un recipiente y se deja llegar al punto de equilibrio, a su vez la  $a_w$  indicara la facilidad relativa para eliminar el contenido del agua de un producto durante su deshidratación.

**Figura 2. Actividad del agua en los alimentos**



Fuente: CLAIR BATTY, J. Fundamentos de la ingeniería de alimentos. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1989. p. 205.

### 5.1.1. Isotermas de sorción.

Las isotermas de sorción representan la relación entre el contenido en agua de un alimento y su actividad de agua, a una temperatura constante (Labuza y Hyman, 1998). Dado que el procedimiento más habitual para preservar la calidad de los alimentos es la reducción de la actividad de agua  $a_w$  a niveles suficientemente bajos como para inhibir el crecimiento microbiano, la obtención de la isoterma de sorción es esencial para establecer los límites de humedad a partir de los cuales se inhibe el crecimiento microbiano y la producción de micotoxinas durante el almacenamiento (Castillo et al., 2003).

Las isotermas de sorción son una herramienta fundamental en el estudio de los alimentos, ya que muchas propiedades físicas y reacciones de deterioro, tales como la textura, color, procesos de oxidación y valor nutritivo, son función más de la actividad de agua  $a_w$  que del contenido en humedad (Sapru y Labuza, 1996).

Una de las más populares ecuaciones de isotermas en alimentos es la ecuación de BET (Brunauer-Emmet-Teller), que se aplica sólo para valores de  $a_w$  inferiores a 0,5 y en la mayoría de los casos hasta 0,35. Pero se considera que el modelo que más ventajas presenta es el de GAB (Guggenheim-Anderson-deBoer), que se puede aplicar a casi todos los alimentos con valores de  $a_w$  comprendidos entre 0 y 0,9; proporciona no sólo el valor de la humedad monocapa (punto por debajo del cual las velocidades de reacción en fase acuosa son mínimas), sino también información relativa al calor de sorción de monocapa y multicapa por ello se presenta el modelo de ecuación GAB.

$$X_e = \frac{X_m C K a_w}{[(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)]} \quad (3)$$

Donde  $X_e$  es la humedad del alimento en el equilibrio,  $X_m$  es la humedad de la monocapa,  $a_w$  es la actividad de agua en los alimentos (ver tabla 2),  $C$  es la constante de Guggenheim relacionada con el calor de sorción de la primera capa y  $K$  es el factor relacionado con el calor total de sorción multicapa.<sup>1</sup>

**Tabla 1. Porcentajes de humedad y actividad de agua en algunos alimentos**

Alimento	% de Humedad	$a_w$
Leche en Polvo	8	0.70
Frijoles	15	0.70
Vegetales Secos	12-20	0.70
Frutas secas	18-25	0.70
Coco Rallado	4,2	0.65
Miel	16,5	0.53
Jugo de Naranja Concentrado	31,5	0.78
Pasa de Banana	34,6	0.84
Mermelada de Guayaba	27,6	0.80
Pasa de uva	14,4	0.58

Fuente: BACIGALUPO, Antonio. Procesamiento de alimentos en pequeñas agroindustrias: Guía práctica. Santiago de Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1986. p. 126.

<sup>1</sup> MIRANDA ALONSO, Gonzalo. Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y albaricoques deshidratados. Valencia, 2003. p. 174. Tesis doctoral (Doctor en Ciencias Químicas). Universidad de Valencia. Departamento de Ingeniería Química.

## 5.2 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS A DESHIDRATAR

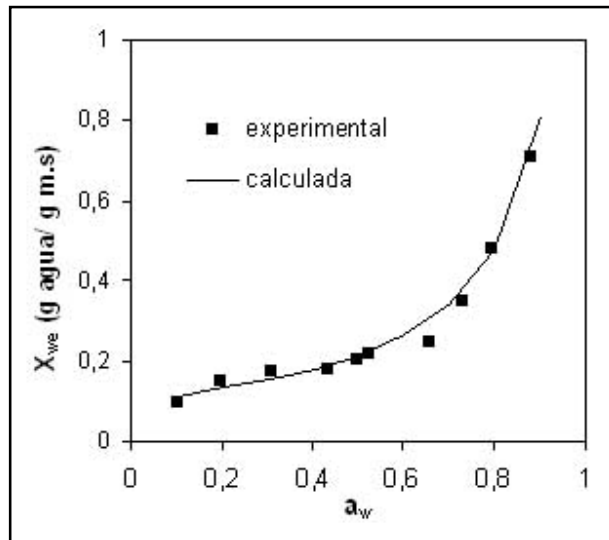
Se escogieron entonces unos productos cuyas características generales sean muy similares para hacer de estos un grupo homogéneo para el trabajo de diseño del deshidratador; estas características de los alimentos presentan aun más ventajas para alcanzar los objetivos del proyecto ya que este tipo de frutos se cultivan en la zona occidental de nuestro país, convirtiéndose en una alternativa de producción para el sector agrícola.

Los cuatro productos escogidos son:

- MANGO
- AGUACATE
- GUAYABA
- PAPAYA

Los factores que influyen en la elección del método óptimo y de la velocidad de deshidratación más adecuada tienen que ver con las características de los productos a deshidratar: la actividad del agua para distintos contenidos de humedad y a una temperatura determinada de los alimentos (como el ejemplo de la figura 3), resistencia a la difusión, conductividad del calor, tamaño efectivo de los poros, etc. También características de las mezclas aire/vapor a diferentes temperaturas y la capacidad de rehidratación o reconstrucción del producto después de un determinado tiempo de almacenamiento.

**Figura 3. Isoterma de desorción experimental de la papaya comparada con el modelo GAB.**



Fuente: Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*) [en línea]. La serena: Centro de Información Tecnológica, 2006. [Consultado el 15 de jun de 2006]. Disponible en Internet: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso)

En general hay una influencia de la deshidratación sobre los alimentos, afectando directamente sus propiedades organolépticas como:

- Proteínas: el valor proteico de éstas deshidratadas depende del método de secado, ya que las exposiciones prolongadas a altas temperaturas las hace menos digeribles, las desnaturaliza y hay pérdida de su funcionalidad.

- Microorganismos: al disminuir la humedad de un alimento y la actividad de agua  $a_w$  por debajo de 0,8 evita el desarrollo de microorganismos pero puede haber presencia de esporas.
- El aumento en las temperaturas favorece la oxidación de grasas y por tanto aumenta a rancidez por lo que generalmente se agregan antioxidantes
- Carbohidratos: el principal deterioro (oscurecimiento) se presenta en frutas y hortalizas debido a las reacciones de maillard. Los tejidos animales al no tener grandes cantidades de hidratos de carbono no presentan gran deterioro, sobre todo las carnes. En cambio el huevo y la leche o los productos elaborados a base de estos presentan una coloración debido a la reacción de maillard\*. El valor biológico no cambia.

Es importante una vez escogido el grupo de alimentos que se van a emplear, tener en cuenta que lo más importante es mantener muchas de sus características como:

- Textura: La principal causa de alteración de la calidad de los alimentos deshidratados por los sistemas de aire caliente reside en las modificaciones que estos provocan en su textura. En los alimentos adecuadamente escaldados las pérdidas de texturas están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido en agua durante la deshidratación.

---

\* Reacciones de Maillard: son cambios no enzimáticos en el alimento que incluyen reacciones de aldehídos, cetonas y azúcares.

- **Bouquet y Aroma:** El calor no solo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento como lo es el aroma. La intensidad con la que esta pérdida se produce depende de las temperaturas y de las concentraciones de sólidos en el alimento, así como en la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua.
- **Color:** La deshidratación cambia las características de la superficie de los alimentos y por tanto su color y reflectancia. Los cambios químicos experimentados por los pigmentos derivados, el caroteno y la clorofila, están producidos por el calor y la oxidación que tienen lugar durante la deshidratación. Por lo general, cuanto más de largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos.
- **Valor Nutritivo:** Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación de frutas y verduras son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación, pero aun así es de considerar dependiendo de cada tipo de alimento que propiedades vitamínicas se pierden luego de deshidratar las frutas.

### **5.3 CARACTERISTICAS GENERALES**

Para este grupo de frutas se hizo un análisis de las características según tablas de información y características propias de cada uno de los frutos, además un resumen de tablas con las propiedades del alimento para consumo humano una vez salen de cosecha (ver tablas 2 a 5).



**Tabla 2. Características del mango**

<b>Elemento o compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
<b>Aqua</b>	%	81.8
<b>Proteínas</b>	%	1.05
<b>Grasas</b>	%	0.1
<b>Carbohidratos</b>	%	16.4
<b>Calcio</b>	Mg	10
<b>Fósforo</b>	Mg	14
<b>Hierro</b>	Mg	0.5
<b>Vitamina A</b>	U.I	1100
<b>Acido ascórbico</b>	Mg	80
<b>Cenizas</b>	%	0.5
<b>Calorías</b>	Kcal	58

Fuente: Mango [en línea]: Ficha técnica. Bogota: Frutas y Hortalizas de Colombia para el Mundo. 2006. [consultado el 15 de oct de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/guia.php>

**Tabla 3. Características del aguacate**

<b>Elemento o compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
<b>Aqua</b>	%	45,9
<b>Proteínas</b>	%	3,8
<b>Grasa</b>	%	12,2
<b>Carbohidratos</b>	%	36,6
<b>Calcio</b>	Mg	118
<b>Fósforo</b>	Mg	58
<b>Hierro</b>	Mg	11,8
<b>Vitamina B1</b>	Mg	0,36
<b>Vitamina B2</b>	Mg	0,01
<b>Vitamina C</b>	Mg	9
<b>Calorías</b>	Kcal	247

Fuente: Aguacate [en línea]: Ficha técnica. Bogota: Frutas y Hortalizas de Colombia para el Mundo. 2006. [Consultado el 15 de oct de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/guia.php>

**Tabla 4. Características de la guayaba**

<b>Elemento o compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
<b>Agua</b>	%	62
<b>Proteínas</b>	%	0.8
<b>Grasas</b>	%	0.6
<b>Carbohidratos</b>	%	15
<b>Calcio</b>	Mg	4
<b>Fósforo</b>	Mg	23
<b>Hierro</b>	Mg	289
<b>Vitamina A</b>	U.I	0.9
<b>Vitamina C</b>	Mg	280
<b>Potasio</b>	Mg	42
<b>Fibra</b>	Mg	5.6

Fuente: Guayaba [en línea]: Ficha técnica. Bogota: Frutas y Hortalizas de Colombia para el Mundo. 2006. [Consultado el 15 de oct de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/guia.php>

**Tabla 5. Características de la papaya**

<b>Elemento o compuesto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
<b>Agua</b>	%	90
<b>Proteínas</b>	%	0.5
<b>Grasas</b>	%	0.1
<b>Carbohidratos</b>	%	8.1
<b>Calcio</b>	Mg	25
<b>Fósforo</b>	Mg	12
<b>Hierro</b>	Mg	0.3
<b>Vitamina A</b>	U.I	70
<b>Cenizas</b>	Mg	0.5
<b>Calorías</b>	Kcal	30
<b>Fibra</b>	Mg	0.8

Fuente: Papaya [en línea]: Ficha técnica. Bogota: Frutas y Hortalizas de Colombia para el Mundo. 2006. [Consultado el 15 de oct de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/guia.php>

Dentro de la clasificación de las frutas para el trabajo del deshidratador, se escogió particularmente trabajar con los datos correspondientes para el mango ya que esta es una buena opción de fruto de trabajo en la zona del valle del cauca debido a que en nuestro departamento no son fuertes productores de este fruto, entonces representa para los cultivadores una grandiosa oportunidad para generar ganancias con la elaboración de productos deshidratados de mango como una opción de desarrollo para el departamento, con la creación de mas cultivos de este fruto.

#### **5.4. EL MANGO EN COLOMBIA**

Según el sena<sup>1</sup> Colombia puede producir mango durante 10 de los 12 meses del año, lo cual le da una gran posibilidad de exportar y para el departamento una gran ventana de posibilidades pues cuenta con el mayor puerto de carga del país. Al ser el departamento del valle del cauca el último dentro de los considerados grandes productores de mango de Colombia (ver figura 4) se hace necesario crear alternativas de productividad que hagan del valle una fuente de ingresos a nivel agrícola en el cultivo del mango.

Desde el punto de vista de producción de frutos deshidratados, el mango debe ser analizado en su meta por reducir el tiempo de secado para todo el proceso con el fin de obtener una alta tasa de productividad que permita a los cultivadores no dejar que cerca de la mitad de la cosecha se pierda por problemas de almacenaje y transporte, en el análisis de los modelos experimentales según el texto de

---

<sup>1</sup> LOPEZ CIRO, Jorge. Manejo post-cosecha y comercialización del mango. Armenia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Natural Resources Institute (NRI), 1999. p. 85.

COLCIENCIAS<sup>1</sup>, se llegó a hallar el mejor de los resultados de experimentación (ver tabla 6) y basado en datos experimentales y reales se llega a encontrar los parámetros de restricción necesarios para la realización del diseño del deshidratador.

**Figura 4. Orden geográfico de grandes cultivadores**



Fuente: LOPEZ CIRO, Jorge. Manejo post-cosecha y comercialización del mango. Armenia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Natural Resources Institute (NRI), 1999. p. 25.

<sup>1</sup> HODSON DE JARAMILLO, Elizabeth. Procesamiento y conservación de alimentos en América Latina y el Caribe. VOL 1. Santa fe de Bogotá, DC: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS), 1996. p.115.

**Tabla 6. Condiciones optimas de secado del mango a diferentes temperaturas en función del tiempo de secado.**

TIEMPO (h)	% DE HUMEDAD RESIDUAL TEMPERATURA (°C)				
	50	55	60	65	70
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	78,3	87,6	77,6	76,9	67,7
2	58,8	70,8	62,4	57,1	44,7
3	42,0	52,3	43,0	39,7	29,1
4	32,0	40,7	32,5	28,2	18,3
5	24,0	29,0	26,0	20,1	12,7
6	17,3	22,7	20,1	13,0	7,7
7	13,5	16,8	—	9,4	5,2
8	9,1	12,9	—	6,6	3,6
9	7,6	9,3	—	—	2,1
10	—	—	—	6,0	—
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: HODSON DE JARAMILLO, Elizabeth. Procesamiento y conservación de alimentos en América Latina y el Caribe. VOL 1. Santa fe de Bogotá, DC: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS), 1996. p. 221.

Según los datos encontrados en la investigación se hace un balance de resultados entregados por los autores:

- La velocidad de secado aumenta al incrementar la temperatura y la velocidad del aire.
- El mango debe ser cortado en trozos delgados (recomendablemente no mas de 6mm de espesor) para resultados óptimos en cuanto a secado homogéneo se refiere.

- La temperatura recomendable de deshidratación para frutas tropicales es de 60 °C.
- En un tiempo aproximadamente de 6-7 horas a 60 °C se obtiene humedad residual del 15-20% con frutas tropicales.
- El flujo de aire caliente considerable es de un valor aceptable de 6 m/s
- Suelen considerarse a veces convenientes temperaturas (desde 120°C) altas de bulbo seco y temperaturas de bulbo húmedo bajas (menos de 120°C) en las etapas iniciales de secado.

## **6. ANÁLISIS GENERAL DE DISEÑOS EXISTENTES**

### **6.1 TIPOS DE DESHIDRATADORES DE AIRE CALIENTE**

Existe gran variedad de diseños en la industria de alimentos, aunque muchos de estos son poco utilizados por su capacidad y su aplicación, la mayoría de los procesos de secado en donde se ha desarrollado la mayor cantidad de tecnología se basan en el marco de la producción de granos secos y polvos.

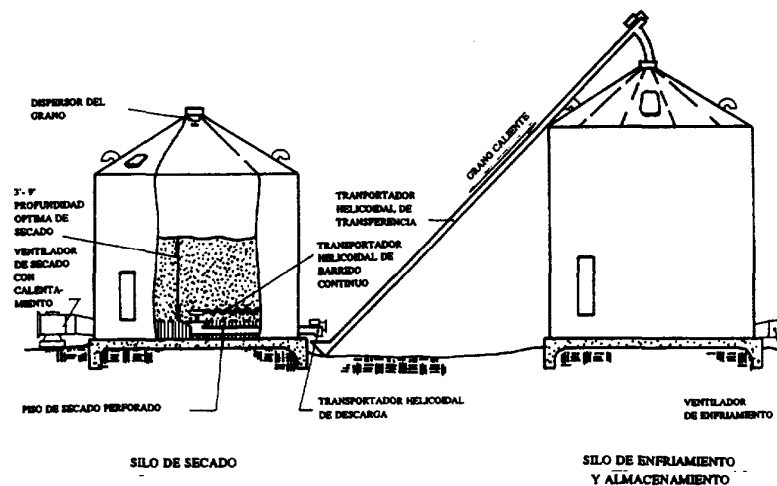
Basándose en estos tipos de diseños para granos y según características de funcionamiento, como lo es la corriente de aire para secado, se clasifico un grupo de 7 modelos existentes pero todos en base al secado por convección de aire que es el sistema a utilizar en este caso; estos son:

- SILO O TOLVA
- TIPO ASPERSION
- LECHO FLUIDIZADO
- ROTATORIOS
- SOLAR
- BANDEJAS
- NEUMATICOS

6.1.1 Deshidratadores de tolva. (Ver figura 5) este tipo también llamado deshidratadores de torre o silo por presentar una gran altura, son los más antiguos y los más sencillos en algunos casos. Constan básicamente de un silo de secado el cual presenta perforaciones en la parte baja y por los cuales el aire caliente circula hacia el alimento, presentan gran variedad de modelos y su uso

mas habitual es el secado de granos, en donde las temperaturas de operación pueden ser bastante altas. Tiene además una gran capacidad y eficiencia en el tiempo de secado.

**Figura 5. Tolva de secado**



Fuente: Secado de granos y secadoras [en línea]. Santiago de Chile: Deposito de documento de la FAO. 2000. [Consultado 20 nov de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>

6.1.2 secador de aspersión. (Ver figura 6) su característica fundamental es la brevedad del contacto entre el material a secar y el medio secador (aire caliente). Cuando se deseca en ellos leche o líquidos éste queda transformado en polvo en unos 30 segundos. Ofrecen ventajas evidentes en la deshidratación de sustancias susceptibles a sufrir decoloraciones, oxidaciones, pérdidas de aroma o desnaturalización proteica al calentarlas durante tiempos ligeramente superiores, normalmente usados para deshidratar levaduras, jugos de fruta y hasta plasma sanguíneo.



**Figura 6. Secador de aspersión**

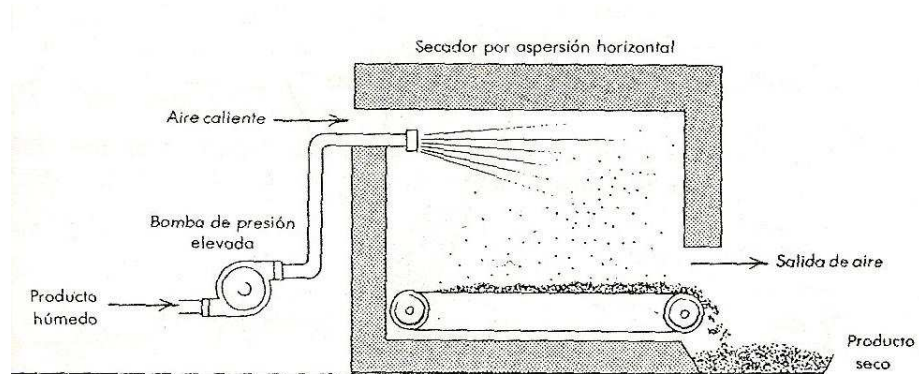
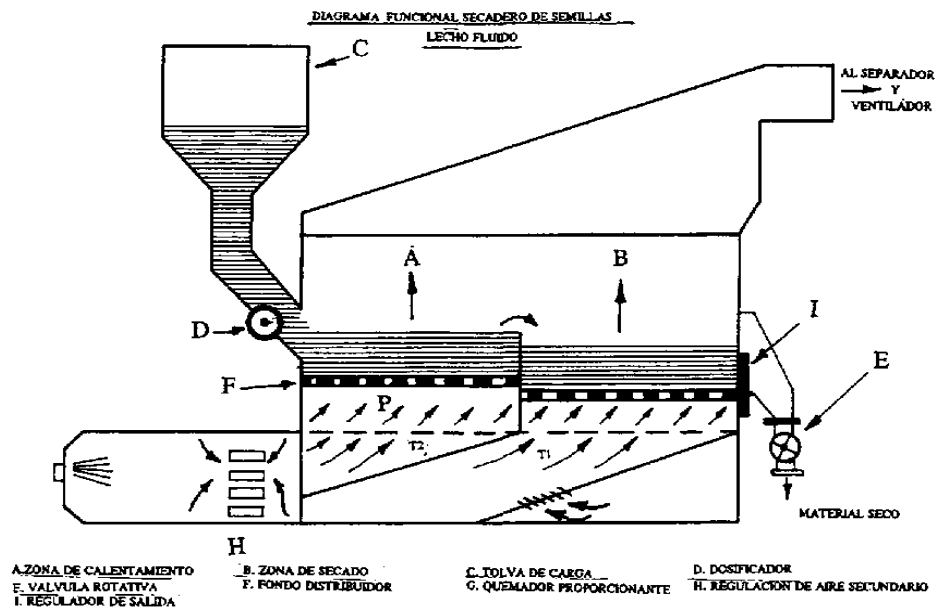


Ilustración de un secador por aspersión horizontal.

Fuente: CLAIR BATTY, J. Fundamentos de la ingeniería de alimentos. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1989. p. 300.

6.1.3 Secador de lecho fluidizado. (Ver figura 7) han sido ideados en los Estados Unidos de América para la desecación final de gránulos de patata. En estos se hace pasar una corriente de aire caliente a través de una placa o malla de abajo hacia arriba; el aire separa las partículas del alimento y las mueve de modo que el lecho de sustancia se comporta como un líquido en ebullición y fluye a través del sistema. Este sistema realiza un secado muy uniforme a velocidades de aire no tan altas y por tal el proceso presenta una gran economía calorífica.

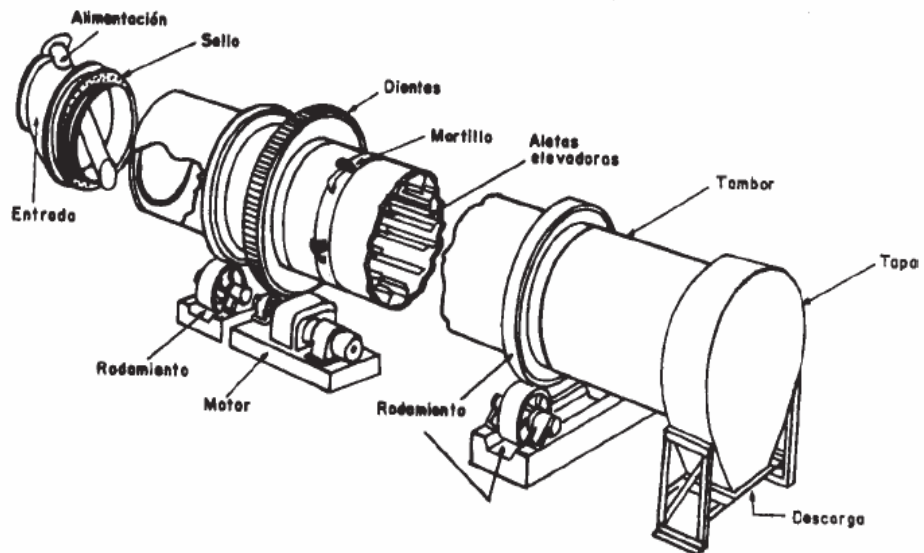
**Figura 7. Secador de lecho fluidizado**



Fuente: Secado de granos y secadoras [en línea]. Santiago de Chile: Deposito de documento de la FAO. 2000. [Consultado 20 noviembre de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S00.htm>

6.1.4 Secador rotativo. (Ver figura 8) se construyen en forma de cilindros giratorios, provistos de mecanismos que mantienen la sustancia a desecar en movimiento, de manera que no se peguen a los lados. El calentamiento tiene lugar por contacto entre el material a desecar y tubos calentados a vapor situados en el interior, o aire calentado por carbón, gas u otro combustible. En algunos tipos el aire caliente pasa a un tambor por presión y sale por succión, de este modo en el interior se tiene un sistema en equilibrio.

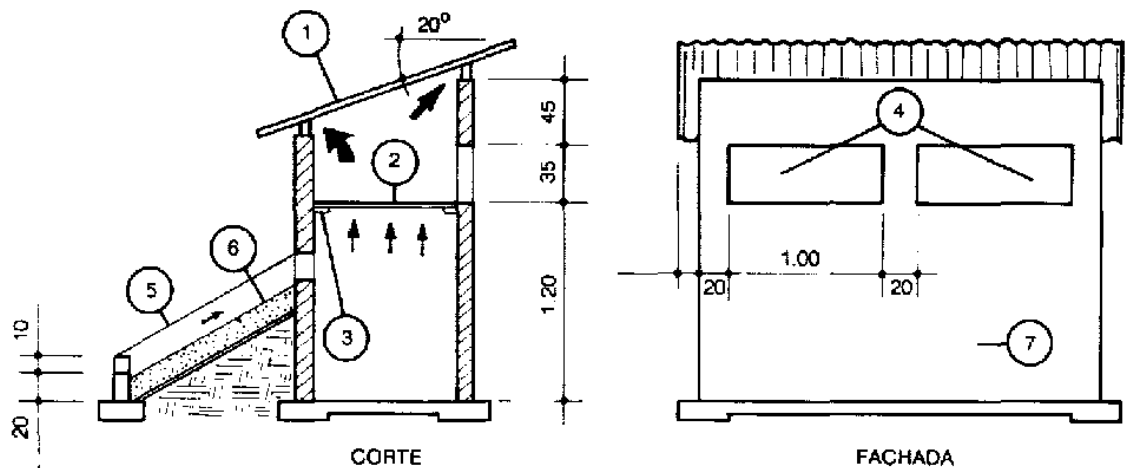
**Figura 8. Secador rotativo**



Fuente: Procesos de Separación II [en línea]: Practicas de laboratorio. México: Universidad Autónoma. 2003. [Consultado el 06 de julio de 2006]. Disponible en Internet: <http://depa.pquim.unam.mx/~luimary/PDF/Procesos%20II.pdf>

6.1.5 Secador solar. (Ver figura 9) este tipo de deshidratador básicamente es en un colector solar que consiste en una caja poco profunda con interiores pintados de negro y un panel de vidrio en la parte superior. El aire caliente así recogido asciende a través de un recipiente que contiene de cuatro a seis bandejas apiladas en las que se carga el producto a secar.

Figura 9. Secador solar



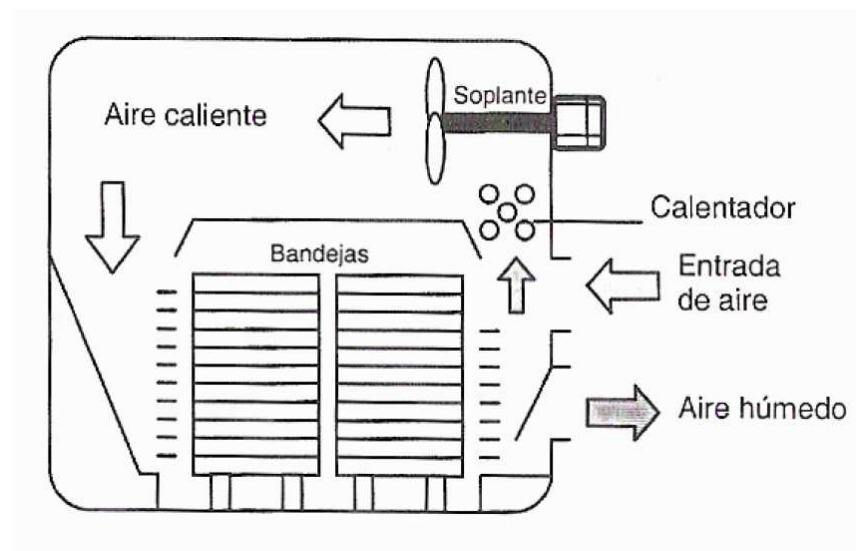
- LEYENDA:
- |                        |                                      |
|------------------------|--------------------------------------|
| 1. Techo traslúcido    | 5. Plástico transparente             |
| 2. Malla de alambre    | 6. Lecho de piedras                  |
| 3. Armazón de listones | 7. Albañilería                       |
| 4. Puerta descarga     | Nota: Entrada y salida de aire ( → ) |

Fuente: Secado de granos Natural, solar y a bajas temperaturas [en línea]. Santiago de Chile: Deposito de documento de la FAO. 2003. [Consultado 20 nov de 2006]. Disponible en Internet: [www.fao.org/docrep/x5058S/x5058S03.htm](http://www.fao.org/docrep/x5058S/x5058S03.htm)

6.1.6 Secador de bandejas. (Ver figura 10) el alimento en este tipo de secadores reposa sobre bandejas perforadas para dejar fluir el aire, estas son colocadas en armarios, así sobre las bandejas hay un flujo de aire caliente a humedad y temperatura controladas, en este tipo de secadores debe procurarse que el aire circule lo mas uniformemente posible. existe una variación de este modelo en donde las bandejas son introducidas en un túnel a las mismas condiciones de

secado pero en un sistema semicontinuo mucho mas largo, lo cual aumenta la capacidad de este tipo de secadores en donde el secado es lento y a temperaturas bajas.

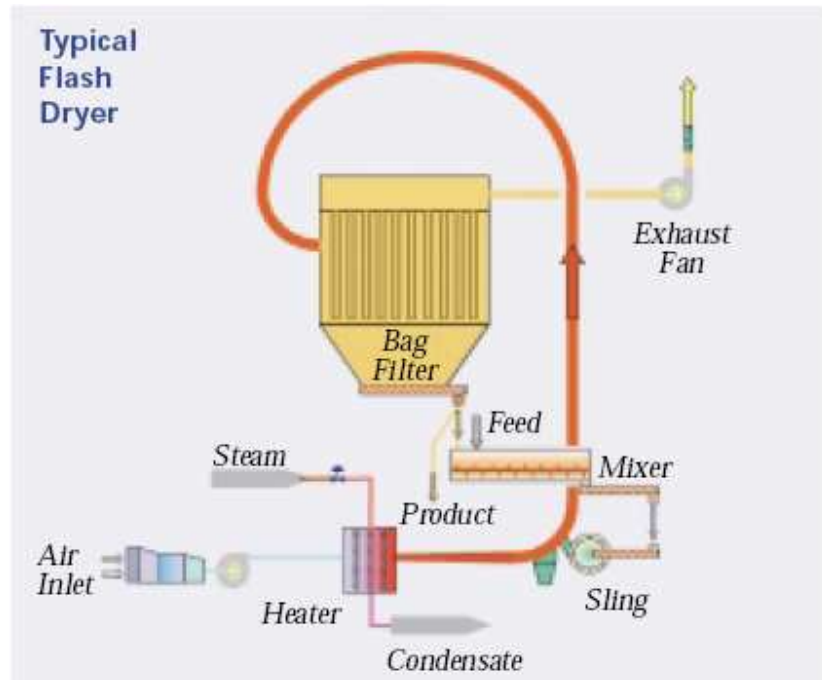
**Figura 10. Secador de bandejas**



Fuente: BARBOSA CANOVAS, Gustavo. Deshidratación de alimentos. Zaragoza: ACRIBIA, S.A., 2006. p. 128.

6.1.7 Secador neumático. (Ver figura 11) en esencia este tipo de secador, consiste en columnas por las que circula, hacia arriba una corriente de aire caliente. En la parte inferior del deshidratador se coloca el producto húmedo en gránulos que son transportados por la corriente de aire. En estos la velocidad del aire es muy alta y se reduce sobre el final incrementando la sección del secador.

**Figura 11. Secador neumático**



Fuente: Flash Dryers and Coolers [en línea]. Quebec: (GEA) Barr-Rosin, 2003. [Consultado el 04 de oct de 2006]. Disponible en Internet: [www.gea-niro.com.mx/biblioteca/pdfs/flash.pdf](http://www.gea-niro.com.mx/biblioteca/pdfs/flash.pdf)

## **6.2. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO**

Las características de desempeño son aquellas que evalúan los tipos de modelos de deshidratadores estas son principalmente características de aplicación.

6.2.1. Velocidad de secado. Esta es tal vez la variable con mas relevancia dentro del proceso pues en la mayoría de deshidratadores se trata que el tiempo de secado sea lo mas rápido y eficiente posible; es decir, se busca con cada modelo que la velocidad a la que el agua deja la superficie y el interior del alimento

mediante difusión sea lo mas rápida posible, es por ello que es bueno analizar de que forma va a actuar el aire de secado sobre el producto.

6.2.2 Capacidad. La característica esta ligada directamente a la cantidad de producto u sustancia que el deshidratador pueda secar en función del tiempo y de la continuidad del proceso.

6.2.3 Temperatura de trabajo. La cualidad de cada modelo de adaptarse a las condiciones de humedad para mantener una temperatura de trabajo y que tan variable puede ser está dependiendo de la susceptibilidad del producto.

6.2.4 Tamaño. Aunque no es tan relevante, es importante para determinar en base a la necesidad de diseño si aplicaría un modelo de gran altura o longitud.

6.2.5 Producto. Casi tan importante como la variable temperatura esta variable sirve para determinar si el modelo es adaptable al tipo de frutas elegido.

6.2.6 Energía. Sabiendo las necesidades de diseño y hacia donde esta orientado el proyecto es bueno evaluar los modelos, a fin de saber si se podría utilizar otro tipo de combustibles para calentar el aire del proceso.

### **6.3. CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS**

6.3.1 Manejo. Sabiendo la necesidad de diseño es importante determinar si los modelos requieren de una gran capacidad de manejo; es decir dado que el proyecto esta orientado al sector rural, se evalúa si es necesario un plan de capacitación para el uso correcto de este tipo de tecnología en el sector rural, primordialmente a los campesinos.

6.3.2 Marco tecnológico. Esta variable se relaciona directamente con el manejo dado; se evalúa que necesidad de apoyo logístico y tecnológico requeriría un modelo para poner en marcha todo el proceso.

6.3.3 Costo. Se analizan en términos generales las implicaciones económicas de la implementación de cada deshidratador.

6.3.4 Calidad del producto. Todos los modelos y procesos son diferentes por ello se califica su porcentaje de eficiencia en cuanto al producto terminado se refiere y con que calidad se daría este a fin de explorar un mercado.

6.3.5. Seguridad y tipo de proceso. Como en cada diseño de máquina, se evalúa con una calificación cualitativa el proceso de cada uno de los tipos de deshidratadores y que tan seguros son y como afecta esa seguridad a la salud de las personas que operan este tipo de maquinaria.

#### **6.4. SELECCIÓN DEL TIPO DESHIDRATADOR**

Con los modelos existentes hoy día en el mercado en la industria de deshidratación se ha hecho una matriz de selección (tabla 7) con base a las características generales del proceso y las características de los productos con influencia en cada unos de los diseños y su comportamiento general teniendo como prioridad las condiciones de trabajo, para llegar finalmente a escoger el modelo de deshidratación así:



- Primero se establecieron las características más representativas de los secadores de alimentos que existen en la industria (variables tecnológicas y de desempeño)
- Se establecen unos puntajes que son representativos. En función de una evaluación cualitativa con base en las características de cada modelo las variables se valoraron en la escala de 1 a 5 con el fin de resaltar su grado de importancia dentro del proceso y a su vez dentro del diseño.
- Se asigna un puntaje evaluativo en función de las características propias de cada uno de los modelos de secado dando valores de 1 a 10 para su relevancia dentro del tipo de variable.
- Finalmente se relacionan los valores de las características propias de cada modelo con los del grado de importancia para establecer cual es el modelo que según los resultados presenta más ventajas.

La finalidad de la matriz es establecer cual es el concepto de deshidratador que mejor se adaptara a la necesidad ya escogida para la extracción por medio de aire caliente del agua del mango. Utilizando este método de selección como un sistema desarrollado de toma de decisiones se puede resaltar claramente en donde hay debilidades y fortalezas, con el fin de asociar a la necesidad de diseño, el mejor mecanismo de deshidratación. Este proceso de clasificación en algunos casos tiende a ser iterativo y a incluir parámetros mucho más elaborados evaluando variables tanto cualitativas como cuantitativas con el fin de descartar la mayor cantidad de fallas en la selección del concepto que luego será probado mediante la creación de prototipos y pruebas por un grupo de diseño.

**Tabla 7. Matriz de selección de secador**

CRITERIO/MODELO	IMPOR	1	2	3	4	5	6	7							
<b>CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO</b>															
TIEMPO DE SECADO/VELOCIDAD	4,5	5	22,5	8	36	8	36	8	36	4	18	8	36	8	36
CAPACIDAD	3	9	27	7	21	6	18	8	24	5	15	6	18	7	21
TEMPERATURAS DE TRABAJO	4	5	20	4	16	7	28	6	24	6	24	8	32	7	28
TAMAÑO	3,5	3	10,5	7	24,5	7	24,5	4	14	4	14	5	17,5	3	10,5
TIPO DE PRODUCTO	5	1	5	1	5	7	35	2	10	9	45	9	45	2	10
TIPO DE ENERGIA	3,5	6	21	5	17,5	5	17,5	6	21	4	14	7	24,5	3	10,5
<b>CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS</b>															
MANEJO	3	5	15	5	15	6	18	6	18	7	21	8	24	4	12
MARCO TECNOLOGICO	2	7	14	4	8	7	14	6	12	8	16	7	14	6	12
COSTO (MANUTENCION/FABRICACION)	4	3	12	7	28	7	28	7	28	8	32	7	28	5	20
CALIDAD PRODUCTO TERMINADO	4,5	6	27	7	31,5	7	31,5	7	31,5	3	13,5	7	31,5	7	31,5
SEGURIDAD	2	6	12	6	12	7	14	7	14	8	16	7	14	6	12
TIPO PROCESO	1,5	7	10,5	5	7,5	7	10,5	6	9	4	6	7	10,5	6	9
<b>TOTAL</b>			<b>196,5</b>		<b>222</b>		<b>275</b>		<b>241,5</b>		<b>234,5</b>		<b>295</b>		<b>212,5</b>

1. Silo o tolva
2. Tipo aspersión
3. Lecho fluidizado
4. Rotatorios
5. Solar
6. Bandejas
7. Neumático

Los resultados de la matriz indican que para este tipo de frutas como el mango, lo más indicado sería trabajar con 2 de los sistemas de secado de aire por convección forzada, como son el sistema de Bandejas o el sistema de lecho fluidizado.

Sin embargo hay que resaltar que no sería muy práctico el manejar un sistema de lecho fluidizado pues las frutas podrían sufrir un gran deterioro en este proceso, si lo que se quiere es hacer de este un sistema semicontinuo. Por lo que se toma la decisión de desarrollar un sistema de bandejas del tipo túnel que permita ingresar el alimento con un determinado flujo del producto en el interior del túnel.

## 7. MODELO DEL SISTEMA DE SECADO

### 7.1. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

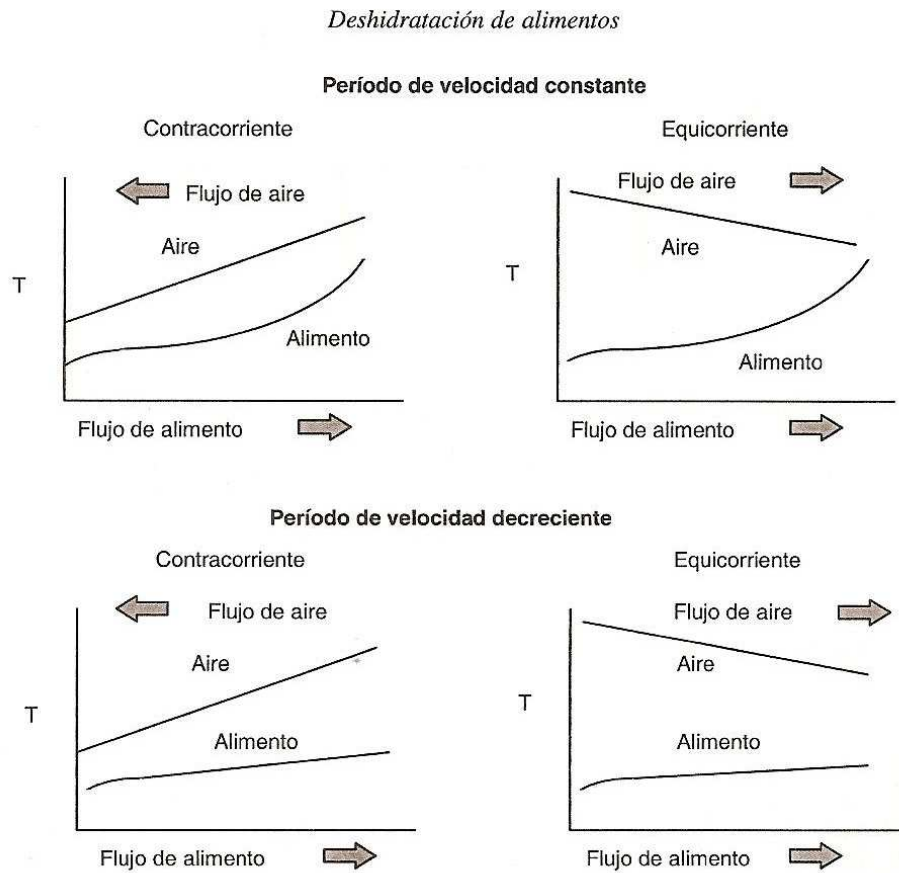
7.1.1 Uso del aire en el secador. La configuración básica de un secadero atmosférico de aire es una cámara donde se coloca el alimento; esta equipado con un ventilador y canales que permiten la circulación del aire alrededor y a través del alimento. El aire es calentado a su entrada mediante intercambiadores de calor o mezclado con gases de combustión los cuales presentan una elevada temperatura.

Así mismo las bandejas en los deshidratadores tipo túnel llevan en su mayoría la dirección opuesta del aire, esto es debido a que mejora las condiciones de secado y hace más eficiente el secador. También llamado **contraflujo** (ver figura 12).

Un aspecto de la deshidratación con aire caliente hoy en día es el uso de pretratamientos para mejorar las características organolépticas de los alimentos, tal es el caso del escaldado.

7.1.2 Escaldado. Esta técnica que usa vapor o agua, constituye la etapa siguiente a la preparación de lavado, es una técnica que se emplea principalmente a los vegetales antes del secado y cuyos propósitos son los de preservar el color, destruir enzimas indeseables, eliminar aire del producto y ayudar a preservar el sabor natural. Este se lleva a cabo mediante agua caliente, seguida de un rápido enfriamiento, fijándose en la temperatura y tipo de tratamiento de acuerdo con la naturaleza del material a tratar.

**Figura 12. Operación de aire a contraflujo**



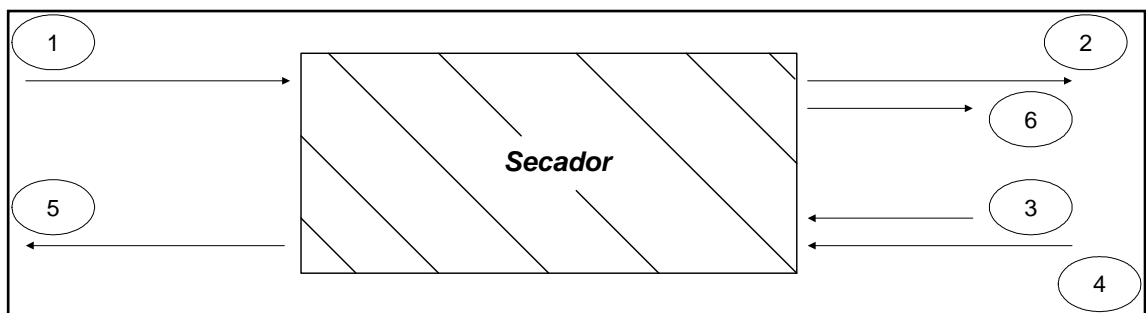
Fuente: BARBOSA CANOVAS, Gustavo. Deshidratación de alimentos. Zaragoza: ACRIBIA, S.A., 2006. p. 79.

Esta se utiliza para prevenir entonces el oscurecimiento y la decoloración en frutas y vegetales deshidratados, es una practica común para la deshidratación además pone los productos en contacto con una solución de sulfito (sulfito o metabisulfito de sodio) antes del secado y mejora la estabilidad de las características el alimento, así se logra que esta técnica permita incrementar la temperatura del aire, lo que disminuye el tiempo de secado y aumenta la capacidad.

## 7.2 BALANCE DEL SISTEMA DEL SECADOR

El balance se determino estableciendo unas condiciones de frontera para la cámara de secado en donde hay un intercambio de calor que conlleva a una transferencia de masa del producto hacia el aire, por lo que mediante la adecuación de un balance de energías se establecerá bajo que condiciones opera el secador.

**Figura 13. Esquema del secador**



- 1. Aire Seco en la entrada(kg/h)
- 2. Aire Seco en la salida(kg/h)
- 3. Agua que acompaña el producto(kg/h)
- 4. Masa de fruta que entra al secador(kg/h)
- 5. Masa de fruta que sale del secador(kg/h)
- 6. Masa de agua a evaporar del producto(kg/h)

7.2.1. Balance de masa de agua. La cantidad de aire requerido para secar un sólido de masa  $m$  y porcentaje de humedad inicial  $w$  hasta un porcentaje de humedad final se obtiene mediante el balance de masa de agua.

$$\dot{m}_{a_1} w_1 + \dot{m}_4 = \dot{m}_{a_2} w_2 + \dot{m}_5 \quad (4)$$

Donde:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_3 + \dot{m}_f$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_f$$

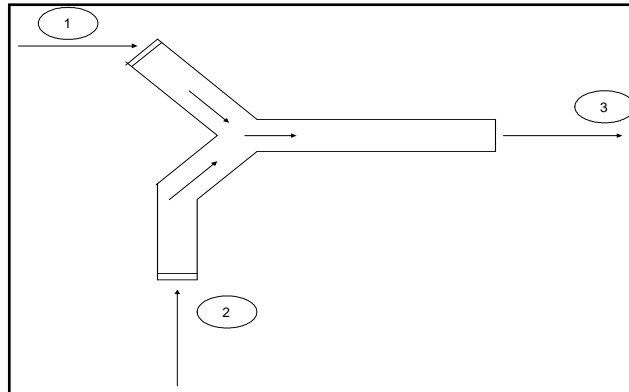
7.2.2. Balance de energía. El sistema esta establecido con sus condiciones de frontera, y se supone entonces un sistema adiabático de calor en donde las condiciones iniciales llevan directamente a las condiciones finales, hay que tener muy pendiente que los valores aquí entregados son para condiciones de diseño en la ciudad de Cali, y se hace una comparación de los datos obtenidos con los realmente ofrecidos por la carta psicrometrica para condiciones atmosféricas en la ciudad de Cali.

$$0 = \dot{m}_{evap}(h_3 - h_6) + \dot{m}_f c_{pf}(T_4 - T_5) + \dot{m}_{a_1}(c_{pT1}T_1 + w_1 h_{v1}) - \dot{m}_{a_2}(c_{pT2}T_2 + w_2 h_{v2})$$

### 7.3 BALANCE DEL SISTEMA DE RECIRCULACION

El efecto de la recirculación del aire dentro de los secadores es muy importante analizarlo pues en muchos productos alimenticios las temperaturas de trabajo no permiten ser muy altas con lo que se tiende a recircular parte del aire caliente en la cámara de mezcla (ver figura 14) para aumentar la eficiencia del secador ya que normalmente este aire sale con una temperatura baja pero con una entalpía relativamente alta.

**Figura 14. Esquema de cámara de mezcla de aire**



- 1. Masa de Aire ambiente que entra al sistema(kg/h)
- 2. Masa de aire recirculado(kg/h)
- 3. Masa de aire total que entra al secador(kg/h)

7.3.1 Balance de masa. La masa total que entra al sistema del secador es la suma de los porcentajes de los flujos de aire ambiente y aire recirculado.

$$\overset{\circ}{m_{a_1}} \overset{\circ}{w_{r1}} + \overset{\circ}{m_{a_2}} \overset{\circ}{w_{r2}} = \overset{\circ}{m_{a_3}} \overset{\circ}{w_{r3}} \quad (6)$$

7.3.2 Balance de energía. Se puede hacer una relación entre la humedad y la entalpía de la mezcla y representarlo en la grafica psicrometrica para hallar la masa de aire recirculado.

$$\overset{\circ}{m_{a_1}} \overset{\circ}{h_{r1}} + \overset{\circ}{m_{a_2}} \overset{\circ}{h_{r2}} = \overset{\circ}{m_{a_3}} \overset{\circ}{h_{r3}} \quad (7)$$



## 7.4 BALANCE EN EL CALENTADOR

El flujo que ingresa a la cámara de calentamiento me representa en general cuanta energía es necesaria para que la masa de aire se caliente y así llevarla con las condiciones de diseño al secador.

7.4.1 Balance de energía. Es la relación entre las entalpías y el flujo de aire de control.

$$\dot{Q}_{cal} = \dot{m}_{ac} (h_s - h_e) \quad (8)$$

De donde  $\dot{m}_{ac}$  es la masa de control de aire que entra luego de pasar por el ventilador, en donde la diferencia de temperaturas se puede hallar en base a la temperatura de diseño de los productos alimenticios que se selecciono.

## 7.5 ESTABLECIMIENTO GENERAL DE LOS VALORES DE DISEÑO

7.5.1. Cálculo de condiciones del secador. Los valores se ajustan a las condiciones de humedad y temperatura necesarias para modelar la deshidratación del mango, mencionadas en el capítulo 4.4 y con un valor escogido para la masa de aire, por lo que se debe trabajar con:

- $T_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}(333\text{k})$
- $C_p = 1.007 \text{ kJ/ Kg. K}$
- $M_a = 500 \text{ Kg/ h}$
- $\Phi(\text{humedad relativa}) = 60 \%$

$$\phi_i = \frac{p_v}{p_g} \quad (9)$$

Si se trabaja con una temperatura ambiente promedio para Cali de 27 °C y una humedad relativa del aire de 60%.entonces:

$$w = 0.622 \frac{p_v}{p_a}$$

$$w = 0.622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

$$w = 0.0136$$

Se quiere entonces tener un masa de control a deshidratar (masa de fruta entrada) de 30 kg/h también escogida teniendo en cuenta los informes del Manual de manejo poscosecha<sup>1</sup> sobre la producción promedio de un productor pequeño en el valle del cauca, y se trabaja entonces con la humedad inicial del mango (ver la tabla 2) como materia prima a secar y que se va llevar hasta una humedad del 12% que la lleva por debajo de los limites de la actividad del agua de 0.65 ;es así como la masa de agua a evaporar es:

$$m_{evap} = m_{agua\_entra} - m_{agua\_sale}$$

---

<sup>1</sup> Ibíd., p. 18. – p. 24.

$$m_{evap}^{\circ} = ((30(0.82) - (30(0.12)))$$

$$m_{evap}^{\circ} = 21 \frac{kg}{h}$$

El resto de condiciones de entrada y salida del secador están dadas por las temperaturas de trabajo, donde la fruta entra a la misma temperatura de entrada del aire ambiente y la de salida escogida como condición de diseño es de 54°C teniendo en cuenta que el alimento a la salida en la mayoría de los calentadores de bandejas tiende a alcanzar un equilibrio térmico con el aire (pero no hay datos publicados de estas temperaturas), además que al ser un sistema de flujo semicontinuo la temperatura no es constante a lo largo del túnel, por ello se toma este valor de referencia a criterio de diseño para la salida del producto sabiendo que la temperatura del aire de deshidratación es de 60°C para el mango (ver tabla 6) y la entalpía del agua que entra con el producto es de 113,25 KJ/Kg, así mismo por simple transferencia, el calor que gana el producto es el mismo que pierde el aire por lo que la temperatura de salida es de 33°C (306 K). Por balance de masas según la ecuación (4) y teniendo entonces como masa de control a la salida  $m_5 = 9$  kg/h la humedad de salida del producto es de 0,0516

7.5.2 Calculo de condiciones de la cámara de mezcla. Estas se hayan para determinar la factibilidad del proceso de recirculación del aire de secado en el túnel.

Teniendo las condiciones de entrada y salida de la cámara:

- $C_{p1} = 1.005 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$
- $T_1 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $W_1 = 0.0136$
- $C_{p2} = 1.0054 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$
- $T_2 = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $W_2 = 0.0516$

Con estos valores se tomo de la grafica Psicrometrica (ver anexo 8) los términos restantes una ves despejada  $W_{r3}$  de la ecuación (6), se hallo la entalpía para el aire mezclado de la ecuación (7) con lo que se obtiene una temperatura del aire mezclado de  $30^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de 96 % para ese aire mezclado, teniendo como mezcla el 50% del aire recirculado.

7.5.3 Calculo para el calentador. Teniendo en cuenta unas condiciones de diseño previas y estimadas como se ha venido realizando y sin ser las condiciones óptimas se tiene una potencia de calentamiento de 7.36 Kw de la ecuación (8) sin embargo, es bueno estimar un cálculo apropiado para tener presente las condiciones ideales para el funcionamiento del calentador.

## 8. ANALISIS DEL SECADOR

### 8.1 ANALISIS DE VARIABLES DE DISEÑO Y DESEMPEÑO

Mediante los modelos matemáticos del secador se establecen las características operativas del sistema completo de deshidratación y con estas se determinan entonces las variables a modificar para los parámetros finales del diseño.

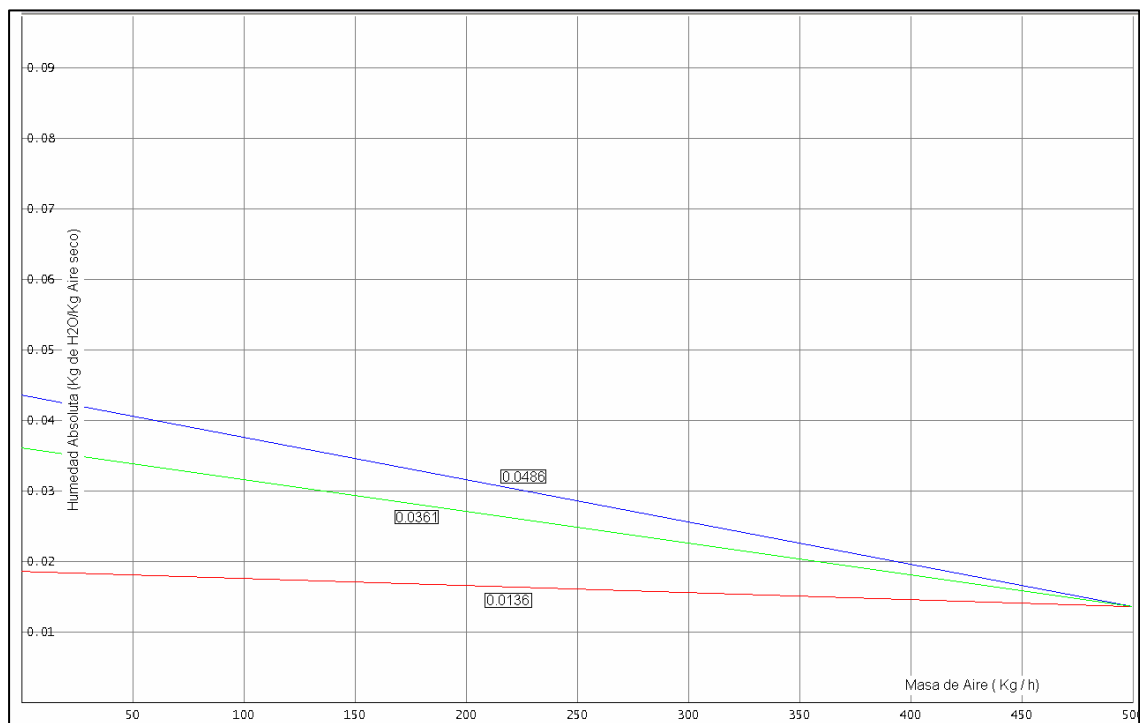
Teniendo en cuenta que se contaba con tres sistemas para la descripción de todo el proceso del deshidratador se hizo un análisis del desempeño de la recirculación de aire en el modelo, para lo que la humedad final de entrada al calentador se compara con la masa de aire del ambiente, sabiendo que esta maneja cierta proporcionalidad  $x$  respecto de la masa que se quiere recircular, por ello se estableció y se grafico un modelo que siguiera las características a fin de determinar cuanta es la masa de aire recirculado que mejor desempeño dará para el sistema.

$$W_{r3} = \frac{x \cdot w_{r1} + (500 - x) w_{r2}}{500} \quad (10)$$

$$W_{r3} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot (2180 - 3 \cdot x)$$

Se evaluó el sistema con una humedad fija para el aire de entrada del ambiente y se toman entonces tres valores de referencia para la humedad de salida del aire del secador (que va a ser recirculado) con un valor constante de 500 kg/h para el aire que circula por el sistema (ver figura 15).

**Figura 15. Efecto de la recirculación del aire de salida del secador sobre humedad de entrada para el calentador.**



El resultado de esta simulación de la figura 15, indica que al ser la masa de aire ambiente la que presenta humedad mas baja; la proporción con la que se evaluó esta da los resultados de humedad final optima; es decir a medida que se incrementaba la proporción de aire ambiente con respecto del aire recirculado, la humedad final de la cámara de mezcla es menor. Lo que indica que es bueno tratar de que el aire que ingresa al calentador sea lo menos saturado de humedad posible ósea que nada sea recirculado.

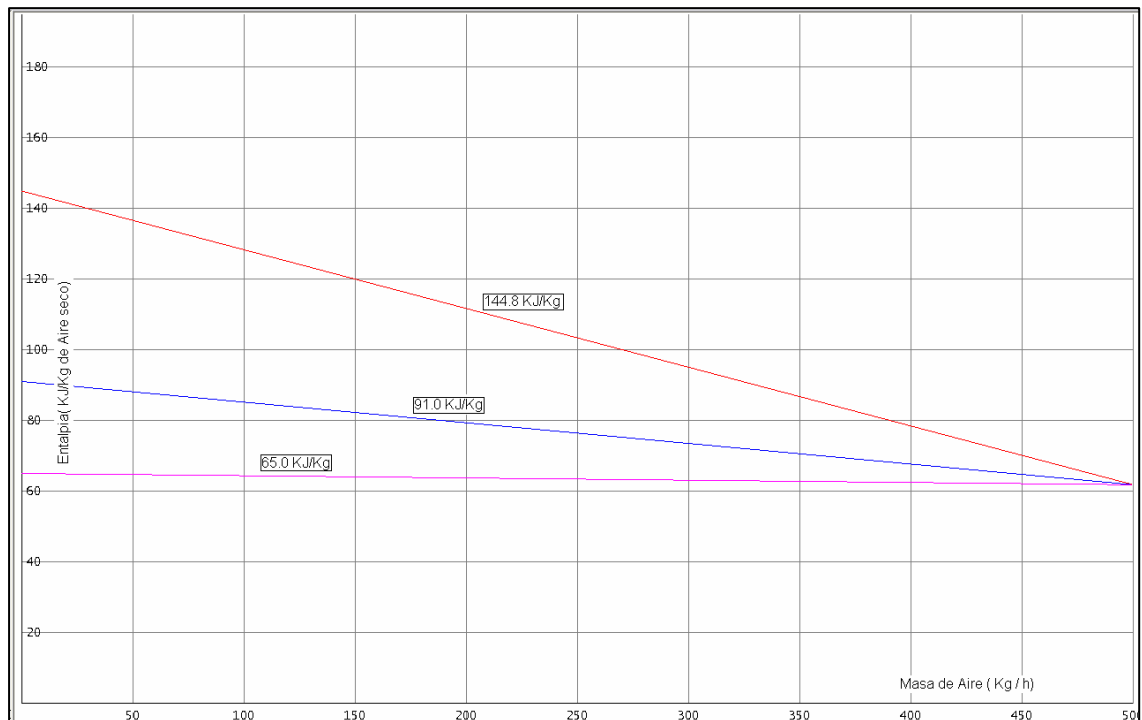
Se comparó también el resultado de recircular el aire en función de las entalpías, para determinar el grado de energía con el que el aire final de

mezcla podría entrar al calentador, manteniendo la proporcionalidad  $x$  variable a fin de saber si es viable o no recircular el aire (ver figura 16).

$$h_{r3} = \frac{x \cdot h_{r1} + (500 - x) h_{r2}}{500} \quad (11)$$

$$h_{r3} = 6 \cdot 10^{-5} \cdot (2.4145 \cdot 10^6 - 2769 \cdot x)$$

**Figura 16. Efecto de recirculación de aire del secador evaluado en función de los valores de entalpía.**



Nuevamente el modelo simulado de la figura 16, tiene características fijas para el aire de entrada del ambiente según los criterios del diseño y se varía

entonces los valores predeterminados de entalpía para el aire de recirculación, variando la proporción de la masa de aire ambiente respecto de la del aire recirculado lo cual arroja los resultados de la entalpía al final. Para ser analizados en el modelo del calentador.

La cantidad de energía necesaria para calentar el aire de entrada al secador también se analizó en función de los parámetros ya reconocidos para plantear las ecuaciones del capítulo anterior tanto de recirculación como del aire exterior (ver figura 17).

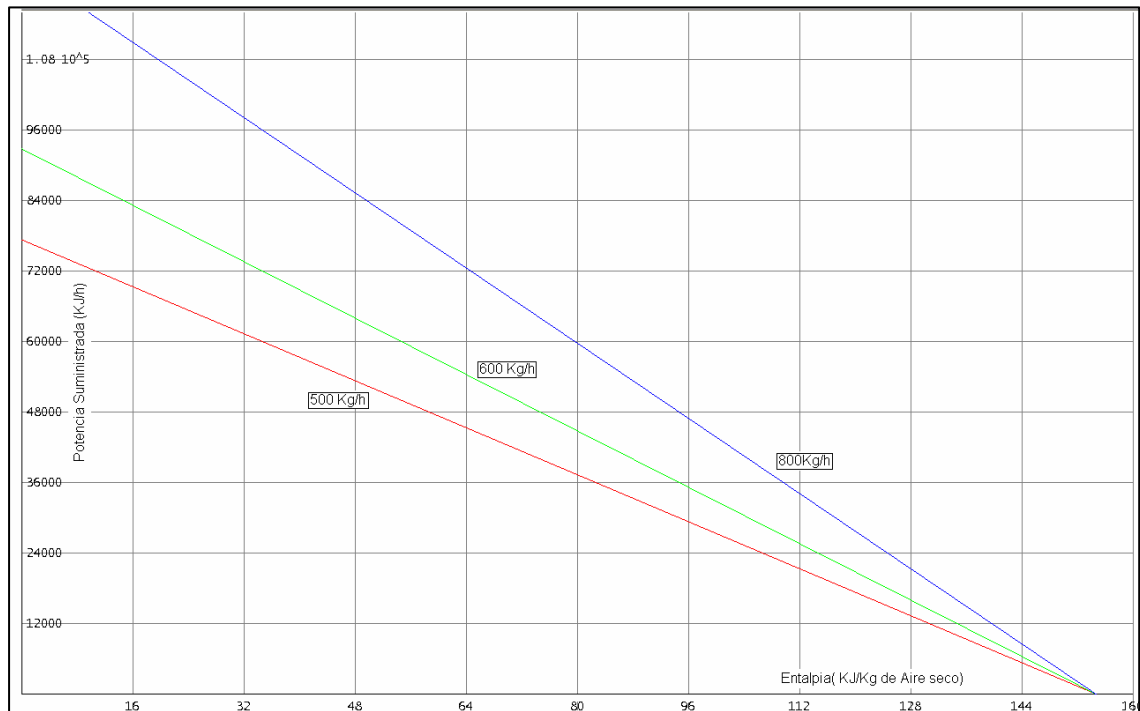
$$\dot{Q}_{cal} = \dot{m}_{ac}(h_s - x) \quad (12)$$

$$\dot{Q}_{cal} = 0.5 \cdot (1.54627 \cdot 10^5 - 1000 \cdot x)$$

La grafica de la figura 17 indica la cantidad de energía por unidad de hora necesaria para calentar el aire a la temperatura de secado optima del mango, en función de la entalpía de salida del aire la cual esta representada por los parámetros de diseño; variando las cantidades de aire al ingreso del calentador, con lo cual se ve claramente el aumento de la potencia necesaria para llevar al aire a la temperatura necesaria para el proceso de deshidratación.



**Figura 17. Cantidad de energía por unidad de hora necesaria para calentar el aire a la temperatura de secado.**

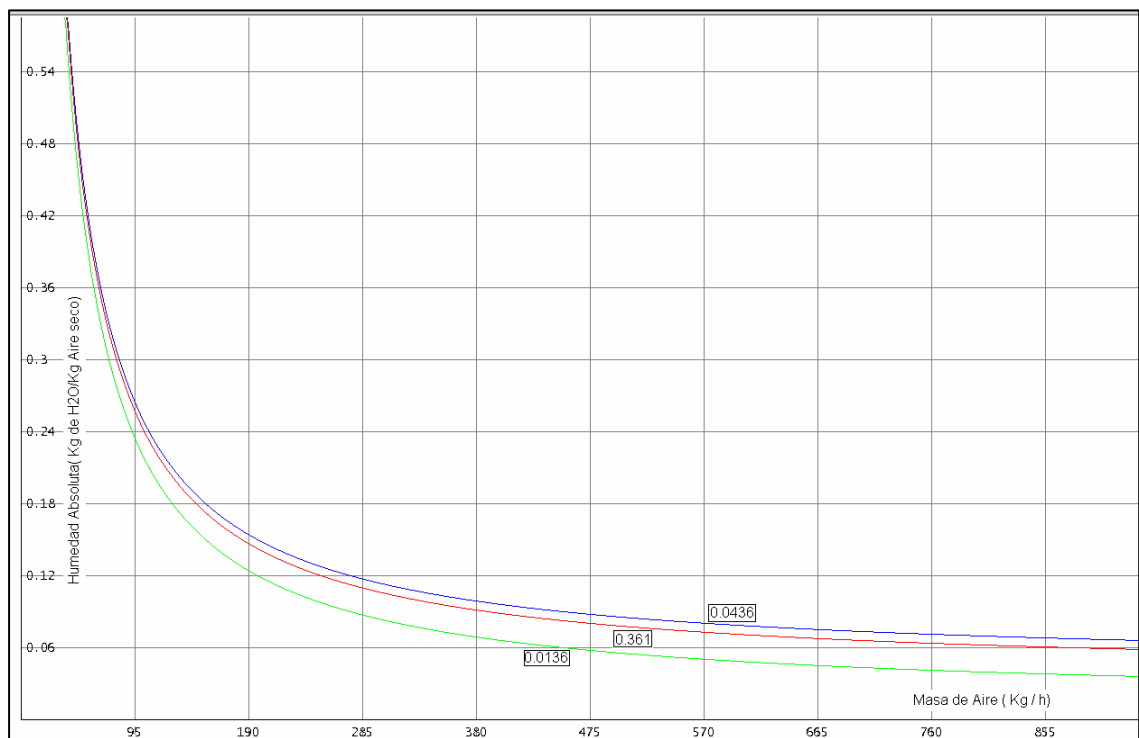


Es importante entonces evaluar la salida de humedad de aire (ver figura 18), para determinar como afectan las variables de secado al proceso y cual es el punto optimo de operación del sistema. Con lo que se evaluó la humedad de salida del secador en base a la masa de aire del sistema como una variable controlada y como afectaría está el secado.

$$w_2 = w_1 + \frac{m_4 - m_5}{x} \quad (13)$$

$$w_2 = \frac{21}{x} + 0.0136$$

**Figura 18. Humedad de salida del secador contra la masa de aire de entrada.**



El modelo representa la cantidad de masa de aire necesaria para disminuir la humedad de salida del secador variando los parámetros de humedad inicial a la entrada del secador. En este análisis se llegó a variar la cantidad de agua que va a ser eliminada, pero no fue un valor concluyente para la toma de decisiones, por lo que se trabajó entonces con el valor de 21 kg/h ya mencionado al comienzo del capítulo.

## 8.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Al evaluar los gráficos de los modelos planteados para los subsistemas los resultados indicaron que el efecto de la recirculación sobre el túnel de secado es nocivo (ver figura 15), pues esta humedad absoluta implicaría que se debería realizar una deshumidificación para extraer el contenido de agua sobre saturado del aire antes de introducirlo al calentador para mantener la humedad relativa del aire de deshidratación en un 16 %, con lo cual se aumentarían los costos de fabricación y se saldría de los objetivos claros del diseño, además si se deseara que la salida del aire fuese lo suficientemente seca como para aprovechar la cantidad de energía que esté lleva a la salida del secador la cual no es tan significativa, se debería de agregar una cantidad muchísimo mayor de aire haciendo ineficiente el sistema, dado que se incrementaría el consumo de energía, tanto para el ventilador como para el calentador.

Por lo cual se concluye que el secador tipo túnel no llevara recirculación de aire, se toma además un flujo de aire de 600 Kg/h tomando como base el flujo de 500 Kg/h del análisis pero se aumenta teniendo en cuenta varios factores adversos como el manejo de entrada y salida del alimento por parte de los operarios, cambios en la humedad relativa del aire ambiente y factores que pudieran influir en la cantidad de flujo de aire que ingresa al sistema, además se trabaja a una velocidad de 6 m/s, con una humedad inicial del aire del exterior de entre 0.0136 a 0.0287 con el aire a una temperatura de entre 25 °C a 28 °C, por ser los datos aproximados para Cali y el flujo de masa como un valor estimado para tener un mayor control de la humedad del aire de secado. Además el efecto de la humedad y temperatura para la salida del aire se hace un tanto beneficioso al generar sobre la fruta recién ingresada al deshidratador un efecto gradual de aumento de temperatura para así evitar el pardeamiento\* del alimento y evitar los daños sobre las características organolépticas de las frutas.

---

\* Pardeamiento: Oscurecimiento y formación de costra en la superficie del alimento

### 8.3 CALCULO DEL CAUDAL DE AIRE

En base a los resultados obtenidos de la simulación mediante el modelo teórico matemático de las ecuaciones de balance se obtuvo el flujo de aire que debe ingresar al interior del túnel, para hallar mediante la relación entre el flujo de masa y el volumen, el caudal de aire necesario para la transformación de los alimentos.

$$\dot{m} = \dot{V} \rho \quad (14)$$

Según el modelo de trabajo, se cuenta con la velocidad del aire  $V$ , entonces esta se relaciona con el flujo así:

$$\dot{V} = VxA \quad (15)$$

Para lo cual reemplazando los valores y la ecuación (14) en (15) se tiene:

$$\dot{m} = VxA\rho$$

$$A = \frac{\dot{m}}{\rho x V}$$

$$A = \frac{600(\text{kg} / \text{h})}{1.058996(\text{kg} / \text{m}^3) \times 21600(\text{m} / \text{h})}$$

$$A = 2.62 \times 10^{-2} m^2$$

Y reemplazando nuevamente en (15) da un flujo volumétrico de:

$$\dot{V} = 21600(m/h) \times 2.62 \times 10^{-2} (m^2)$$

$$\dot{V} = 566,574 (m^3 / h)$$

La densidad del aire se tomo a una temperatura de entrada del aire al deshidratador de 60 °C con una velocidad del aire de 6 m/s obtenidos estos valores de tablas para el aire del libro de termodinámica de Cengel, y de condiciones de diseño obtenidas previamente en la investigación.

#### **8.4 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA FRUTA.**

El mango tiene un promedio en peso de 250 gr por unidad según los estándares que se usan en el mercado<sup>1</sup>, sin embargo hay que resaltar que este depende de la variedad de mango con la que se esta trabajando para las cuales existen unos estándares ya establecidos según los gramos por cada una de las especies.

El volumen para las piezas de mango a deshidratar depende además de sus dimensiones, pero los criterios de secado establecen un punto de referencia

---

<sup>1</sup> Ibid., p. 20.

que es el que los trozos no deberían exceder los 6 mm de espesor (ver capítulo 4), con lo cual y según medidas aproximadas de un trozo de control de 250 gr de mango se tiene:

$$v = (0.08m) \times (0.05)m \times (0.006)m$$

$$v = 2.4 \times 10^{-5} m^3$$

Sacando una pieza de mango al azar de aproximadamente 250 gr se realizó la partición de los trozos y se hizo una aproximación de las medidas, a la muestra se le extrajo unos 8 pedazos de los cuales entonces cada uno pesara unos 19,688 gr. (todos son valores aproximados)

## **8.5 CALCULO DE ENERGIA REQUERIDA**

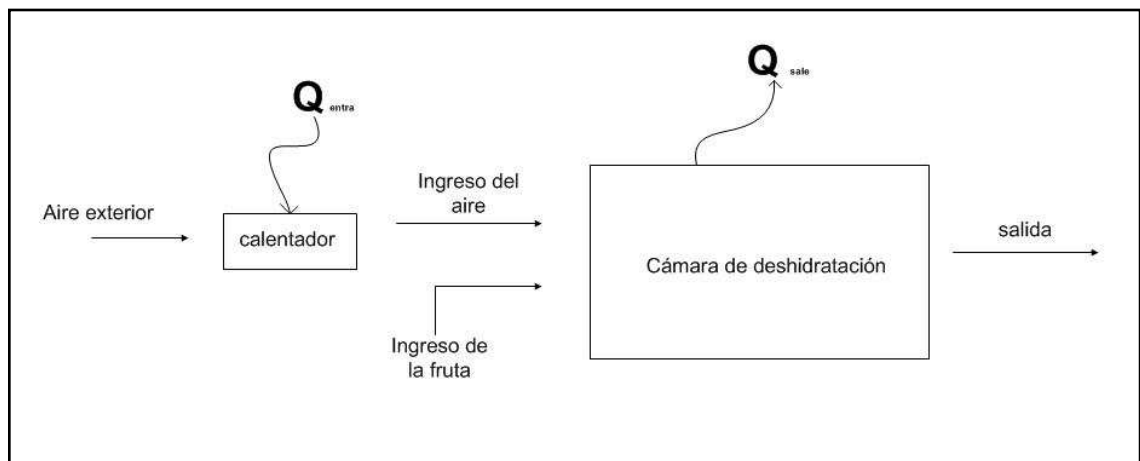
El aire que calentara el túnel de secado requiere de una cantidad de energía para realizar el proceso, en el cual se requiere aumentar la temperatura del aire de trabajo. Por ello es necesario conocer los valores de las cantidades de aire, el calor específico y las diferencias de temperatura de trabajo para el calentador las cuales se aumentaron en este análisis para que el deshidratador pueda operar a la temperatura máxima de trabajo y así determinar la cantidad de energía consumida si se trabaja con la mayor temperatura de operación para el mango que es de 70°C; además es bueno reconocer para este sistema de secado la cantidad de energía que sale de él por pérdidas (ver figura 19).

Para lo cual se tiene:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{entra} + \dot{Q}_{sale} \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{aire} + \dot{Q}_{fruta} + \dot{Q}_{perdido} \quad (17)$$

**Figura 19. Esquema de entrada y salida de energía del sistema**



8.5.1 Cálculo de energía requerida para calentar el aire. En este es necesario conocer la velocidad del flujo de masa escogido y sus propiedades específicas junto con la diferencia de temperaturas para saber cuánta energía se necesita para realizar el proceso de calentamiento según la relación:.

$$\dot{Q}_{CA} = C_{pa} \dot{m}_a (\Delta T)$$

$$\dot{Q}_{CA} = 1.007 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \times 600 \frac{Kg}{h} \times (70 - 27)^{\circ}C$$

$$\dot{Q}_{CA} = 25980.6 kJ / h = 7.22 kW$$

8.5.2 Calculo de energía necesaria para calentar la fruta. Es la energía necesaria para llevar la masa de fruta de la temperatura inicial la cual esta cerca de la temperatura de bulbo seco en la superficie a la temperatura final o de salida de la fruta.

$$\dot{Q}_{Cf} = C_{pf} \dot{m}_f (\Delta T)$$

$$\dot{Q}_{Cf} = 3.68 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \times 30 \frac{Kg}{h} \times (54 - 27)^{\circ}C$$

$$\dot{Q}_{CA} = 2980.8 kJ / h = 0.828 kW$$

8.5.3 Calculo de energía Perdida. La energía perdida dentro del secador esta representada por la cantidad de calor que se pierde en las paredes de este (ver figura 20), y ya que el proceso es básicamente por convección forzada se debe hacer el análisis teniendo en cuenta la construcción y los materiales que se van a usar a fin de crear suficiente aislamiento como para no permitir que se de demasiada transferencia de calor hacía el exterior del túnel. Según J. Clair<sup>1</sup> las perdidas comúnmente para este tipo de sistemas pueden llegar a un 20% por

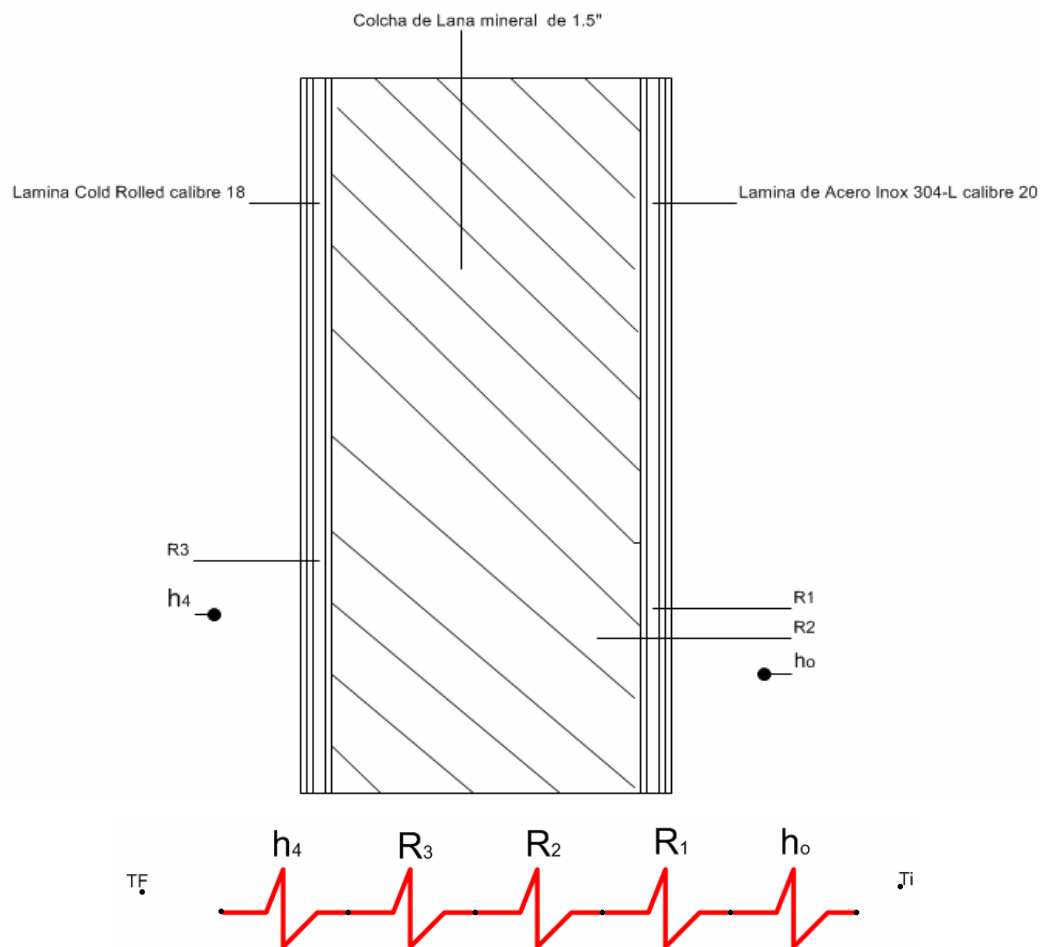
---

<sup>1</sup> CLAIR, Op. cit., p. 109.



perdidas tanto en la paredes como en las fugas de aire por lo que para el diseño del túnel se admiten entonces un máximo de pérdidas del 5% del valor total del calor en la entrada; estas representan un valor de 0.402 Kw con el que se obtendrá el espesor óptimo de las paredes de aislamiento para que la temperatura de la lámina exterior del túnel sea la misma del aire ambiente de 28°C. Con lo cual se hace la analogía eléctrica expresada a manera de resistencias para la pared del túnel, la cual debe atravesar la energía de la transferencia de calor para llegar a la pared exterior.

**Figura 20. Aislamiento de las paredes del deshidratador**

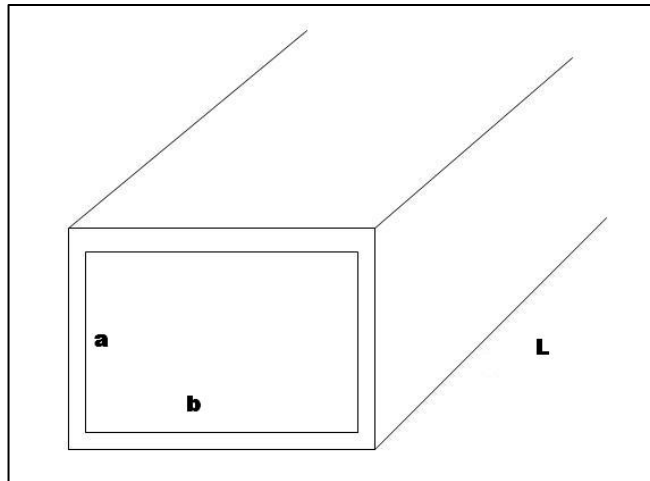


Entonces se hace un análisis de las condiciones dentro y en las paredes del deshidratador. Se toma para la pared exterior del túnel una lámina de acero laminada en frío comercialmente conocida como Cold Rolled, esta además de tener buenas características de resistencia es muy económica lo que en términos de fabricación la hace una buena opción frente a otro tipo de lamina como la galvanizada además es normalmente usada para fabricación exterior de equipos industriales. El espesor de lámina se toma calibre 18 por ser básicamente el exterior quien soporta parte de la estructura y sus exigencias las cuales son de su propio peso.

Se toma también el acero inoxidable tipo 304 para la fabricación del interior, esto se debe a que la secretaria de salud publica en la ley 09 de 1979 del código sanitario exige que todo proceso que se realice con alimentos debe tener una plataforma de manipulación en acero inoxidable pues este evita la formación de microorganismos y bacterias que pueden estar asociadas a la humedad y la oxidación propia de un determinado material, así mismo que hace muy fácil la limpieza y mantenimiento de las áreas limpias.

Dentro de las posibilidades de materiales aislantes, se toma la lana mineral por que además de ser económica es uno de los materiales que mejores resultados ha mostrado en la utilización para equipos de calentamiento debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica, comparado con las laminas de cerámica flexibles (ver anexo 7) este presenta un coeficiente menor y a menor costo; aunque comparado con el poliuretano la lana tiene mayor coeficiente de conductividad, pero el poliuretano por ser inflamable es normalmente utilizado en la industria de refrigeración pues trabaja en rangos de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$  .

Figura 21. Esquema ducto rectangular



Se procede a realizar el cálculo:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_H}{\mu} \quad (18)$$

$$D_H = \frac{4Ac}{p} \quad (19)$$

$$D_H = \frac{4ab}{2(a+b)} \quad (20)$$

$$D_H = \frac{4(1.2m)(0.8m)}{2(0.8+1.2)}$$

$$D_H = 0,96m$$

El túnel se hace rectangular debido a la disposición de las bandejas (ver figura 21). Se toma los valores restantes para el aire de tablas del libro de Cengel<sup>1</sup> a las condiciones de diseño de donde:

- $\mu = 2,052 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$
- $\rho = 1,028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\text{Re} = \frac{(1.028 \text{kg} / \text{m}^{-3}) \times (6 \text{m} / \text{s}) \times (0.96 \text{m})}{(2.052 \times 10^{-5})}$$

$$\text{Re} = 2.886 \times 10^{-5}$$

Para los valores establecidos de flujo para el número de **Reynolds** este representa un flujo turbulento, por ello se uso la definición de número de **Nusselt** establecida por la ecuación de **Gnielinski** para los flujos turbulentos en convección interna forzada. Del libro de Cengel.

$$Nu = \frac{(f/8)(\text{Re}-1000) \text{Pr}}{1 + 12.7(f/8)^{0.5} (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (21)$$

Para

$$0.5 \leq \text{Pr} \leq 2000;$$

---

<sup>1</sup> CENGEL YUNUS, A. Transferencia de calor. 2 ed. Mexico: McGraw-Hill, 2004. p. 654.

$$3 \times 10^3 \leq Re \leq 5 \times 10^4$$

En este caso el número de Prandtl es de 0.7177 a presión atmosférica en tablas del libro de Cengel. Y para determinar el factor de fricción en el flujo turbulento se puede determinar a partir de la ecuación de Petukhov para convección interna forzada, también tomada del libro de transferencia de Cengel.

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (22)$$

$$\text{Para } 10^4 \leq Re \leq 10^6$$

$$f = (0.790 \ln(2.886 \times 10^5) - 1.64)^{-2}$$

$$f = 0.0145$$

$$Nu = \frac{(0.0145/8)(2.886 \times 10^5 - 1000)(0.7177)}{1 + 12.7(0.0145/8)^{0.5}(0.7177^{2/3} - 1)}$$

$$Nu = 419.07$$

Si el valor de  $k$  es de  $0.0288 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  para el aire entonces:

$$Nu = \frac{h \cdot D_H}{K} \quad (23)$$

$$h_o = \left( \frac{0.0288 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.96m} \right) (419.07)$$

$$h_o = 12.572 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

Para el cálculo de la cantidad de calor perdido se calculan las resistencias térmicas donde el área de la superficie es igual a  $A=2(a+b) L$  (ver figura 21) de donde  $L= 3$  m. La primera de las resistencias debido al flujo de aire sobre la lámina interior de la cámara:

$$R_1 = \frac{1}{h_o A} = \frac{1}{(12,572 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C})(12m^2)} = 6.628 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}C/W$$

Para la conducción a través de la lámina interior de acero inoxidable 304-L.

$$R_2 = \frac{\Delta L}{K_1 A} = \frac{9.52 \times 10^{-4} m}{(14.9 \frac{W}{m^{\circ}C})(12m^2)} = 5.324 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C/W$$

Para la lana mineral que estará entre las paredes de lámina del túnel se toma un espesor de 2 pulgadas ya que si se hacen cálculos los resultados indicarían que al utilizar la de 1,5 pulgadas la energía perdida estaría por encima del 5% del calor de entrada, además comercialmente no se halla si no en esas dimensiones.

$$R_3 = \frac{\Delta L}{K_2 A} = \frac{0,00508m}{(0.039W/m^{\circ}C)(12m^2)} = 0,10855^{\circ}C/W$$

Para la lámina exterior del secador en lámina C.R. calibre 18.

$$R_4 = \frac{\Delta L}{K_3 A} = \frac{1,27x10^{-3}m}{(60,5W/m^{\circ}C)(12m^2)} = 1,7493x10^{-6}^{\circ}C/W$$

Para el aire que rodea el entorno exterior del secador. Por convección natural.

$$R_5 = \frac{1}{h_4 A} = \frac{1}{(10W/m^2^{\circ}C)(12m^2)} = 8,333x10^{-3}^{\circ}C/W$$

Una vez calculadas las resistencias se aplica la ecuación para hallar la transferencia de calor hacia el exterior. Se toma una temperatura máxima de trabajo de 70° C para el aire del proceso en la entrada del deshidratador.

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{(70 - 28)^{\circ}C}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

$$\dot{Q}_{perdido} = 340W$$

8.5.4 Calculo de la energía total requerida para el sistema. Se analizaron las pérdidas y el consumo de calor para realizar el proceso de secado, se calcula entonces la energía necesaria para calentar la masa de fruta, además se toma también como un valor admisible de pérdidas una cantidad de energía equivalente al 5 % en la evaporación del agua de los alimentos y se suma

como calor perdido la cantidad de energía necesaria para calentar el túnel de secado, eso quiere decir la energía absorbida por las bandejas, los portabandejas y el material en el túnel.

$$\dot{Q}_{Acero} = C_{pacero} \dot{m}_{acero} (\Delta T)$$

$$\dot{Q}_{CA} = 0,5 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} \times 130 \frac{Kg}{h} \times (70 - 27)^{\circ}C$$

$$\dot{Q}_{CA} = 2795 kJ / h = 0,776 kW$$

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{aire} + \dot{Q}_{fruta} + \dot{Q}_{perdido}$$

$$\dot{Q}_{total} = 7,22 + 0,828 + 7,22(0,05) + 0,340 + 0,776$$

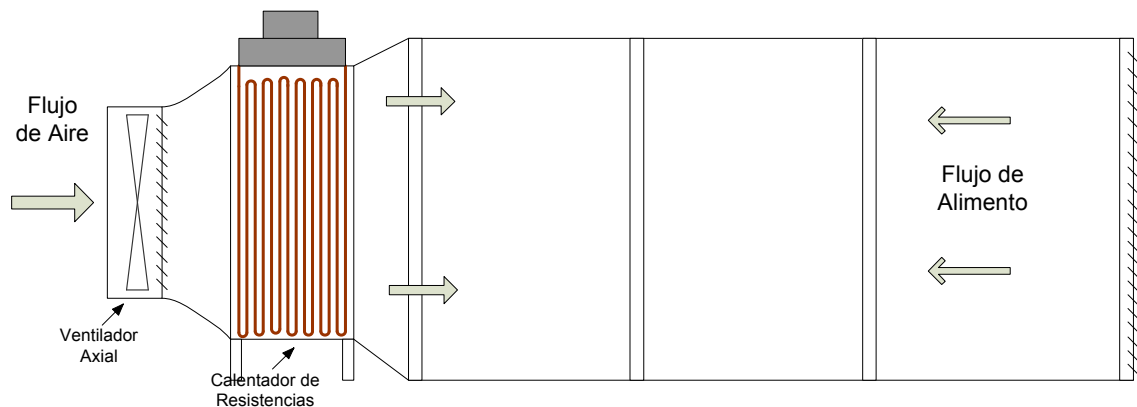
$$\dot{Q}_{total} = 9,525 kW$$



## 9. DISEÑO DEL CUERPO DEL DESHIDRATADOR

El diseño de la estructura general del deshidratador muestra los componentes principales del sistema y su funcionalidad dentro del modelo (ver figura 22), para obtener un análisis que muestra el costo general del sistema en operatividad que es de \$39.821.228 y su peso de 923 Kg. (ver anexo 11) Para luego escoger los componentes comerciales que harán funcionar operativamente el sistema, sus dimensiones características se ven en los planos (ver anexo 10).

**Figura 22. Esquema de funcionamiento del sistema**

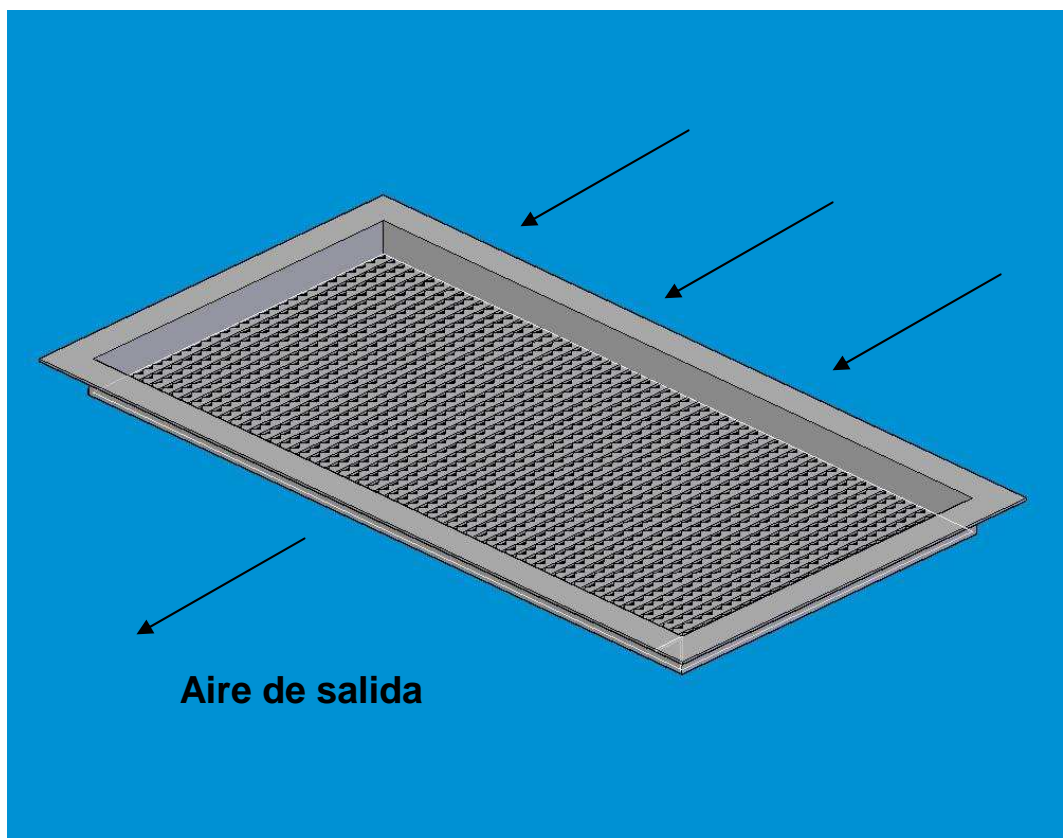


### 9.1 DISEÑO DE LAS BANDEJAS.

Se escogió una malla de metal de acero inoxidable para las bandejas que llevarán las frutas (ver figura 23), la cual tiene las características necesarias para dejar suficiente paso al aire recirculante dentro del túnel, se tomo del

catalogo ofrecido por la empresa ICOMALLAS S.A. Con referencia EXR 020 con espesor de la lamina expandida de 1,21 milímetros. (Ver anexo 6) Este soporta una carga de 4.5 Kg por metro cuadrado según el fabricante, por lo cual no tiene problema, dado que el peso de la fruta por  $m^2$  es de 1,8 aproximadamente. Tiene la desventaja que hará del sistema de portabandejas una estructura mucho mas pesada y eso hará que el marco del portabandejas deba exigirse mas. Llevaran un marco metálico también de acero inoxidable AISI 304 pues estos elementos van a estar expuestos directamente a la humedad del alimento.

**Figura 23. Bandeja de secado**



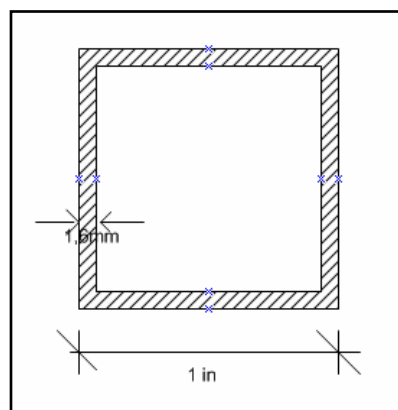
## 9.2 DISEÑO DE LOS PORTABANDEJAS

Para la construcción de Los portabandejas (ver figura 26) se usa un tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 – L calibre 16 de 1”, el grosor de este es para anticipar la posibilidad de deshidratar otro tipo de alimentos lo cual podría incrementar el peso, por lo que el calibre mas grueso le dará mas resistencia a los esfuerzos que podría soportar el portabandejas en base a el esfuerzo ultimo del material antes de alcanzar la deformación plástica (ver anexo 12)

Los análisis se plantearon para las columnas del portabandejas, puesto que las vigas soportan esfuerzos de compresión muy despreciables en comparación con las columnas consecuentes las formulas se tomaron del libro de mecánica de sólidos de Popov.

Para una carga máxima de 130 kg que soportara la estructura se tiene un área efectiva (ver figura 24) de:

**Figura 24. Área de tubería cuadrada**



$$A_f = bxb - [(b - 2t)^2]$$

$$A_f = b^2 - (b^2 - 4bt + 4t^2)$$

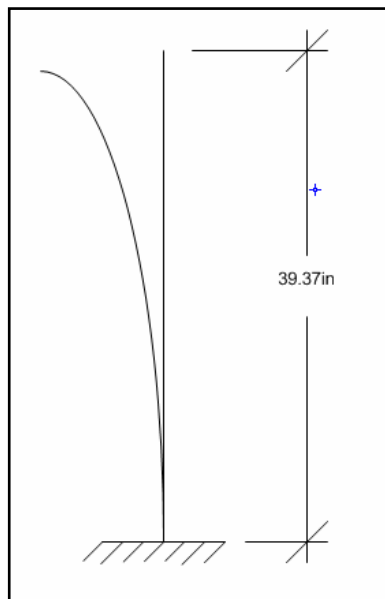
$$A_f = 4bt - 4bt^2$$

$$A_f = 4(1)(6,29 \times 10^{-2}) - 4(6,29 \times 10^{-2})^2$$

$$A_f = 0,235 \text{ in}^2$$

Se toma entonces la inercia propia del área de manera que se pueda hallar para el caso propio de columnas la presión crítica para el material elástico lineal que obedece a la ley de hooke (ver figura 25) puesto que no debería existir deformación plástica en la estructura.

**Figura 25. Caso de deflexión de las columnas**



$$I = \frac{b^4}{12} - \left[ \frac{(b-2t)^4}{12} \right]$$

$$I = 3.4663 \times 10^{-2} \text{ in}^4$$

De manera que se toma para las características del material (ver anexo 13):

- $E = 30457924,93 \text{ psi}$
- $I = 3.4663 \times 10^{-2} \text{ in}^4$
- $L = 39,37 \text{ in}$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$$

$$P_{cr} = 1680,64 \text{ Lb}$$

Podemos hallar el esfuerzo permisible con:

$$P_{cr} = \sigma_{per} A$$

$$\sigma_{per} = 7151,87 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

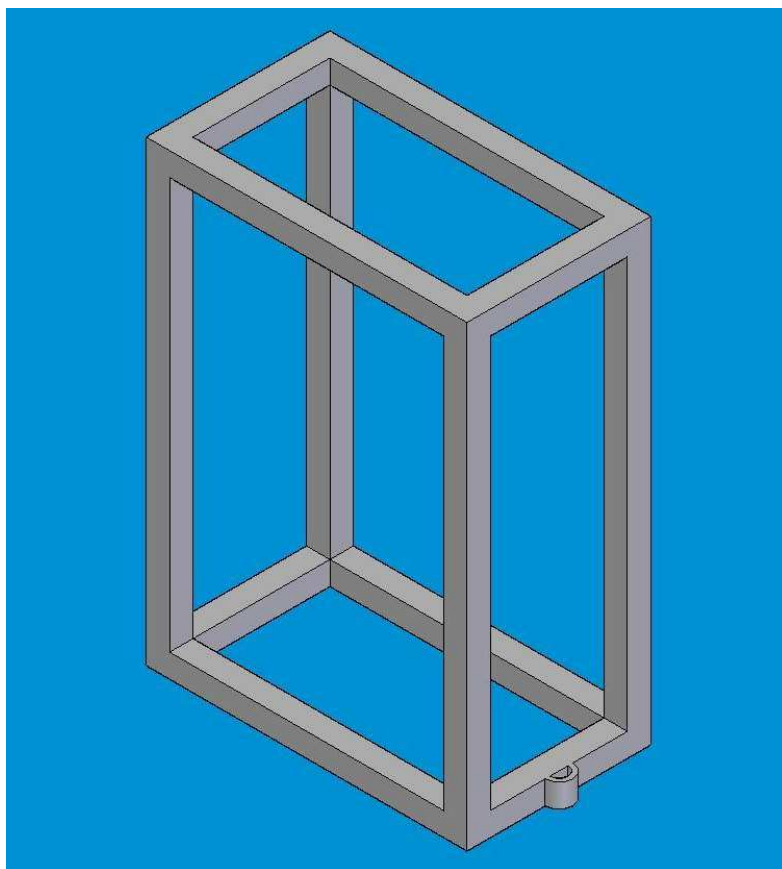
Teniendo presente los diseños para la carga de 286,6 lb que es el equivalente al peso en cada columna se trabaja con un rango que puede variar entre el valor real máximo y un rango del 50% por encima, para tener un grado mayor de confiabilidad pues se debe tener en cuenta que podrían utilizar otros grupos de alimentos. Teniendo a  $n$  como el factor de seguridad entonces:

$$\eta = \frac{P_{cr}}{\sigma_{per}}$$

$$\eta = 3.85$$

A la estructura se le añadirán rodachinas antideslizantes de 4" con flanche para ser ajustadas al marco de los portabandejas las cuales deben de aguantar el peso de toda la estructura del marco, y permitirán que se deslicen a través del túnel de secado y se puedan retirar luego del proceso semicontinuo una vez ya terminado su ciclo.

**Figura 26. Portabandejas.**

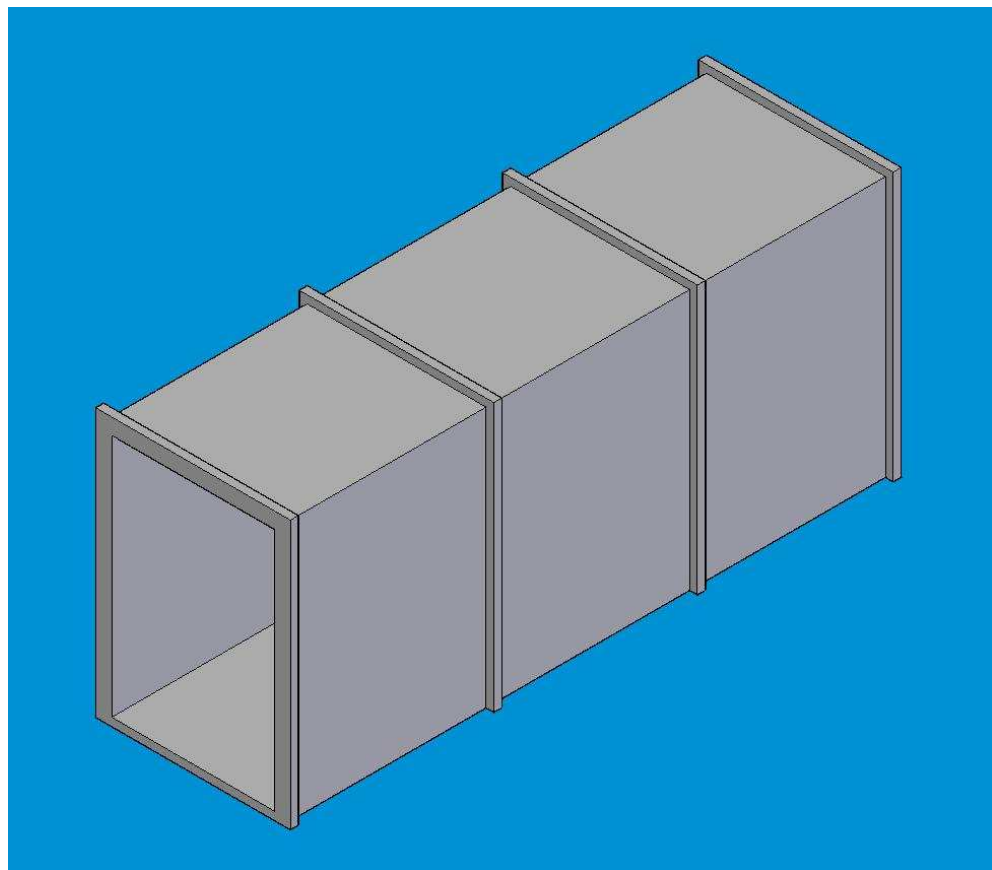


### **9.3 DISEÑO DEL TUNEL DE SECADO**

El túnel de secado se debería construir en paneles de acero inoxidable AISI 304 calibre 20, con el fin de que su ensamblé se haga con facilidad y para dejar abierta la posibilidad de agregar o quitar paneles para deshidratar mas o

menos cantidad de alimento (ver figura 27). Con recubrimiento en lana mineral de 2" de espesor (ver anexo 7) para evitar perdidas de calor y lamina exterior Cold Rolled calibre 18 con una armazón en marcos de tubería cuadrada de 1" para la parte exterior para reforzar los paneles y darle esqueleto a la estructura aunque estos tienen unos efectos de carga despreciables pues los paneles se apoyan sobre su propia estructura y su propio peso.

**Figura 27. Esquema de túnel de secado.**



## **10. SELECCIÓN DEL SISTEMA DEL DESHIDRATADOR.**

### **10.1 SISTEMA DE CALEFACCION**

El sistema del calentador del túnel debe cumplir con los requerimientos exigidos por el proceso de deshidratación, por ello se hizo un análisis de las variables mas influyentes dentro del proceso, haciendo una investigación de los sistemas de calentamiento mas comunes y también el tipo de combustible que estos utilizan, con el fin de cercar una necesidad para el uso de tecnología por parte de poblaciones rurales y sabiendo que el diseño va dirigido para dar una alternativa a los agricultores del Valle del Cauca.

### **10.2 VARIABLES DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO**

Se establecieron tres variables de selección que podrían ser las influyentes dentro del sistema de calefacción, tomando valores de referencia enfocados a un análisis general de cada una de ellas, teniendo en cuenta que los estudios de la investigación son en base a documentación, en la que se ve claramente que las zonas rurales del valle del cauca cuentan en su mayoría con pocas fuentes de energía alternativa, por lo que el sistema debería de funcionar con solo dos posibles tipos de combustible, como seria la energía eléctrica y el gas; pues la mayoría de los modelos de calentadores comerciales como lo son CCI THERMAL – Technologies Inc y KALFRISA S.A. no funcionan con mas tipos de combustibles.

El gas natural aunque no se descarto del análisis, es por el momento un privilegio de solo los grandes municipios del valle del cauca, aunque las políticas nacionales han establecido planes de acción para implementar redes



de gas natural en poblaciones rurales del país y del valle, pero los problemas internos de la nación por ahora no permiten que se hagan proyecciones cercanas para el futuro del gas natural y en el Valle del Cauca solo se distribuye este combustible en las poblaciones cercanas a la vía panorámica. Sin embargo sería bueno pensar en una iniciativa por parte de un municipio del valle que hiciera planes de acondicionamiento de cultivos de mango y presentara un proyecto al gobierno para la producción de productos deshidratados creando así un centro de acopio en donde los cultivadores y productores de frutos, llevaran su materia prima por cosecha para ser deshidratada; así se pediría al gobierno la instalación de una red de gas natural que llegara hasta este sitio de acopio. Pero un análisis de este tipo está fuera de los alcances de este proyecto.

10.2.1 Costo. Esta es una de las variables con más relevancia dentro del proceso pues hace muy importante la evaluación de los precios del combustible y el consumo del calentador para la operatividad del sistema del deshidratador teniendo en cuenta los equipos de calefacción que existen en la industria se hace un análisis estimativo para establecer los valores de la matriz.

10.2.2 Disponibilidad. Esta variable habla más de ser una variable de uso, pues según la investigación en estos momentos en las poblaciones rurales de los municipios del valle del Cauca se cuenta casi en su totalidad con el servicio de energía eléctrica y con un servicio de distribución del gas propano GLP en pipetas. Pero es bueno hacer el análisis de la disponibilidad para saber cuál es la correlación que este tendría según el consumo del sistema.

10.2.3 Mantenimiento. Los sistemas y la tecnología actual hacen de esta una variable a analizar pues si bien es cierto que se va a hacer una selección de un elemento comercial y si se tiene en cuenta que va dirigido a una población

rural donde no se cuenta con gran cantidad de industria, los costos y el proceso de mantenimiento o reparación de un tipo de sistema de estos se hace muy relevante.

## 10.2 MATRIZ DE SELECCION.

Esta es una matriz donde se establecen las variables de selección del sistema de calentamiento con el fin de evaluar cual sería la mejor configuración para el deshidratador dentro de los tipos de modelos de calentadores existentes en la industria, está hace una correlación entre las variables y su grado de importancia; poniendo nuevamente como en el capítulo 4 valores de 1 al 10 para dar la calificación en base a una evaluación cualitativa. Esto se hace con la finalidad de establecer un método claro, que permita resaltar las ventajas y desventajas de los calentadores frente a una necesidad clara de funcionamiento.

**Tabla 8. Matriz de relación entre sistema eléctrico y a gas.**

VARIABLES/MODELO	GRADO	GN		GLP		ELC	
<b>COSTO</b>	<b>10</b>	6	60	6	60	9	90
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>8</b>	6	48	8	64	9	72
<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>6</b>	7	42	7	42	9	54
<b>RESULTADO</b>	—		150		166		216

## 10.4 SELECCION DEL CALENTADOR.

Se establece entonces según las variables aplicadas a la matriz de selección el mejor tipo de calentador para este tipo de secador es el calentador eléctrico, por ser el de menor consumo de energía (ver anexo 11) y a su vez requiere de

menor costo de mantenimiento por ser un sistema muchísimo más sencillo, además la distribución de energía eléctrica esta garantizada para casi todas la zonas del valle del cauca.

Se escoge el modelo del catalogo de la compañía CCI THERMAL – Technologies Inc. Donde presentan diferentes modelos con variedad de aplicaciones, en este caso particular se escoge el modelo *WXL-12* con un costo aproximado de U\$ 1675 dólares moneda americana de un consumo aproximado de 12 kw y cuyas dimensiones se dan en el catalogo, fabricado para aplicaciones en conexiones monofásicas y trifásicas por lo que presenta un gran ventaja al usuario. (Ver anexo 1 y 2)

## 10.5 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Según los modelos comerciales y su disposición dentro del sistema se escogió por tamaño y forma (pues hacen mas simple la instalación y fabricación de los ductos en el túnel de secado) a criterio de diseño propio un ventilador tipo axial de aspas inclinadas para inducir en tiro forzado el aire hacia la cámara, con un cambio de presión al paso por el calentador despreciable en donde se debe tener en cuenta las perdidas de presión en el túnel de secado para establecer el flujo total de aire; sin embargo estas son despreciables de tan solo  $0,12Pa$  al hallar el coeficiente de fricción en flujo turbulento.

$$C_f = \frac{0,074}{Re^{1/5}}$$

Para  
 $5 \times 10^5 < Re \cdot L < 10^7$

$$C_f = 5.986 \times 10^{-3}$$

$$F_D = C_f A_s \frac{\rho v^2}{2}$$

$$F_D = (5.986 \times 10^{-3})(3 \times 0.8) m^2 \frac{(1.028 \text{ kg/m}^3)(6 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$F_D = 0.118 Pa$$

Por lo que al multiplicarlo por el número de bandejas (en total 14 por carro transportador) se estableció como factor de seguridad un 1 % que se podría generar por pérdidas de la presión en el flujo.

$$\dot{V} = 333 \frac{ft^3}{min} = 9590,4 \frac{in^3}{s}$$

$$v_s = \frac{\dot{V}_s}{A_s} = \frac{9590,4 \frac{in^3}{s}}{371,99 in^2} = 27,88 \frac{in}{s}$$

Se calculan entonces los factores de corrección para el sitio de instalación del túnel de secado, en este caso particular de Cali. A una altura aproximada de 3250 pies sobre el nivel del mar con una presión calculada de 13.25 psi<sub>a</sub> y tomada de la carta psicométrica (ver Anexo 8).

$$F_1 = \frac{\rho_{aire\_estandar}}{\rho_{aire\_real}}$$

El cual da un factor aproximado de 1,34 calculado de la tabla de factor de densidad para al aire a presión atmosférica a determinada altitud (ver Anexo 4) con el cual se puede calcular la presión de selección  $\Delta p_{Total}$ .

$$\Delta p_{Total} = P_s - P_e + \frac{\rho}{2} (v_s^2 - v_e^2)$$

$$\Delta p_{Total} = 0,13 \frac{lb_f}{in^2} \left( \frac{406,7 in\_col\_H20}{14,7 \frac{lb_f}{in^2}} \right) = 3,60 in\_col\_H20$$

A su vez se halla también el factor de corrección de altitud y el de humedad relativa de trabajo calculadas de tablas (ver Anexo 3). Las cuales se multiplican para dar un solo factor de corrección 1,4294 con el cual se calcula entonces el factor total.

$$F_{total} = F_1 \times F_2 = 1,90$$

$$\Delta p_{Total_{real}} = \Delta p_{Total} \times F_{total}$$

$$\Delta p_{Total_{real}} = 3.60 in\_col\_H20 \times 1.90 = 6.84 in\_col\_H20$$

Con lo cual se selecciona un ventilador del catalogo de la compañía SIEMENS (ver anexo 5) que es el modelo 2CC2 254 – 5YC3.

## 11. SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL

Los computadores de control en procesos industriales de este tipo vienen siendo usados con mucha más frecuencia por que éstos no solo permiten implantar mayores prestaciones que las obtenidas con sistemas de control analógico a menor precio si no que, además, pueden realizar muy diversas tareas de tratamiento de datos y supervisión, mediante un programa que realiza las funciones de un circuito lógico secuencial; en este caso tanto los actuadores como los captadores de señal del proceso son dispositivos (que son los que transmiten las señales de entrada y salida) de dos estados, tales como las válvulas abiertas o cerradas, finales de carrera, etc. Las ventajas a que conduce el empleo de un computador digital en lugar de un circuito secuencial son las derivadas del empleo de lógica programada sobre la cableada; es decir, flexibilidad en el cambio de estrategia de control, menor número de averías, etc.

Un sistema de regulación automático en el que la salida es una variable como temperatura, presión, flujo, nivel de líquido, pH o humedad se llama **sistema de control de procesos**. Frecuentemente se usan en estos sistemas controles programados como el de la temperatura del horno de calentamiento de deshidratación en el que la temperatura y el flujo de aire van a ser controlados con un programa establecido en este caso **LabVIEW**. El programa podría consistir en elevar la temperatura a determinado valor durante un intervalo de tiempo prefijado según el proceso manteniendo los valores en el rango de trabajo permisible según el caso de deshidratación.

## **11.1 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO**

El sistema de control para el proceso es un sistema de control en lazo cerrado en donde la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción de control.

Los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentado. La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de realimentación (que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida), entra al detector o control de manera de reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado. En otras palabras lo que se busca es reducir el error del sistema mediante la realimentación manual en donde el operador puede llegar a intervenir los valores de entrada para modificar la señal de salida.

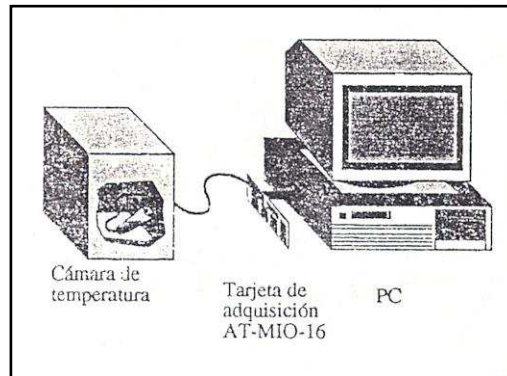
## **11.2 SISTEMA DE CONTROL DEL DESHIDRATADOR**

El sistema de control para este tipo de deshidratador consta de una secuencia lógica de datos que son procesados por una tarjeta de adquisición de datos, básicamente es un controlador PID al cual se le llama también razón de control en el cual se utilizan señales de campo proveniente de los transductores a niveles típicos de entre 4 a 20 mA para los sensores de temperatura y controladores y niveles de 0 a 10 V para la tarjeta de adquisición de datos,

Esta tarjeta de adquisición tiene la funcionalidad de adaptar la señal de los transductores de entrada por medio de una interfaz de conexión la cual convierte la señal de corriente en una señal de frecuencia o en señales de voltaje (transforma la señal analógica en una señal binaria para el sistema operacional del computador) que permiten actuar a la salida en respuesta a las señales de entrada del sistema. Las tarjetas comerciales vienen con paquetes de software que cubren las funciones de supervisión, adquisición de datos,

modelado de procesos y optimización de datos, utilizando plataformas tan sencillas como el sistema multitarea Windows.

**Figura 28. Esquema de conexión**



La tarjeta está conectada al secador por medio de los sensores (ver figura 28) que a su vez se conectan a la interfaz de conexión que es interpretada por la tarjeta y enviada a un monitor de computador que nos va a mostrar a través de una interfaz gráfica dada por el programa LABVIEW los valores que los sensores estén marcando y según estos datos el operador va a poder determinar cuál va a ser la mejor configuración de operación del sistema en conjunto (con base a los valores de humedad), es decir que el operador decidirá si ajustar la velocidad de flujo, la temperatura de procesamiento o si por el contrario es apropiado trabajar en esas condiciones de deshidratación. Las medidas registradas en el ordenador tienen la ventaja de ser precisas, de poderse almacenar y manipular estadísticamente, de modo que faciliten el análisis de datos y la obtención de conclusiones para evaluaciones posteriores del proceso de deshidratado.

El programa tiene unas características particulares ya que está muy extendido el empleo de los denominados autómatas programables, a los que se ha

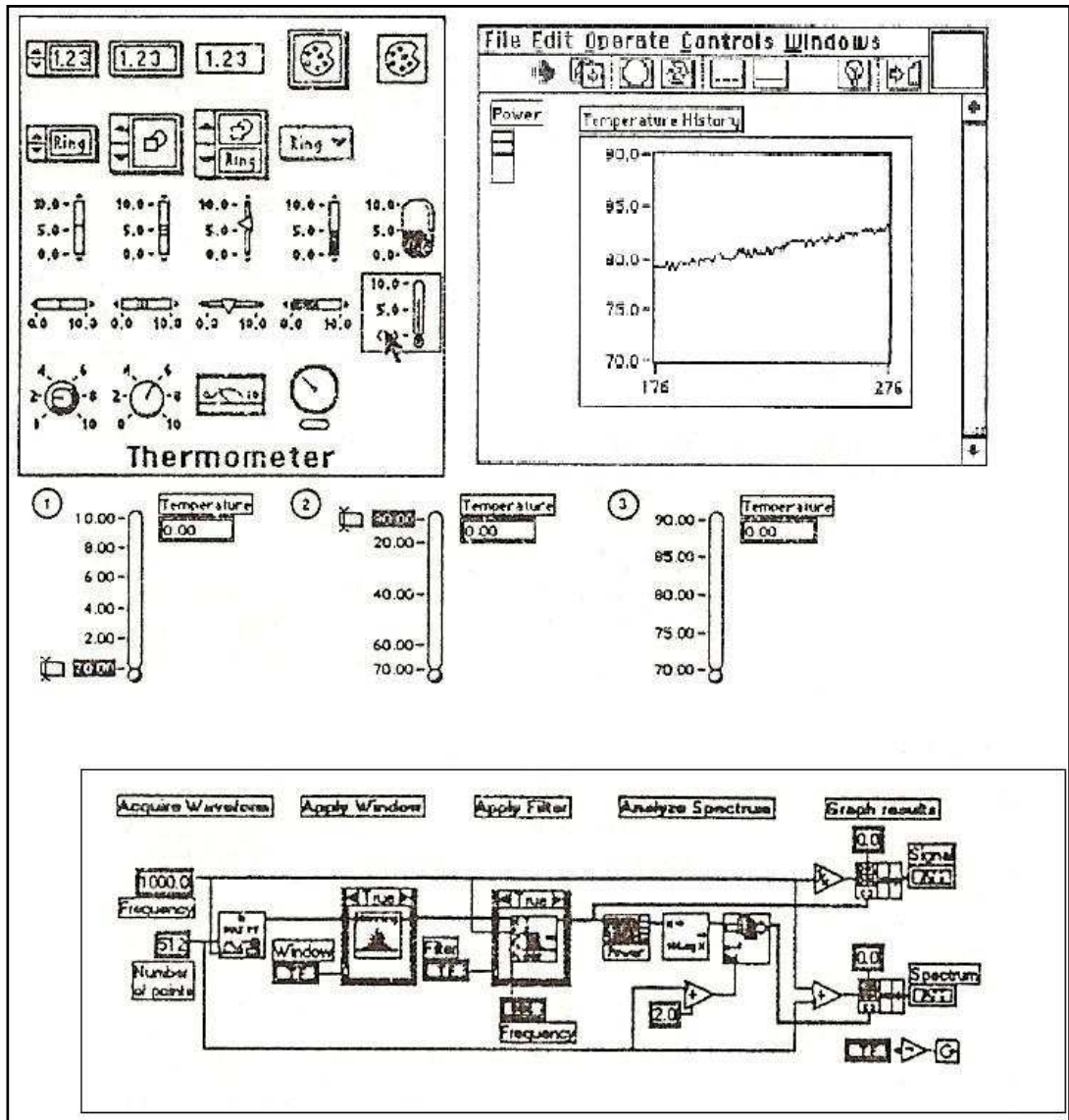


definido como instrumentos electrónicos programables por personal no informático destinados a cumplir, en ambiente industrial y en tiempo real, funciones esencialmente de automatismos lógicos, combinados y secuenciales. Además el programa permite hacer una variedad de funciones teniendo como base de programación los diagramas de bloques de la función particular de cada uno de los transductores con el fin de dar un mapa de operación del proceso de deshidratación, permitiendo al programador funciones desde cambios de escala, giro de perillas, pulsar un interruptor, entre otros. Para cada una de las operaciones. (Ver figura 29)

El sistema en conjunto es sencillo se compone de higrómetros de control de humedad conocidos comercialmente como termocuplas o termopares las cuales trabajan con rangos de temperatura muy variados con una alta gama de trabajo para el caso de deshidratación, son esencialmente dos bulbos uno seco y uno recubierto por una camisa de algodón remojada que va a un depósito de agua destilada al cual se le llama bulbo húmedo. Los cuales determinarán la temperatura y a través de esta con ayuda de una gráfica psicométrica se puede saber entonces la humedad al interior del secador utilizando un programa sencillo de cálculo para la humedad en una plataforma como Excel.

Además de este tipo de sistema de medición de humedad se requiere que se pueda medir la cantidad de agua perdida por el alimento para saber si está completo su ciclo de deshidratación, por lo que se dispone entonces de una célula de carga la cual por diferencia de peso nos podrá decir si el alimento está listo o no.

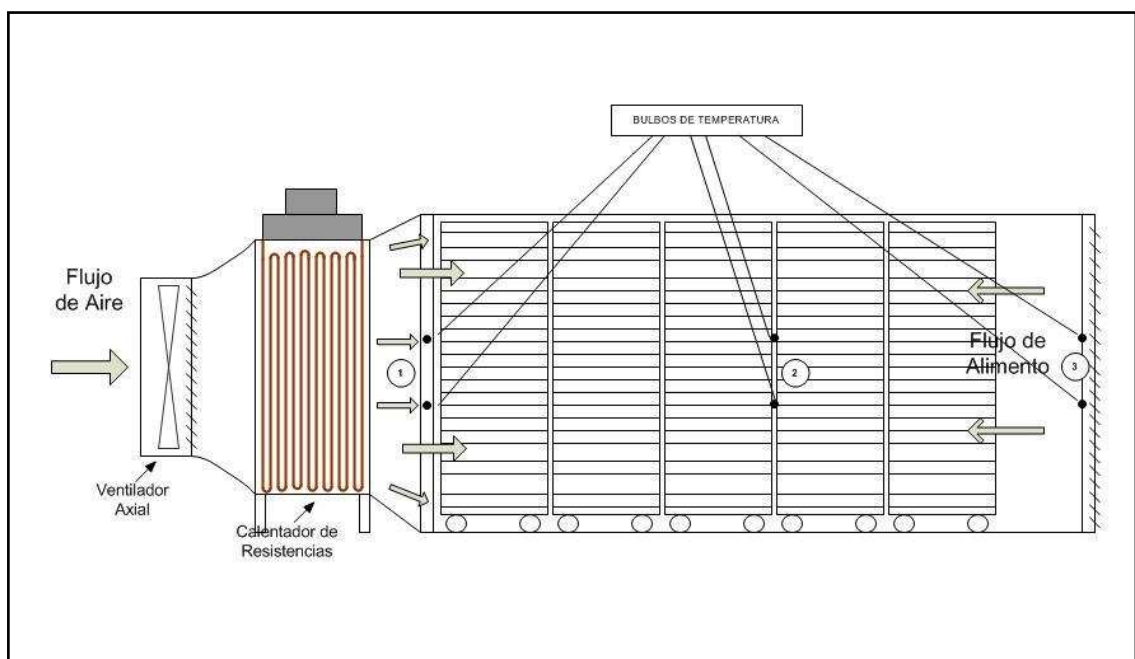
**Figura 29. Ejemplos de esquemas de trabajo y funciones que permite LABVIEW**



Entonces se dispondrá de tres higrómetros uno en la entrada del túnel justo a la salida del aire del calentador, uno en el medio del túnel para saber la humedad en la mitad del proceso y uno a la salida. Con esto lo que se quiere es poder variar los parámetros de entrada tanto de las resistencias del calentador como de las del flujo del ventilador por medio de un variador de

velocidad, todo controlado desde un ordenador (PC de computador) en el cual se podrá tanto variar la velocidad del aire y flujo, como la temperatura de secado para el alimento. (Ver figura 30)

**Figura 30. Diagrama general de la disposición de los higrómetros**



Para este sistema se escoge una tarjeta de adquisición de datos de marca comercial KEITHLEY con entrada para BUS PCI que consta de 16 canales (8 de entrada y 8 de salida) los cuales van a representar las entradas y salidas de mi sistema, este tipo de tarjetas son ideales para sistemas de trabajo continuo. Tienen un valor aproximado de \$ 240.000 pesos. Se escogió la tarjeta KPCI 3107/3108 de esta marca (ver anexo 9).

## 12. CONCLUSIONES

El proceso de secado al vacío conocido como liofilización es mucho más efectivo que el de deshidratación por corriente de aire caliente atmosférico pues este permite que las temperaturas de trabajo sean menores al crear un ambiente de baja presión, la temperatura de evaporación del agua es mucho menor, por lo que sería una muy buena alternativa para mejorar el diseño del secado por convección.

En los análisis de los valores de las variables y de los parámetros para el sistema de deshidratación tipo túnel se puede ver que lo que más afecta la humedad de secado dentro del proceso es el flujo de masa de aire y aunque la temperatura es el factor primordial de cambio de humedad en este tipo de prácticas de secado teóricamente, para el caso no fue tan influyente por ser una restricción fija de diseño, pues en la deshidratación del mango no puede ser más de 70°C evitando así el pardeamiento del producto.

Los modelos de ecuaciones del sistema de deshidratación sirven para hacer el análisis en tipos similares de sistemas de deshidratación por aire caliente, solo debe tenerse en cuenta las humedades relativas del producto y sus características organolépticas para hacer un proceso con un grupo funcional de alimentos.

Por su disposición de entrada y salida a contraflujo con el aire de las bandejas el método de deshidratación tipo túnel ha demostrado ser en la práctica una gran alternativa para el secado de alimentos como el mango que pueden sufrir daños físicos si se secan mediante otros métodos y es mucho mejor que los deshidratadores de bandejas, pues al utilizar un sistema semicontinuo hace que el volumen de materia prima a secar sea mucho mayor.

El esquema de control del sistema tipo túnel es en la actualidad tal ves la manera mas sencilla de manejo este tipo de sistema teniendo en cuenta que el manejo del proceso y del deshidratador podría hacerse por personal no especializado y con solo poca capacitación.

## BIBLIOGRAFIA

AMOS, Arturo J. Manual de industrias de los alimentos. Zaragoza: Acribia, 1968. 1062 p.

BACIGALUPO, Antonio. Procesamiento de alimentos en pequeñas agroindustrias: Guía práctica. Santiago de Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, 1986. 296 p.

BARBOSA CANOVAS, Gustavo. Deshidratación de alimentos. Zaragoza: ACRIBIA S.A., 2006. 235 p.

BUITRAGO HERRERA; Carlos. Aplicación de control difuso en el proceso de secado de lecho fluidizado. Santiago de Cali, 2005. 100 p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad del Valle. Facultad de ingenierías.

CENGEL YUNUS, A. Transferencia de calor. 2 ed. Mexico: McGraw-Hill, 2004. 793 p.

CENGEL YUNUS, A. Termodinámica. 4 ed. Mexico: McGraw-Hill, 2003. 829 p.

CLAIR BATTY, J. Fundamentos de la ingeniería de alimentos. México: Compañía editorial continental S.A. (CECSA), 1989. 319 p.

GALVIS, Jesús Antonio. Estudio comparativo de dos técnicas de deshidratación de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.). En: Colombia Amazónica (Colombia). Vol. 7, No. 1-2 (Jun .1994); p. 139-155.

HODSON DE JARAMILLO, Elizabeth. Procesamiento y conservación de alimentos en América Latina y el Caribe. VOL 1. Santa fe de Bogotá, DC: Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS), 1996. 235 p.

LOPEZ CIRO, Jorge. Manejo post-cosecha y comercialización del mango. Armenia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); Natural Resources Institute (NRI), 1999. 85 p.

MARQUEZ C., Carlos Julio. Deshidratación de mora castilla (*Rubus Gaucus*) bajo régimen convectivo con aire forzado. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín (Colombia). Vol. 55, No. 2 (Ene – mar. 2002); p. 1587-1600.

MIRANDA ALONSO, Gonzalo. Influencia de la temperatura, el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y albaricoques deshidratados. Valencia, 2003. 310 p. Tesis doctoral (Doctor en Ciencias Químicas). Universidad de Valencia. Departamento de Ingeniería Química.

MOLANO LARRAZÁBAL, Claudia M. Deshidratación de piña variedad cayena lisa por métodos combinados. En: Cenicafé (Colombia). Vol. 47, No. 3 (1996); p. 140-158.

WERTHEIMER DE KADOCH, Clara. Definición de las variables de proceso y evaluación de la producción de dos formas de banano deshidratado. Santiago de Cali, 1998. 227 p. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad del Valle. Facultad de ingenierías. Ingeniería Química.

Air and Space Heaters [en línea]: section C. Montreal: CCI THERMAL-Caloritech, 2006. [Consultado 22 jul de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.ccithermal.com/products-cal-c.html>

Conservación de frutas y hortalizas [en línea]: Actividad de agua en alimentos. Santiago Chile: LAB Ferrer, 2006. [Consultado 18 jun de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.lab-ferrer.com/documentacio/frutyhort.pdf>

Cuaderno UPME [en línea]: La cadena del gas licuado del petróleo en Colombia. Bogota: Ministerio de minas y energía, 2000. [Consultado 21 oct de 2006]. Disponible en Internet: [http://72.14.253.104/search?q=cache:uiME1kRgQuEJ:www.upme.gov.co/sipq/documentos/publicaciones/Cuaderno\\_Upme\\_Cadena\\_del\\_GLP.pdf+distribucion%2Bgas+propano+valle&hl=es&ct=clnk&cd=25&gl=co](http://72.14.253.104/search?q=cache:uiME1kRgQuEJ:www.upme.gov.co/sipq/documentos/publicaciones/Cuaderno_Upme_Cadena_del_GLP.pdf+distribucion%2Bgas+propano+valle&hl=es&ct=clnk&cd=25&gl=co)

Gas [en línea]. Bogota: Ministerio de Minas y Energía, 2006. [Consultado 06 oct de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.minminas.gov.co/minminas/pagesweb.nsf>

Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha [en línea]. Santiago de Chile: Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2003. [Consultado 15 jul de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/T0073S/T0073S00.htm>

Procesado de hortalizas [en línea]: Otros métodos distintos del enlatado. Madrid: Infoagro.com, 2006. [Consultado 08 jul de 2006]. Disponible en Internet: <http://canales.hoy.es/canalagro/datos/conservas/metodos.htm#1.%20DESHIDRATACIÓN>

Procesado de frutas hortalizas y otros productos [en línea]. Santiago de Chile: Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2004. [Consultado 15 jul de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/x5403s0d.htm#TopOfPage>

Técnica de calentamiento [en línea]: calentadores de aire para procesos industriales. Zaragoza: LIESCOTHERM – Kalfrisa S.A., 2005. [Consultado 22 jul de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.kalfrisa.com/default.aspx?info=000007>

Tela en acero inoxidable [en línea]. Santiago de Cali: Icomallas S.A., 2006. [Consultado 20 jul de 2006]. Disponible en Internet: [http://www.icomallas.com/malla\\_acero\\_inox3.htm](http://www.icomallas.com/malla_acero_inox3.htm)



# ANEXOS


## Anexo 1. Catalogo de selección calentador eléctrico marca Caloritech

**Process Duct Heaters**
**Type WX**

### Process Duct Heaters Type WX

**APPLICATION**

Type WX heaters are designed for installation in process ducts to heat air or other non-hazardous gases.



**CONSTRUCTION**

Standard heaters have replaceable "W" shaped incoloy elements each rated at 2kW. Multiple circuits are selected to limit the line current in each circuit to 48 AMPS.

TYPE WXL heaters have steel mounting plate and terminal box with a stainless steel element support plate.

TYPE WXH heaters have stainless steel mounting plate, terminal box and support plate suitable for high temperature operation.

**INSTALLATION**

Installation can be in any position; top, bottom or side mounting. The heater is inserted into the duct through a hole and secured with suitable bolts, studs or screws. For heavier units, duct work may require reinforcement.

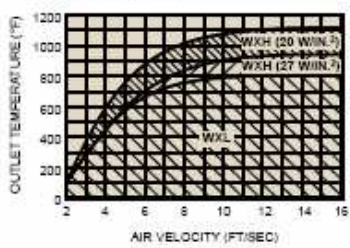
In larger ducts, internal duct baffles may be required to ensure that the minimum air velocity as shown in Fig. 1 passes over the elements.

All process duct heater installations must include a device such as a thermocouple control or a proximity high limit cutout to limit the outlet temperature in the event of fan failure or malfunction of the process temperature regulator.

**SELECTION**

WXL heaters are suitable for outlet air temperatures up to 425°C (797°F) providing the air velocity is not less than the required velocity shown on Fig. 1. If the air velocity is less, contact factory for a modified heater with a lower watt density to suit your conditions.

**FIG. 1 - HEATER SELECTION**

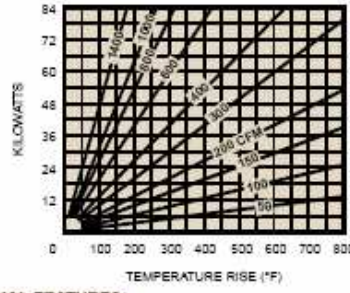


WXH heaters are suitable for outlet air temperatures up to 600°C (1112°F) providing the air velocity is not less than the required velocity shown on Fig. 1. Note that type WXH heaters are available as standard in two separate watt densities.

If the air velocity is less than indicated by Fig. 1 contact factory for a modified heater with a lower watt density to suit your conditions.


Use Fig. 2 to approximate kW requirements.

**FIG. 2 - RECOMMENDED KILOWATTS**



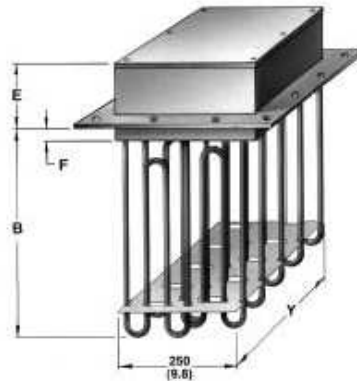
**SPECIAL FEATURES**

Type WX heaters are available in other sizes and ratings. Units can be supplied with duct section, fan assembly, and control panel. Consult factory for additional information.

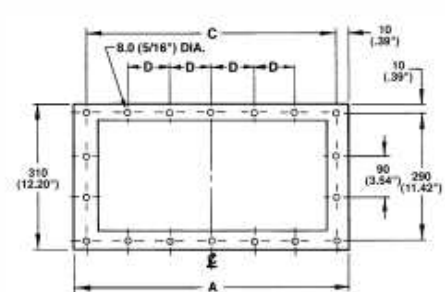
**C16**


## Anexo 2. Catalogo de descripción calentador eléctrico marca Caloritech

Type WX
Process Duct Heaters




MODEL	W/cm <sup>2</sup>	W/in. <sup>2</sup>	'B' DIM. mm (in.)	'E' DIM. mm (in.)	'F' DIM. mm (in.)
WXL	4.2	27	410 (16.1)	150 (5.9)	35 (1.4)
WXH	4.2	27	410 (16.1)	250 (9.8)	0
WXH	3.1	20	530 (20.9)	250 (9.8)	0



KW	STD. VOLTS				'A' DIM. mm (in.)	'C' DIM. mm (in.)	'D' DIM. mm (in.)	'Y' DIM. mm (in.)	SUPERCEDED CATALOG NUMBER	NET CATALOG NUMBER	WT. LBS (KG)
	208 1ø	240 3ø	480 1ø	600 3ø							
<b>TYPE WXL - INTERMEDIATE TEMPERATURE DESIGN - 27 W/in.<sup>2</sup> (4.2 W/cm<sup>2</sup>)</b>											
6	✓	✓	✓	✓	155 (6.1)	135 (5.3)	—	110 (4.3)	TDH-6C	WXL-6	15.4 (7)
12	✓	✓	✓	✓	235 (9.3)	215 (8.5)	—	190 (7.5)	TDH-12C	WXL-12	26.6 (12)
18	✓	✓	✓	✓	310 (12.2)	290 (11.4)	50 (1.97)	265 (10.4)	TDH-18C	WXL-18	39.7 (18)
24	-	✓	✓	✓	385 (15.2)	365 (14.4)	90 (3.54)	340 (13.4)	TDH-24C	WXL-24	48.5 (22)
30	-	✓	✓	✓	460 (18.1)	440 (17.3)	110 (4.33)	415 (16.3)	TDH-30C	WXL-30	57.3 (26)
36	-	✓	✓	✓	540 (21.3)	520 (20.5)	130 (5.12)	495 (19.5)	TDH-36C	WXL-36	63.9 (29)
42	-	✓	✓	✓	615 (24.2)	595 (23.4)	150 (5.90)	570 (22.4)	TDH-42C	WXL-42	72.8 (33)
48	-	✓	✓	✓	690 (27.2)	670 (26.4)	170 (6.69)	645 (25.4)	TDH-48C	WXL-48	79.4 (36)
54	-	✓	✓	✓	765 (30.1)	745 (29.3)	185 (7.28)	720 (28.3)	TDH-54C	WXL-54	86.0 (39)
60	-	✓	✓	✓	840 (33.1)	820 (32.3)	205 (8.07)	800 (31.5)	TDH-60C	WXL-60	92.6 (42)
72	-	✓	✓	✓	990 (39.0)	970 (38.2)	160 (6.30)	950 (37.4)	—	WXL-72	105.8 (48)
84	-	✓	✓	✓	1140 (44.9)	1120 (44.1)	185 (7.28)	1100 (43.3)	—	WXL-84	119.1 (54)
<b>TYPE WXH - HIGH TEMPERATURE DESIGN (UP TO 950°F OUTLET TEMPERATURE) - 27 W/in.<sup>2</sup> (4.2 W/cm<sup>2</sup>)</b>											
12	✓	✓	✓	✓	235 (9.3)	215 (8.5)	—	190 (7.5)	—	WXH-12	28.7 (13)
18	✓	✓	✓	✓	310 (12.2)	290 (11.4)	50 (1.97)	265 (10.4)	—	WXH-18	41.9 (19)
24	-	✓	✓	✓	385 (15.2)	365 (14.4)	90 (3.54)	340 (13.4)	—	WXH-24	55.1 (25)
36	-	✓	✓	✓	540 (21.3)	520 (20.5)	130 (5.12)	495 (19.5)	—	WXH-36	68.3 (31)
48	-	✓	✓	✓	690 (27.2)	670 (26.4)	170 (6.69)	645 (25.4)	—	WXH-48	81.6 (37)
60	-	✓	✓	✓	840 (33.1)	820 (32.3)	205 (8.07)	800 (31.5)	—	WXH-60	94.8 (43)
72	-	✓	✓	✓	990 (39.0)	970 (38.2)	160 (6.30)	950 (37.4)	—	WXH-72	108.0 (49)
84	-	✓	✓	✓	1140 (44.9)	1120 (44.1)	185 (7.28)	1100 (43.3)	—	WXH-84	121.3 (55)
<b>TYPE WXH - HIGH TEMPERATURE DESIGN (UP TO 1100°F OUTLET TEMPERATURE) - 20 W/in.<sup>2</sup> (3.1 W/cm<sup>2</sup>)</b>											
12	✓	✓	✓	✓	235 (9.3)	215 (8.5)	—	190 (7.5)	—	WXH-1222	30.9 (14)
18	✓	✓	✓	✓	310 (12.2)	290 (11.4)	50 (1.97)	265 (10.4)	—	WXH-1822	44.1 (20)
24	-	✓	✓	✓	385 (15.2)	365 (14.4)	90 (3.54)	340 (13.4)	—	WXH-2422	57.3 (26)
36	-	✓	✓	✓	540 (21.3)	520 (20.5)	130 (5.12)	495 (19.5)	—	WXH-3622	70.5 (32)
48	-	✓	✓	✓	690 (27.2)	670 (26.4)	170 (6.69)	645 (25.4)	—	WXH-4822	83.8 (38)
60	-	✓	✓	✓	840 (33.1)	820 (32.3)	205 (8.07)	800 (31.5)	—	WXH-6022	97.0 (44)
72	-	✓	✓	✓	990 (39.0)	970 (38.2)	160 (6.30)	950 (37.4)	—	WXH-7222	110.2 (50)
84	-	✓	✓	✓	1140 (44.9)	1120 (44.1)	185 (7.28)	1100 (43.3)	—	WXH-8422	123.5 (56)

TO ORDER SPECIFY: Quantity, catalog number, voltage, wattage and special features.


C17

Anexo 3. Tabla de factor de humedad relativa y altitud en pies

<b>FACTORES DE HUMEDAD RELATIVA NIVEL DEL MAR</b>						
<b>TEMP AIRE</b>	porcentajes de humedad relativa					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
70°F	1.000	1.004	1.006	1.008	1.009	1.012
80°F	1.019	1.023	1.026	1.029	1.032	1.034
100°F	1.057	1.064	1.069	1.074	1.080	1.085
120°F	1.094	1.106	1.116	1.126	1.136	1.140
140°F	1.132	1.150	1.169	1.187	1.206	1.225
160°F	1.170	1.201	1.232	1.265	1.299	1.335
180°F	1.208	1.259	1.311	1.319	1.431	1.500
200°F	1.245	1.326	1.416	1.518	1.636	1.775

<b>FACTORES DE CORRECCION POR ELEVACION - PIES(ft) SOBRE EL NIVEL DEL MAR</b>					
ELEVACION	FACTOR	ELEVACION	FACTOR	ELEVACION	FACTOR
-500	0.982	2000	1.075	4500	1.18
Nivel mar	1.000	2500	1.096	5000	1.202
500	1.018	3000	1.116	5500	1.225
1000	1.037	3500	1.137	6000	1.25
1500	1.056	4000	1.158	6500	1.275

Anexo 4. Tabla del factor de densidad

ALTITUD EN PIES( ft) CON PRESION BAROMETRICA EN Hg											
TEMP	0´	500´	1000´	1500´	2000´	2500´	3000´	3500´	4000´	4500´	5000´
F	29,92	29,38	28,86	28,33	27,82	27,31	26,82	26,32	25,84	25,56	24,98
-40	.79	.81	.82	.84	.85	.87	.88	.90	.92	.93	.95
0	.87	.88	.90	.92	.93	.95	.97	.99	1.00	1.02	1.04
40	.94	.96	.98	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.11	1.13
70	1.00	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20
80	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22
100	1.06	1.08	1.10	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22	1.25	1.27
120	1.09	1.11	1.13	1.16	1.18	1.20	1.22	1.24	1.27	1.29	1.31
140	1.13	1.15	1.17	1.20	1.22	1.24	1.26	1.29	1.31	1.34	1.36
160	1.17	1.19	1.21	1.24	1.26	1.28	1.31	1.33	1.35	1.38	1.41
180	1.21	1.23	1.25	1.28	1.30	1.32	1.35	1.37	1.40	1.42	1.45
200	1.25	1.27	1.29	1.32	1.34	1.36	1.39	1.42	1.44	1.47	1.50
250	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.47	1.49	1.52	1.55	1.58	1.61
300	1.43	1.46	1.49	1.51	1.54	1.57	1.57	1.60	1.63	1.66	1.69
350	1.53	1.56	1.58	1.61	1.64	1.67	1.70	1.74	1.80	1.84	1.87
400	1.62	1.65	1.68	1.71	1.75	1.78	1.81	1.84	1.88	1.91	1.95
450	1.72	1.75	1.78	1.81	1.85	1.88	1.92	1.95	1.99	2.03	2.06
500	1.81	1.84	1.88	1.91	1.95	1.98	2.02	2.06	2.10	2.14	2.18
550	1.91	1.94	1.98	2.01	2.05	2.09	2.13	2.17	2.11	2.25	2.29
600	2.00	2.04	2.07	2.11	2.15	2.19	2.23	2.27	2.32	2.36	2.40
650	2.09	2.13	2.17	2.21	2.25	2.29	2.34	2.38	2.43	2.47	2.52
700	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.40	2.44	2.49	2.53	2.58	2.63
750	2.28	2.32	2.37	2.41	2.46	2.50	2.55	2.60	2.64	2.69	2.74
800	2.38	2.42	2.46	2.51	2.56	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.86
850	2.47	2.52	2.56	2.61	2.66	2.71	2.76	2.81	2.86	2.92	2.97
900	2.57	2.61	2.66	2.71	2.76	2.81	2.86	2.92	2.97	3.03	3.08
950	2.66	2.71	2.76	2.81	2.86	2.91	2.97	3.02	3.08	3.14	3.20
1000	2.76	2.81	2.86	2.91	2.96	3.02	3.07	3.13	3.19	3.25	3.31

Anexo 5. Catalogo del ventilador siemens seleccionado.



**SIEMENS**

| Global Home | Ayuda | Contáctenos

Región Andina

| Nosotros | Inversionistas | Prensa | Empleo

| Home | [Productos y Soluciones](#)

**Productos, Soluciones y Servicios**

- ▶ Información General
  - ▶ Nuestra fábrica
  - ▶ Normas
- ▶ Catálogo técnico
- ▶ Búsqueda de motores y ventiladores
- ▶ Ayuda técnica para selección de motores y ventiladores
- ▶ Hoja de Oferta
- ▶ Talleres de Servicio Autorizados
- ▶ Distribuidores
- ▶ Oficinas de Siemens
- ▶ Regístrese
- ▶ Contáctenos

### Ventilador 2CC2 254-5YC3



Añadir Hoja de Oferta

[Ampliar foto...](#)


**Características Técnicas** - *(Vista Previa)*

<b>Diámetro</b>	250 mm
<b>Potencia Nominal</b>	0.05 kW
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Voltaje Nominal</b>	110 V
<b>Intensidad Nominal</b>	0.8 A
<b>Número de Fases</b>	1
<b>Velocidad Sincrónica</b>	1800 rpm
<b>Grado de Protección Mecánica</b>	IP54
<b>Nivel de Ruido</b>	62 dB(A)
<b>Peso</b>	5.00 kg

[volver](#)

© Siemens S.A. 2002 · Siemens en la Región Andina

## Anexo 6. Catalogo de la malla expandida de acero inoxidable.



**ICOMALLAS S.A.**

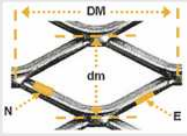
**METAL EXPANDIDO**

► Productos ► Servicios ► Quiénes Somos ► Contacto ► Inicio

**REFERENCIAS**

**ESPECIFICACIONES**  
Expresadas en Milímetros.

**N:** Nervio o Vena.  
**E:** Espesor lámina.  
**DM:** Diagonal Mayor entre el centro del nervio.  
**dm:** Diagonal Menor entre el centro del nervio.



Modelo	Espesor de lámina		Nervio o Vena Milímetros	Diagonal Mayor Milímetros	Diagonal Menor Milímetros	Ancho Lámina Metros	Peso Metro² Kilogramos
	Pulgadas	Milímetros					
Exr 006	22	0,80	0,85	6,0	3,5	1,0	2,8
Exr 012	20	0,91	1,00	12,0	7,0	1,0	1,7
Exr 012	22	0,76	0,80	12,0	6,0	1,0	1,50
Exr 016	20	0,91	1,20	16,0	9,0	1,0	1,6
Exr 020	18	1,21	1,50	20,0	11,0	1,0	2,8
Exr 020	26	0,46	0,80	20,0	11	1,0	0,3
Exr 030	18	1,21	2,00	30,0	14,0	1,0	2,7
Exr 040	12	2,66	3,00	40,0	20,0	1,0	0,5
Exr 040	18	1,21	3,00	41,0	20,0	1,0	2,3
Exr 060	12	2,66	4,00	60,0	29,0	1,0	5,2
Exr 060	22	0,76	0,80	60,0	27,0	1,0	0,3
Exr 075	12	2,66	3,00	76,0	36,0	1,0	3,1
Exr 030	18	1,21	2,00	30,0	14,0	1,0	2,7
Exr 040	18	1,21	3,00	40,0	19,0	1,0	2,7
Exr 040	22	0,76	0,80	44,0	16,0	1,0	0,5
Exr 075	12	2,66	4,50	77,0	38,0	1,0	4,5
Exr 075	18	1,21	3,00	75,0	34,0	1,0	1,7
Exr 075	3/16	4,50	5,00	75,0	37,0	1,0	9,2
Exr 100	3/16	4,50	7,00	100,0	49,0	1,0	9,50
Exr 100	3/16	4,50	11,00	102,0	49,0	1,0	14,4

◀ ANTERIOR

## Anexo 7. Catalogo de la lana mineral para recubrimiento.

**AISLAMIENTO INDUSTRIAL**

# LANA AW

Aislamiento Térmico para servicio en caliente

**DESCRIPCIÓN:**

La Lana AW de FiberGlass es un aislamiento térmico hecho con lana de fibras de vidrio inorgánicas y elásticas, aglomeradas con resina termo-resistente, presentada en rollos.

**USOS:**

La Lana AW está diseñada para ser empleada en aplicaciones como aislamiento térmico de equipos y electrodomésticos que trabajan a temperaturas hasta de 540°C (1000°F) con el espesor recomendado. Este aislamiento es ampliamente utilizado en sistemas de paneles, recubrimientos flexibles, hornos industriales o superficies irregulares.

**BENEFICIOS:**

- **Excelente Funcionamiento Térmico**  
La eficiencia térmica de la Lana AW contribuye a reducir las pérdidas de calor y el consumo de combustibles.
- **Peso Liviano**  
El bajo peso de la fibra de vidrio facilita la instalación y manipulación del aislamiento, incluso cuando se trabaja con grandes cantidades.
- **Elasticidad**  
Su elasticidad garantiza llenar completamente todos los espacios con el aislamiento asegurándose alta eficiencia en el funcionamiento de los artefactos.
- **Rápido y Fácil de Instalar**  
Su presentación en rollos permite cubrir grandes áreas rápidamente, eliminando el trabajo tedioso de colocar lámina por lámina.

"Líderes en ahorro y conservación de energía".

## Catálogo fibra cerámica para aislamiento.

### PRODUCTOS INDUSTRIALES DE CALORCOL S.A.

#### FIBRA CERÁMICA KAOWOOL

CALORCOL S.A. posee una extensa línea de productos de Fibra Cerámica disponibles en inventario y para entrega inmediata. En el este catálogo solo están presentes los productos de mayor rotación. Por favor consulte con el asesor técnico de CALORCOL S.A. quien le proporcionara información adicional sobre sus necesidades.

#### MANTAS AISLANTES Blanket ceramic fiber

Mantas de fibra cerámica de baja conductividad térmica, excelente resistencia al choque térmico, bajo peso y fácil manejo e instalación. Mantas cerámicas para temperaturas de 980°C a 1590°C, (1800°F–2900°F) con densidades de 4, 6 y 8 lb/pie<sup>3</sup> en ½, 1, 1½ y 2 pulgadas de espesor. Área de cubrimiento 4.64 m<sup>2</sup>.

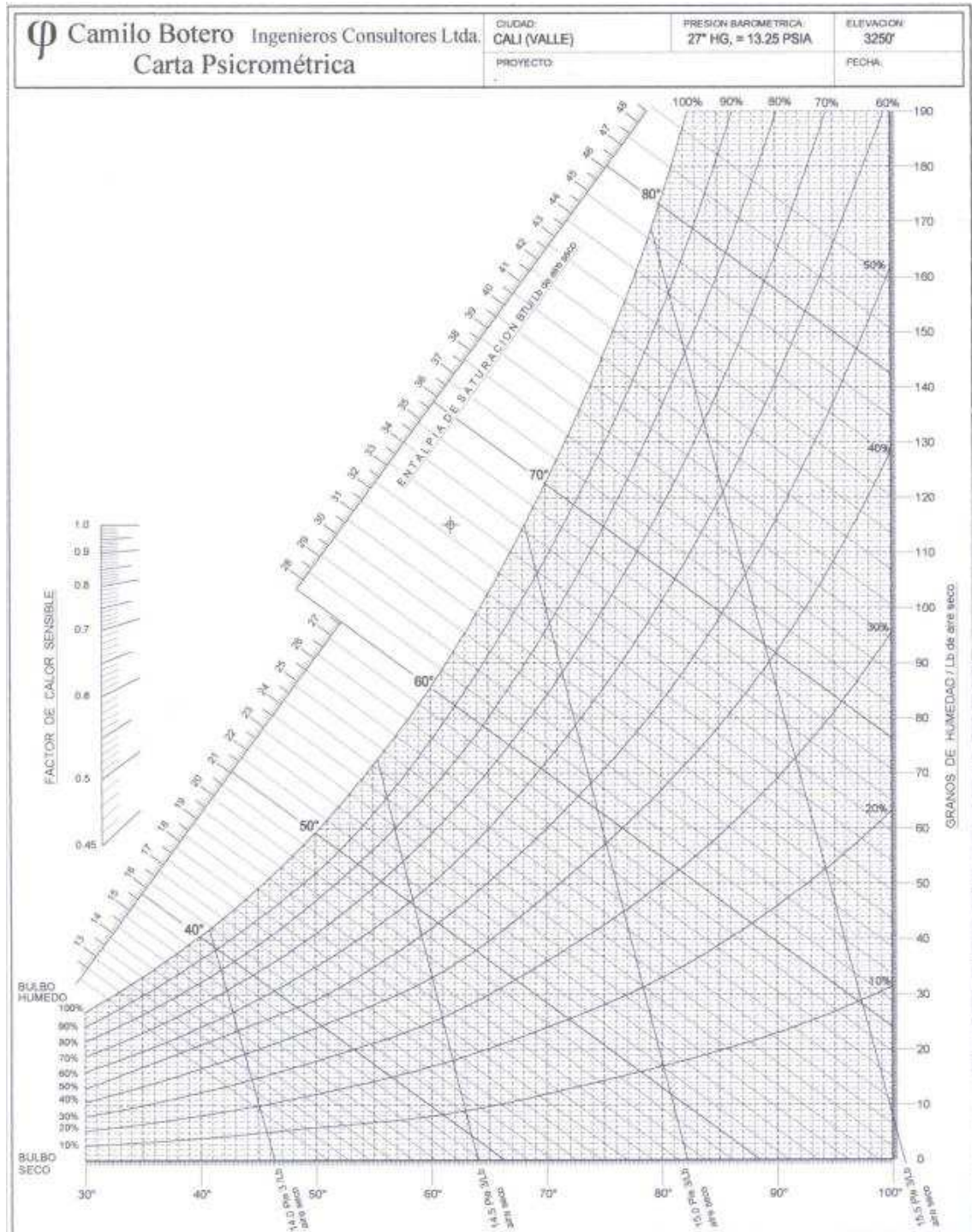
Disponemos también de las marcas Cerablanquet®, Cerachem® Cerachrome®. Los servicios incluyen aislamiento de alta temperatura, revestimientos de hornos y calderas, Hornos de laboratorio, reemplazo de asbestos, reparación general de hornos entre otras aplicaciones

#### Especificaciones Técnicas

Densidad	4, 6 y 8 lbs / pie <sup>3</sup>
Conductividad térmica promedio	0.44 Btu pulg / pie <sup>2</sup> hora °F
Servicio	Temperaturas de 980 °C a 1590 °C
Dimensiones: Largo	300' – (7.62 m)
Ancho	24' – (0.6096 m)
Espesor	1 y 2 pulgadas
Empaque	Caja corrugada



Anexo 8. Carta psicométrica para la ciudad de Cali.



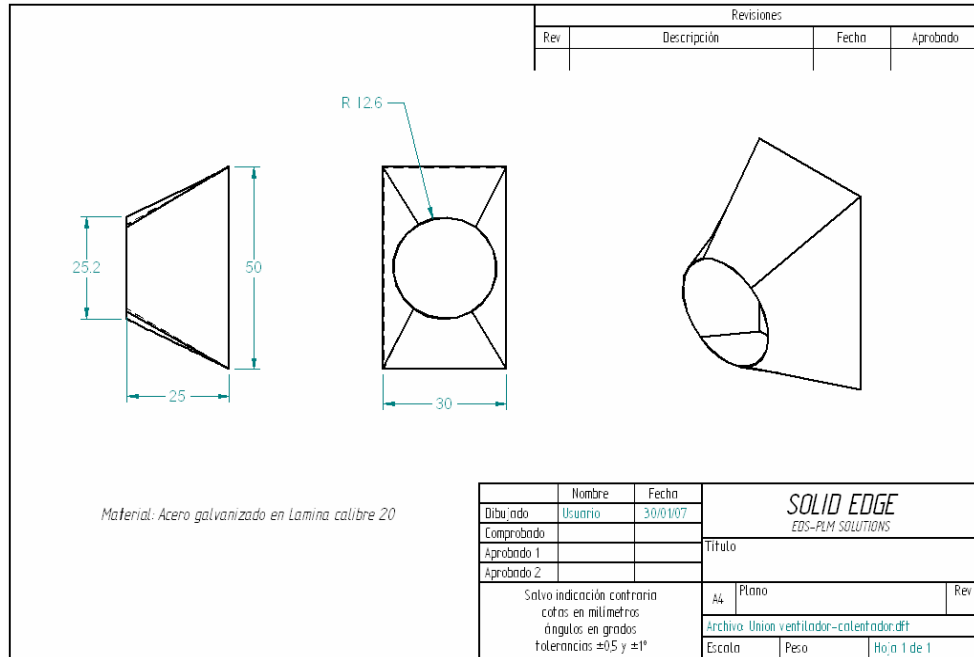
Anexo 9. Catalogo de tarjetas de adquisición de datos marca KEITHLEY.

TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA BUS PCI							
	KPCI 3107/3108	KPCI 3140	KPCI 3110	KPCI 3116	KPCI 3101/3102 3103/3104	KPCI 1801HC	KPCI 1802HC
Bus	PCI 32 bit	PCI 32 bit	PCI 32 bit	PCI 32 bit	PCI 32 bit	PCI 32 bit	PCI 32 bit
Entradas Analógicas Común/Diferencial	16/8		32/16	32/16	16/8	64/32	64/32
Canales Expandidos	256 diferen		1024 diferen	1024 diferen	1024 diferen	-	-
Velocidad máxima de muestreo	100KHz		1.25 MHz	250KHz	225KHz 400KHz	333KHz	333KHz
Ganancias programables por software	1; 2; 4; 8; 10; 20; 40; 80; 100; 200; 400; 800;		1; 2; 4; 8	1; 2; 4; 8	1; 2; 4; 8	1; 5; 50; 250	1; 2; 4; 8
Resolución (bit)	16		12	16	12	12	12
Transferencia de datos	DMA Int		DMA Int	DMA Int	DMA Int	DMA Int	DMA Int
Memoria tipo FIFO	2048		1024	1024	1024	2048	2048
Cola de ganancia	256		1024	1024	1024	64	64
<b>Salidas analógicas</b>	0/2		2	2	2 (3102/3104)	2	2
Resolución (bit)	16		12	16	12	12	12
Velocidad máxima Muestreo	500 KHz		500KHz	200KHz			
FIFO	2048		4096	4096		16	16
Rangos de salida	± 10V ± 5V 10V 5V		± 10V	± 10V	± 5V 10V 5V	± 10V	± 10V
Corriente de salida	±5mA		±5mA	±5mA	±5mA	±5mA	±5mA
<b>Entradas y salidas digitales</b>	32	32	16	16	23	4 en, 8 sal	4 en, 8 sal
Contadores / Temporizadores	3	8 de 16 bit 4; temporizadores de intervalos	4	4	4	3	3
<b>Software</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Características Generales</b>	- Altas prestaciones - 12 ganancias	- Entradas y salidas digitales	- Alta velocidad	- Alta velocidad -16 bits	- Económicas	- 64 canales - alta ganancia	- 64 canales - baja ganancia

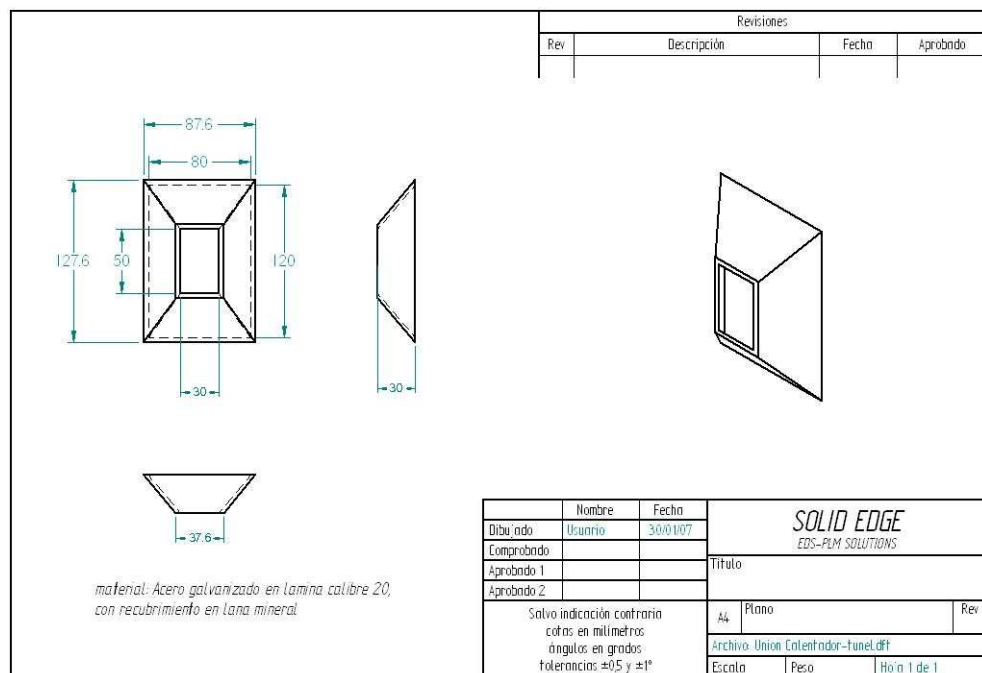
SOFTWARE GRATUITO PARA WIN 95/98/NT DE GRAN COMPATIBILIDAD  
+ DRIVERLINX: VB, C/C++, DELPHI  
+ DLL  
+DRIVERS PARA TESTPOINT , LABVIEW  
+EXCELINX.-(control de las tarjetas desde EXCEL).  
+ VISUAL SCOPE.-(software osciloscopio)

## Anexo 10. Planos del deshidratador de fruta

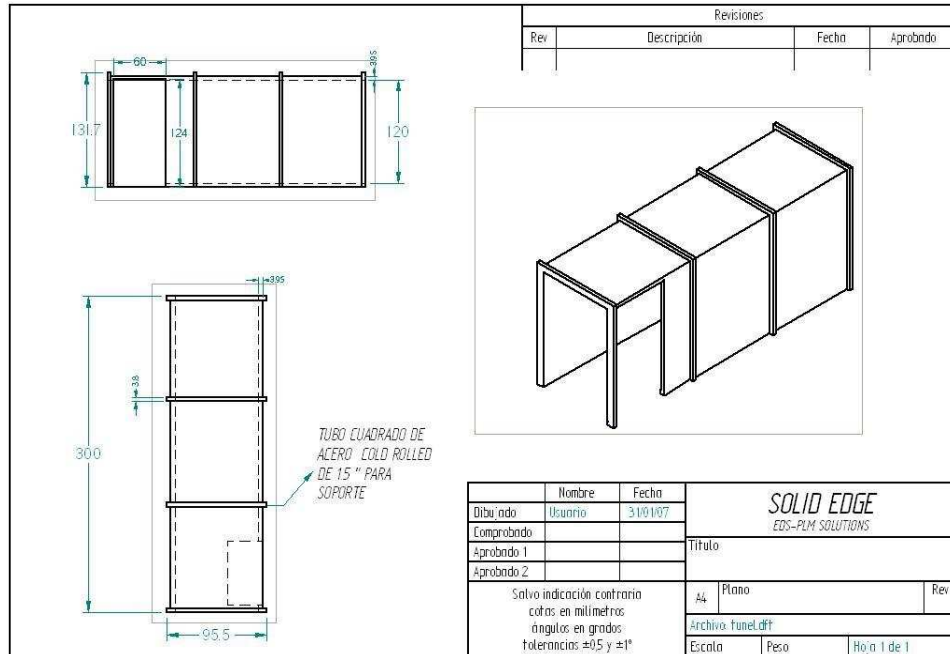
### (Unión entre el Ventilador y el calentador)



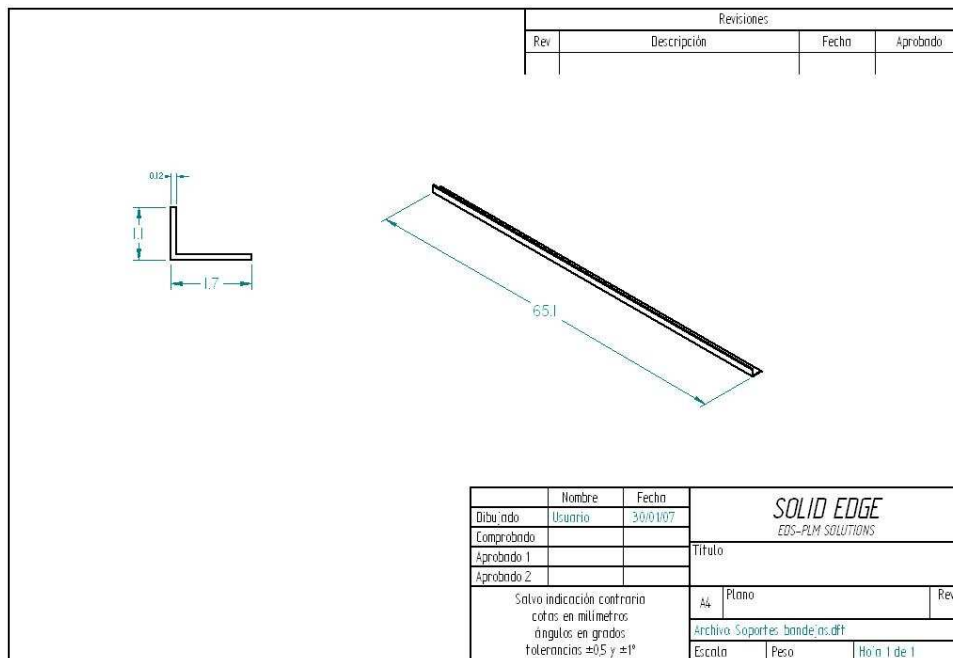
### (Unión entre el Calentador y el túnel)



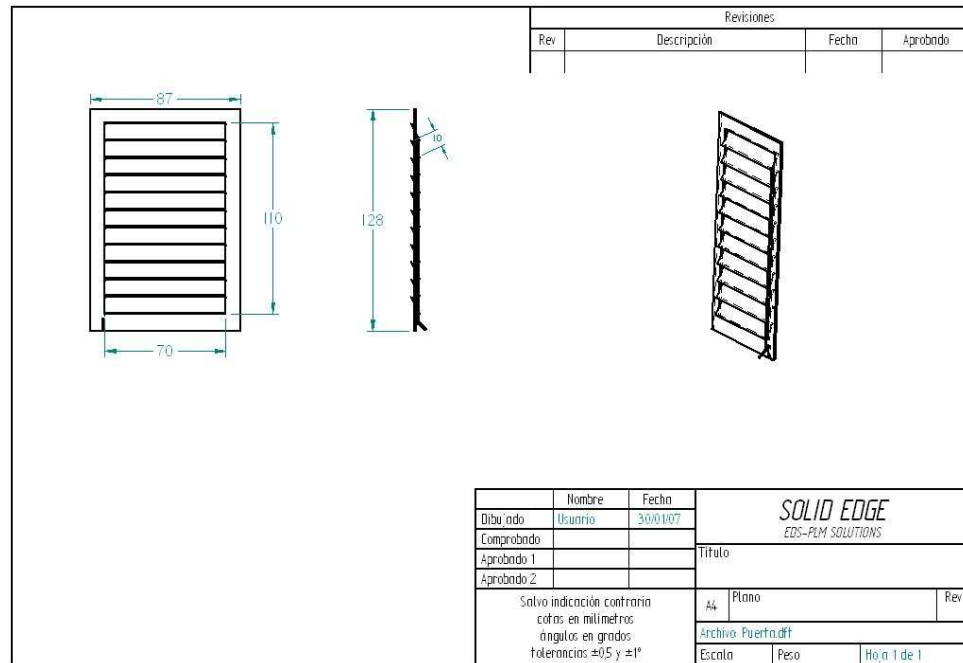
(Túnel de secado)



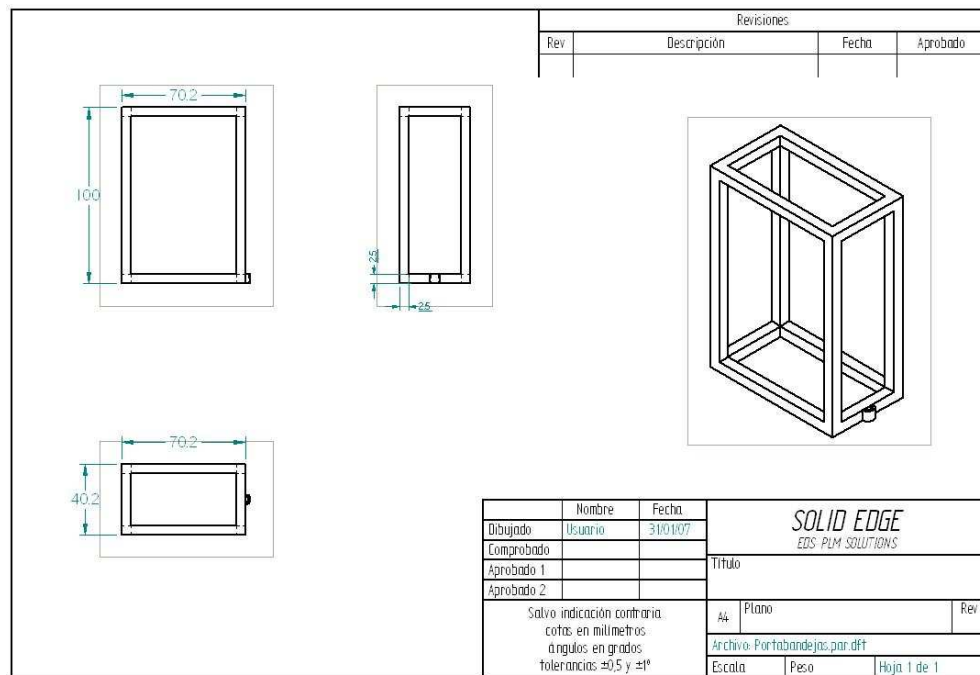
(Soporte bandejas)



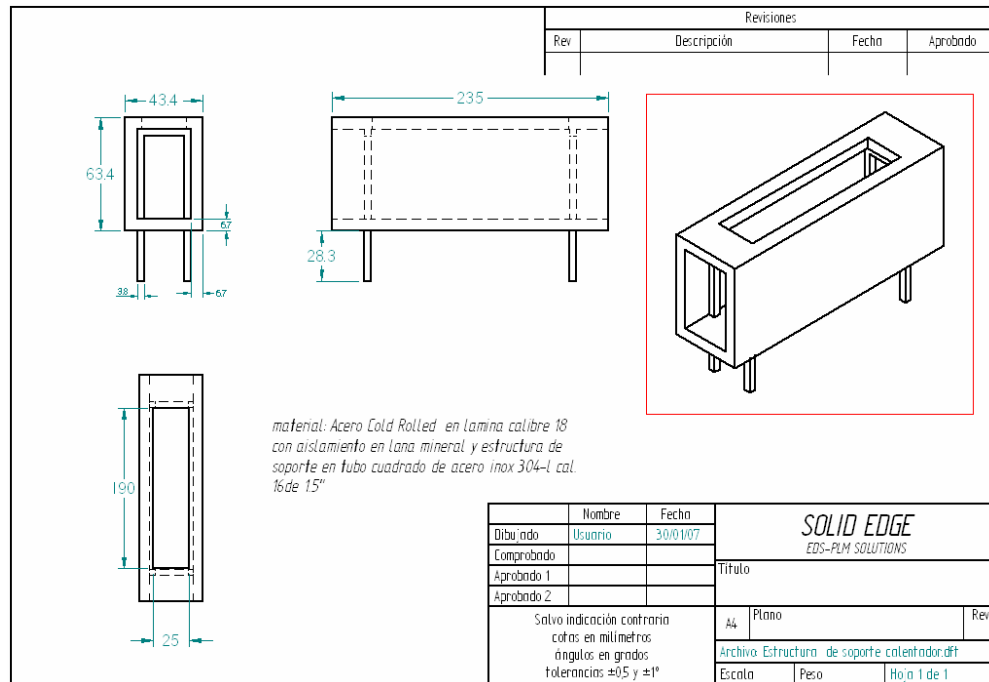
(Puerta de salida de aire)



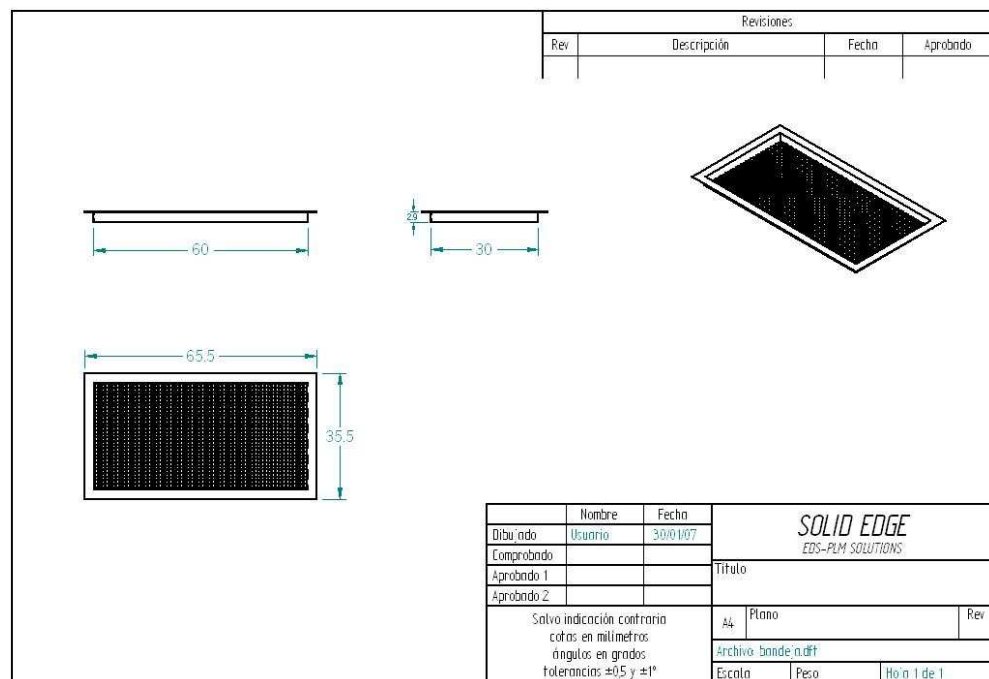
(Estructura carros portabandejas)



(Estructura se soporte para el calentador)



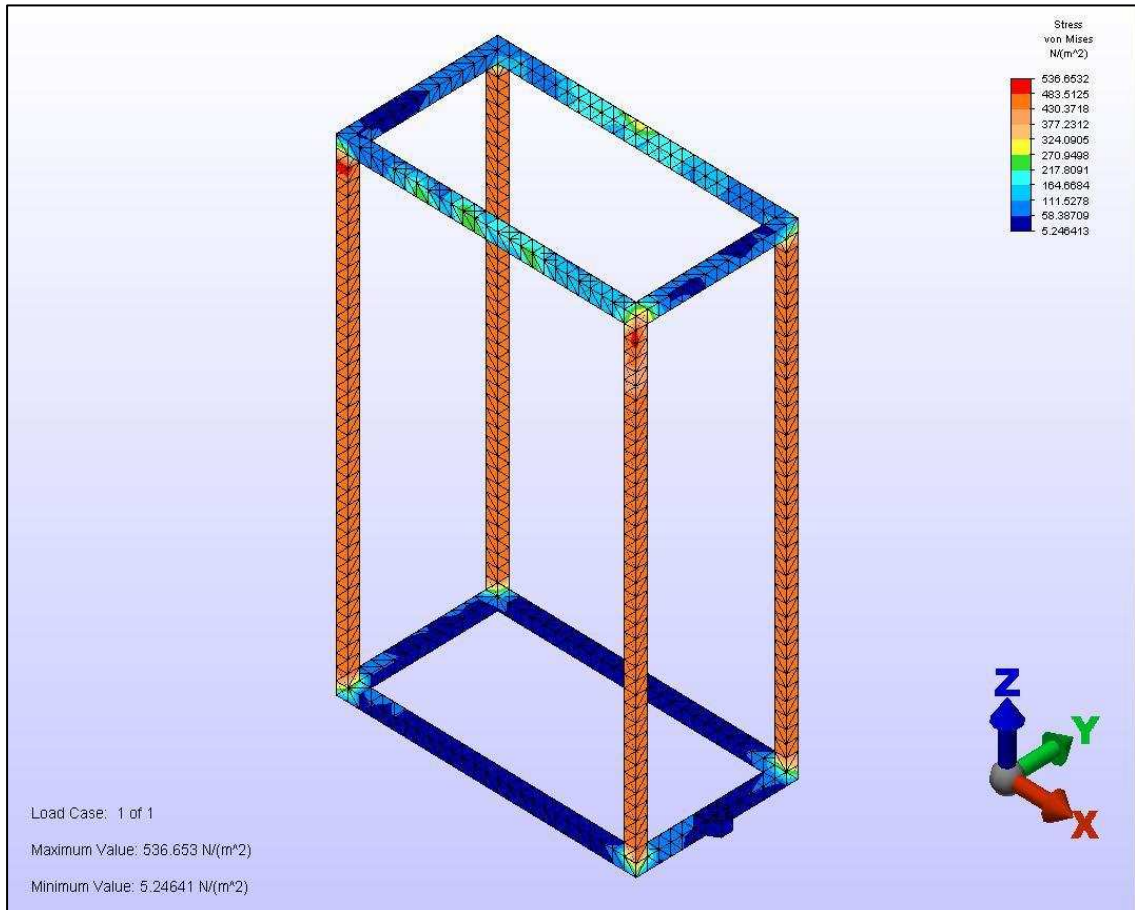
(Bandejas para alimento)



## Anexo 11. Análisis de costos del deshidratador

ANALISIS DE COSTO DEL DESHIDRATADOR					
COSTOS GENERALES					
CANT	DESCRIPCION	DISTRIBUIDOR		PESO (APROX)	COSTO
3	ROLLO x 15 m LANA MINERAL AW AISLAMIENTO DE 1"	COLMAQUINAS S.A.		79 Kg	\$ 442.000 ✓
10	LAMINA DE ACERO COLD ROLLED C.18 4'X 8'	TUBOLAMINAS S.A.		160 Kg	\$ 672.000 ✓
3	LAMINA DE ACERO INOXIDABLE 304 C.20 5'X 10'	IMPORINOX S.A.		105 Kg	\$ 1.560.000 ✓
12	TUBO CUADRADO DE ACERO INOX C.16 1" x 6m	IMPORINOX S.A.		72 Kg	\$ 1.584.000 ✓
3	TUBO CUADRADO DE ACERO COLD ROLLED C.16 1.5"	TUBOLAMINAS S.A.		18 Kg	\$ 48.500 ✓
2	LAMINA GALVANIZADA C. 22 4'X 8'	TUBOLAMINAS S.A.		20 Kg	\$ 111.200 ✓
3	ROLLO x 8 m MALLA EN METAL EXPANDIDO ACERO INOXIDABLE EXR 20	ICOMALLAS S.A.		56 Kg	\$ 3.840.000 ✓
100	PERFIL EN ANGULO DE ACERO INOXIDABLE DE 1" x 2,44m	IMPORINOX S.A.		300 Kg	\$ 4.300.000 ✓
1	VENTILADOR SIEMENS REF. 2CC2 254-5YC3	ALMACEN EL COMERCIO ELECTRICO LTDA		5 Kg	\$ 289.000 ✓
28	RODACHINAS NYLON ALTA TEMPERATURA 4"	MULTIPARTES S.A.		30 Kg	\$ 980.000 ✓
COSTOS CALENTADOR					
CANT	DESCRIPCION	DISTRIBUIDOR	CONSUMO	PESO (APROX)	COSTO
1	CALENTADOR DE AIRE A GAS (GLP/NATURAL) SERIE V LIESCOTHERM	KALFRISA S.A.	5,000,000 BTU/H	925 Kg	U\$ 6750
1	CALENTADOR DE AIRE A GAS (BUTANO/NATURAL) SERIE CDG CALELEC HEATING	CALEFACCION ELECTRICA S.A. DE C.V.	1,000,000 BTU/H	632 Kg	U\$4830
1	CALENTADOR ELECTRICO WXL-12 CALORITECH	CCI THERMAL TECHNOLOGIES INC.	12 KW	12 Kg	U\$ 1675 ✓
COSTOS DE SISTEMA DE CONTROL					
CANT	DESCRIPCION	DISTRIBUIDOR		PESO (APROX)	COSTO
	CONFIGURACION MINIMA DE REQUERIMIENTOS DE UN SISTEMA PC	ALMACENES DE COMPUTO		35 Kg	\$ 1.250.000 ✓
	TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS MARCA KEITHLEY KPCI 3107/3108	INSTRUMENTOS DE MEDIDA S. L. (Madrid)		1 Kg	\$ 240.000 ✓
	TERMOCUPLAS DE BAJO RANGO (0-100)°C DE TEMPERATURA (TERMPARES)	INSTRUMENTOS DE MEDIDA S. L. (Madrid)		2,3 Kg	\$ 420.000 ✓
	VARIADOR DE VELOCIDAD MM420 MARCA SIEMENS	ALMACEN EL COMERCIO ELECTRICO LTDA		3 Kg	\$ 380.000 ✓
COSTOS DE FABRICACION					
CANT	DESCRIPCION	FABRICANTE		PESO (APROX)	COSTO
	MATERIALES USADOS PARA LA FABRICACION (INDIRECTOS)	GASEINOX LTDA.		25 Kg	\$ 5.013.238 ✓
	MANO DE OBRA (DIRECTA E INDIRECTA)	GASEINOX LTDA.			\$ 6.015.885 ✓
	COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION	GASEINOX LTDA.			\$ 3.007.943 ✓
COSTOS DE MANTENIMIENTO					
	DESCRIPCION	EMPRESA			COSTO
	COSTOS ASOCIADOS A MANTENIMIENTO PREVENTIVO CADA 3 MESES	GASEINOX LTDA.			\$ 238.630 ✓
				<b>PESO APROXIMADO TOTAL DEL EQUIPO</b>	923 Kg
				<b>COSTO TOTAL DEL SISTEMA OPERATIVO DEL DESHIDRATADOR</b>	\$ 34.328.645
				<b>IVA</b>	\$ 5.492.583
				<b>TOTAL NETO</b>	\$ 39.821.228

## Anexo 12. Análisis de esfuerzos del portabandejas





Anexo 13. Tabla de propiedades características del acero inoxidable.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS INDICATIVAS DE ALGUNOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS																	
Designación UNE-EN 10088		Peso específico Kg/dm <sup>3</sup>	Módulo de elasticidad a						Coeficiente de Dilatación término medio entre 20°C y					Conduct. término a 20°C W/m·°K	Calor específico a 20°C J/Kg·°K	Resis- tividad eléc- trica a 20°C Ω·mm <sup>2</sup> /m	Desig- nación AISI
Simbólica	Númerica		20°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C				
X10CrNi 18-8	1,4310	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	17,0	17,0	18,0	18,0	15	500	0,73	-
X2CrNiN 18-7	1,4318	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	-
X2CrNi 18-9	1,4307	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	18,0	18,0	15	500	0,73	-
X2CrNi 19-11	1,4306	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	304L
X2CrNiN 18-10	1,4311	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	304N
X5CrNi 18-10	1,4301	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	304
X8CrNiS 18-9	1,4305	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	303
X5CrNiTi 18-10	1,4541	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	321
X6CrNiNb 18-10	1,4550	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	347
X4CrNi 18-12	1,4303	7,9	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,73	305-308
X1CrNi 25-21	1,4335	7,9	195	190	182	174	166	158	15,8	16,1	16,5	16,9	17,3	14	450	0,85	310S
X2CrNiMo 17-12-2	1,4404	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	316L
X2CrNiMo 17-11-2	1,4406	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	-
X5CrNiMo 17-12-2	1,4401	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	316
X1CrNiMoN 25-22-2	1,4466	8,0	195	190	182	174	166	158	15,7	-	17,0	-	-	14	500	0,80	-
X6CrNiMoTi 17-12-2	1,4571	8,0	200	194	186	179	172	165	16,5	17,5	18,0	18,5	19,0	15	500	0,75	-
X6CrNiMoNb 17-12-2	1,4580	8,0	200	194	186	179	172	165	16,5	17,5	18,0	18,5	19,0	15	500	0,75	-
X2CrNiMo 17-12-3	1,4432	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	-
X2CrNiMoN 17-13-3	1,4429	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	316N
X3CrNiMo 17-13-3	1,4436	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	-
X2CrNiMo 18-14-3	1,4435	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	-
X2CrNiMoN 18-12-4	1,4434	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	15	500	0,75	-
X2CrNiMo 18-15-4	1,4438	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	14	500	0,85	317N
X2CrNiMoN 17-13-15	1,4439	8,0	200	194	186	179	172	165	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	14	500	0,85	-
X1CrNiSi 18-15-4	1,4361	7,7	200	194	186	179	172	165	16,5	-	-	-	-	14	-	-	-
X12CrMnNiN 17-7-5	1,4372	7,8	200	194	186	179	172	165	-	-	-	-	-	15	-	0,70	201
X2CrMnNiN 17-7-5	1,4371	7,8	200	194	186	179	172	165	17,0	17,5	18,0	18,5	-	15	500	0,70	-
X12CrMnNiN 18-9-5	1,4373	7,8	200	194	186	179	172	165	-	-	-	-	-	15	-	0,70	202
X3CrNiCu 19-9-2	1,4560	7,9	200	194	186	179	172	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X6CrNiCuS 18-9-2	1,4570	7,9	200	194	186	179	172	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X3CrNiCu 18-9-4	1,4567	7,9	200	194	186	179	172	165	16,7	17,2	17,7	18,1	18,4	-	-	-	-
X3CrNiCuMo 17-11-3-2	1,4578	8,0	200	194	186	179	172	165	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X1NiCrMoCu 31-X7-4	1,4563	8,0	195	190	182	174	166	158	15,8	16,1	16,5	16,9	17,3	12	450	1,00	-
X1NiCrMoCu 25-20-5	1,4539	8,0	195	190	182	174	166	158	15,8	16,1	16,5	16,9	17,3	12	450	1,00	-
X1CrNiMoCuN 25-25-5	1,4537	8,1	195	190	182	174	166	158	15,0	-	16,5	-	-	14	500	0,85	-
X1CrNiMoCuN 20-18-7	1,4547	8,0	195	190	182	174	166	158	16,5	17,0	17,5	18,0	18,0	14	500	0,85	-
X1NiCrMoCuN 25-20-7	1,4529	8,1	195	190	182	174	166	158	15,8	16,1	16,5	16,9	17,3	12	450	1,00	-