

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA
FRUTAS TROPICALES**

**ANTONIO RÍOS CHIQUILLO
ANDRÉS FABIAN PRADA DÍAZ**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÀQUINA DE SECADO PARA
FRUTAS TROPICALES**

**ANTONIO RIOS CHIQUILLO
ANDRÉS FABIAN PRADA DÍAZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR
JAVIER MAURICIO CASTELLANOS OLARTE
Ingeniero Mecánico
Mcs. Motores de Combustión interna.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Enero 2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a Dios que ha sido mi guía durante toda mi vida, por brindarme los conocimientos, la sabiduría y sobre todo la salud para poder enfrentar todas las adversidades que se presentan día a día.

A mis Padres Pedro Prada y Gilma Díaz por ofrecerme constantemente su gran apoyo, por haberme educado y enseñado los valores que se requieren para ser una verdadera persona.

A mis hermanos Jessica Prada y Pedro Prada por ser grandes consejeros durante esta gran etapa de formación profesional.

A todas las Personas que me han acompañado durante todo este proceso. Amigos, compañeros y docentes que contribuyeron de forma significativa a que lograra alcanzar mis metas.

Andrés Fabián Prada Díaz

DEDICATORIA

A Dios quien me otorgo la sabiduría, la salud y la fortaleza para poder terminar con mi carrera, por ser el principal guía de mi vida a lo largo de todo este tiempo.

A mi madre Danis María Chiquillo por su amor, constante apoyo y paciencia, quien me enseñó desde pequeño a perseverar para poder alcanzar mis metas y ha estado conmigo a lo largo de mi formación como persona y como profesional.

A mis hermanos Éricka, Ricardo y Daniela por brindarme su apoyo.

A mis amigos quienes me han dado los mejores consejos para superar las adversidades y dificultades que se me han presentado en esta etapa de mi vida.

Antonio Ríos Chiquillo

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Javier Castellanos por su colaboración como director de proyecto y por su dedicación al mismo durante el desarrollo de la metodología.

Al ingeniero René Carreño y al ingeniero Edwin Córdoba por la orientación y la ayuda prestada durante la elaboración de la parte de control del prototipo.

A todos los trabajadores de Metalcrix por la colaboración durante la construcción y ensamble de todos los componentes mecánicos de la máquina.

AL Técnico Ludwing Casas por la construcción de la base del secador.

A todos los demás docentes que estuvieron con nosotros durante todo el ciclo de formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I.INTRODUCCIÓN.....	18
II.OBJETIVOS.....	19
1. MARCO TEORICO.....	21
1.1 Antecedentes.....	21
1.2 Conceptos fundamentales.....	23
1.2.1 Humedad de un sólido.....	23
1.2.2 Humedad de equilibrio.....	23
1.2.3 Actividad de Agua.....	23
1.2.4 Humedad libre.....	23
1.2.5 Humedad ligada.....	24
1.2.6 Sólido Higroscópico.....	24
1.3 PROCESO DE SECADO.....	24
1.3.1 Definición de secado.....	24

1.3.2 Necesidad del secado en los alimentos.....	24
1.3.3 Mecanismos de secado.....	24
1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA EN EL SECADO.....	25
1.4.1 Curvas de velocidad de secado.....	27
1.4.2 Período inicial: AB.....	28
1.4.3 Período de velocidad constante: BC.....	28
1.4.4 Período de velocidad decreciente: CD-DE.....	28
1.5 EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE SECADO.....	29
1.5.1 Secadores Solares.....	29
1.5.2 Ventajas y desventajas del Secador Solar.....	29
1.5.3 Otras tecnologías de secado.....	31
1.5.4 Secador de bandejas.....	32
1.5.5 Secadores Continuos de túnel.....	32
1.5.6 Secadores Rotatorios.....	33
1.5.7 Secador de Tambor.....	33
1.5.8 Secadores por Aspersión.....	33

1.5.9 Secadores de horno o estufa.....	34
1.6 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	34
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1 Metodología general.....	36
2.2 Desarrollo de la metodología.....	37
2.2.1 Fase informativa: revisión bibliográfica.....	37
2.2.2 Fase de recolección de datos.....	37
2.2.2.1 Datos obtenidos.....	39
2.2.3 Fase de Diseño.....	42
2.2.3.1 Diseño conceptual.....	42
2.2.3.1.1 Bandejas.....	42
2.2.3.1.2 Flujo de aire y calor requerido.....	44
2.2.3.1.3 Área efectiva del colector Solar.....	50
2.2.3.2 Diseño Básico.....	52
2.2.3.2.1 Bandejas.....	52
2.2.3.2.2 Porta bandejas.....	53

2.2.3.2.3 Cámara de secado y aislante térmico.....	54
2.2.3.2.4 Soplador de aire.....	56
2.2.3.2.5 Generador de calor.....	56
2.2.3.2.6 Tubería de descarga del fan y de inyección a la Cámara de Secado.....	57
2.2.3.2.7 Dispositivos electrónicos: controlador y sensores.....	59
2.2.3.2.7.1 Controlador de temperatura.....	59
2.2.3.2.7.2 Sensores de Humedad y Temperatura.....	60
2.2.3.2.7.3 Conexiones Finales.....	61
2.2.3.3 Diseño detallado.....	61
3.RESULTADOS.....	62
3.1 Prototipo de secado para frutas tropicales.....	62
3.2 Construcción de las curvas de secado.....	64
3.2.1 Curvas de secado para la piña por tanda.....	64
3.2.2 Curvas de secado para la guayaba por tanda.....	66
3.2.3 Curvas de secado para el banano por tanda.....	68
4. ANÁLISIS DERESULTADOS.....	70

4.1 Análisis de las curvas de secado para la piña.....	70
4.1.1 Curva de velocidad de secado para las muestras de piña.....	71
4.2 Análisis de las curvas de secado para la guayaba.....	73
4.3 Análisis de las curvas de secado para el banano.....	73
4.4 Funcionamiento de la máquina.....	75
5. CONCLUSIONES.....	77
6. RECOMENDACIONES.....	80
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
9. ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Primera curva de Secado.....	27
Figura 2: Segunda curva de secado.....	27
Figura 3: Clasificación de los secadores solares.....	30
Figura 4: Clasificación generalizada de los equipos de Secado.....	31
Figura 5 : Secador de Bandejas.....	32
Figura 6: Secador Rotatorio.....	33
Figura 7: Secador por Aspersión.....	34
Figura 8: Tipos de isotermas de Adsorción.....	35
Figura 9: Metodología general.....	36
Figura 10: Metodología Experimental para la obtención de humedad y densidad de las frutas.....	38
Figura 11: Imágenes durante el procedimiento en el laboratorio de análisis químico.....	39
Figura 12: Datos y gráficas experimentales obtenidas.....	40
Figura 13: Volumen de control de la cámara de secado.....	44
Figura 14: Calentamiento sensible del aire.....	45
Figura 15: Determinación de puntos con la carta psicrometrica.....	46
Figura 16: Bandejas lisas y parrillas.....	52
Figura 17: Soportes y porta bandejas.....	53
Figura 18: Cámara de secado durante la construcción.....	54
Figura 19: Cámara de secado con los aislantes térmicos.....	55
Figura 20: Ventilador centrífugo y motor.....	56

Figura 21: Resistencia y banco de resistencias en el ducto.....	57
Figura 22: Ducto de descarga con las resistencias.....	58
Figura 23: Tubería completa con banco de resistencias.....	58
Figura 24: Controlador de temperatura Watlow.....	59
Figura 25: Transmisores de humedad y temperatura.....	60
Figura 26: Circuito de control y de alimentación del secador.....	61
Figura 27: Prototipo de secado.....	62
Figura 28: Curvas de secado para la piña por tanda.....	64
Figura 29: Muestras de piña durante el proceso de secado.....	65
Figura 30: Curvas de secado para la guayaba por tanda.....	66
Figura 31: Muestras de guayaba durante el proceso de secado.....	67
Figura 32: Curvas de secado para el banano por tanda.....	68
Figura 33: Muestras de banano durante el proceso de secado.....	69
Figura 34: Velocidad de secado para las muestras de piña.....	72
Figura 35: Velocidad de secado para las muestras de guayaba.....	73
Figura 36: velocidad de secado para las muestras de banano.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades del aire en puntos clave del secador.....	46
Tabla 2: Porcentaje de agua en las frutas.....	48
Tabla 3: Radiación solar promedio en Bucaramanga durante el día.....	51
Tabla 4: Posibles áreas del colector solar en función de la eficiencia.....	51
Tabla 5: Temperatura promedio en puntos del secador.....	75

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.....	83
Anexo 2.....	87
Anexo 3.....	112
Anexo 4.....	115
Anexo 5.....	153
Anexo 6.....	156
Anexo 7.....	157
Anexo 8.....	158

RESUMEN

Título: Desarrollo de un prototipo de una máquina de secado para frutas tropicales.

Autor(es): Andrés Fabián Prada Díaz.
Antonio Ríos Chiquillo.

Facultad: Facultad de ingeniería mecánica.

Director: Javier Mauricio Castellanos Olarte.

RESUMEN

El secado de frutas es un proceso que se ha venido haciendo desde hace varias décadas con el propósito de mejorar la calidad de éstas, y permitir la conservación de las mismas durante un mayor período de tiempo. El presente proyecto desarrolló un prototipo de secador por aire caliente que utiliza la energía térmica producida por un banco de resistencias eléctricas. Se realizaron pruebas obteniéndose curvas de pérdida de peso para los distintos tipos de frutas examinadas y se compararon con los resultados obtenidos inicialmente en el laboratorio.

Palabras claves: secado de frutas, prototipo secador de aire caliente.

ABSTRACT

Title: Development of a dryer prototype for tropical fruits.

Author: Andrés Fabián Prada Díaz.
Antonio Ríos Chiquillo.

Faculty: Mechanical Engineering

Director: Javier Mauricio Castellanos Olarte

SUMMARY

Drying fruits is a process that has been running for several decades with the purpose of improving their quality, and enables their preservation for a longer period of time. This project developed a hot air dryer prototype that uses the heat produced by bank of electric resistances. Tests were conducted to obtain curves of weight loss for different types of fruit examined which were compared with results initially obtained in the laboratory.

Keywords: fruit drying, hot air dryer prototype.

I. INTRODUCCIÓN

El secado es una operación unitaria industrial en la cual se involucra la transferencia de masa y energía y que tiene como objetivo fundamental la extracción de humedad contenida en los sólidos o líquidos por medio de la evaporación de una corriente gaseosa.

En este documento se encuentra la metodología que se utilizó para el diseño y construcción de un prototipo de secado por aire caliente para algunas frutas tropicales; comenzando con una recopilación bibliográfica sobre la teoría del secado y las tecnologías más utilizadas en este proceso, las cuales son necesarias conocer para el posterior desarrollo del proyecto. Más adelante se encuentra el procedimiento que se llevó a cabo en el laboratorio de análisis químico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga para la determinación de algunas propiedades de las frutas que requerían como datos para el diseño conceptual, también se encuentra el respectivo diseño básico y detallado de la construcción del equipo, finalizando con los respectivos análisis y conclusiones de las curvas de secado arrojadas por el prototipo operando con el banco de resistencias.

El desarrollo de este prototipo se realizó con el fin de iniciar con el estudio de los procesos de secado de alimentos desde el punto de vista de la termodinámica y la transferencia de calor, implementando como primera opción el uso de aire caliente.

II. OBJETIVOS

Desarrollar el prototipo de una máquina de secado para frutas tropicales, tipo cabina o bandeja; que utilice la energía térmica generada a partir de una resistencia eléctrica y/o la energía solar, de manera que se pueda determinar las curvas de secado.

Los objetivos específicos planteados para el desarrollo del mismo fueron:

- Apropiar los conocimientos necesarios del tema a partir de una revisión bibliográfica del estado actual de las tecnologías de secado para frutas y tipos de secadores comúnmente usados.

Resultado: recolección, análisis y síntesis de información obtenida.

Indicador: se debe realizar de acuerdo a la bibliografía de secado de alimentos por aire caliente.

- Establecer las propiedades relevantes para el proceso de secado en las frutas seleccionadas (piña, guayaba y mango); como humedad, y densidad para obtener datos iniciales y de esta manera modelar el proceso.

Resultado: datos de variables de interés.

Indicador: los datos de la propiedades de las frutas se obtendrán a partir de equipos de medición y pruebas efectuadas a las mismas.

- Diseñar y construir un prototipo de secador que retire humedad de las frutas; utilizándose la energía térmica (eléctrica) y/o la energía solar durante el proceso, a partir de los datos de las variables de interés y del análisis y síntesis de la información recopilada.

Resultado: Prototipo de secado para frutas.

Indicador: El prototipo se diseñará de acuerdo a los datos de las variables y a las teorías de convección de transferencia de calor.

- Obtener las curvas de secado del prototipo, cuando opera con energía térmica (inducida por corriente eléctrica) y/o cuando trabaja con energía solar.

Resultado: Graficas de secado con su respectivo análisis.

Indicador: las gráficas se obtendrán a partir de pruebas realizadas al prototipo por los estudiantes ejecutores del proyecto con la supervisión del director del mismo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

Actualmente hay muchos tipos de secadores a nivel industrial que emplean técnicas de extracción de humedad por medio de calor, liofilización y ósmosis, pero el objetivo del secado es el mismo, evitar el crecimiento de bacterias y desarrollo de microorganismos en el producto para el consumo posterior del mismo. Un ejemplo de la aplicación de algunas de estas técnicas de conservación a nivel industrial, es la elaboración de los Snacks, también conocidos como pasa bocas.

En el mundo, se ha venido estudiando y desarrollando la técnica de secado para la preservación de alimentos ya que no requiere de tantos químicos. A nivel de América, en Brasil, en la Universidad Federal de Vicosa; se hicieron estudios referentes al secado del banano, donde se evaluaron las curvas de secado y la actividad de agua para esta fruta bajo condiciones de diferentes temperaturas. La humedad del banano se obtuvo de un modelo matemático que se extrajo de las curvas de secado y se relacionó con la actividad de agua, obteniéndose la respectiva isoterma de adsorción. También se encontró que la actividad de agua variaba en función del tiempo de secado. [1]

En la universidad Nacional de Singapur, el departamento de ingeniería mecánica estableció un modelo teórico con validación experimental sobre las características del secado del banano. El modelo teórico se realizó teniendo en cuenta varios aspectos, entre ellos; que la transferencia de masa y calor eran unidimensionales, mientras que los experimentos se hicieron según la norma ASSE S448 con diferentes flujos de aire y temperatura. El modelo matemático establecido ofrece una buena predicción sobre la velocidad de secado y la distribución de temperatura y humedad en el material. [2]

A nivel nacional, Cenicafé (Centro nacional de investigaciones del café) desarrolló un secador solar tipo túnel para el secado de café pergamino de fácil y económica construcción, que consta de una estructura de guadua o construida en otros materiales disponibles en la región. El desempeño de este secador de túnel fue evaluado junto con el de un secador parabólico (otro tipo de secador comúnmente usado para esta actividad) mediante las curvas de secado para el café, y se encontró que el tiempo de secado para el de túnel fue menor, resultando esto muy

importante para el caficultor ya que dispondría de una mayor cantidad de café procesado por semana. [3]

Recientemente, la escuela de ingenierías de Antioquia realizó un estudio para predecir el tiempo de secado del mango en el cual se tuvieron en cuenta variables importantes como grado de maduración, azúcares totales y pH, además de realizar un mejor estudio del comportamiento de la fruta al someterla a éste proceso. Ésta es una fruta muy apetecida y se podría considerar estratégica en la economía Colombia por el volumen de exportación de la misma (En el año 2004, se realizaron exportaciones por valor de 625.000 dólares, según datos presentados por el Ministerio de Agricultura y de Desarrollo Rural). [4]

La yuca es un tubérculo que proporciona nutrientes a nuestro organismo y es uno de los cultivos principales en las zonas tropicales del país, además de ser utilizada en la industria al extraérsele el almidón para la elaboración de comida para animales, producción de alcohol carburante y en productos de repostería. Por este motivo se realizó un trabajo correspondiente al diseño de un secador radial para yuca por la facultad de ingeniería mecánica de la universidad del norte de barranquilla. [5]

En la Universidad del Quindío se realizó una investigación para mejorar el método de secado del banano (año 2007), al combinar dos procesos: impregnación al vacío y secado por aire caliente, teniendo en cuenta el grado de maduración de la fruta, la temperatura de secado y de la disolución de la impregnación. Se encontró que las muestras tratadas con disoluciones de menor concentración tienden a secarse más rápido debido a la mayor cantidad de agua con respecto a los sólidos de la mismas. [6]

Al utilizar la energía solar para el secado de productos, siempre se piensa en economía pero es un proceso lento y que depende de las condiciones del ambiente, contrario a esto, al utilizarse otros tipos de energía, como la eléctrica, se tiene un proceso mucho más rápido pero mucho más costoso. La universidad del Cauca realizó un estudio sobre el comportamiento de la velocidad de secado de cáscara de piña en un secador solar y un secador por corriente de aire caliente a escala piloto para de esta manera poder comparar los resultados. Se encontró que el secado mediante calentamiento con resistencias mostro mayor eficiencia al retirar humedad aunque los costos de operación son más elevados. [7]

1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.2.1 Humedad de un sólido, h

Un alimento está constituido por muchos componentes. La humedad de un sólido está definida como el cociente entre la masa de agua que hay dentro de él y la masa de éste, ya sea húmedo o seco. Los sólidos secos incluyen todos los componentes sólidos que componen el alimento (sólidos totales). [8]

Entonces:

$$Humedad = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de alimento}} \quad \text{Ecuación 1 [4]}$$

La humedad de un sólido puede expresarse en **base seca** y **base húmeda**.

1.2.2 Humedad de equilibrio, h_e

La humedad de equilibrio es la humedad que existe cuando la presión de vapor del agua en el alimento está en equilibrio con la presión parcial del vapor de agua en el aire.

También, es el límite de humedad que puede alcanzar un sólido en contacto con una masa de aire. Si la humedad del sólido es mayor que la humedad de equilibrio, el sólido se seca; si es menor, el sólido capta agua hasta la humedad de equilibrio. [8][9].

1.2.3 Actividad de agua, a_w

La actividad de agua en un sólido es el cociente entre la presión de vapor de agua contenida en él y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. [8]

1.2.4 Humedad libre, h_l

Es el exceso de humedad de un sólido respecto a la humedad de equilibrio, en contacto con una determinada masa de aire. Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto prolongado con el aire. [9]

1.2.5 Humedad ligada, h_l

Es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100 %. Cuando $a_w < 1$ se dice que el producto contiene agua ligada. [9]

1.2.6 Sólido higroscópico, S_{hg}

El agua en éste tipo de sólidos tiene una presión de vapor menor que la del agua pura a la misma temperatura; el cuerpo higroscópico modifica la tensión de vapor del agua que está ocluida en sus poros o entre las partículas del mismo. [9]

1.3 PROCESO DE SECADO

1.3.1 Definición de secado

El secado es una operación que tiene como objetivo fundamental la extracción del agua que contienen los sólidos (humedad) y que involucra los procesos de transferencia de calor y de masa simultáneamente. [10]

1.3.2 Necesidad del secado en los alimentos

El secado es una de las técnicas más ampliamente usadas para la conservación de alimentos, ya que al reducir el contenido de humedad en los productos alimenticios se previene el desarrollo de microorganismos que pueden causar su descomposición. Los productos secos permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo. Por otra parte el secado reduce el volumen y el peso de los productos, lo que influye en una reducción importante de costos a la hora de almacenarlos y transportarlos. [10]

1.3.3 Mecanismos de secado

El secado se puede realizar por dos métodos:

- Evaporación: ocurre cuando la presión de vapor del agua en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica y la temperatura de ésta se incrementa hasta el punto de ebullición. Si el material que se está secando es sensible al calor, la temperatura de evaporación debe ser reducida bajando la presión (al vacío), y si ésta última se reduce más allá del punto triple, la humedad es congelada y se sublima directamente. [10]
- Vaporización: la presión de vapor de agua en sólido es menor que la presión atmosférica. El secado se lleva a cabo por convección pasando aire caliente sobre el producto. [10]

Para ambos casos el calor puede ser suministrado al sólido por medio de *convección, conducción o radiación*. El proceso se puede llevar a cabo de forma *continua*, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco en régimen continuo, o en *lotes (bache o tanda)* cuando el proceso se verifica por periodos.

1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA EN EL SECADO

El proceso de transferencia de calor y de masa inicia cuando un medio de secado, generalmente una masa de aire caliente (con una velocidad, humedad y temperatura previamente definidas), entra en contacto con el material que se desea secar. El calor se transfiere inicialmente a la superficie del material por convección y se mueve a través del mismo por conducción [11]. Para secadores que utilizan aire como medio de secado la velocidad de transmisión de calor está dada por:

$$\dot{Q} = h_s A (T_g - T_{sup}) \quad \text{Ecuación 2 [15]}$$

Dónde:

\dot{Q} = velocidad de transmisión de calor.

h_s = coeficiente de convección.

A = área a través de la cual tiene lugar el flujo de calor.

T_g = temperatura del Aire.

T_{sup} = temperatura de la superficie que se está secando.

El agua en el interior del material a secar (humedad) se mueve desde el interior hacia la superficie del mismo, este transporte de humedad se realiza principalmente por difusión de líquido debido al delta de concentraciones, aunque también están presentes otros mecanismos de transporte. La transferencia de vapor de agua desde la superficie húmeda del material hacia el medio de secado se realiza por difusión debido al delta de presiones (entre el vapor de agua en el aire y el vapor de agua en la superficie del material) y se puede escribir matemáticamente como [11]:

$$\frac{dw}{dt} = K_g A \Delta W$$

Dónde:

Ecuación 3 [11]

$\frac{dw}{dt}$ = tasa de transferencia de masa.

K_g = coeficiente de transferencia de masa.

A = área a través de la cual se realiza la transmisión.

ΔW = diferencia de humedades absolutas del vapor de agua en el sólido y la masa de aire.

La transferencia de vapor desde la superficie húmeda del material a secar hacia el medio de secado es un mecanismo análogo a la transferencia de calor por convección, entonces se puede asumir que:

$$h_c A (T_a - T_s) = k_g A (H_s - H_a) \Delta H_v \quad \text{Ecuación 4 [11]}$$

Dónde:

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección.

k_g = coeficiente de transferencia de masa.

T_a = temperatura de bulbo seco del aire.

T_s = temperatura superficial del sólido.

H_s = humedad absoluta a T_s .

H_a = humedad absoluta a T_a .

ΔH_v = calor latente de vaporización.

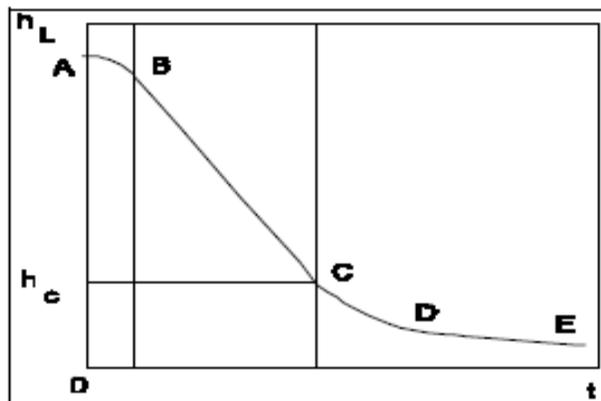
A = área superficial.

Un proceso de secado visto en la carta de psicrométrica sigue aproximadamente una curva constante de temperatura de bulbo húmedo, es decir teóricamente se considera un proceso adiabático [11].

1.4.1 Curvas de velocidad de secado

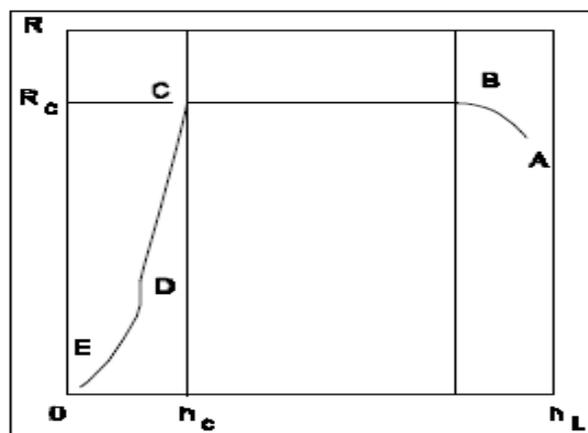
Las curvas de secado se obtienen a partir de un experimento en el cual se van tomando muestras periódicamente del secador, para determinar su contenido de humedad en función del tiempo y de ésta manera graficarlos. La diferenciación de los datos de la curva de secado, genera la velocidad de secado, las figuras 1 y 2, muestran las curvas típicas con sus periodos característicos dónde: h_L = humedad libre, h_c =humedad crítica y R velocidad de secado.

Figura 1: Primera curva de secado



Tomada de: <http://depa.fquim.unam.mx/albertotecante/Secado.pdf>

Figura 2 : Segunda curva de secado



Tomada de: <http://depa.fquim.unam.mx/albertotecante/Secado.pdf>

1.4.2 Período inicial: AB

Es un período de calentamiento, la temperatura del material a secar aumenta desde un valor T_o hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire (T_{bh}). [11]

1.4.3 Período de velocidad constante: BC

Es el período en el cual se extrae el mayor contenido de humedad, siendo esta extracción proporcional al tiempo de secado. La humedad evaporada es agua que se encuentra principalmente en la superficie del material y éste permanece a T_{bh} . Si se considera que la velocidad con la que el agua se evapora es la misma con la que al agua se difunde a la superficie del alimento, entonces estos dos fenómenos se encuentran en equilibrio (ecuación 4) [11]. Del respectivo análisis de la ecuación 4 *Ortiz Verónica* deduce la siguiente expresión para la velocidad de secado:

$$K^* = -\frac{W_{ss}}{A} * \frac{dw}{dt} \quad \text{Ecuación 5 [11]}$$

Dónde:

W_{ss} = Kg sólido seco.

dw/dt = valores de pendiente de la primera curva de secado.

A = área de secado (m^2).

La anterior expresión proporciona la velocidad de secado en unidades de Kg $H_2O/hora * m^2$. Si se quiere la velocidad en unidades de agua extraída por unidad de tiempo se suprime el factor área (A).

1.4.4 Períodos de velocidad decreciente: CD-DE

En ambas regiones la humedad del sólido disminuye menos rápido que en la región BC, por lo cual el tiempo de secado para estos períodos es mucho más elevado. El contenido de humedad al final del período de velocidad constante es el contenido de humedad crítica (h_c). En este punto la superficie del sólido ya no se encuentra saturada de agua, y la velocidad de secado disminuye con el decrecimiento en el contenido de humedad y el incremento en la temperatura. La velocidad de secado es controlada por la velocidad de movimiento de la humedad dentro del sólido. [11]

1.5 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE SECADO

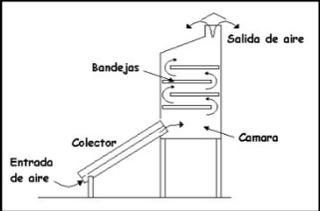
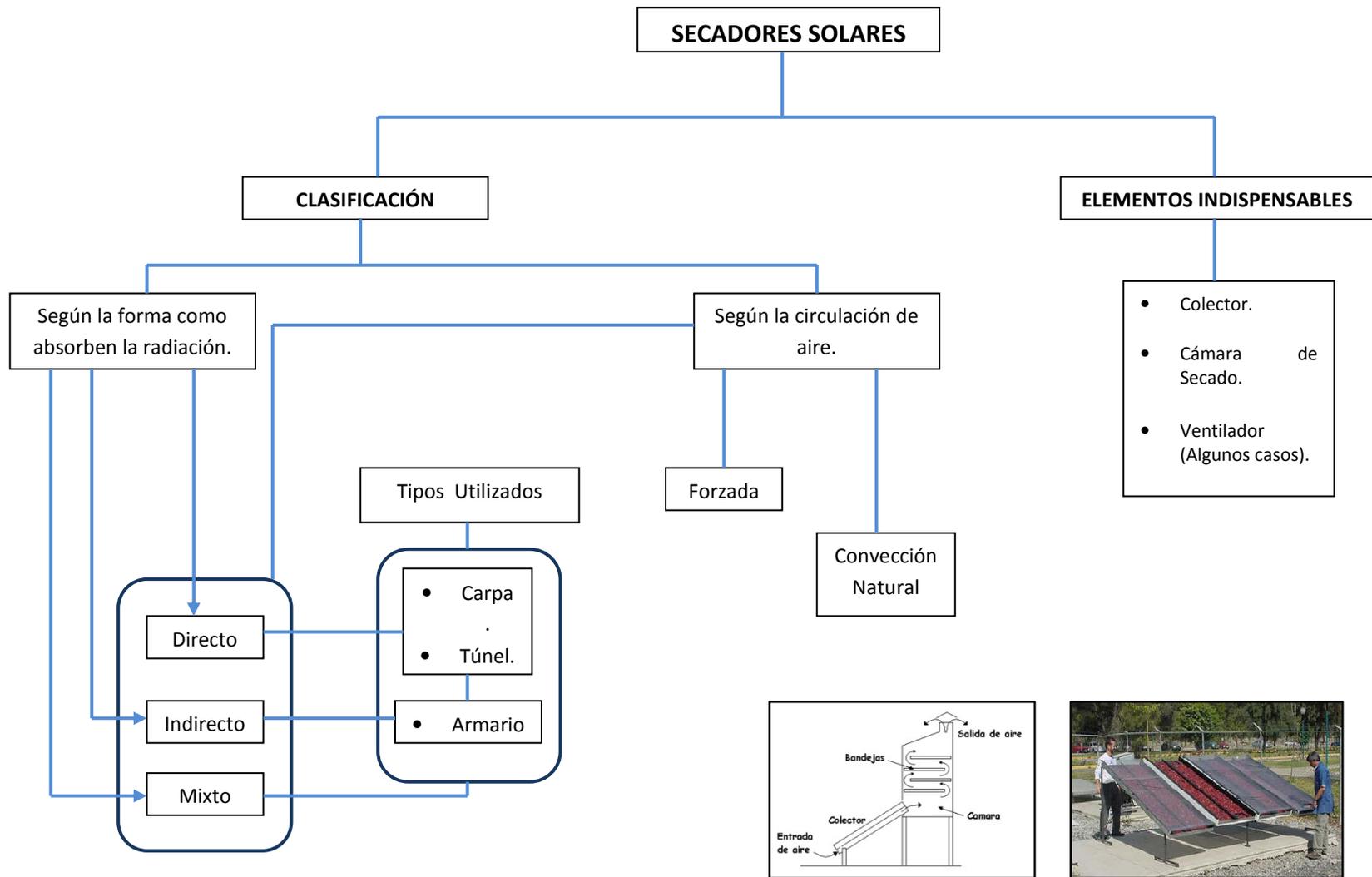
1.5.1 Secadores solares

Los secadores solares se utilizan ampliamente, de forma artesanal, para el secado de granos, cereales y otros productos alimenticios. En Colombia el secado solar es adoptado en gran parte por los campesinos para el secado de café, cacao y algunos cereales. En la figura 3 se muestra una clasificación de algunas de las tecnologías utilizadas actualmente. [3][12]

1.5.2 Ventaja y desventaja del secado solar

La principal ventaja que tiene el secado solar es el bajo costo de manutención del secador; ya que es casi nulo, pues la energía solar se puede aprovechar de forma gratuita en comparación de otros tipos de energía. El único costo involucrado sería el valor de la inversión que se requiere para su construcción. El inconveniente que presenta esta técnica es que no se tiene un control sobre la temperatura de secado y la humedad, lo que no proporciona las condiciones mínimas que requieren algunos alimentos para el proceso; además la exposición directa de los alimentos a la radiación solar puede causar daños a éste en cuanto a su naturaleza, afectando de esta manera su calidad. [12]

Figura 3: Clasificación de secadores solares según PEREZ Almada.

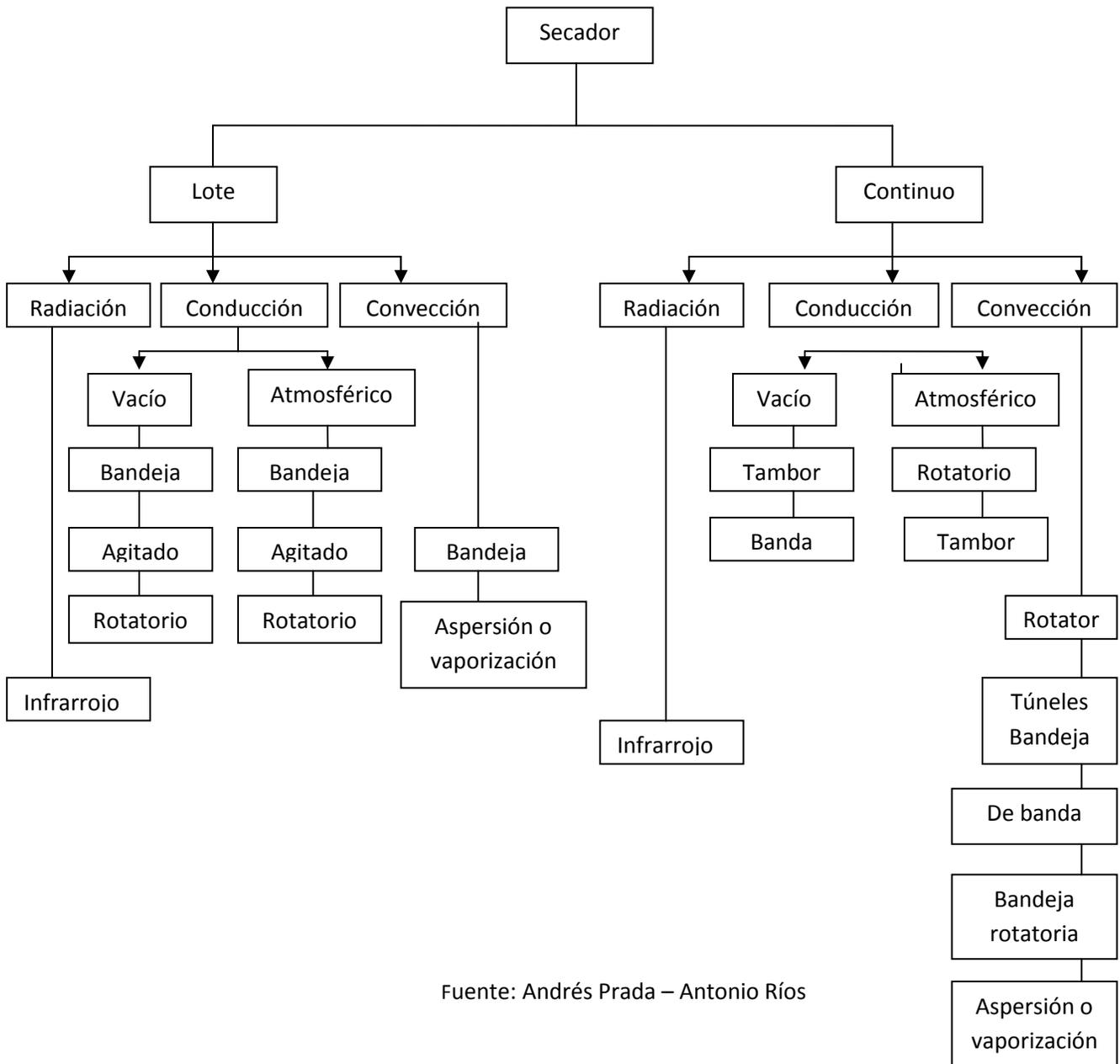


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

1.5.3 Otras tecnologías de secado

Existen un gran número secadores en la industria que manejan otros tipos de energía, formas y procedimientos de operación. La clasificación de estos secadores es muy amplia y varía de acuerdo a las condiciones físicas de alimentación, la escala de producción, el costo operación y aspectos especiales. En la figura 4 se muestra una clasificación generalizada de estos.

FIGURA 4: Clasificación generalizada de los equipos de secado según Nonhebel y Vázquez.

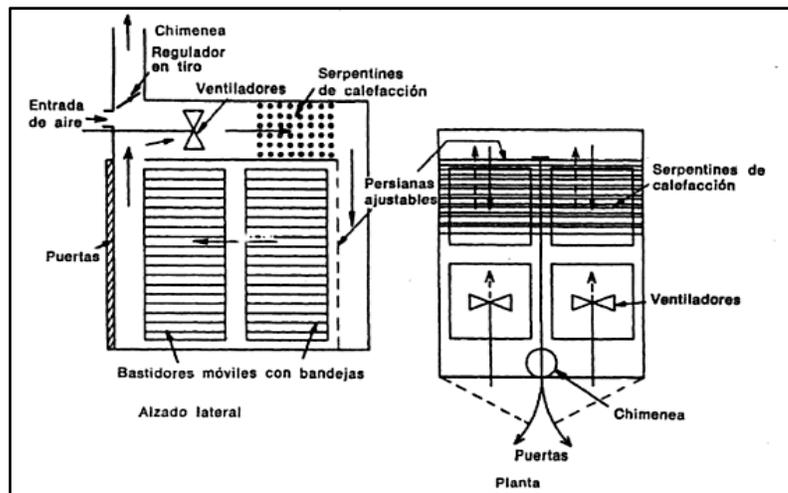


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

1.5.4 Secador de bandejas

El secador de bandejas es uno de los equipos más sencillos; está conformado principalmente por la cámara de secado y el generador de calor. Por lo general las bandejas se introducen dentro de unos bastidores llamados anaqueles (gabinetes) y se disponen dentro del secador, el cual posee unos ventiladores que se encargan de generar el flujo de aire. Algunos de estos modelos suelen operar al vacío y otros simplemente lo hacen a presión atmosférica. Un secador de bandejas típico, tal como el que se muestra en la figura 5, tiene bandejas que se cargan y se descargan de un gabinete. [13][14]

Figura 5: Secador convencional de bandejas.



Tomada de: G. Nonhebel. El secado de sólidos en la industria química. Editorial Reverté. Año 2002. Pág.82.

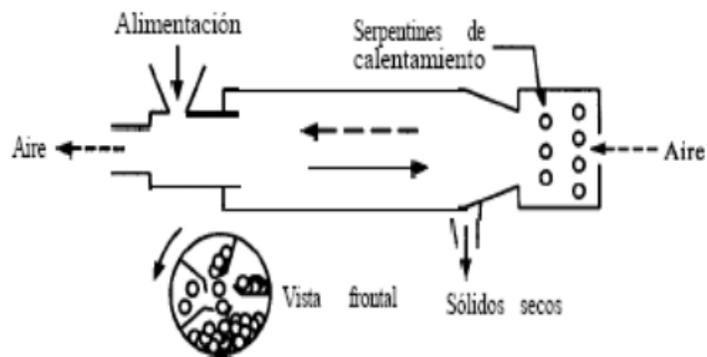
1.5.5 Secadores continuos de túnel

Los secadores continuos de túnel son compartimentos de gabinetes que operan en serie. Los sólidos se colocan sobre bandejas que se encuentran en los gabinetes y éstos van desplazándose continuamente por un túnel, por el cual circula una corriente de aire caliente de baja humedad que por lo general se direcciona en sentido contrario al desplazamiento de los gabinetes. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento. [14]

1.5.6 Secadores rotatorios

Este tipo de secador es ampliamente utilizado en la industria en la que se requiere secar sólidos granulares húmedos. Consta de un cilindro hueco inclinado que gira sobre su eje. Los sólidos se vierten por la parte superior del cilindro y se van desplazando lentamente por éste debido a su inclinación. A medida que se van moviendo un flujo de aire caliente se desplaza a contracorriente sobre el material a secar. En algunos casos, el calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared calentada del cilindro. En la figura 6 se muestra un secador rotatorio. [14]

Figura 6: Secador rotatorio directo



Tomada de: <http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>

1.5.7 Secador de tambor

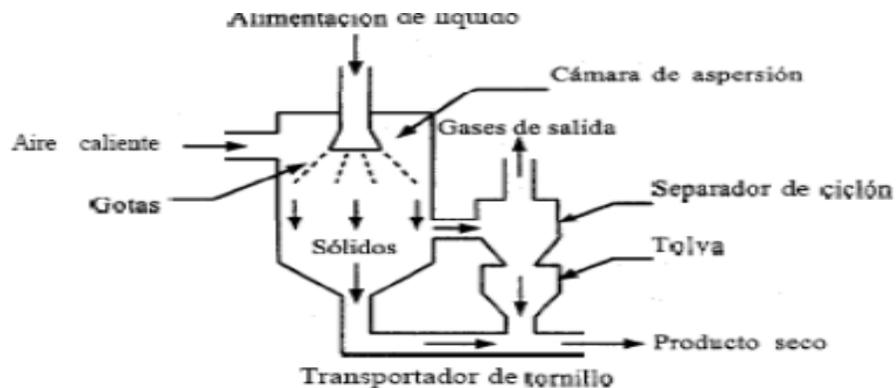
Los secadores de tambor son adecuados para secar suspensiones o pastas de sólidos finos. Éste consta de un tambor de metal que se calienta y gira, a medida que éste va rotando va recogiendo los sólidos humedecidos que se adhieren a él y son aplanados por un rodillo. La evaporación se lleva a cabo por el contacto directo de la suspensión con el tambor hasta que se seca. El sólido seco se raspa del tambor con una cuchilla cuando éste casi ha completado un giro. [14]

1.5.8 Secadores por aspersion

En este tipo de secador, una suspensión se atomiza (como un spray) en gotas finas a través de discos giratorios de rociado o toberas, sobre una corriente de gas

caliente en un cámara. El agua contenida en dichas gotas se evapora con rapidez y se obtienen partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas por medio de ciclones como se muestra en figura 7, permitiendo obtener de esta manera al final los sólidos secos. [14]

Figura 7: Secador por aspersión.



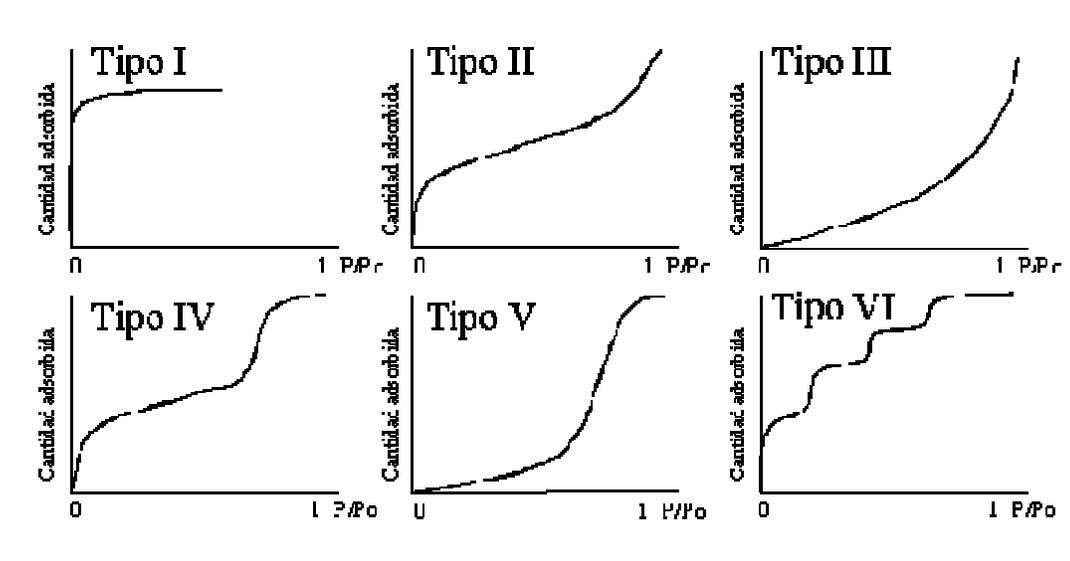
Tomada de: <http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>

1.6 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

El principal objetivo del proceso de secado, es el de evitar el crecimiento de microorganismos dentro del alimento que deterioran su estado y de ésta manera alargar la vida del mismo. Las isotermas de adsorción son curvas que nos ayudan a predecir con un rango de error, en qué momento se podría empezar a descomponer el alimento además del tiempo de secado del mismo, teniendo en cuenta que el contenido de humedad del producto al finalizar el proceso debe estar entre 0 - 60%. Estas curvas relacionan la humedad de equilibrio con la actividad de agua y se obtienen a temperatura constante. [8][16]

Las isotermas de adsorción pueden ser clasificadas según su forma en: curvas tipo I, que son convexas hacia arriba, mientras que las tipos II son cóncavas hacia arriba en todo momento y las tipos III, IV, V y VI presentan uno o más puntos de inflexión. Las curvas características al secar alimentos por lo general son tipo II y III (como se muestra en la figura 8). [16]

Figura 8: Tipos de Isotermas de adsorción.



Disponible en: <http://publicaciones.ua.es/imagenes/deprox/722-6.gif>

Hay distintos modelos matemáticos que logran ajustarse a las curvas obtenidas experimentalmente, las ecuaciones más utilizadas son las propuestas por Lagmuir, Freundlich y Brunauer- Emmet y Teller.[16]

2. METODOLOGIA

2.1 Metodología general

La forma en la cual se llevó a cabo el desarrollo del proyecto y los procedimientos que se realizaron para la elaboración del mismo se presentan en la figura 9.

Figura 9: Metodología general



Fuente: Andrés Fabián Prada Díaz – Antonio Ríos Chiquillo.

2.2 Desarrollo de la metodología

2.2.1 Fase informativa: revisión bibliográfica

Se elaboró una síntesis de la información más relevante encontrada sobre las teorías del proceso de secado y se presentaron en el marco teórico dejando claro los principios fundamentales de éste y los tipos de secadores más utilizados.

2.2.2 Fase de recolección de datos

En el laboratorio de análisis químico de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga se realizó el procedimiento para la determinación de humedad y densidad de las frutas seleccionadas. La metodología experimental se muestra en la figura 10, y en la figura 11 se muestran algunas imágenes del procedimiento. Las frutas seleccionadas inicialmente fueron: piña, guayaba y mango. Se decidió hacer un cambio en esta última, ya que esta fruta presenta una forma muy irregular y se decidió utilizar el banano. Para realizar las pruebas se calculó por medio de la estadística el número de ensayos que se debían realizar para obtener un margen de error del 10% y un porcentaje de confiabilidad del 95%. Como no se tenían datos iniciales, se realizaron primero tres pruebas para cada muestra de fruta y con éstos datos se calculó el número de ensayos por medio de la expresión:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{e^2} \quad \text{Ecuación 6 [18]}$$

Dónde:

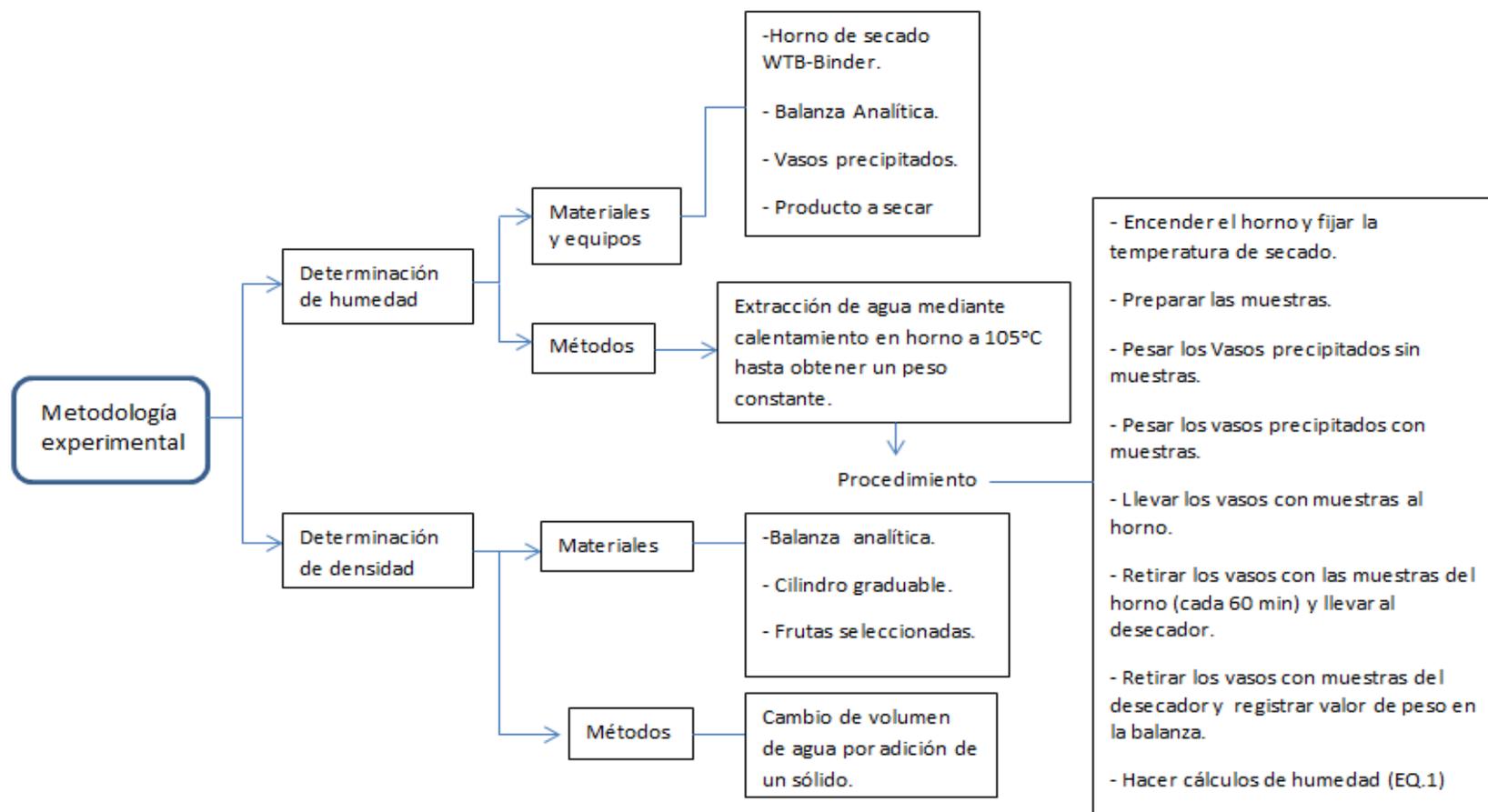
n = número de ensayos a realizar.

Z = nivel de confiabilidad del 95% (1.96).

σ = desviación estándar.

e = error.

Figura 10: Metodología experimental para obtención de humedad y densidad de las frutas.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

Figura 11: Imágenes durante el procedimiento en el laboratorio de análisis químico.

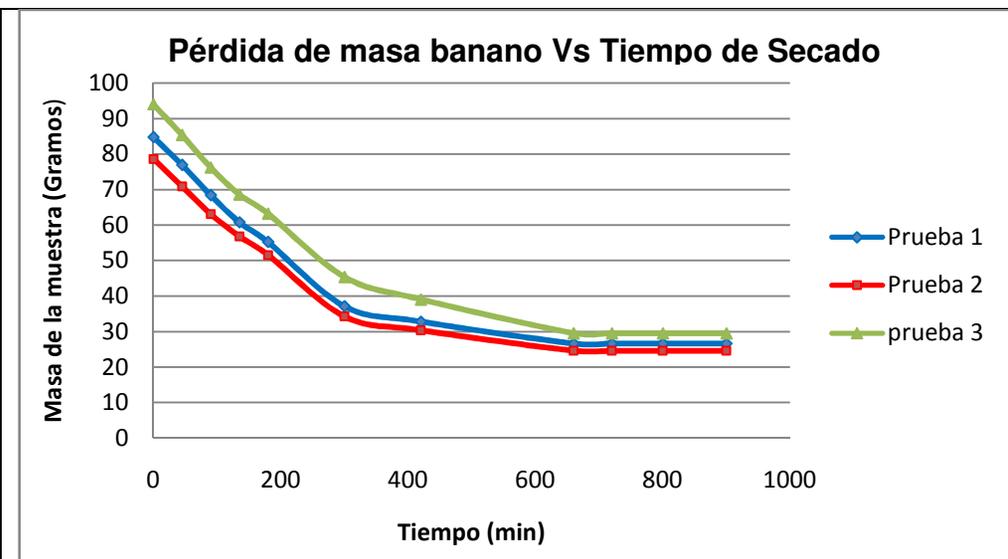


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.2.1 Datos obtenidos

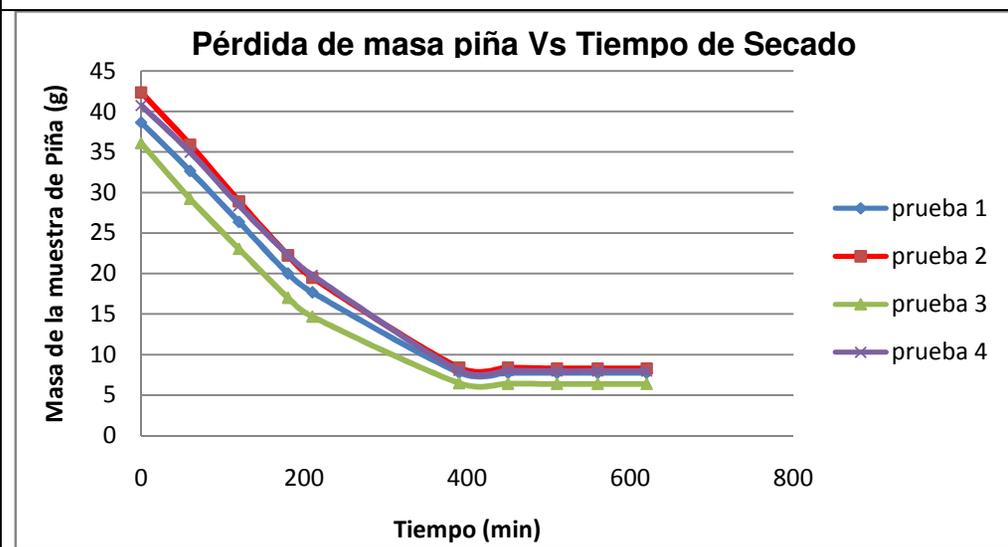
Los resultados experimentales arrojaron datos muy parecidos entre sí, es decir las pruebas efectuadas para cada fruta fueron suficientes. Se calculó entonces nuevamente el error a partir de la ecuación 6 para las pruebas y se presentan los datos de humedad con las respectivas curvas de secado obtenidas con el horno (pérdida de masa Vs. tiempo) para cada una de las frutas y las respectivas densidades con sus datos estadísticos. Las tablas de datos para estas pruebas se encuentran en el anexo 5 y 6, y en la figura 12 se pueden observar las curvas obtenidas a partir de ellos.

Figura 12: Datos y graficas obtenidos experimentalmente.



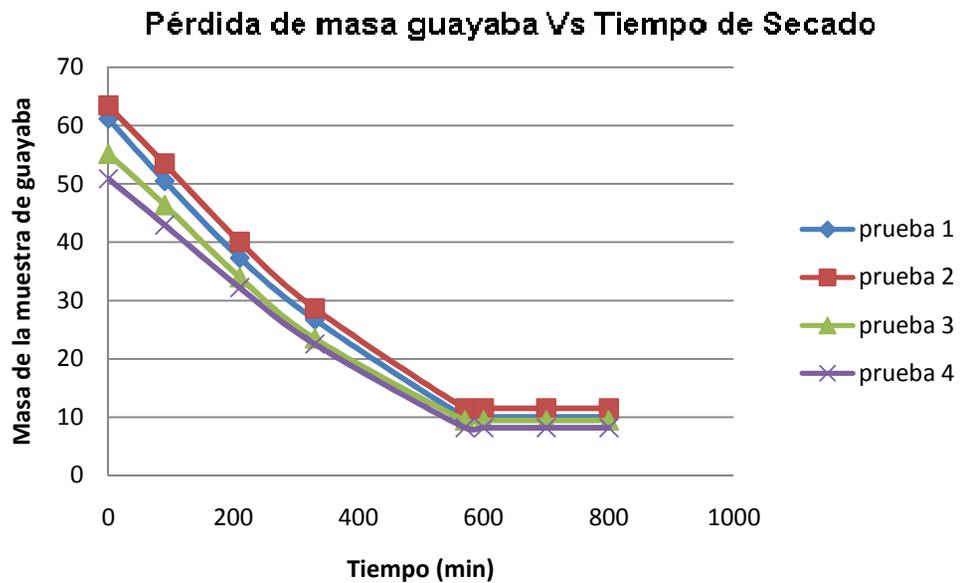
Datos estadísticos pruebas de banano

Número de pruebas	3
nivel de confiabilidad = 95%	1,96
Varianza (σ^2)	8e-08
%Error	0,032
%Humedad de banano	68.59 ± 0,032 %



Datos estadísticos pruebas piña

Número de pruebas	4
nivel de confiabilidad = 95%	1,96
Varianza (σ^2)	8e-08
%Error	0,8395
%Humedad de la piña	80.59 ± 0.8395



Datos estadísticos pruebas de guayaba

Número de pruebas	4
nivel de confiabilidad = 95%	1,96
Varianza (σ^2)	8e-08
%Error	0,79
%Humedad de la guayaba	83.05 ± 0,79

Densidades experimentales encontradas

Fruta	Piña	guayaba	banano
Número de pruebas	9	7	6
Promedio	1,015 gr/ml	0,914 gr/ml	0,98 gr/ml
nivel de confiabilidad = 95%	1,96	1,96	1,96
Varianza (σ^2)	0,01188211	0,00311883	0,00025151
Error (%)	7,12	4,14	1,27
Densidad promedio de la piña	1,015±0,0712 gr/ml.	0,914± 0,0414 gr/ml.	0,98±0,0127 gr/ml.

Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.3 Fase de diseño

2.2.3.1 Diseño conceptual

2.2.3.1.1 Bandejas

Para el dimensionamiento de las bandejas se tomó en cuenta varios parámetros, entre ellos la densidad de las frutas (evaluada experimentalmente), el espesor de las mismas durante las operaciones de secado y la carga por lote (cantidad de fruta que desea procesar), con estos datos se realizaron los cálculos para obtener posibles dimensiones de las bandejas a utilizar:

Datos:

Densidad del Banano: $\delta_b = 980 \text{ kg/m}^3$

Densidad de la Piña: $\delta_p = 1015 \text{ kg/m}^3$

Densidad de la Guayaba: $\delta_g = 914 \text{ kg/m}^3$

Carga (L): 5 kg/lote

Espesor máximo del sólido (t): 2 cm

Si se toma de fruta base el banano para realizar los cálculos se tiene:

Carga del Sólido sobre las bandejas.

$$\frac{Ls}{A} = \delta b * t = 980 \frac{Kg}{m^3} * 0,02m = 19,6Kg/m^2$$

Área total de las bandejas:

$$A_{Tb} = \frac{L}{\frac{Ls}{A}} = \frac{5Kg}{19,6 Kg/m^2} = A_{Tb} = 0,255 \text{ m}^2$$

Tomando un número de bandejas $N_b = 5$ el área de una bandeja es entonces:

$$N_b = \frac{A_{Tb}}{A_b} = A_b = \frac{0,255 \text{ m}^2}{5} \quad A_b = 0,051 \text{ m}^2$$

Con un número de bandejas $N_b = 5$ se requiere un área de $0,051 \text{ m}^2$, esta es el área necesaria para secar 5 kilos de banano con una espesor de 2 cm. Si reduce

el número de bandejas el área por bandejas será más grande. Como en este caso se desarrolla un prototipo es más factible utilizar el menor número de bandejas, entonces:

Tomando un número de bandejas $N_b = 3$

$$\text{Si } N_b=3; \quad A_b = \frac{0,255 \text{ m}^2}{3} \quad A_b = 0,085 \text{ m}^2$$

Para una bandeja cuadrada las dimensiones pueden ser **29cm x 29cm**; si es rectangular las dimensiones pueden ser **32cm x 27cm**.

Tomando un número de bandejas $N_b = 4$

$$\text{Si } N_b= 4; \quad A_b = \frac{0,255 \text{ m}^2}{4} \quad A_b = 0,064 \text{ m}^2$$

Para una bandeja cuadrada las dimensiones pueden ser **25cm x 25cm**; si es rectangular las dimensiones pueden ser **27cm x 24cm**.

Si se toma de fruta base la guayaba para realizar los cálculos se tiene:

Carga de solido sobre las bandejas

$$\frac{L_s}{A} = \delta g * t = 914 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,02\text{m} = 18,28 \text{ Kg/m}^2$$

Área total de las bandejas

$$A_{Tb} = \frac{L_s}{A} = \frac{5\text{Kg}}{18,28 \text{ Kg/m}^2} = 0,2735 \text{ m}^2$$

Tomando un numero de bandejas $N_b = 4$: $A_b = \frac{0,2735\text{m}^2}{4} = 0,0684 \text{ m}^2$

Bandejas cuadradas: **26cm x 26cm**

Bandejas Rectangulares: **29cm x 24cm**.

Tomando un numero de Bandejas $N_b = 3$: $A_b = 0,091 \text{ m}^2$.

Bandejas cuadradas: **30cm x 30cm**

Bandejas Rectangulares: **35cm x 26cm**.

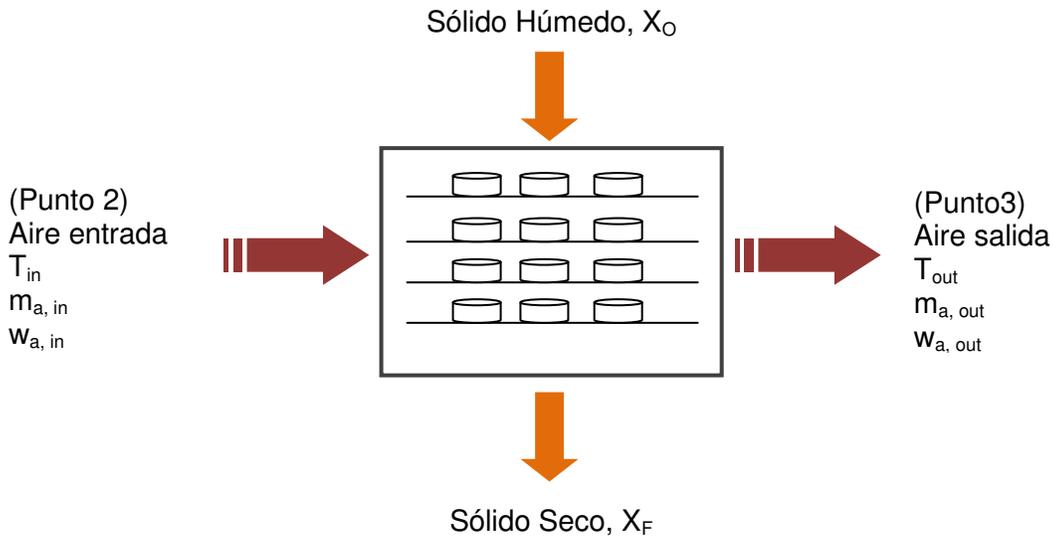
Como se puede observar, tomando como fruta base la guayaba se obtienen las mayores superficies y por ello con estas se especifica en el diseño básico.

2.2.3.1.2 Flujo de aire y calor requerido

Para calcular el flujo de aire y el calor que se requiere es necesario hacer una serie de consideraciones teóricas que se tiene en cuenta en el proceso de secado y para ello se hace uso de la termodinámica del aire húmedo.

Teniendo en cuenta que las condiciones promedio del ambiente en la ciudad de Bucaramanga, Santander son $T_{bs} = 24^{\circ}\text{C}$ y $H_R = 70\%$ (Según el IDEAM), donde T_{bs} es la temperatura de bulbo seco y H_R es la humedad relativa. Con estos datos y la carta psicrometrica se determina que $T_{bH} = 20,1^{\circ}\text{C}$ y $W = 0,0132$ Kg agua/Kg aire seco, donde T_{bH} es la Temperatura de bulbo húmedo y W es la humedad absoluta. Con estos datos y conociendo las condiciones a las que se desea llevar el sólido húmedo se plantea el volumen de control mostrado en la figura 13:

Figura 13: Volumen de control de la cámara de secado



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

Dónde:

T_{in} = Temperatura del aire a la entrada de la cámara de secado.

T_{out} = Temperatura del aire a la salida de la cámara de secado.

m_a = Masa de aire (Kg aire seco).

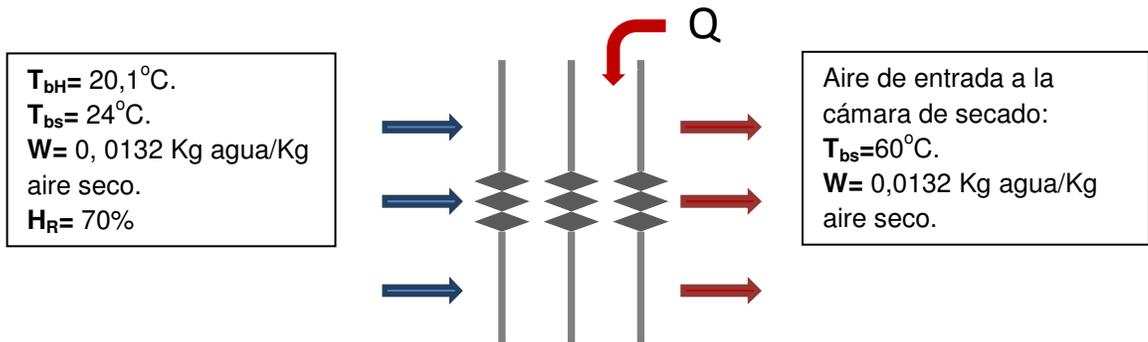
W_a = Humedad absoluta del aire (Kg agua/ Kg de aire seco).

X_0 = Humedad inicial del sólido.

X_F = Humedad final del sólido.

Se realiza un calentamiento sensible del aire ambiente (ver figura 14) hasta la temperatura que se requiere para el secado ($T_{in}= 60^{\circ}\text{C}$). La temperatura de secado se seleccionó de acuerdo a un manual técnico de secado solar (ver referencia 12).

Figura 14: Calentamiento sensible del aire.



Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

Como se realiza un calentamiento sensible la humedad absoluta (W) permanece constante, con este dato y la temperatura con la que debe entrar el aire a la cámara de secado ($T_{bs}= 60^{\circ}\text{C}$), se obtienen los demás datos necesarios en la carta psicrométrica. La tabla 1 muestra las propiedades del aire a la entrada y salida del secador, además las propiedades de las condiciones ambientales.

Tabla 1: Propiedades del aire en puntos claves del secador.

	Punto 1 (Condiciones Ambientales)	Punto 2 (Aire de entrada de la cámara)	Punto 3 (Aire de salida de la cámara)
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	20,1	29	29
Temperatura de bulbo seco (°C)	24	60	29,1
Humedad Absoluta (Kg agua/ Kg aire seco)	0,0132	0,0132	0,02575
Humedad Relativa (%)	70	8,7	100
Entalpía (kJ/Kg)	57,343	93,333	94,121
Volumen Específico (m³/Kg)	0,8597	0,9626	0,8917

Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

Los datos del punto 3 en la tabla 1 se establecen teniendo en cuenta las siguientes consideraciones teóricas:

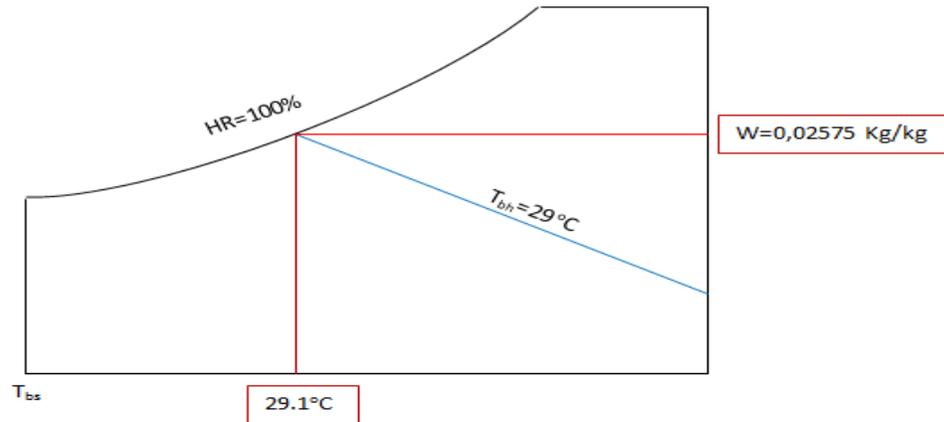
- No existen pérdidas de energía.
- La temperatura de bulbo húmedo permanece constante durante el proceso de secado, es decir, se considera idealmente un proceso isoentálpico, aunque en realidad va a haber una variación pequeña (enfriamiento adiabático).
- La mayor parte de la energía que aporta el aire se emplea para evaporar el agua del sólido, en otras palabras se supone que el producto a secar se mantiene a la temperatura de bulbo húmedo del aire.
- A lo largo de su recorrido en el secador el aire aumenta su humedad relativa. Para un proceso de secado ideal, esta humedad debe llegar a ser lo más próxima posible a la humedad de saturación.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se tiene entonces:

$$T_{bh2} = T_{bh3}, h_2 = h_3, HR = 100\%$$

Luego se busca en la carta psicrométrica los demás puntos de interés, como se esquematiza en la figura 15.

Figura 15: Determinación de puntos de interés en la carta psicrométrica



Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

De esta manera se obtiene el valor de la humedad absoluta W_3 y la temperatura del aire a la salida del secador T_3 . Ahora se realiza un balance de masa al volumen de control:

$$\Sigma m_{in} = \Sigma m_{out}$$

$$m_a (W_3 - W_2) = m_s (X_o - X_f)$$

$$m_a = \frac{m_s(x_o - x_f)}{(W_3 - W_2)}$$

Dónde:

m_a : masa de aire.

m_s : masa de sólido.

W_3 : Humedad absoluta del aire a la salida del secador.

W_2 : Humedad del aire a la entrada de la cámara.

X : Humedad del sólido

La humedad presente en las frutas (obtenida experimentalmente), se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2: Porcentajes de agua en las frutas.

FRUTA	Humedad presente en la fruta (%)
Guayaba	82-84
Banano	69
Piña	80-81

Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

Con W_3 y las respectivas humedades se procede a calcular la masa de aire teórica necesaria para retirar toda el agua en cada una de las frutas, aplicando la ecuación que resultó del balance de masa y tomando 5kg de fruta como base se tiene:

Para la Guayaba (utilizando $X_{\text{máx.}} = 84\%$)

$$\mathbf{Mag} = \frac{5 \cdot (0,84)}{0,02575 - 0,0132} \Rightarrow 334,66 = 335 \text{ Kg aire seco} //.$$

Para la Piña (utilizando $X_{\text{máx.}} = 81\%$)

$$\mathbf{Map} = \frac{5 \cdot (0,81)}{0,02575 - 0,0132} \Rightarrow 322,709 = 323 \text{ Kg aire seco} //.$$

Para el Banano ($X_{\text{máx.}} = 69\%$)

$$\mathbf{Mab} = \frac{5 \cdot (0,69)}{0,02575 - 0,0132} \Rightarrow 274,90 = 275 \text{ Kg aire seco} //.$$

Con la masa de aire mayor, se procede a calcular el volumen de aire que requiere el secador. Este se obtiene multiplicando el volumen específico del aire a la entrada del secador por la masa de aire calculada.

$$V \text{ requerido} = M_{ag} * V_2 \quad \Rightarrow \quad 335 \text{ Kg aire seco} * 0,9626 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

$$V \text{ requerido} = 322 \text{ m}^3 \text{ aire seco.}$$

Donde:

V_2 = Volumen específico punto 2.

Para conocer el caudal de aire, se divide el volumen requerido entre el tiempo de secado. El tiempo de secado, es una variable que depende de muchos factores, tales como la rapidez de secado, geometría del producto y el espesor de este mismo. Esta variable por lo general se determina experimentalmente en unidades de secado que reproduzcan las condiciones más adecuadas para el diseño que se quiere realizar, pues las ecuaciones que se necesitan para predecir teóricamente éste son demasiado complejas. Las pruebas efectuadas en el laboratorio se hicieron en un horno y se encontró que el promedio de tiempo de secado (temperatura= 105°C) para las frutas fue de 9 horas. Sabiendo que la unidad que se está diseñando va a tener un flujo de aire (convección forzada) y que el aire se recirculará para renovarse, este tiempo puede ser reducido. Si se desea que el tiempo de secado sea de 6 horas se tiene entonces:

$$Q = \frac{V_{requerido}}{t} = \frac{322 \text{ m}^3}{6 \text{ horas}} = 53,66 \text{ m}^3 / \text{h.}$$

$$Q = 54 \text{ m}^3 / \text{h.}$$

Teniendo el caudal, y el volumen específico del aire a las condiciones ambiente, se calcula el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{Q}{v_1} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,8597 \text{ m}^3/\text{Kg}} = 0,01744 \text{ Kg/s}$$

El calor necesario es entonces:

$$Q = \dot{m} (h_2 - h_1) = 0,01744 \text{ Kg/seg} * (93,333 - 57,34) \text{ KJ/Kg.}$$

$$Q = 628 \text{ Watts}$$

2.2.3.1.3 Área efectiva del Colector Solar

Para diseñar el colector, se debe conocer el área del mismo, la cual está definida por:

$$\eta = \frac{Q}{I * A} \Rightarrow A = \frac{Q}{I * \eta}$$

Donde:

η = Eficiencia del colector.

I = Radiación incidente (watts/m²)

A = Área del Colector.

Q = Calor útil.

El calor útil fue calculado anteriormente y es igual a 628 watts. Para la determinación de la radiación incidente, se utilizó la información sobre la radiación incidente en Bucaramanga obtenida por Santos Alfonso (ver referencia 17). A partir de la curvas allí presentadas se derivó la tabla 3, con la que se calculó un valor de radiación promedio de 483 W/m². Como no se han definido los materiales del colector, se asumieron diferentes valores de eficiencia y se determinaron las posibles áreas, como se relacionan en la tabla 4.

Tabla 3: Radiación solar promedio en Bucaramanga durante el día.

Hora del Día	Radiación incidente (W /m²)
08:00 a.m.	400
09:00 a.m.	575
10:00 a.m.	668
11:00 a.m.	640
12:00 a.m.	615
01:00 p.m.	515
02:00 p.m.	420
03:00 p.m.	375
04:00 p.m.	140

Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

Tabla 4: Posibles áreas del colector solar en función de la eficiencia

Eficiencia η (%)	Área efectiva A (m²)
90	1,44
80	1,62
70	1,85
50	2,60
30	4,33
15	8,66
10	13,

Fuente: Andrés Prada-Antonio Ríos

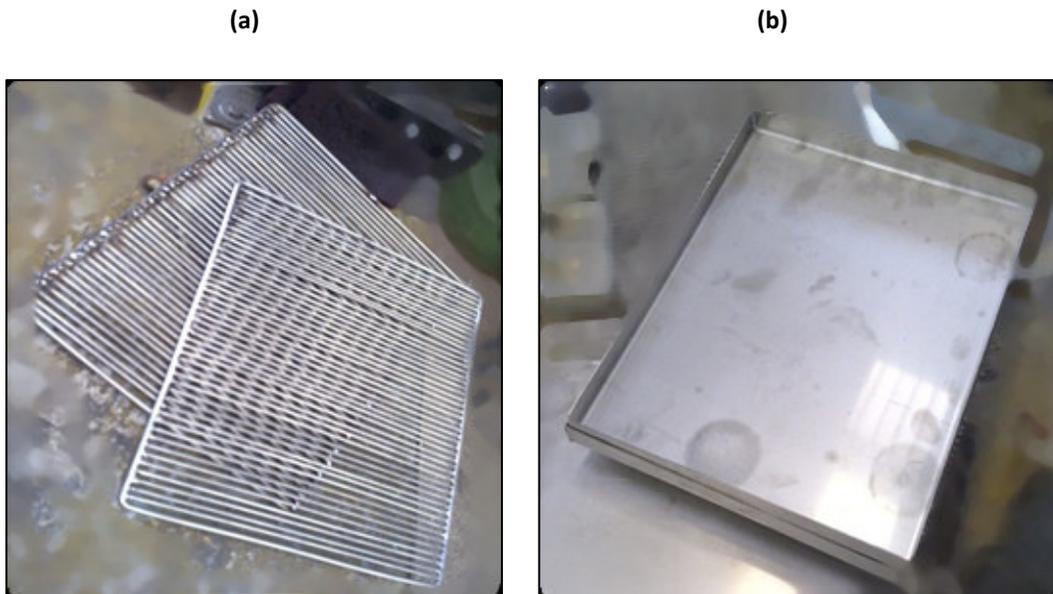
Una vez establecidos los materiales con los cuales se construirá el colector se evaluará de una mejor manera la eficiencia de éste y se podrá definir el área que tendrá. Si el área es muy grande entonces será necesario construir más de un colector.

2.2.3.2 Diseño básico

2.2.3.2.1 Bandejas

Teniendo en cuenta el cálculo que se hizo en el diseño conceptual, se incrementó en un 10% las dimensiones para la opción de cuatro bandejas rectangulares y el tamaño final de las bandejas fue de 32cmx27cm. Se fabricaron las bandejas en forma de parrillas y totalmente lisas para analizar el comportamiento del proceso de secado en ambas condiciones. El material utilizado para la construcción de las bandejas lisas (ver figura 16-b) fue lámina de acero inoxidable 304 calibre 18; las bandejas en forma de parrillas (ver figura 16-a) se construyeron con varillas de acero inoxidable 304 de 2,5 mm y 5 mm de diámetro. Se eligió este material para evitar que la alta humedad existente en la cámara de secado y el agua de las frutas fueran a oxidarlas, ya que el alimento se contaminaría por el contacto. Utilizar otros materiales implicaría tratarlos con recubrimientos especiales para que no fueran a afectar la calidad del producto.

Figura 16: Bandejas en forma de parrilla y bandejas lisas.

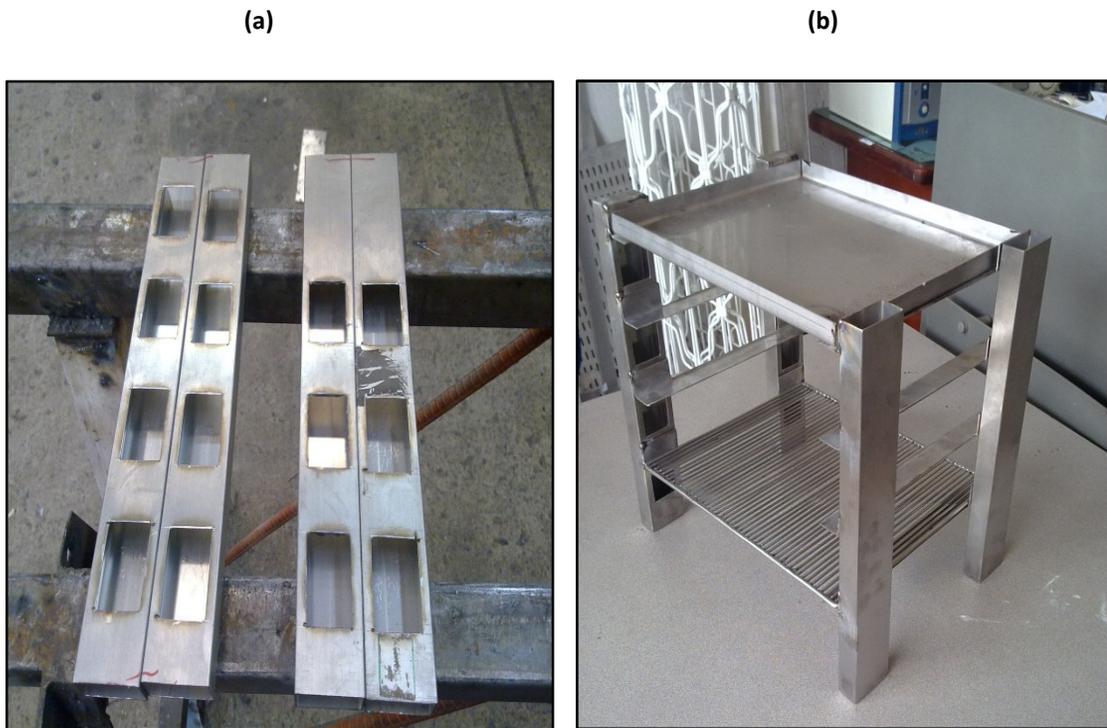


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.3.2.2 Porta bandejas

Para situar las bandejas dentro de la cámara de secado se construyó un bastidor que las soporta dentro del secador. Para la construcción de éste se utilizó un tubo de perfil rectangular de 1 x 2 pulgadas en acero inoxidable 304 calibre 18 (ver figura 17-a) y ángulos de acero inoxidable de 25 x 25 mm hechos a medida. La estructura fue soldada y los soportes de las misma (tubos) fueron agujerados para permitir el flujo de aire a través de ellos y con esto circular adecuadamente el aire dentro del secador como se muestras en la figura 17-b.

Figura 17: Soportes durante la construcción y porta bandejas.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.3.2.3 Cámara de secado y aislante térmico

El material utilizado para la construcción de la cámara de secado fue una lamina de acero inoxidable 304 calibre 18 , escogida por las mismas razones expuestas en el numeral 2.2.3.2.1. El calibre del material es el mas adecuado conforme al presupuesto disponible para la construcción del prototipo. La lámina fue doblada siguiendo las condiciones del diseño y el tamaño de la cámara se calculó a partir del tamaño de las bandejas, su bastidor y la forma como se dispuso el aislante termico en el interior de ésta. En la figura 18 se muestra la camara de secado durante la primera etapa de construcción.

Figura 18 : Cámara de secado durante la construcción.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

La parte interior de la cámara de secado se aisló térmicamente utilizando tres materiales: fibra de vidrio, Termolon 14 y pasta fibra (ver figura 19). Estos materiales se apropiaron de manera que se pudiera canalizar el aire caliente para que el interior de la cámara de secado se comportara como un serpentín de modo que éste pasara de forma paralela a la superficie de la fruta cuando se utilizan las bandejas planas. La adecuación del aislante térmico se llevó a cabo en 3 etapas, primero se colocó el Termolon con la fibra de vidrio; después de un tiempo de secado y endurecimiento se adhirió sobre estos la pasta fibra; por último, se

moldearon los canales por donde se canaliza el aire que entra en la cámara de secado y se adhirió una capa de pintura negra especial para alta temperatura.

Figura 19 : Cámara de secado durante la adecuación de los aislantes termicos.



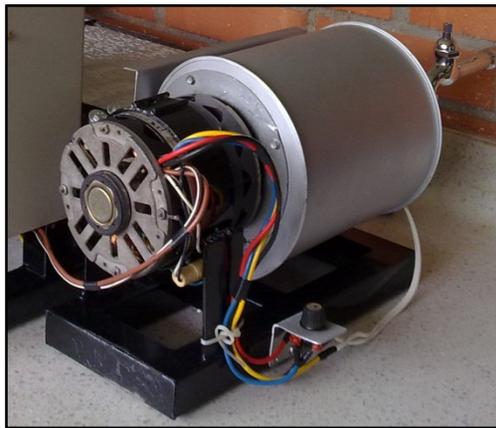
(c)

Fuente: Antonio Ríos – Andrés Prada

2.2.3.2.4 Soplador de aire

Para producir el flujo de aire que requiere el secador se seleccionó un ventilador centrífugo (ver figura 20) pues se adapta a los requerimientos del diseño, por la disposición del ducto para la conducción del aire caliente. El caudal que maneja el ventilador es de 300 CFM (0,14 m³/s) y la potencia del motor es de ½ HP. Si bien es mayor que el calculado en el diseño conceptual, este tipo de sopladores es de los más pequeños que se consiguen en el mercado local.

Figura 20 : Ventilador centrífugo y motor



Fuente: Antonio Ríos – Andrés Prada

2.2.3.2.5 Generador de calor

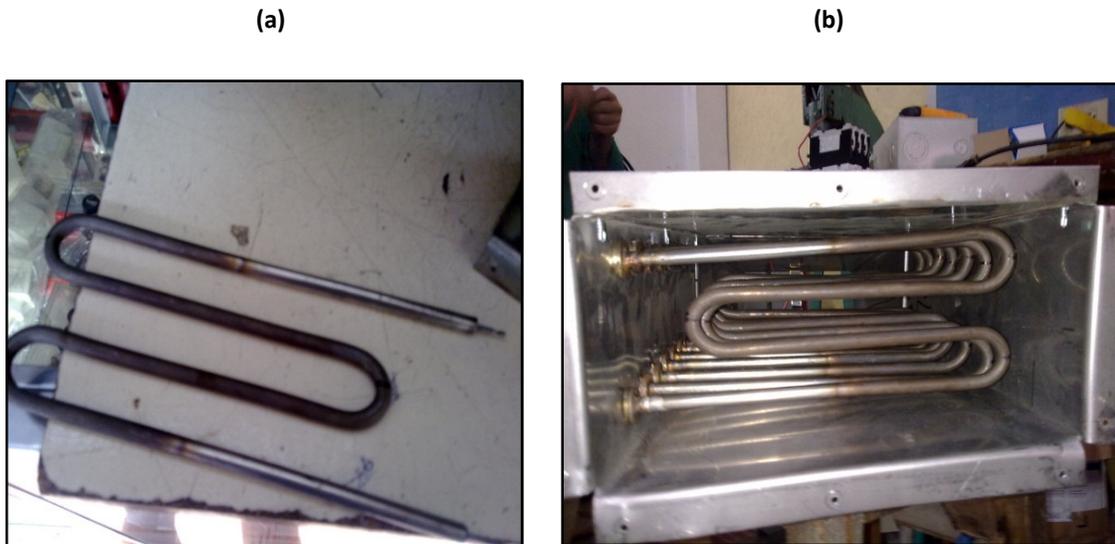
El calor necesario para retirar el agua de las frutas calculado anteriormente en el diseño conceptual, se recalcula puesto que el caudal que provee el ventilador es mayor. Llamando \dot{Q} al calor requerido en Vatios, se tiene que,

$$\dot{Q} = \frac{Q}{v_1} (h_2 - h_1) = \frac{0,1416 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,8597 \text{ m}^3/\text{Kg}} * (93,333 - 57,343) \text{ KJ/Kg.}$$

$$\dot{Q} = 5928 \text{ watts}$$

Entonces, para calentar el flujo de aire que provee el ventilador centrífugo desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado, se emplea un banco de siete resistencias eléctricas (ver figura 21) elaboradas en tubo Incoloy (aleación ternaria de níquel-hierro-cromo) de 1000 watts de potencia cada una a 220V. Estas se roscan al ducto con Racores en bronce tipo Breca (1/2 pulg).

Figura 21 : Banco de resistencias montadas en el ducto.



Fuente: Antonio Ríos – Andrés Prada

2.2.3.2.6 Tubería de descarga del soplador y de ingreso a la cámara de secado

La tubería de descarga se elaboró en lámina de acero inoxidable 304 calibre 18 y se dimensionó de acuerdo a la salida del ventilador centrífugo; la longitud fina se adoptó con base en la disposición y espaciado de las resistencias tal como se ve en la figura 22. También se dispuso en forma desmontable para poder instalar las resistencias o hacer modificaciones al banco si es necesario.

Figura 22 : Ducto de descarga abierto con las resistencias.



Fuente: Antonio Ríos – Andrés Prada

La tubería de descarga también está compuesta por otra parte desmontable de sección transversal rectangular variable en forma continua (ver figura 23), con el propósito de inyectar el aire caliente proveniente de la sección anterior a una mayor velocidad y de esta manera aumentar la tasa de transferencia de masa y disminuir en lo posible el tiempo de secado.

Figura 23 : Tubería completa y con banco de resistencias.



Fuente: Antonio ríos – Andrés Prada

2.2.3.2.7 Dispositivos electrónicos: controlador y sensores

2.2.3.2.7.1 Controlador de temperatura

Para ejercer el control sobre el banco de resistencias de potencia se empleó un controlador marca Watlow serie 965 con salida a relé de estado sólido y una termocupla tipo J de bulbo (ver figura 24). Inicialmente se había previsto el sistema con un termostato pero se previó un margen de error grande entre la temperatura que alcanzaba el aire y el Set-point establecido (temperatura de secado), por lo que decidió adaptarse el controlador. El sistema se dispuso de tal manera que con tres relés de estado sólido se pudiera mandar la señal de control agrupando las resistencias en grupos de dos pares y una terna. El plano eléctrico de estas conexiones se muestra en el diseño de detalle con las respectivas especificaciones.

Figura 24 : Controlador de temperatura Watlow.

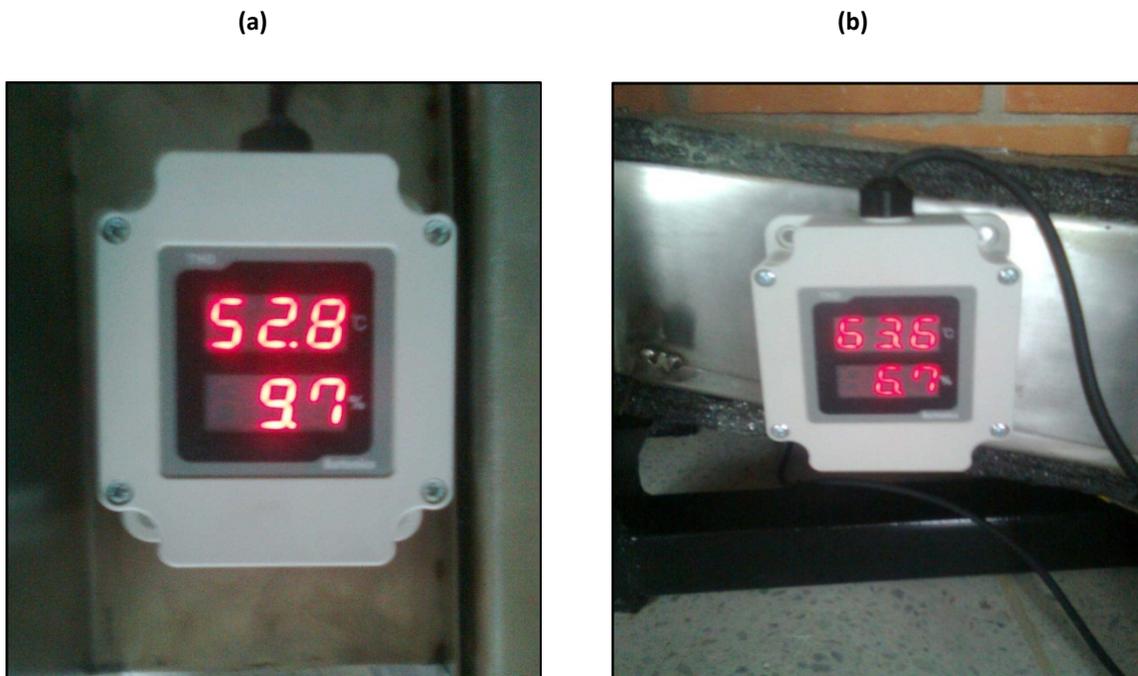


Tomado de: Manual del usuario. Controlador Watlow series 965. pág. 1

2.2.3.2.7.2 Sensores de humedad y temperatura

Las lecturas de las propiedades del aire a la entrada y salida de la cámara de secado se realizaron por medio de dos transmisores de la marca AUTONICS serie THD-D como se muestra en la figura 25, cada uno adaptado con un sensor de temperatura de bulbo seco y humedad relativa. La elección de estos transmisores fue la más adecuada ya que si se utilizaban sensores de temperatura (termocupla) con sus respectivos indicadores y sensores de humedad relativa por separado habría que hacer una inversión más elevada. Además, los trasmisores utilizados son especiales para hacer lecturas en ducto, lo cual resulta más adecuado para el prototipo. Los trasmisores vienen con display y tienen un Rango de lectura de 0,0 - 99,9 % HR / -19,9 A + 60,0 °C, longitud del sensor 100mm, Salida 4-20 mA, y Alimentación 24 VDC.

Figura 25 : Trasmisores de humedad y temperatura.

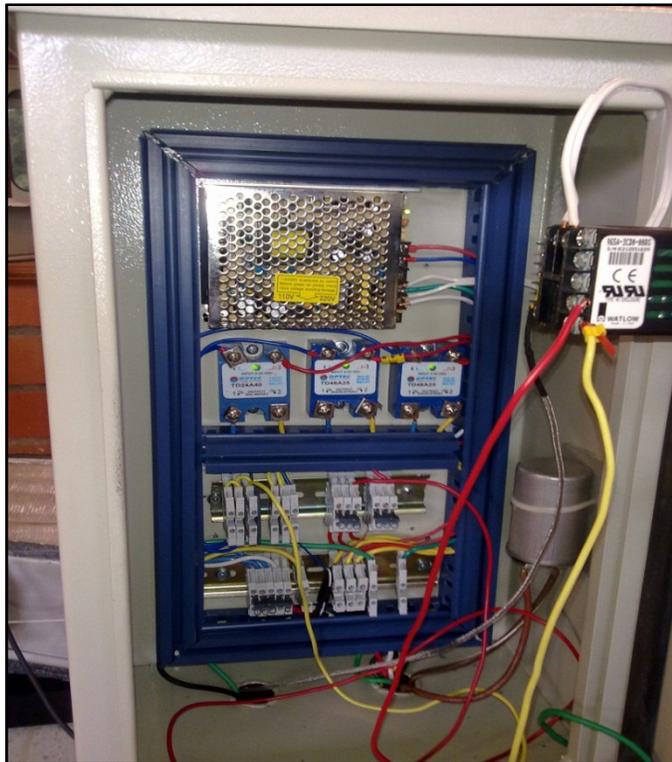


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.3.2.7.3 Conexiones finales

El circuito de control de temperatura, de alimentación de los transmisores y demás elementos se dispuso en una caja de derivación. Se utilizaron borneras situadas en sus respectivas regletas, y canaletas para alojar los cables de conexión. Se utilizó una fuente de alimentación de 110V/220V y salida de 24 VDC para activar los relés y los sensores. Los relés de estado sólido son de la marca OPTEC de una sola fase con salida 24-574 VAC. La disposición final de los elementos en la caja se muestra en la figura 26.

Figura 26 : Circuito de control y de alimentación eléctrica del secador.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

2.2.3.3 Diseño detallado

El diseño detallado del prototipo se presenta en los planos mecánicos y eléctricos del anexo 4.

3. RESULTADOS

3.1 Prototipo secador para frutas tropicales

Como resultados de este proyecto se muestra en primera instancia el prototipo de secador de frutas tropicales funcionando con la energía térmica generada a partir de un banco de resistencias (ver figura 27).

Figura 27 : a) Prototipo de secado.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

b) Proceso de secado en el prototipo.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

El prototipo fue construido totalmente en lámina de acero inoxidable calibre 18 que fue respectivamente cortada y doblada de acuerdo a las condiciones de diseño. La máquina es totalmente desmontable y está conformada principalmente por cinco partes: la cámara de secado, el porta-bandejas, los ductos de descarga y de inyección de aire, el generador de calor y el ventilador centrífugo. Esto permite realizar cualquier tipo de modificación que el modelo requiera para optimizar y mejorar su funcionamiento.

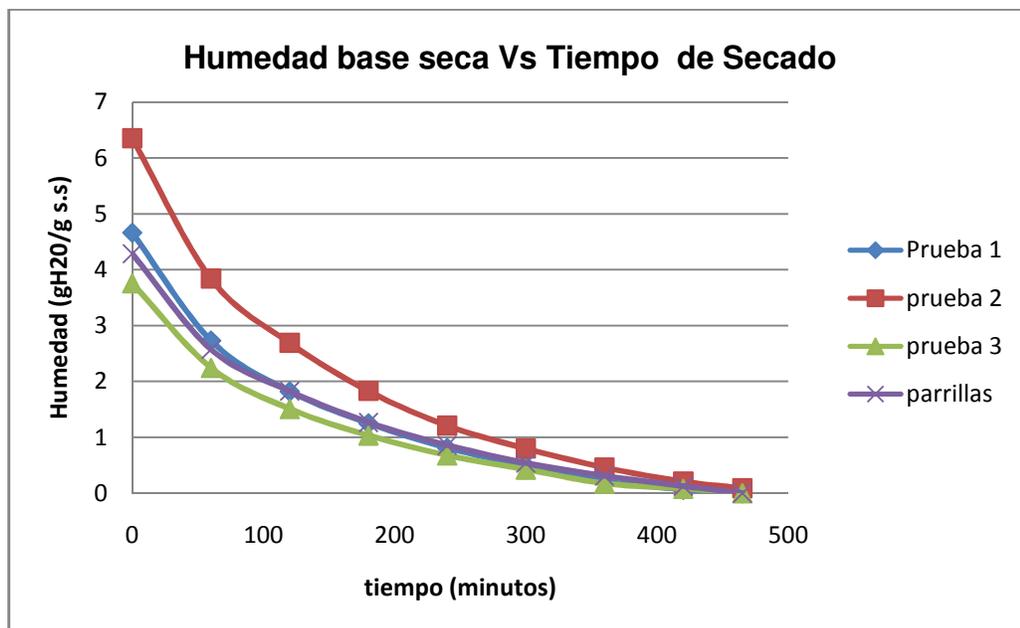
3.2 Construcción de las curvas de secado

Se efectuaron una serie de pruebas al prototipo con las frutas seleccionadas en los objetivos para corroborar el funcionamiento de la máquina. Los resultados de los experimentos arrojan los datos para la construcción de las curvas de secado de la piña, la guayaba y el banano. A continuación se muestran las gráficas de secado para las bandejas por bache (o lote); opcionalmente se muestran las curvas cuando se utiliza el sistema de parrilla, aunque el análisis se centra más al proceso con bandejas.

3.2.1 Curvas de secado para la piña por tanda

La figura 28 presenta las curvas de secado para la piña bajo las condiciones adoptadas en las cuatro pruebas realizadas, incluyendo el ensayo que se efectuó con parrillas. Los datos para esta prueba se encuentran relacionados en el anexo 1 en las tablas PR1-PR4 y en el anexo 3 tabla Q están los datos para su construcción.

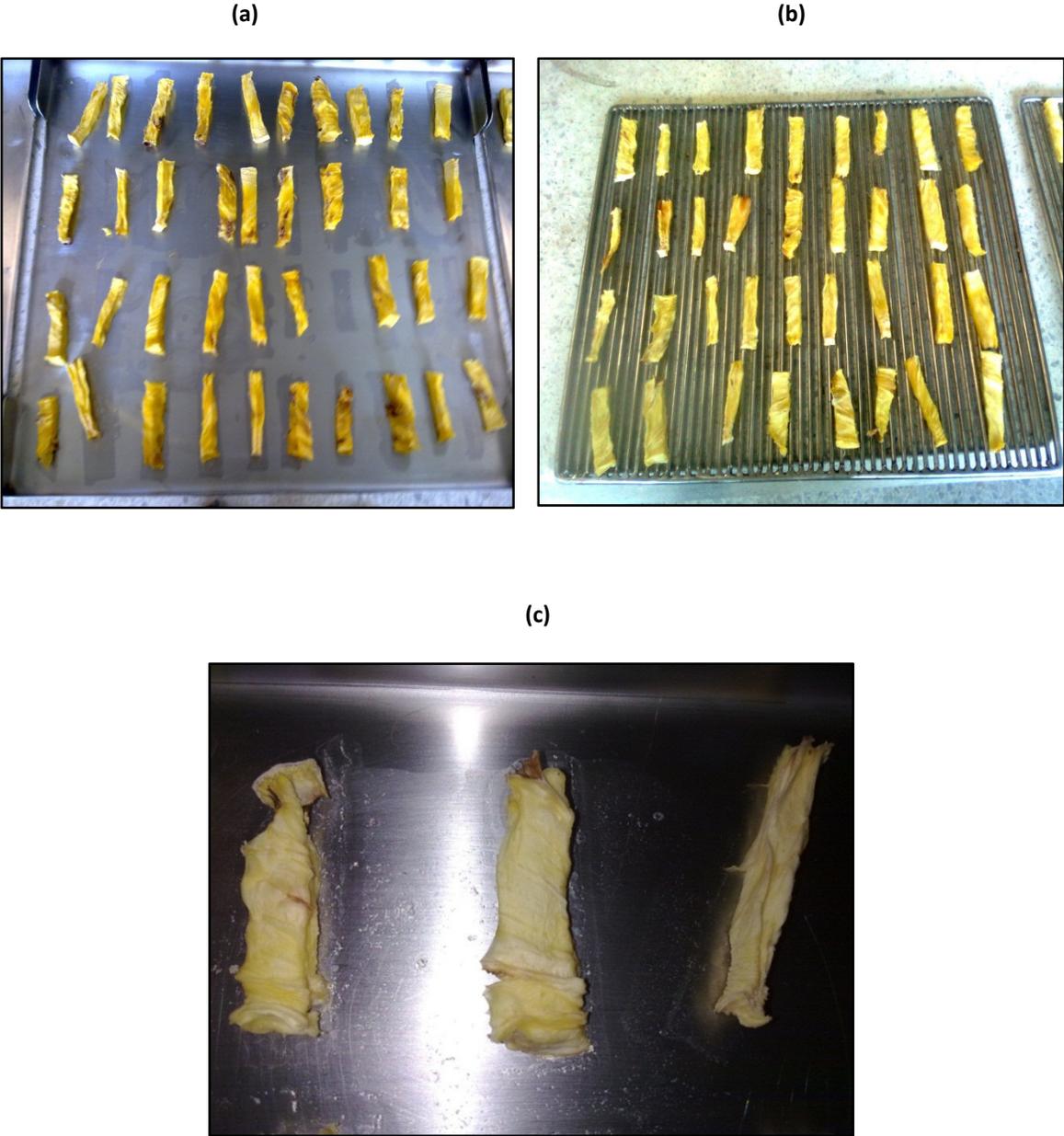
Figura 28: Curvas de secado para la piña por tanda



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

La figura 29 (a) y (b) muestran las condiciones físicas de las muestras de piña durante el proceso de secado en el prototipo cuando se utilizan bandejas lisas y parrillas, también en la figura 29 (c) se puede apreciar las muestras de piña en una condición casi seca.

Figura 29: a) Muestras de piña durante el proceso de secado.

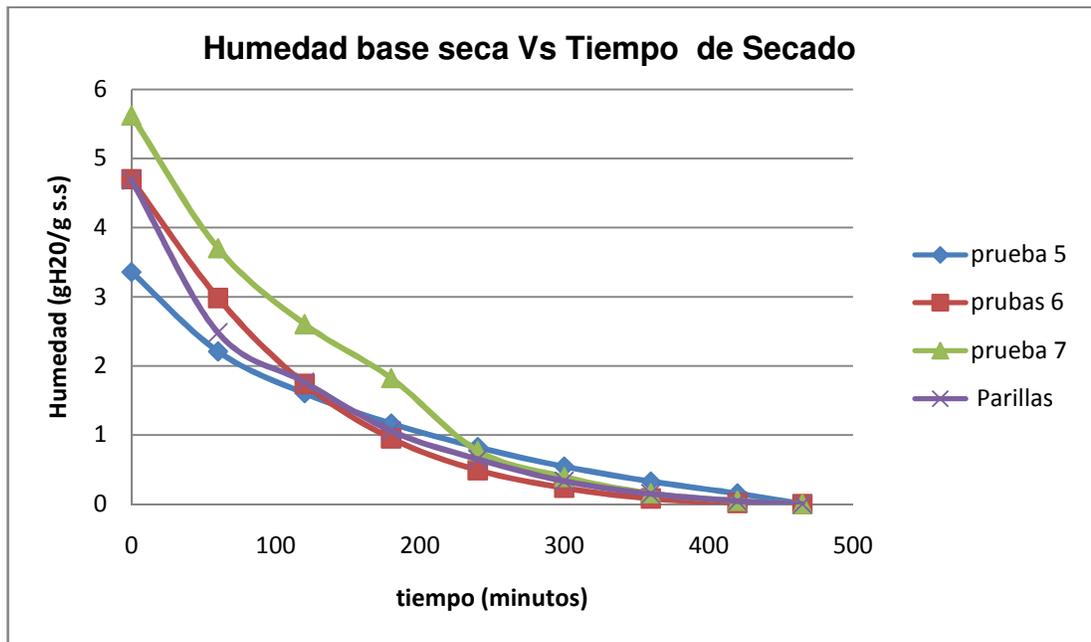


Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

3.2.2 Curvas de secado para la guayaba por tanda

Las curvas de secado para la guayaba se muestran en la figura 30. Los datos para estas pruebas se encuentran en el anexo 1 en las tablas PR5-PR12. En el anexo 3 tabla S se encuentran los datos para su construcción.

Figura 30: Curvas de secado para la guayaba por tanda



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

En la figura 31 (a) y (b) se presentan muestras de guayaba durante el proceso de secado, utilizando diferentes tipos de bandeja y con diferente contenido de humedad.

Figura 31: Muestras de guayaba durante el proceso de secado.



(a)



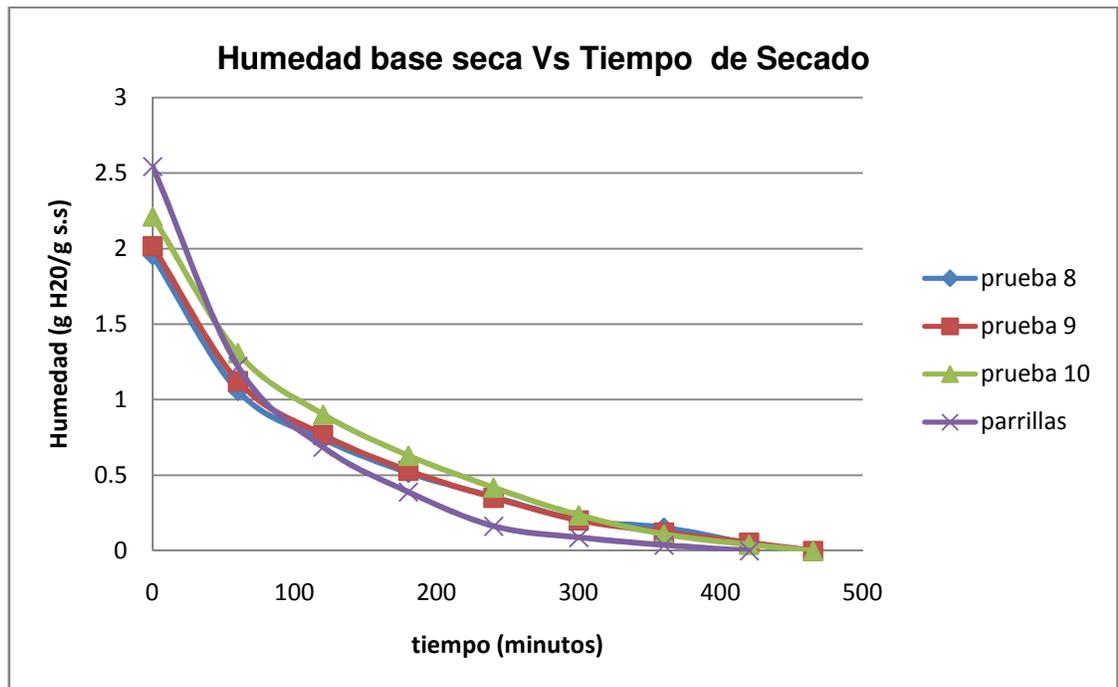
(b)

Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

3.2.3 Curvas de secado para el banano por tanda

De manera análoga a las pruebas anteriores, la figura 32, muestra las curvas de secado obtenidas para el banano. Los datos para estas pruebas se encuentran en el anexo 1 en las tablas PR8-PR11. En el anexo 3 tabla V se encuentran los datos para su construcción.

Figura 32: Curvas de secado para el banano por tanda.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

Para las pruebas realizadas con banano se utilizaron muestras de fruta con estados de maduración muy diferentes (verdes y maduras), por eso se observa en la figura 33 en el secado con parrillas y bandejas lisas que algunas muestras se ven más secas que otras.

Figura 33: Muestras de banano durante el proceso de secado.



(a)



(b)

Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de las curvas de secado para la piña

En las gráficas de secado para las muestras de piña (figura 28) se puede apreciar que para la mayoría de las pruebas hubo un comportamiento muy similar; la cantidad de masa empleada para cada bache en los ensayos fue casi la misma (alrededor de 1 kilogramo de piña). La temperatura de secado para la prueba fue la establecida (60°C) con una velocidad del aire de 9 m/s.

Se puede observar con respecto a la curva teórica mostrada en la figura 1, que el periodo inicial AB no es muy notorio, esto se debe a que la temperatura a la cual se encuentran las muestras, que es la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente, inicialmente es mucho menor que la de la masa de aire con la que está en contacto, por eso las muestras de piña comienzan a perder humedad inmediatamente inicia el proceso de secado y la curva empieza con el periodo de velocidad constante. En este periodo la piña pierde el mayor porcentaje humedad (alrededor del 48%) ya que ésta es agua que se encuentra principalmente en su superficie y es más fácil de evaporar, esto se debe a que la piña es una fruta muy húmeda y su superficie pulpa se encuentra sobresaturada, por esta razón cuando se rebana ésta comienza a escurrir agua. Este periodo dura alrededor de 60 minutos y es donde se registra la mayor transferencia de masa por el delta de humedad entre el aire y las muestras. Seguido de este periodo se observa en las gráficas el periodo de velocidad decreciente que es él que más sobresale en las curvas de las 4 pruebas, como se puede observar en este periodo las muestras pierden casi la misma cantidad de agua que en el periodo constante pero el tiempo es mucho más largo (6.45 horas), esto es debido a que el agua de la superficie de la piña ha sido completamente evaporada y el agua restante que queda en el centro comienza a desplazarse hacia la superficie.

Ahora las superficies de las muestras se calientan permitiendo que el agua que hay en el centro se traslade hacia el exterior para así ser recogida por la masa de aire circundante, es decir primero debe transportarse la materia a través del sólido y por eso el tiempo de secado es mucho más largo en este periodo. La curva de la prueba 2 se inclina un poco más que las demás puesto que el contenido de humedad extraído fue mayor (6.35 g H₂O/g S.S.), esto se debe a que la piña de esta prueba presentaba un grado de maduración mayor y por eso su contenido de agua inicialmente es más elevado que las otras.

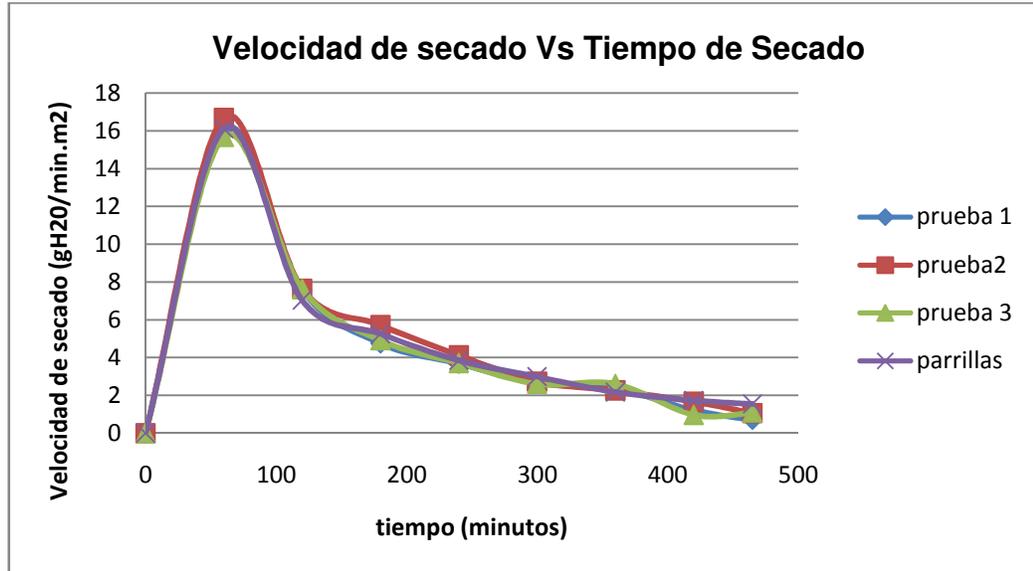
4.1.1 Curva de velocidad de secado para las muestras de piña

Una vez se han analizado las curvas de pérdida de masa de las muestras, se procede a construir las gráficas de velocidad de secado a partir de éstas. Como ya se había descrito anteriormente, la velocidad de secado es un factor que depende de los mecanismos de transferencia de masa que están presentes durante el proceso de secado. La velocidad se calcula con la ecuación 5 que fue deducida en el marco teórico y siguiendo los siguientes pasos:

- Se obtienen los valores de dw/dt para cada valor de tiempo de la primera curva de secado. Estos valores representan la pendiente de dicha curva y físicamente representan el cambio de humedad respecto al tiempo.
- Una vez obtenidas las pendientes para cada punto se multiplican por el debido factor W_{ss}/A , donde W_{ss} sería el peso correspondiente de la tanda seca y A el área superficial de las 4 bandejas que es $0,3456 \text{ m}^2$, obteniéndose de esta manera la velocidad de secado en gramos de agua por minuto por metro cuadrado ($\text{g H}_2\text{O}/\text{min}\cdot\text{m}^2$).

Las tablas de datos para la construcción de las curvas de velocidad de secado en las pruebas de piña se muestran en la tabla R del anexo 3. La curva de velocidad de secado para la piña se muestra en la figura 34.

Figura 34: Velocidad de secado para las pruebas de piña



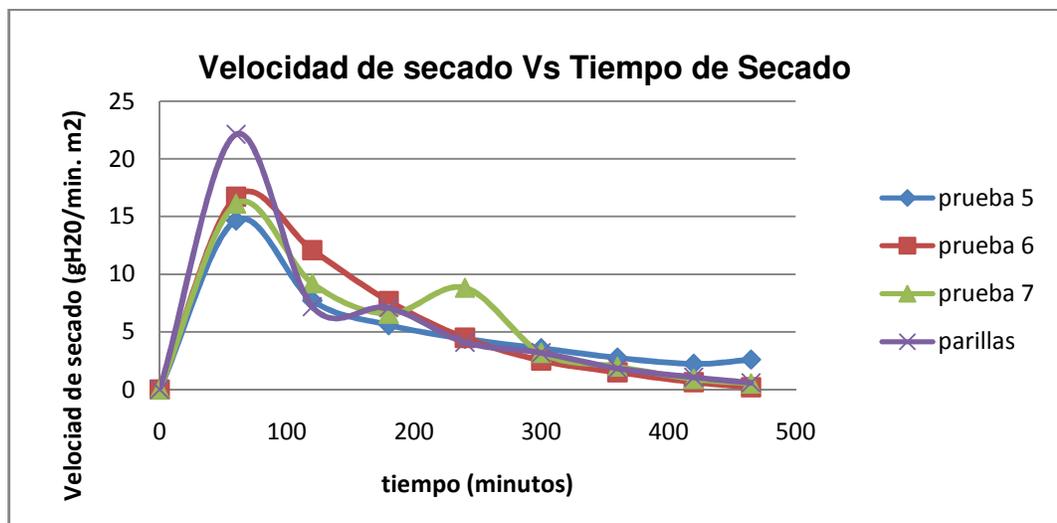
Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

Se puede observar en las curvas de velocidad de secado que durante la primera hora se registra la mayor velocidad, llegando a hacer de 16 g H₂O/min*m² en promedio para todas las pruebas bajo las condiciones establecidas. Esto es lógico ya que en la primera curva de secado se observa también durante este intervalo de tiempo que la pérdida de masa es la más significativa durante todo el proceso, porque en este periodo es donde se evapora la mayor cantidad de agua de la superficie de las muestras debido al diferencial de humedad entre la masa de aire y éstas; por esta razón la tasa de transferencia de masa es mayor. Con respecto a las pruebas en parrillas se puede decir que tiene un comportamiento muy similar a las otras curvas sin diferencias significativas. La velocidad comienza a descender drásticamente una vez se ha alcanzado el máximo valor y esto se debe a que la humedad de la superficie ha sido completamente evaporada y ahora el agua restante es la que está confinada en el centro. La humedad restante en la fruta se transporta a la superficie debido a la diferencia de presiones entre el vapor de agua en el aire y el agua en las muestras (teoría de difusión) y como ahora el delta de humedades es menor la transferencia de masa disminuye y por consiguiente la velocidad de secado. Cuando el agua restante es mínima, la velocidad comienza a estabilizarse y comienza a descender de manera proporcional hasta que el agua ha sido completamente evaporada.

4.2 Análisis de las curvas de secado para la guayaba

En las curvas de secado para la guayaba (figura 30) se aprecia la tendencia decreciente para todas las pruebas. La prueba de guayaba que se realizó en bandejas de tipo parrillas muestra una mayor diferenciación entre el período constante y el período decreciente que las demás, este cambio se debe posiblemente a que en este proceso hay una mayor exposición de la superficie de las muestras húmedas con la masa de aire, ya que el flujo a través de ellas es transversal y paralelo, por eso inicialmente el agua retenida en la superficie se evapora muy rápido y la tanda disminuye su masa en una forma considerable. En la prueba numero 7 también se puede notar esta distinción entre estos dos períodos, pero esto debe a que la guayaba de esta prueba tenía un grado de maduración muy elevado y por lo tanto su contenido de agua era mucho mayor. Las prueba número 6 muestra un comportamiento similar pero con una curva más suave y es más difícil hacer una distinción entre los periodos, esto se debe a que la velocidad de secado se mantuvo constante. Por último, la prueba numero 5 solo deja ver la forma decreciente de la curva ya que fue la que menos contenido de humedad se le extrajo, y esto se debe a que las guayabas de esta tanda tenían un grado de maduración muy bajo por lo cual su contenido de agua es mucho menor y más difícil de extraer. A partir de la primera curva de secado para la guayaba se construye la curva de velocidad siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente para la piña. Los resultados se muestran en la figura 35.

Figura 35: Velocidad de secado para las pruebas de guayaba.



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

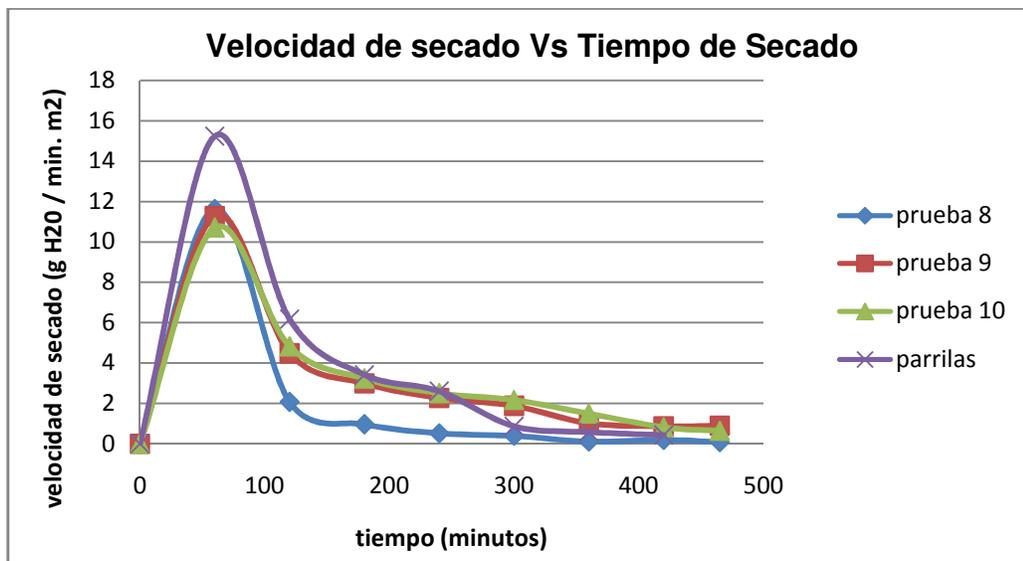
Como se observa en la figura 35 las curvas de todas las pruebas alcanzan su valor máximo de velocidad en la primera hora y una vez alcanzado este valor, ésta tiende a bajar de forma considerable. La curva de secado para las parrillas muestra un incremento muy elevado en la velocidad debido a que el área de exposición al flujo se incrementa y por consiguiente aumenta la transferencia de masa, mientras que la curva de la prueba 7 tiene dos picos de aumento de velocidad y esto se debe probablemente al alto grado de maduración de las guayabas. Las otras pruebas tienden a disminuir su velocidad debido a la disminución del contenido de agua en las muestras.

A diferencia de las curvas de secado para la piña, si hubo una distinción en cuanto al secado en parrillas para la guayaba y esto puede deberse principalmente a factores como la composición de los sólidos en el interior de esta fruta. Los datos para realización de ésta grafica se encuentran en la tabla T del Anexo 3.

4.3 Análisis de las curvas de secado para el banano

Las curvas de velocidad obtenida para las pruebas de banano se muestran en la figura 36 y los datos para su construcción se encuentran en la tabla Z del anexo 3.

Figura 36: Velocidad de secado para las pruebas de banano



Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

En estas curvas se puede observar que la velocidad disminuye casi hasta valores de cero y esto es por qué las muestras de banano se secaron casi en su totalidad. En la curva de humedad Vs. Tiempo para esta fruta, se puede observar un comportamiento similar para todas las pruebas llevadas a cabo en bandejas y se aprecian los periodos de velocidad constante y decreciente para cada una de ellas, perdiendo casi el 36% de su humedad durante la primera hora a una velocidad promedio de $11 \text{ g H}_2\text{O}/\text{min}\cdot\text{m}^2$. La distinción más importante para esta gráfica es que el secado con parrillas tuvo una velocidad mucho más elevada que el secado en bandejas, esto se puede apreciar en la figura 36

Como ya se había explicado con anterioridad esto obedece a que el área expuesta a la masa de aire es mayor. Sin embargo, este argumento está relacionado con la estructura del sólido, ya que en las pruebas efectuadas para la piña no se pudo apreciar lo mismo. Posiblemente, se debe a que el banano al igual que la guayaba son sólidos porosos a diferencia de la piña, que está conformada principalmente por fibras, en consecuencia, la forma como ocurre la difusión del agua internamente puede ser diferente.

4.4 Funcionamiento de la máquina

Durante las pruebas se registraron los diversos valores de temperatura y humedad en la entrada y salida en la cámara de secado; en el anexo 2 se pueden ver las gráficas de la variación de la humedad y temperatura de la máquina para las 12 pruebas efectuadas. De todas estas gráficas se extrajeron los datos de temperatura promedio relacionados en la tabla 5.

Tabla 5: Temperatura promedio en puntos del secador

T_{in} promedio	60.45 °C
T_{out} promedio	51.78 °C
$A_{ambiente}$ promedio	25,16°C

Fuente: Andrés Prada – Antonio Ríos

Con estos datos de temperatura es posible establecer una eficiencia térmica del secador que vendría dada por:

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{amb}}$$

Reemplazando los términos se obtiene que la eficiencia térmica de la máquina que es de:

$$\varepsilon = \frac{60.45 - 51.78}{60,45 - 25,16}$$

$$\varepsilon = 24,56\%$$

Lo anterior nos indica que de la energía total suministrada a la maquina se utiliza un 25 % de ésta para llevar a cabo el proceso de secado. Aunque la cámara de secado está completamente aislada no existe un aislante perfecto por lo que no se descartan las pérdidas desde el interior hacia el ambiente. Cabe también resaltar que durante las pruebas se pudo apreciar que en el ducto de entrada se producía un ligero aumento de temperatura debido a que parte del aire se regresaba por un error en la construcción de los canales para la circulación del aire dentro de la cámara de secado, lo cual provocaba un porcentaje de error en las lecturas del transmisor ubicado es esa parte del secador.

4. Conclusiones

- El desarrollo del prototipo se llevó a cabo empleándose un banco de resistencias eléctricas como medio de calentamiento. La no implementación de la energía solar como medio de calentamiento se debió a la falta de recursos económicos. Sin embargo, se calcularon los requerimientos mínimos que muestran puntos a favor y en contra para utilizar esta fuente de energía para la aplicación.
- Los materiales para la construcción del prototipo fueron escogidos teniendo en cuenta que se iba a trabajar con alimentos, por esta razón, debía evitarse la presencia de corrosión en algún sitio que pudiera afectar el proceso de secado, ya sea en el ducto de aire o dentro de la cámara de secado. Además, permite proteger al usuario de posibles accidentes ya sean eléctricos o mecánicos por alta temperatura.
- En la operación de secado, es importante controlar la humedad del producto en función del tiempo y la temperatura de secado; el producto no se puede secar en su totalidad, ya que se estaría afectando su naturaleza y por lo tanto, cambiarían sus propiedades.
- Las pruebas efectuadas inicialmente en el laboratorio de análisis químico de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, establecieron una guía para evaluar las variables de interés en el proceso de secado y con esto, tener bases aproximadas para realizar el diseño del prototipo. En razón a que las propiedades de las frutas varían de acuerdo con múltiples variables como el grado de madurez o el lugar donde fueron cosechadas, es razonable que los datos de humedad de las frutas secadas en el prototipo no coincidan con los de las pruebas de laboratorio.
- En las pruebas efectuadas a las tres frutas tropicales se estudiaron sus graficas de tendencias principales al introducirse en una máquina secadora por corriente de aire caliente, y se pudo observar que sin importar el tipo de fruta, maduración, grado de humedad y lugar de cultivo, las curvas de

humedad vs tiempo van a tener siempre el mismo decaimiento de tipo exponencial.

- Las curvas de cinética de secado calculadas muestran que para el secado en bandejas con aire caliente bajo las condiciones de operación establecidas, la velocidad máxima del proceso en el prototipo es de $16 \text{ g H}_2\text{O}/\text{min}\cdot\text{m}^2$, para frutas que poseen un contenido de agua entre el 80 y 90%(piña y guayaba). La velocidad de secado para el banano fue un poco menor siendo de $11\text{gH}_2\text{O}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ y esto se debe seguramente al más bajo contenido de humedad de éste respecto a las otras dos frutas.
- El secado en parrillas muestra siempre una tendencia de velocidad más elevada, puesto que para este proceso al área de la fruta expuesta al aire caliente es mucho mayor que en el secado en bandejas, y por consiguiente la transferencia de masa es mayor.
- En el proceso de secado para la piña se pudo observar que no hubo una variación significativa entre la utilización de bandejas o parrillas. Esto es probablemente debido a la composición interna de la misma. Para corroborar esto, se debe hacer un estudio del comportamiento en la estructura interna de la fruta cuando es sometida a estas mismas condiciones experimentales.
- El sistema empleado para la generación de calor en el prototipo es adecuado para modelos de prueba de laboratorio, pero si quiere escalar el mismo es necesario pensar en otras alternativas de energía puesto que a nivel industrial este secador tendría una eficiencia comercial muy baja debido al alto consumo energético.
- Al realizar un cálculo estadístico para encontrar el número de pruebas necesarias para obtener datos semejantes, se obtuvo un número muy elevado de ensayos. Esto se debe a que las pruebas se realizaron por tanda, y por lo tanto, era muy difícil obtener muestras de la misma forma y tamaño. Además hay que tener también en cuenta que las frutas fueron

cultivadas en diferentes sitios, al no ser sacadas de la misma tierra y al no ser tratadas de la misma manera, las frutas presentan condiciones de maduración, color y humedad distintas, lo cual se refleja en los resultados finales de las pruebas.

- Si se hubiese variado la cantidad de masa por bache o las dimensiones de cada muestra para cada uno de los experimentos, el comportamiento de la curva hubiera seguido siendo el mismo, solo que el tiempo de secado sería mayor.

5. RECOMENDACIONES

- Aunque se tomaron datos de temperatura y humedad a la entrada y la salida de la cámara de secado, es necesario instalar otros dispositivos para medir estas variables en cada uno de los espacios entre las bandejas, para de esta manera estudiar con mayor exactitud el comportamiento del aire dentro del prototipo.
- Para mejorar la precisión de experimentos futuros, las muestras de fruta deben grados brix similares; además la preparación de las muestras debe hacerse en con ayuda de una matriz para que todos sus tamaños sean muy similares.
- El cultivo de las frutas es otro elemento que permitirá tener un mayor control en cuanto a maduración, propiedades físicas y demás aspectos inherentes al producto a secar.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CANO Milton, Ramos Alfonso. Drying curves and water activity evaluation of dried banana, [en línea].

Disponible en:<<<http://www.feq.unicamp.br/~ids2004/volC/pp%202013-2020.pdf>>>

[2] AZHARUL Karim, Hawlader. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation, [en línea]. Disponible en: <<<http://www.sciencedirect.com/bibliobd.upb.edu.co/science/article/pii/S0260877404004315>>>

[3] OLIVEROS Carlos, Ramírez Cesar. Secador solar de túnel para café pergamino, [en línea].

Disponible en:<<<http://www.pqa.com.co/Secadores/Avance%20Tecnico-353-Secador%20Solar%20de%20tunel%20para%20cafe%20pergamino.pdf>>>

[4] OCAMPO Aquiles. Modelo cinético del secado de la pulpa de mango, [en línea] Disponible en:<< <http://revista.eia.edu.co/articulos5/art105.pdf>>>

[5] DURANGO Néstor, Bula Antonio. Construcción de un modelo de secador de yuca, en medio poroso, usando flujo radial de aire caliente, [en línea].Disponible en:<<http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/15/construccion_de_un_modelo_de_secador_de_yuca.pdf>>

[6] GIRALDO Germán, Gómez Andrea. Tratamiento de Conservación del Banano (Gross Michel) por el Método Combinado de Impregnación a Vacío y Secado Con Aire Caliente, [en línea]. Disponible en: <<http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/be6e_N1701.pdf>>

[7] MUÑOZ Deyanira, Cabrera Gerardo. El secado directo e indirecto de piña, [en línea].

Disponible en:<< <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol4/7.pdf> >>

[8] TECANTE, Alberto. Fundamentos de secado, Extracción sólido-líquido y destilación [en línea].Disponible en: <<<http://kardauni08.files.wordpress.com/2009/03/secado.pdf> >> [Consulta: 10 -septiembre -2010].

[9] Secado de solidos [en línea]. Disponible en: <<<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46868.PDF>>>.

[10] CABRERA Vázquez. El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor

sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Junio, A. 2004, [en línea]. Disponible en:<<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo_5.html>>

[11] ORTIZ, Verónica. Análisis y simulación de procesos de secado de cilantro, perejil y epazote bajo condiciones de temperaturas cambiantes, [en línea]. Tesis profesional para obtener el título en licenciatura en ingeniería de alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México 16 de mayo de 2004. Disponible en: <<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/ortiz_d_v/capitulo4.pdf>>

[12] Fundación Celestina Pérez de Almada. Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. 42 p.

[13] NONHEBEL G, H. Moss. El secado de sólidos en la industria química. Editorial Reverté S.A. Barcelona España año 1979. 349 p.

[14] CONTRERAS, Tomas. Secado [en línea]. División de ingeniería química y bioquímica Laboratorio integral III. Disponible en: <<<http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>>>. [Consulta: 5-Abril-2011].

[15] INCROPERA, Frank. Fundamentos de transferencia de calor, 4ta edición. PRENTICE HALL. México ,1999. 912.

[16] Zhengyong Yan, Maria J. Sousa-Gallagher. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana, [en línea]. Disponible en:<<<http://www.sciencedirect.com/bibliobd.upb.edu.co/science/article/pii/S0260877407005304>>>

[17] SANTOS, Jaimes Alfonso. “Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar de caseta”. En: *Puente revista científica*. Vol.1, No 28. Bucaramanga: Universidad pontificia Bolivariana, (Mayo 2009).pág. 10.

[18] HERNANDEZ ARROYO Emil. Manual de estadística. Universidad Cooperativa de Colombia. Colombia año 2006. 192p.

7. ANEXOS

Anexo 1: Tablas de datos de las pruebas realizadas a cada una de las frutas

Nomenclaturas:

P: Piña.

G: Guayaba.

BN: Banano

B: Bandejas.

t: tiempo en minutos.

Xt: Humedad extraída para cada tiempo.(g H₂O/g solido húmedo).

C.S: Cámara de Secado.

Valor Prom: Valores promedios durante todo el proceso de secado.

M.T.P: Masa de Piña total por tanda deshidratada.

M.T.G: Masa de Guayaba total por tanda deshidratada.

M.T.BN: Masa de banano total por tanda deshidratada.

Color Rojo: hora de ingreso de la fruta a la C.S.

Color naranja: hora de finalización de la prueba.

Color Azul: hora de extracción de la fruta de la C.S para toma de datos.

Color Amarillo en celdas:  Falla de la máquina.

Tabla A: Prueba cero para la piña

PRUEBA INICIAL (BANDEJAS) // Fruta: Piña.				
	Masa B (gr)	Masa de B+P (g)	Masa de P (gr) en t=0 min	Masa de P (gr) en t= 420 min
B1	945	1352,8	407,8	128,8
B2	938	1469,1	531,1	137,3
B3	946,2	1325,6	379,4	124,7
B4	939,9	1346	406,1	111,9
Masa Total			1724,4	502,7
Xt (%)			0	70,85

Tablas PR1, PR2, PR3 Y PR4: Pruebas para la piña

PRUEBA # 1 // FRUTA A DESHIDRATAR: PIÑA												
	Masa B (g)	Masa de B+P (g)	Masa de P (gr) para t=0 min	Masa de P (gr) para t= 60 min	Masa de P (gr) para t= 120 min	Masa de P (gr) para t= 180 min	Masa de P (gr) para t= 240 min	Masa de P (gr) para t= 300 min	Masa de P (gr) para t= 300 min	Masa de P (gr) para t= 420 min	Masa de P (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1197	252	163	121	96	75	61	49	43	41	83,73
B2	938	1164	226	154	119	97	80	66	55	48	45	80,09
B3	946,2	1196	249,8	173,8	135,8	109,8	88,8	73,8	57,8	49,8	45,8	81,67
B4	939,9	1191	251,1	154,1	112,1	87,1	69,1	57,1	47,1	43,1	41,1	83,63
M.T.P			978,9	644,9	487,9	389,9	312,9	257,9	208,9	183,9	172,9	
Xt Total Por Tanda(%)				34,12	50,16	60,17	68,04	73,65	78,66	81,21	82,34	

PRUEBA # 2 // FRUTA A DESHIDRATAR: PIÑA													
	Masa B (gr)	Masa de B+P (gr)	Masa de P (gr) para t=0 min	Masa de P (gr) para t= 60 min	Masa de P (gr) para t= 120 min	Masa de P (gr) para t= 180 min	Masa de P (gr) para t= 240 min	Masa de P (gr) para t= 300 min	Masa de P (gr) para t= 360 min	Masa de P (gr) para t= 420 min	Masa de P (gr) para t= 465 min	Masa de P (gr) para t= 510 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1197	252	165	125	95	73	59	46	38	34	32	87,30
B2	938	1194	256	169	128	97	76	62	50	42	38	35	86,33
B3	946,2	1195	248,8	169,8	133,8	103,8	82,8	66,8	55,8	45,8	40,8	36,8	85,21
B4	939,9	1198	258,1	164,1	123,1	95,1	74,1	61,1	50,1	41,1	38,1	34,1	86,79
M.T.P			1014,9	667,9	509,9	390,9	305,9	248,9	201,9	166,9	150,9	137,9	
Xt Total Por Tanda(%)				34,19	49,76	61,48	69,86	75,48	80,11	83,56	85,13	86,41	

PRUEBA # 3 // FRUTA A DESHIDRATAR: PIÑA												
	Masa B (gr)	Masa de B+P (gr)	Masa de P (gr) para t= 0 min	Masa de P (gr) para t= 60 min	Masa de P (gr) para t= 120 min	Masa de P (gr) para t= 180 min	Masa de P (gr) para t= 240 min	Masa de P (gr) para t= 300 min	Masa de P (gr) para t= 360 min	Masa de P (gr) para t= 420 min	Masa de P (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1197	252	170	131	106	87	74	63	55	51	79,76
B2	938	1198	260	179	139	113	94	80	68	60	56	78,46
B3	946,2	1199	252,8	178,8	121,8	114,8	94,8	80,8	59,8	61,8	56,8	77,53
B4	939,9	1197	257,1	169,1	147,1	103,1	84,1	71,1	61,1	55,1	51,1	80,12
M.T.P			1021,9	696,9	538,9	436,9	359,9	305,9	251,9	231,9	214,9	
Xt Total Por Tanda(%)				31,80	47,26	57,25	64,78	70,07	75,35	77,31	78,97	

PRUEBA # 4 // FRUTA A DESHIDRATAR: PIÑA (PARRILLAS)												
	Masa P (gr)	Masa de B+P (gr)	Masa de P (gr) para t= 0 min	Masa de P (gr) para t= 60 min	Masa de P (gr) para t= 120 min	Masa de P (gr) para t= 180 min	Masa de P (gr) para t= 240 min	Masa de P (gr) para t= 300 min	Masa de P (gr) para t= 360 min	Masa de P (gr) para t= 420 min	Masa de P (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	942	1198	256	170	136	108	89	74	63	55	49	80,86
B2	944	1204	260	172	135	108	88	72	61	52	47	81,92
B3	924	1177	253	176	140	114	94	79	67	57	50	80,24
B4	941	1203	262	179	140	112	91	75	64	55	49	81,30
M.T.P			1031	697	551	442	362	300	255	219	195	
Xt Total Por Tanda(%)				32,40	46,56	57,13	64,89	70,90	75,27	78,76	81,09	

Tablas PR5, PR6, PR7 Y PR12: Pruebas para la guayaba

PRUEBA # 5 // FRUTA A DESHIDRATAR: GUAYABA												
	Masa B (gr)	Masa de B+G (gr)	Masa de G (gr) para t= 0 min	Masa de G (gr) para t= 60 min	Masa de G (gr) para t= 120 min	Masa de G (gr) para t= 180 min	Masa de G (gr) para t= 240 min	Masa de G (gr) para t= 300 min	Masa de G (gr) para t= 360 min	Masa de G (gr) para t= 420 min	Masa de G (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1228	283	205	166	138	115	96	84	73	64	77,39
B2	938	1231	293	218	177	148	124	105	90	79	69	76,45
B3	946,2	1231	284,8	220,8	182,8	153,8	132,8	115,8	100,8	88,8	80,8	71,63
B4	939,9	1232	292,1	205,1	163,1	133,1	110,1	91,1	76,1	64,1	50,8	82,61
M.T.G			1152,9	848,9	688,9	572,9	481,9	407,9	350,9	304,9	264,6	
Xt Total Por Tanda(%)				26,37	40,25	50,31	58,20	64,62	69,56	73,55	77,05	

PRUEBA # 6 // FRUTA A DESHIDRATAR: GUAYABA												
	Masa B (gr)	Masa de B+G (gr)	Masa de G (gr) para t= 0 min	Masa de G (gr) para t= 60 min	Masa de G (gr) para t= 120 min	Masa de G (gr) para t= 180 min	Masa de G (gr) para t= 240 min	Masa de G (gr) para t= 300 min	Masa de G (gr) para t= 360 min	Masa de G (gr) para t= 420 min	Masa de G (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1232	287	201	138	100	75	62	55	52	51	82,23
B2	938	1229	291	202	137	95	74	61	52	49	48	83,51
B3	946,2	1231	284,8	205,8	148,8	110,8	83,8	68,8	59,8	54,8	53,8	81,11
B4	939,9	1228	288,1	195,1	129,1	88,1	68,1	57,1	51,1	49,1	49,1	82,96
M.T.G			1150,9	803,9	552,9	393,9	300,9	248,9	217,9	204,9	201,9	
Xt Total Por Tanda(%)				30,15	51,96	65,77	73,86	78,37	81,07	82,20	82,46	

PRUEBA # 7 // FRUTA A DESHIDRATAR: GUAYABA												
	Masa B (gr)	Masa de B+G (gr)	Masa de G (gr) para t= 0 min	Masa de G (gr) para t= 60 min	Masa de G (gr) para t= 120 min	Masa de G (gr) para t= 180 min	Masa de G (gr) para t= 240 min	Masa de G (gr) para t= 300 min	Masa de G (gr) para t= 360 min	Masa de G (gr) para t= 420 min	Masa de G (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1229	284	204	161	129	82	64	53	47	44	84,51
B2	938	1229	291	207	158	123	75	58	48	44	42	85,57
B3	946,2	1233	286,8	210,8	164,8	132,8	80,8	61,8	50,8	44,8	43,8	84,73
B4	939,9	1230	290,1	196,1	143,1	106,1	70,1	58,1	49,1	46,1	44,1	84,80
M.T.G			1151,9	817,9	626,9	490,9	307,9	241,9	200,9	181,9	173,9	
Xt Total Por Tanda(%)				29,00	45,58	57,38	73,27	79,00	82,56	84,21	84,90	

PRUEBA # 12// FRUTA A DESHIDRATAR: GUAYABA												
	Masa B (gr)	Masa de B+G (gr)	Masa de G (gr) para t= 0 min	Masa de G (gr) para t= 60 min	Masa de G (gr) para t= 120 min	Masa de G (gr) para t= 180 min	Masa de G (gr) para t= 240 min	Masa de G (gr) para t= 300 min	Masa de G (gr) para t= 360 min	Masa de G (gr) para t= 420 min	Masa de G (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	942	1233	291	184	135	97	79	63	55	50	48	83,51
B2	944	1233	289	172	137	101	81	66	57	53	51	82,35
B3	924	1233	309	188	155	117	91	73	62	55	53	82,85
B4	941	1235	294	180	148	113	92	75	65	59	56	80,95
M.T.G			1183	724	575	428	343	277	239	217	208	
Xt Total Por Tanda(%)				38,80	51,39	63,82	71,01	76,58	79,80	81,66	82,42	

Tablas PR8, PR9, PR10 Y PR11: Pruebas para el banano

PRUEBA # 8 // FRUTA A DESHIDRATAR: BANANO												
	Masa B (gr)	Masa de B+BN (gr)	Masa de BN (gr) para t= 0 min	Masa de BN (gr) para t= 60 min	Masa de BN (gr) para t= 120 min	Masa de BN (gr) para t= 180 min	Masa de BN (gr) para t= 240 min	Masa de BN (gr) para t= 300 min	Masa de BN (gr) para t= 360 min	Masa de BN (gr) para t= 420 min	Masa de BN (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1140	195	137	116	101	90	80	74	70	67	65,64
B2	938	1141	203	140	118	102	92	81	76	71	67	67,00
B3	946,2	1142	195,8	137,8	116,8	101,8	91,8	80,8	84	70,8	66,8	65,88
B4	939,9	1141	201,1	139,1	117,1	103,1	91,1	82,1	76,1	70,1	68,1	66,14
M.T.BN			794,9	553,9	467,9	407,9	364,9	323,9	310,1	281,9	268,9	
Xt Total Por Tanda(%)				30,32	41,14	48,69	54,09	59,25	60,99	64,54	66,17	

PRUEBA # 9 // FRUTA A DESHIDRATAR: BANANO												
	Masa B (gr)	Masa de B+BN (gr)	Masa de BN (gr) para t= 0 min	Masa de BN (gr) para t= 60 min	Masa de BN (gr) para t= 120 min	Masa de BN (gr) para t= 180 min	Masa de BN (gr) para t= 240 min	Masa de BN (gr) para t= 300 min	Masa de BN (gr) para t= 360 min	Masa de BN (gr) para t= 420 min	Masa de BN (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1140	195	139	116	101	89	80	75	70	66	66,15
B2	938	1139	201	142	118	103	90	81	75	71	67	66,67
B3	946,2	1141	194,8	135,8	113,8	96,8	86,8	76,8	70,8	66,8	64,8	66,74
B4	939,9	1139	199,1	139,1	115,1	100,1	88,1	77,1	73,1	68,1	64,1	67,81
M.T.BN			789,9	555,9	462,9	400,9	353,9	314,9	293,9	275,9	261,9	
Xt Total Por Tanda(%)				29,62	41,40	49,25	55,20	60,13	62,79	65,07	66,84	

PRUEBA # 10 // FRUTA A DESHIDRATAR: BANANO												
	Masa B (gr)	Masa de B+BN (gr)	Masa de BN (gr) para t= 0 min	Masa de BN (gr) para t= 60 min	Masa de BN (gr) para t= 120 min	Masa de BN (gr) para t= 180 min	Masa de BN (gr) para t= 240 min	Masa de BN (gr) para t= 300 min	Masa de BN (gr) para t= 360 min	Masa de BN (gr) para t= 420 min	Masa de BN (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	945	1140	195	138	112	95	81	70	63	60	57	70,77
B2	938	1139	201	147	122	105	91	79	71	67	63	68,66
B3	946,2	1139	192,8	139,8	114,8	97,8	85,8	74,8	66,8	62,8	59,8	68,98
B4	939,9	1141	201,1	143,1	119,1	103,1	91,1	80,1	72,1	66,1	66,1	67,13
M.T.BN			789,9	567,9	467,9	400,9	348,9	303,9	272,9	255,9	245,9	
Xt Total Por Tanda(%)				28,10	40,76	49,25	55,83	61,53	65,45	67,60	68,87	

PRUEBA # 11 // FRUTA A DESHIDRATAR: BANANO (Parrillas)												
	Masa B (gr)	Masa de B+BN (gr)	Masa de BN (gr) para t= 0 min	Masa de BN (gr) para t= 60 min	Masa de BN (gr) para t= 120 min	Masa de BN (gr) para t= 180 min	Masa de BN (gr) para t= 240 min	Masa de BN (gr) para t= 300 min	Masa de BN (gr) para t= 360 min	Masa de BN (gr) para t= 420 min	Masa de BN (gr) para t= 465 min	Xt (%) Total Por Bandeja
B1	942	1149	207	134	94	76	62	59	58	55		73,43
B2	944	1149	205	123	95	78	66	61	59	57		72,20
B3	924	1152	228	139	107	89	75	71	66	65		71,49
B4	941	1148	207	135	107	89	75	69	65	62		70,05
M.T.BN			847	531	403	332	278	260	248	239		
Xt Total Por Tanda(%)				37,31	52,42	60,80	67,18	69,30	70,72	71,78		

ANEXO 2: TABLAS Y GRÁFICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LA MÁQUINA EN CADA UNA DE LAS PRUEBAS

Tabla E: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 0

12/04/2011 PRUEBA #0

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
09:47 a.m.	24,6	77,6	24,7	77,4	-0,2	0,1
10:02 a.m.	25,3	75,2	25,2	75,7	0,5	-0,1
10:27 a.m.	25,7	70,8	25,5	72,2	1,4	-0,2
10:35 a.m.	26,2	68,8	25,8	70,7	1,9	-0,4
10:43 a.m.	39,3	36,1	36,1	39,7	3,6	-3,2
10:50 a.m.	48,3	21,4	43,5	26,3	4,9	-4,8
10:54 a.m.	50,2	19,5	44,8	24,4	4,9	-5,4
10:57 a.m.	60,4	12,3	52,3	16,3	4	-8,1
11:43 a.m.	63,8	7,6	45,2	22,2	14,6	-18,6
03:10 p.m.	62	7,4	51,6	10,9	3,5	-10,4
04:25 p.m.	62,8	10,5	53	15,1	4,6	-9,8
04:43 p.m.	62,7	10,8	53,1	15,5	4,7	-9,6
06:41 p.m.	61,7	11,8	53,3	16,1	4,3	-8,4
06:57 p.m.	62	11,7	53,4	16	4,3	-8,6
Valor Prom	62,50	9,97	51,60	15,97	6,00	-10,90

Tabla F: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 1

13/04/2011 PRUEBA #1

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatur a (°C)
10:43 a.m.	58	12,7	45,1	25,4	12,7	-12,9
11:06 a.m.	62,5	11	49,4	20,6	9,6	-13,1
11:21 a.m.	62,4	11,1	50,7	19,1	8	-11,7
11:41 a.m.	62,3	10,5	51,6	16,9	6,4	-10,7
11:45 a.m.	62,3	10,5	51,7	16,6	6,1	-10,6
11:58 a.m.	61,4	10,8	50,1	17,4	6,6	-11,3
12:15 p.m.	62,3	10,5	52,2	15,8	5,3	-10,1
12:30 p.m.	62,2	10,5	52,4	15,7	5,2	-9,8
12:45 p.m.	61,8	11,2	52,5	16,2	5	-9,3
01:00 p.m.	62	11,1	52,3	16	4,9	-9,7
01:10 p.m.	58,6	12,6	49,3	18,7	6,1	-9,3
01:25 p.m.	58,8	12,6	51,5	16,9	4,3	-7,3
01:40 p.m.	59,2	12,4	51,8	16,8	4,4	-7,4
01:55 p.m.	57,1	13,8	51,2	17,6	3,8	-5,9
02:10 p.m.	56,6	14,2	51,1	17,7	3,5	-5,5
02:20 p.m.	54,6	15,1	47,9	20,4	5,3	-6,7
02:35 p.m.	62,5	10,2	53	14,2	4	-9,5
02:50 p.m.	60,7	10,4	52,5	13,8	3,4	-8,2
03:10 p.m.	61,3	9,8	52,7	13,2	3,4	-8,6
04:20 p.m.	61,2	9,7	52,7	12,8	3,1	-8,5
03:31 p.m.	61,2	9,5	50,6	14,1	4,6	-10,6
03:45 p.m.	63	9	53,6	12,2	3,2	-9,4
04:00 p.m.	61,2	9,4	53,1	12,2	2,8	-8,1
04:15 p.m.	60,8	9,5	57,7	12,3	2,8	-3,1
04:30 p.m.	60,8	9,2	52,7	11,8	2,6	-8,1
04:45 p.m.	60,3	9,2	51,3	12	2,8	-9
05:10 p.m.	63,4	8,1	53,9	10,7	2,6	-9,5
05:20 p.m.	63,3	8	54	10,5	2,5	-9,3
05:50 p.m.	61,4	8,5	53,2	10,5	2	-8,2
06:00 p.m.	59,7	9	52,3	11,1	2,1	-7,4
06:13 p.m.	58,6	9,4	49,8	12,8	3,4	-8,8
06:36 p.m.	60,1	8,5	52,4	10,5	2	-7,7
07:15 p.m.	58,5	10,9	52,2	13,1	2,2	-6,3
07:33 p.m.	58,6	11,8	51,6	14,7	2,9	-7
08:00 p.m.	62,8	10,3	54	13,5	3,2	-8,8
Valor Prom	60,61	10,60	51,83	14,97	4,37	-8,78

GraficaA1: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 1

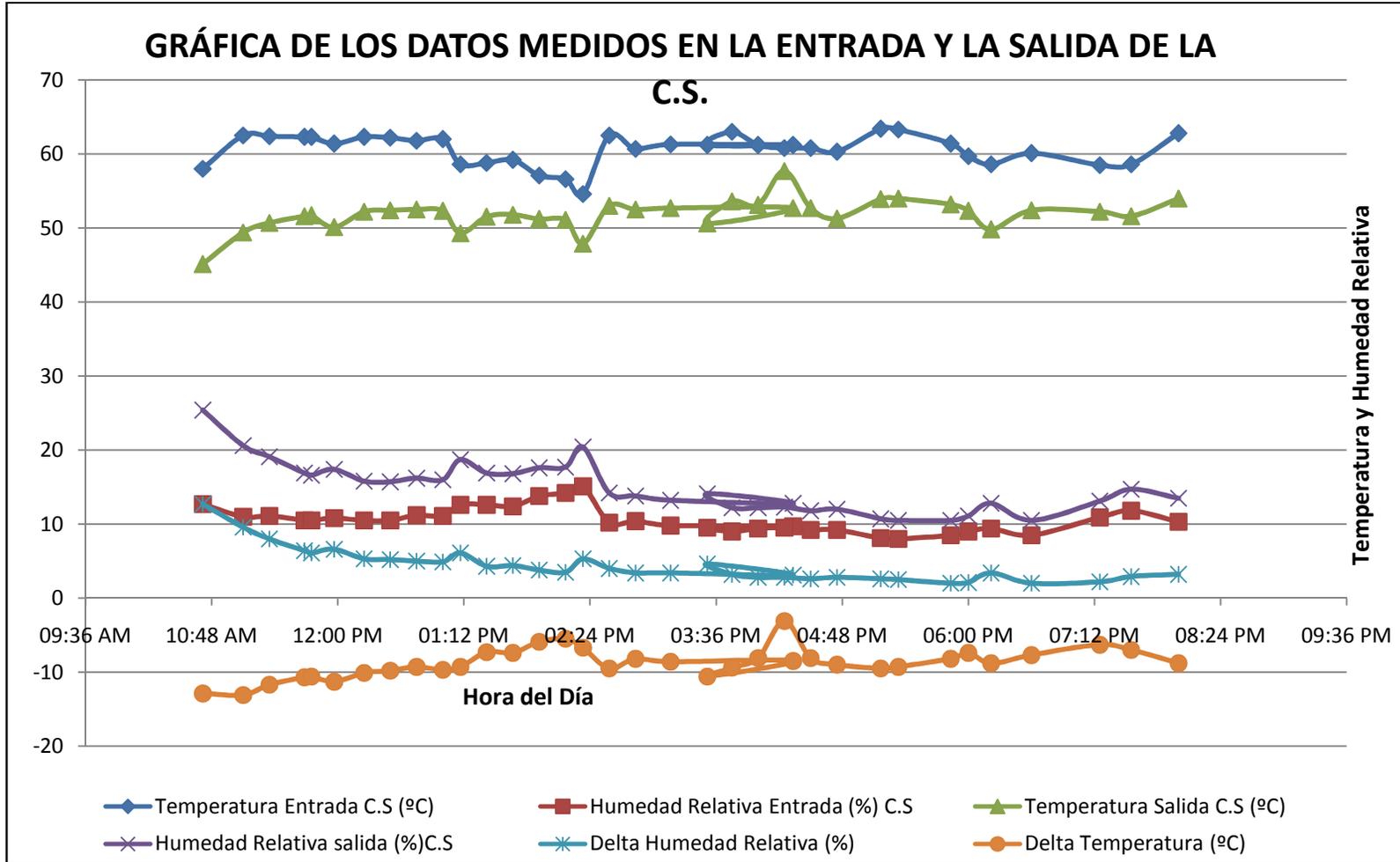


Tabla G: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 2

14/04/2011 PRUEBA #2

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
08:58 a.m.	62,1	11	45,2	26,4	15,4	-16,9
09:15 a.m.	62,7	10,9	49	21,1	10,2	-13,7
09:30 a.m.	62,5	10,9	50,3	19,2	8,3	-12,2
09:52 a.m.	62,6	11,1	51,4	18,2	7,1	-11,2
10:00 a.m.	62,6	11,1	51,3	18,3	7,2	-11,3
10:10 a.m.	58,7	12,8	48,8	20	7,2	-9,9
10:25 a.m.	60,2	12,2	50,8	18,5	6,3	-9,4
10:40 a.m.	60	13,1	50,9	19,4	6,3	-9,1
11:00 a.m.	62,1	10,4	51,9	15,8	5,4	-10,2
11:10 a.m.	62,8	9,7	52,3	14,6	4,9	-10,5
11:20 a.m.	62,1	9,7	50,6	15,4	5,7	-11,5
11:35 a.m.	63,3	8,9	52,6	13,3	4,4	-10,7
11:50 a.m.	63,5	8,8	52,9	13,1	4,3	-10,6
12:05 p.m.	63,5	9	53,1	13	4	-10,4
12:20 p.m.	63,4	9,1	53	13,3	4,2	-10,4
12:30 p.m.	57,8	11,1	48,7	16,1	5	-9,1
01:10 p.m.	60,9	9,7	52	13,4	3,7	-8,9
01:20 p.m.	60,7	9,7	51,9	13,2	3,5	-8,8
01:30 p.m.	60,9	9,6	52,1	13,1	3,5	-8,8
01:40 p.m.	59,6	10,1	50,1	14,4	4,3	-9,5
01:51 p.m.	60,9	9,6	51,9	13,1	3,5	-9
02:05 p.m.	60,6	9,6	52,1	12,8	3,2	-8,5
02:20 p.m.	63,5	8,6	53,3	12	3,4	-10,2
02:35 p.m.	63,4	8,6	53,6	11,7	3,1	-9,8
02:40 p.m.	63,5	8,6	53,6	11,8	3,2	-9,9
02:50 p.m.	62,3	9,2	51,2	13,8	4,6	-11,1
03:00 p.m.	61,1	9,6	52,8	12,4	2,8	-8,3
03:15 p.m.	59,9	9,8	52,4	12,4	2,6	-7,5
03:30 p.m.	59,9	9,9	52,4	12,4	2,5	-7,5
03:40 p.m.	60	9,6	52,4	12,1	2,5	-7,6
03:50 p.m.	60,1	9,8	52,5	12,3	2,5	-7,6
04:00 p.m.	63,6	8,4	53,5	11,4	3	-10,1
04:15 p.m.	63,7	8,3	53,7	11,2	2,9	-10
04:30 p.m.	60	9,5	52,6	11,8	2,3	-7,4
04:45 p.m.	60,2	9,5	52,6	11,7	2,2	-7,6
05:00 p.m.	59,9	9,6	52,5	11,9	2,3	-7,4
05:10 p.m.	59,2	9,9	50,3	13,4	3,5	-8,9
05:25 p.m.	60,1	9,9	52,5	12,3	2,4	-7,6
05:35 p.m.	63,4	8,6	53,6	11,5	2,9	-9,8
05:55 p.m.	59,9	9,4	52,6	11,5	2,1	-7,3
06:42 p.m.	60	9,4	52,5	11	1,6	-7,5
Valor Prom	61,40	9,86	51,79	14,25	4,39	-9,60

GraficaA2: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 2

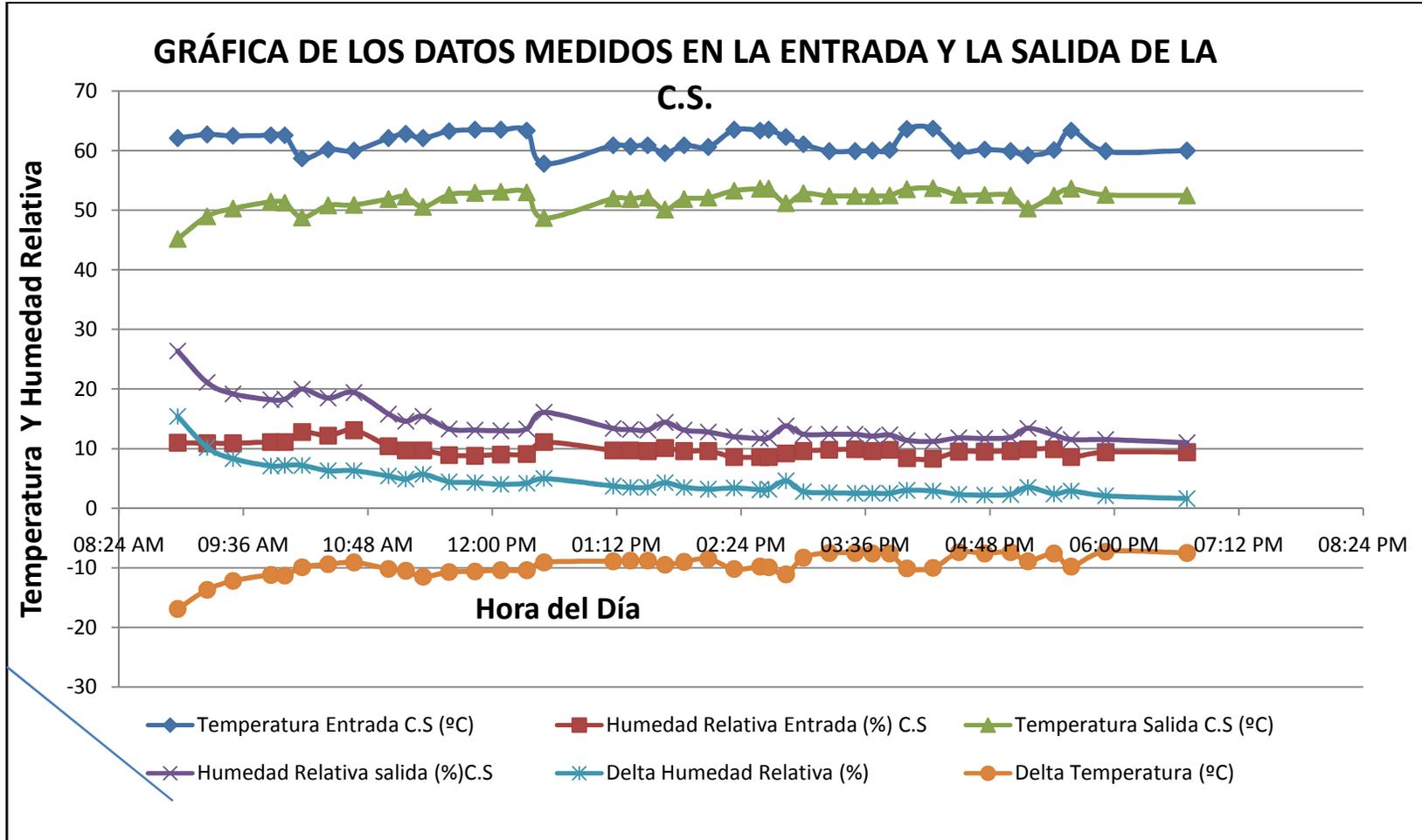


Tabla H: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 3

15/04/2011 PRUEBA #3

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
06:41 a.m.	60,8	11,2	44,2	26,3	15,1	-16,6
07:00 a.m.	63,2	10	49	19,9	9,9	-14,2
07:15 a.m.	60,3	11,3	49,2	19,2	7,9	-11,1
07:30 a.m.	60,4	11,2	50	18	6,8	-10,4
07:41 a.m.	60,4	11,3	50,3	17,7	6,4	-10,1
07:51 a.m.	58,8	12,3	48	20	7,7	-10,8
08:06 a.m.	62,8	10,6	51,9	16,5	5,9	-10,9
08:21 a.m.	69,1	9,5	51,4	14	4,5	-17,7
08:35 a.m.	61	9,7	51,4	14	4,3	-9,6
08:51 a.m.	60,9	9,7	51,2	14,2	4,5	-9,7
09:00 a.m.	60,5	10,1	50,5	15	4,9	-10
09:15 a.m.	60,8	9,7	51,5	13,8	4,1	-9,3
09:30 a.m.	60,9	9,8	51,8	13,7	3,9	-9,1
09:44 a.m.	61	9,5	51,9	13,1	3,6	-9,1
10:00 a.m.	61	9,6	52	13,1	3,5	-9
10:10 a.m.	59,9	10	49,9	14,6	4,6	-10
10:25 a.m.	60,8	10,2	51,9	14	3,8	-8,9
10:40 a.m.	61,1	9,8	52,3	13,2	3,4	-8,8
10:54 a.m.	61,3	9,6	52,4	12,4	2,8	-8,9
11:10 a.m.	61,1	9,7	52,4	12,5	2,8	-8,7
11:20 a.m.	60,5	10	50,7	14,2	4,2	-9,8
11:35 a.m.	61,1	9,6	52,3	12,9	3,3	-8,8
11:50 a.m.	63,5	8,6	53,4	12	3,4	-10,1
12:04 p.m.	63,7	8,6	53,8	11,9	3,3	-9,9
12:20 p.m.	63,7	8,6	53,8	11,7	3,1	-9,9
12:30 p.m.	59,2	10,2	50,2	14	3,8	-9
12:45 p.m.	60,1	9,7	52,2	12,5	2,8	-7,9
01:00 p.m.	60	9,7	52,2	12,3	2,6	-7,8
01:14 p.m.	63,5	8,4	56,3	11,3	2,9	-7,2
01:30 p.m.	63,7	8,2	53,9	11	2,8	-9,8
01:40 p.m.	62,8	8,4	51,6	12,4	4	-11,2
01:55 p.m.	62,9	8,4	53,6	10,9	2,5	-9,3
02:10 p.m.	60	9,5	52,4	11,9	2,4	-7,6
02:40 p.m.	60	9,4	52,4	11,7	2,3	-7,6
02:50 p.m.	58,6	10,1	49,3	13,3	3,2	-9,3
03:10 p.m.	59,9	9,5	52,3	11,8	2,3	-7,6
03:35 p.m.	63,5	8	53,7	10,6	2,6	-9,8
Valor Prom	61,43	9,72	51,55	14,10	4,38	-9,88

GraficaA3: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 3

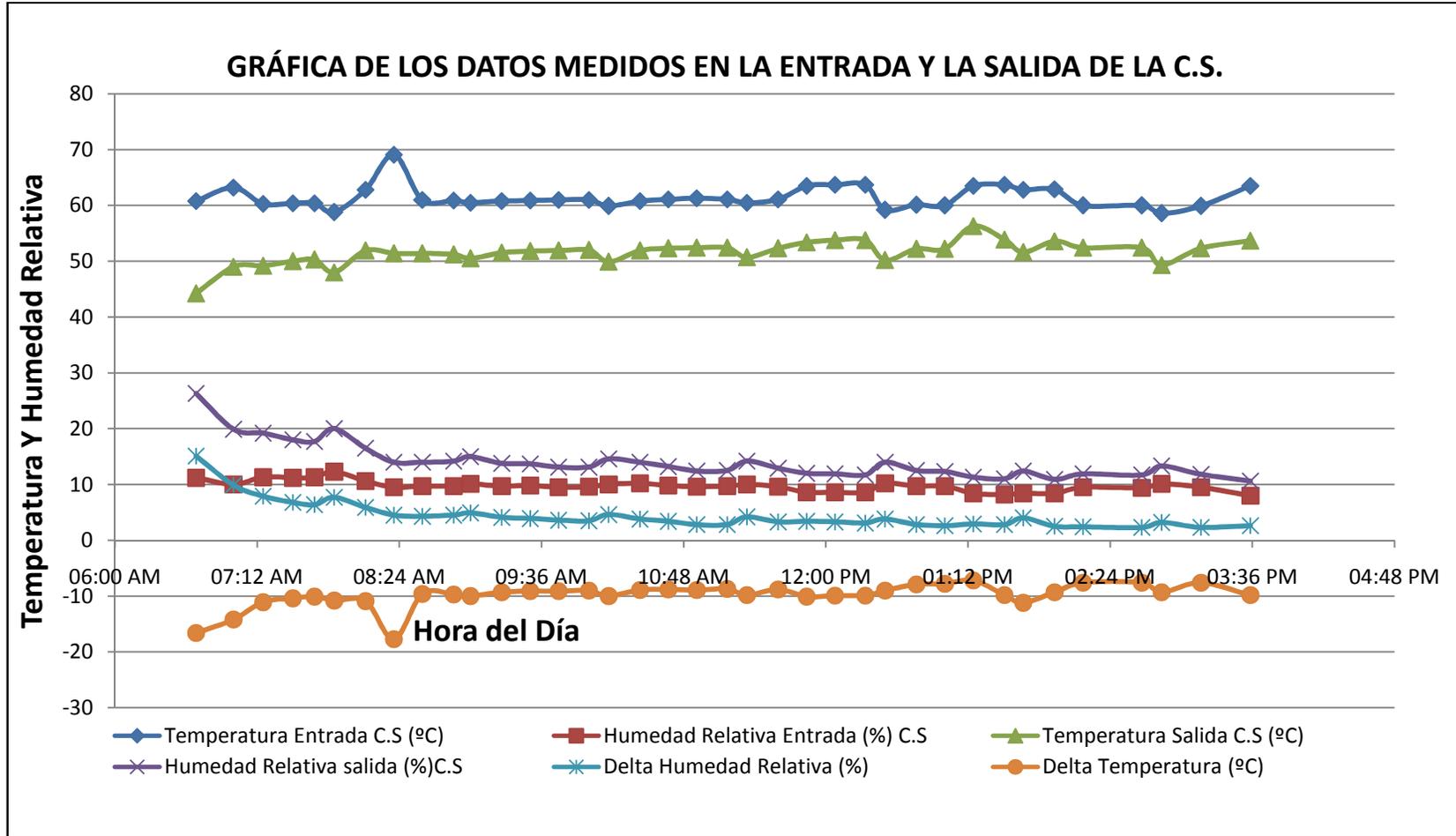


Tabla I: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 4

26/04/2011 PRUEBA #4

hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%) C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
09:24	55	15,2	44,2	27,2	12	10,8
09:39	58,6	13,2	47,4	23,5	10,3	11,2
09:54	58,6	13,2	48,9	21	7,8	9,7
10:15	58,8	12,7	50	18,9	6,2	8,8
10:24	58,7	12,5	50,3	18,1	5,6	8,4
10:31	56,8	14,4	48,7	20,8	6,4	8,1
10:46	58,6	13,4	50,6	19	5,6	8
11:01	58	14,1	50,6	19,5	5,4	7,4
11:16	58,1	14,1	50,8	19,3	5,2	7,3
11:24	58,3	14	51	18,9	4,9	7,3
11:29	55,8	15,4	49,2	20,7	5,3	6,6
11:44	58,2	13,5	51,3	17,7	4,2	6,9
11:59	58	13,5	51,3	17,5	4	6,7
12:14	58,1	13,3	51,5	17,3	4	6,6
12:24	58,3	13,6	51,7	17,4	3,8	6,6
12:30	54,7	16	49	20,4	4,4	5,7
12:54	58,1	13,1	51,6	16,1	3	6,5
13:09	58,8	10,6	51,7	13,5	2,9	7,1
13:24	59	10,3	51,7	13,1	2,8	7,3
13:32	57,2	11,2	49,9	14,5	3,3	7,3
13:47	58,8	10,2	51,6	12,9	2,7	7,2
14:02	58,7	10,6	51,6	13,3	2,7	7,1
14:17	59	9,8	51,7	12,4	2,6	7,3
14:24	58,9	9,9	51,6	12,4	2,5	7,3
14:31	57,4	10,7	50	13,8	3,1	7,4
14:46	59,1	9,7	51,7	12,2	2,5	7,4
15:01	59,3	9,2	51,9	11,4	2,2	7,4
15:16	58,8	10,2	51,7	12,6	2,4	7,1
15:24	59	9,8	51,7	12,3	2,5	7,3
15:32	56	10,7	48,7	13,8	3,1	7,3
15:47	59,3	9,3	51,9	11,4	2,1	7,4
16:02	59,3	9	51,9	11	2	7,4
16:17	59,3	9,1	51,9	11,2	2,1	7,4
16:24	59,4	9,2	52	11,2	2	7,4
16:32	58,3	9,6	50,7	12	2,4	7,6
16:47	59,2	9,5	51,8	11,7	2,2	7,4
17:02	59,3	10,2	52	12,7	2,5	7,3
17:17	58,9	12,9	52	16,3	3,4	6,9
17:24	58,6	13,4	52	16,8	3,4	6,6
Valor Prom	58,26	11,80	50,76	15,79	3,99	7,50

GraficaA4: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 4

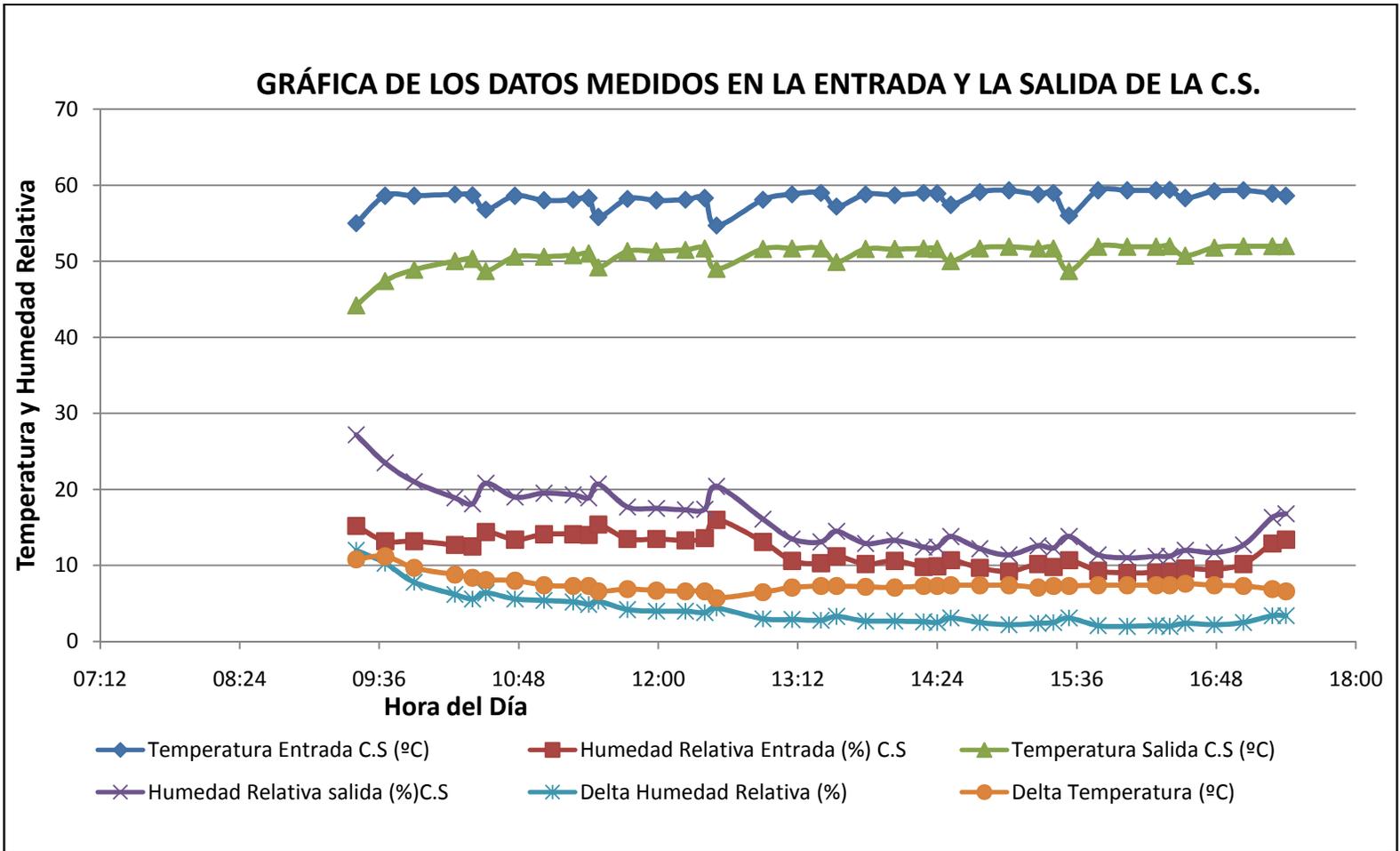


Tabla j: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 5

27/04/2011PRUEBA #5

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
01:45 p.m.	63,5	9	47,8	17,5	8,5	-15,7
02:00 p.m.	63,7	8,8	49,5	17,2	8,4	-14,2
02:15 p.m.	63,8	8,7	50,8	15,4	6,7	-13
02:30 p.m.	61,3	9,8	50,7	15,6	5,8	-10,6
02:45 p.m.	60,6	10,1	50,6	15,5	5,4	-10
02:55 p.m.	58,4	10,6	47,4	17,1	6,5	-11
03:10 p.m.	63	8,9	51,4	14,2	5,3	-11,6
03:25 p.m.	63,7	8,6	52,2	13,3	4,7	-11,5
03:40 p.m.	63,7	8,3	52,4	13,7	5,4	-11,3
03:55 p.m.	60,7	9,4	51,4	13,4	4	-9,3
04:08 p.m.	60,4	9,5	49,9	14,4	4,9	-10,5
04:20 p.m.	60,7	9,4	51,1	13,6	4,2	-9,6
04:35 p.m.	60,8	9,3	51,3	13,4	4,1	-9,5
04:50 p.m.	63,9	8,5	52,6	12,8	4,3	-11,3
05:08 p.m.	63,8	8,5	52,8	12,6	4,1	-11
05:18 p.m.	57	10,7	48	15,3	4,6	-9
05:30 p.m.	60,4	9,2	51,2	12,7	3,5	-9,2
05:45 p.m.	60,8	9,1	51,5	12,6	3,5	-9,3
06:00 p.m.	59,6	10,3	51,5	13,7	3,4	-8,1
06:18 p.m.	60,9	10,7	52	14,9	4,2	-8,9
06:30 p.m.	57,1	12,9	48,5	18,3	5,4	-8,6
06:40 p.m.	62,3	10,9	52,4	15,8	4,9	-9,9
06:55 p.m.	62,1	11,1	52,9	15,5	4,4	-9,2
07:10 p.m.	62,4	11,1	53,1	15,7	4,6	-9,3
07:30 p.m.	59	13,1	51,9	17,2	4,1	-7,1
07:40 p.m.	57	14,3	48,5	20,3	6	-8,5
07:55 p.m.	59,7	13,1	51,8	17,5	4,4	-7,9
08:10 p.m.	59,9	12,8	52	17,1	4,3	-7,9
08:25 p.m.	61,1	11,8	52,3	16	4,2	-8,8
08:40 p.m.	62,5	11,1	53,2	15,5	4,4	-9,3
08:50 p.m.	59,3	12,6	49,1	19	6,4	-10,2
09:05 p.m.	60,6	12,2	52,4	16,3	4,1	-8,2
09:20 p.m.	60,3	12,3	52,3	16,3	4	-8
09:35 p.m.	60,4	12,1	52,4	16	3,9	-8
09:50 p.m.	60,3	12,1	52,4	15,5	3,4	-7,9
10:00 p.m.	62,2	11	52,2	15,8	4,8	-10
10:15 p.m.	61,6	11,4	53,3	15	3,6	-8,3
10:30 p.m.	59,7	12,3	52,4	15,6	3,3	-7,3
10:45 p.m.	59,6	12,2	52,4	15,5	3,3	-7,2
Valor Prom	60,97	10,71	51,32	15,46	4,74	-9,65

GraficaA5: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 5

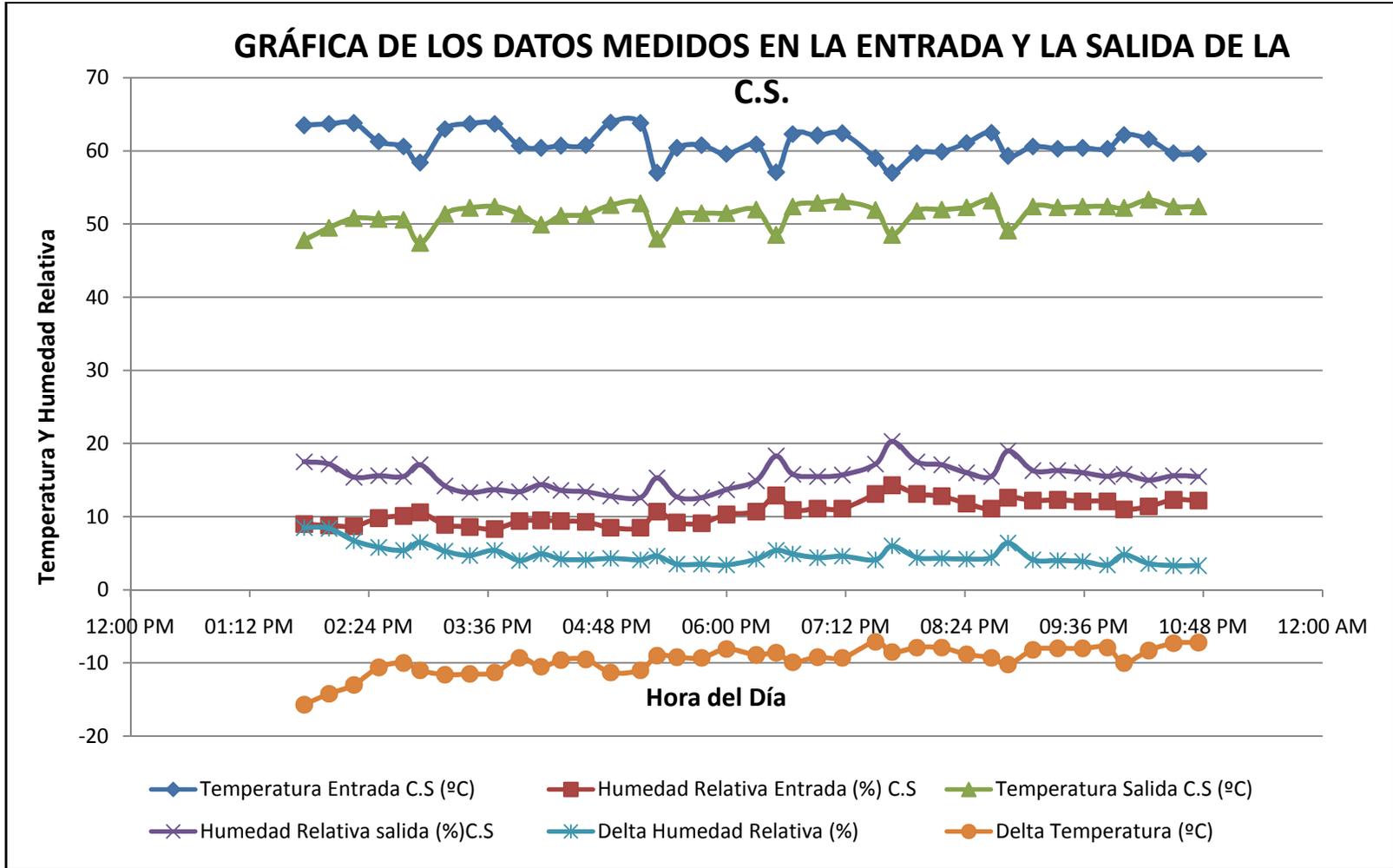


Tabla K: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 6

28/04/2011 PRUEBA #6

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
10:00 a.m.	59,7	10,7	46,2	21,7	11	-13,5
10:20 a.m.	60,6	10	48,5	18,2	8,2	-12,1
10:41 a.m.	59,6	10,1	49,4	16,3	6,2	-10,2
10:55 a.m.	59,7	10,2	50,1	15,6	5,4	-9,6
11:00 a.m.	59,7	9,8	50,1	14,8	5	-9,6
11:10 a.m.	59,6	9,7	50,3	14,6	4,9	-9,3
11:20 a.m.	59,8	9,6	50,6	14,2	4,6	-9,2
11:40 a.m.	60	9,7	51	14	4,3	-9
12:00 p.m.	59,8	9,6	50,6	14,2	4,6	-9,2
12:10 p.m.	60	9,7	51	14	4,3	-9
03:40 p.m.	61,7	9,7	49,7	16,2	6,5	-12
03:55 p.m.	62,2	9	52	13,6	4,6	-10,2
04:10 p.m.	60,1	9,7	51,7	13,5	3,8	-8,4
04:25 p.m.	59,8	9,8	51,6	13,4	3,6	-8,2
04:40 p.m.	59,7	10,4	51,7	14	3,6	-8
04:55 p.m.	59	11,1	50,4	15,1	4	-8,6
05:10 p.m.	59,5	11,3	51,2	15,7	4,4	-8,3
05:25 p.m.	59,3	11,7	51,4	15,9	4,2	-7,9
05:40 p.m.	59,4	12	51,7	16,1	4,1	-7,7
05:55 p.m.	59,4	12,2	51,8	16,2	4	-7,6
06:05 p.m.	59	11,1	50,4	15,1	4	-8,6
06:20 p.m.	59,4	12,7	51,5	17,3	4,6	-7,9
06:35 p.m.	59,7	12,6	52	16,8	4,2	-7,7
06:45 p.m.	59,7	12,7	52,1	16,8	4,1	-7,6
07:05 p.m.	59,7	12,6	52	16,8	4,2	-7,7
07:20 p.m.	58,7	13,2	50,4	18,2	5	-8,3
07:40 p.m.	59,7	12,8	52,1	16,8	4	-7,6
07:55 p.m.	59,9	12,8	52,2	16,7	3,9	-7,7
08:20 p.m.	60,1	12,6	52,4	16,3	3,7	-7,7
08:30 p.m.	56,7	14,6	48,5	20,1	5,5	-8,2
08:45 p.m.	59,9	12,8	52,3	16,6	3,8	-7,6
09:00 p.m.	60,2	12,6	52,6	16,3	3,7	-7,6
09:15 p.m.	60,1	12,6	52,6	16,2	3,6	-7,5
09:30 p.m.	60,3	12,4	52,7	15,9	3,5	-7,6
09:40 p.m.	60	12	52	15	3	-8
09:55 p.m.	60,3	12,2	52,6	15,8	3,6	-7,7
10:10 p.m.	60,3	12,2	52,8	15,5	3,3	-7,5
Valor Prom	59,79	11,36	51,14	15,93	4,57	-8,65

GraficaA6: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 6

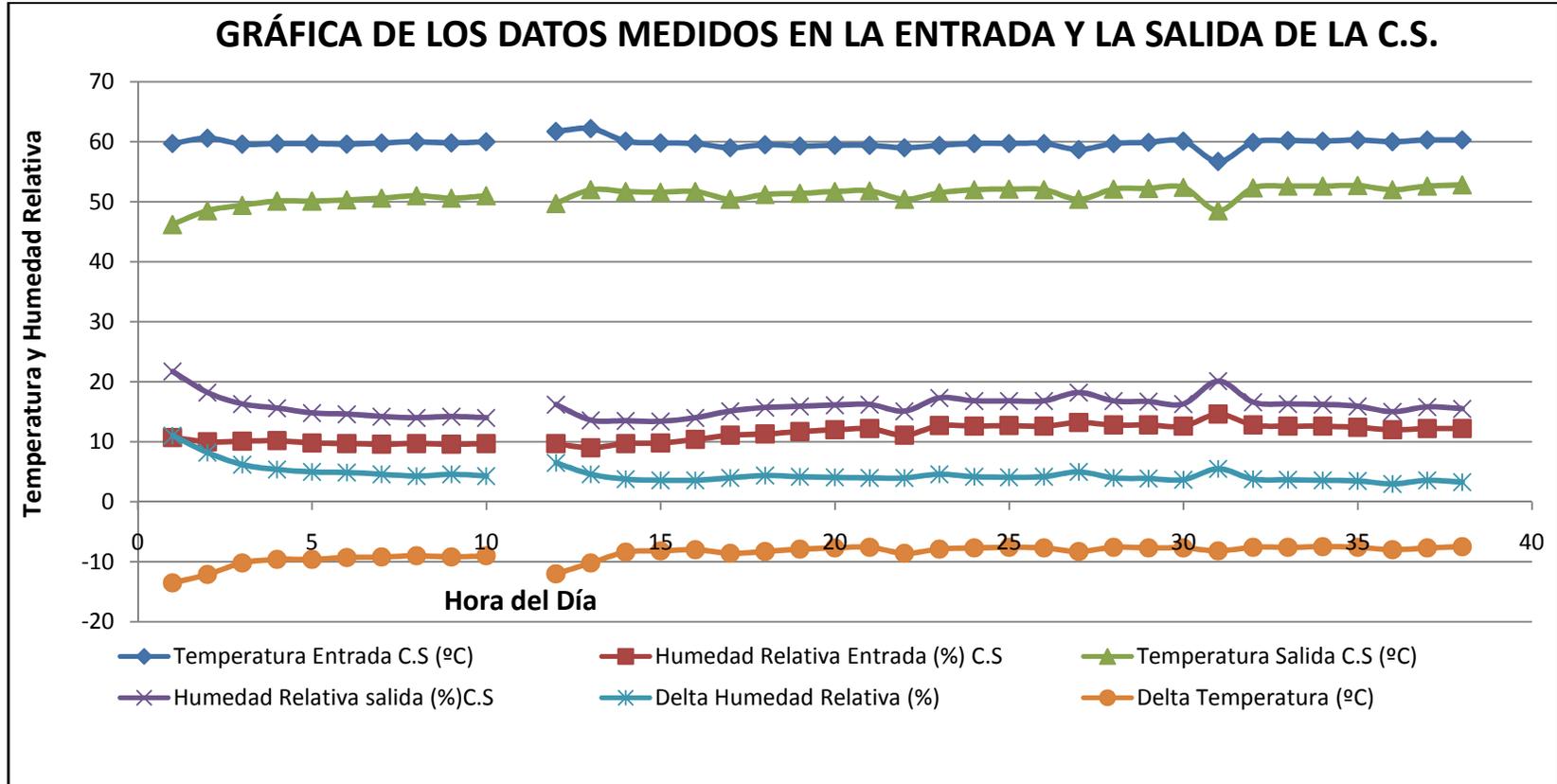


Tabla L: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 7

29/04/2011 PRUEBA #7

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
10:35 a.m.	61,8	11,5	47,8	23	11,5	-14
10:50 a.m.	61,8	11,7	49,5	21	9,3	-12,3
11:05 a.m.	61,7	11,9	50,5	19,9	8	-11,2
11:20 a.m.	61,5	11,7	50,8	18,8	7,1	-10,7
11:35 a.m.	61,6	12	51,3	18,6	6,6	-10,3
11:45 a.m.	60,1	13,1	49,5	20,2	7,1	-10,6
12:00 p.m.	61,5	12,4	51,8	18,5	6,1	-9,7
12:15 p.m.	61,5	12,4	52	18,4	6	-9,5
12:30 p.m.	61,3	12,4	52	17,9	5,5	-9,3
12:45 p.m.	61,4	12,8	52,1	18,4	5,6	-9,3
12:55 p.m.	58	14,4	49,1	21,2	6,8	-8,9
01:10 p.m.	58,7	13,7	51,2	18,6	4,9	-7,5
01:25 p.m.	58,3	14	52,1	18,4	4,4	-6,2
01:40 p.m.	58,5	14,4	51,5	19	4,6	-7
01:55 p.m.	58,3	14,5	51,4	19	4,5	-6,9
02:20 p.m.	59,7	9,3	50,2	13,7	4,4	-9,5
02:35 p.m.	60,1	9,7	51	13,9	4,2	-9,1
02:50 p.m.	60,2	9,8	51,3	13,6	3,8	-8,9
03:05 p.m.	60,2	10,1	51,7	13,7	3,6	-8,5
03:20 p.m.	60,2	9,7	51,9	13	3,3	-8,3
03:35 p.m.	60,2	10,1	51,7	13,5	3,4	-8,5
03:50 p.m.	60,3	10,1	51,9	13,4	3,3	-8,4
04:05 p.m.	60,3	9,9	52,2	12,8	2,9	-8,1
04:20 p.m.	60,5	9,4	52,2	12,2	2,8	-8,3
04:35 p.m.	60,6	9,3	52,5	11,8	2,5	-8,1
04:50 p.m.	60,2	10	51,8	13,3	3,3	-8,4
05:05 p.m.	63,1	9	53,5	12	3	-9,6
05:20 p.m.	63,5	8,9	53,8	11,8	2,9	-9,7
05:35 p.m.	63,2	9,4	54,1	12,1	2,7	-9,1
05:50 p.m.	62,2	10,5	53,9	13,5	3	-8,3
06:00 p.m.	59,2	12,5	52,4	15,4	2,9	-6,8
06:25 p.m.	59,2	12,7	52,7	15,5	2,8	-6,5
06:40 p.m.	59,2	13	52,7	15,9	2,9	-6,5
07:00 p.m.	59,3	13,1	52,7	16,1	3	-6,6
07:15 p.m.	59,3	13,3	52,6	16,4	3,1	-6,7
07:30 p.m.	59,3	13,4	52,7	16,4	3	-6,6
07:45 p.m.	59,5	13,1	52,8	16,3	3,2	-6,7
08:00 p.m.						
Valor Prom	60,42	11,60	51,75	16,14	4,54	-8,66

GraficaA7: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 7

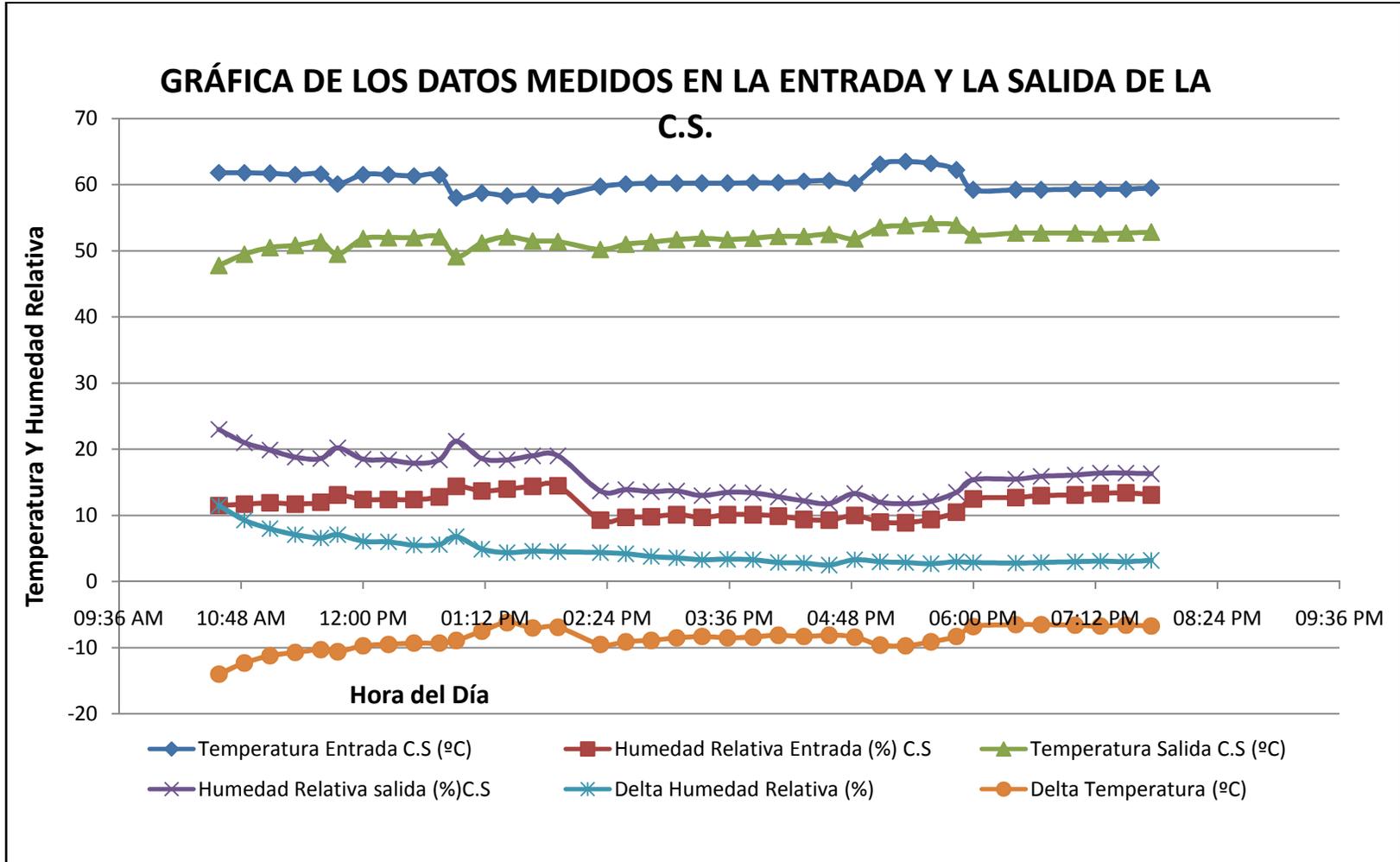


Tabla M: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 8

30/04/2011 PRUEBA #8

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
09:25 a.m.	63	10,8	49,5	19,9	9,1	-13,5
09:40 a.m.	62,9	10,8	51,5	17,4	6,6	-11,4
09:55 a.m.	62,9	11,1	52	17,1	6	-10,9
10:10 a.m.	62,9	11,4	52,4	17,2	5,8	-10,5
10:25 a.m.	62,9	11,3	52,7	16,8	5,5	-10,2
10:40 a.m.	61,4	11,8	49,6	19	7,2	-11,8
10:55 a.m.	62,7	11,1	52,8	15,9	4,8	-9,9
11:10 a.m.	62,8	11,1	53,1	15,6	4,5	-9,7
11:25 a.m.	62,6	11,1	53,1	15,6	4,5	-9,5
11:40 a.m.	62,4	11,9	53,2	16	4,1	-9,2
11:55 a.m.	62,4	11,7	53	16,4	4,7	-9,4
12:10 p.m.	62,5	11,4	53,2	15,8	4,4	-9,3
12:25 p.m.	62,1	10,8	53,3	14,5	3,7	-8,8
12:40 p.m.	62,6	11,1	53,3	15,1	4	-9,3
12:55 p.m.	62,9	9,6	53,4	13	3,4	-9,5
01:10 p.m.	63,3	8,4	53,3	11,1	2,7	-10
01:25 p.m.	63,4	8,2	53,5	10,9	2,7	-9,9
01:40 p.m.	63,5	7,8	53,6	10,4	2,6	-9,9
01:55 p.m.	60,3	8	52,5	9,7	1,7	-7,8
02:10 p.m.	60,3	7,9	52,4	9,4	1,5	-7,9
02:20 p.m.	58	8,6	48,6	11,4	2,8	-9,4
03:15 p.m.	61,4	6,4	52,8	7,4	1	-8,6
03:20 p.m.	61,4	6,4	52,8	7,4	1	-8,6
03:30 p.m.	61,3	7,3	52	9,2	1,9	-9,3
03:45 p.m.	61,3	7,7	52,7	9,5	1,8	-8,6
04:00 p.m.	63,7	7,2	53,6	9,2	2	-10,1
04:15 p.m.	64,2	7	53,9	9	2	-10,3
04:30 p.m.	64,3	7	54	8,8	1,8	-10,3
04:40 p.m.	63,9	6,9	52,6	9,4	2,5	-11,3
04:55 p.m.	64,2	7	53,8	8,9	1,9	-10,4
05:10 p.m.	64,3	6,9	53,8	8,7	1,8	-10,5
05:25 p.m.	61,8	9,7	53,4	12,1	2,4	-8,4
05:40 p.m.	60,3	11,1	52,9	13,1	2	-7,4
05:50 p.m.	58,2	12,6	49,3	17,3	4,7	-8,9
06:05 p.m.	59,6	12,5	52,8	15,2	2,7	-6,8
06:30 p.m.	61,4	11,6	53,3	14,5	2,9	-8,1
06:45 p.m.	62,5	11,1	53,9	14,5	3,4	-8,6
Valor Prom	62,21	9,58	52,64	13,04	3,46	-9,57

GraficaA8: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 8

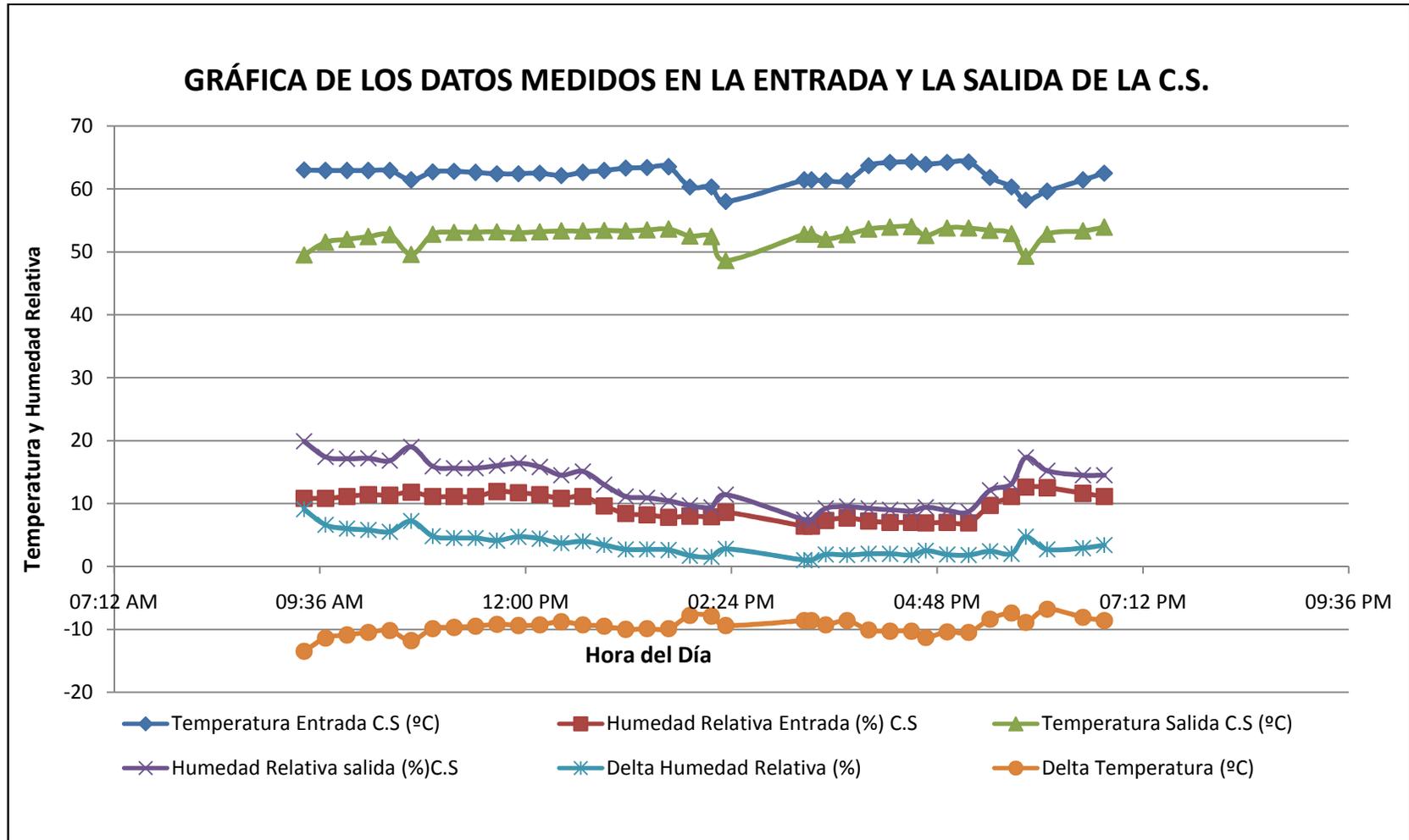


Tabla N: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 9

02/05/2011 PRUEBA #9

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
09:00 a.m.	63,1	9,8	46,8	21,5	11,7	-16,3
09:15 a.m.	63,3	9,4	50,1	16,8	7,4	-13,2
09:30 a.m.	63,3	8,9	51,4	14,3	5,4	-11,9
09:45 a.m.	63,3	9	52,1	13,7	4,7	-11,2
10:00 a.m.	63,5	8,7	52,3	13,1	4,4	-11,2
10:10 a.m.	63,3	9,1	52,3	13,6	4,5	-11
10:25 a.m.	63,2	9,1	52,5	13,2	4,1	-10,7
10:40 a.m.	63,4	9	52,9	12,8	3,8	-10,5
10:55 a.m.	63,5	8,8	53,1	12,4	3,6	-10,4
11:10 a.m.	63,6	8,9	53,2	12,4	3,5	-10,4
11:25 a.m.	63,3	9	52	13,2	4,2	-11,3
11:40 a.m.	63,5	8,9	53,2	12,4	3,5	-10,3
11:55 a.m.	63,4	9	53,3	12,3	3,3	-10,1
12:10 p.m.	63,6	8,9	53,5	12	3,1	-10,1
12:25 p.m.	63,3	9,1	53,4	12,2	3,1	-9,9
12:35 p.m.	62,1	9,4	50,7	14,1	4,7	-11,4
12:50 p.m.	61,3	9,8	52,6	12,8	3	-8,7
01:35 p.m.	61,4	9,7	52,8	12,5	2,8	-8,6
01:50 p.m.	61,4	9,7	52,6	12,6	2,9	-8,8
02:05 p.m.	63,1	8,9	53,4	11,8	2,9	-9,7
02:20 p.m.	63,6	8,8	53,7	11,7	2,9	-9,9
02:35 p.m.	63,6	8,7	53,7	11,5	2,8	-9,9
02:50 p.m.	61	9,9	53	12,5	2,6	-8
03:05 p.m.	61	8,9	51,5	11,8	2,9	-9,5
03:20 p.m.	61,3	10	53	12,7	2,7	-8,3
03:35 p.m.	61	10	52,9	13,3	3,3	-8,1
03:50 p.m.	60,8	10,9	53	13,8	2,9	-7,8
04:05 p.m.	60,8	11,2	53	14	2,8	-7,8
04:15 p.m.	60,7	11,2	52,5	14,4	3,2	-8,2
04:30 p.m.	60,9	11,1	52,9	14	2,9	-8
04:45 p.m.	60,9	11	53	13,8	2,8	-7,9
05:00 p.m.	60,9	10,9	53,1	13,6	2,7	-7,8
05:15 p.m.	60,9	10,8	53,1	13,6	2,8	-7,8
05:30 p.m.	60,9	10,8	52,8	13,7	2,9	-8,1
05:45 p.m.	60,8	10,7	52,9	13,5	2,8	-7,9
06:00 p.m.	63,3	9,6	53,7	12,6	3	-9,6
06:15 p.m.	63,6	9,3	54	12,2	2,9	-9,6
Valor Prom	62,32	9,65	52,59	13,31	3,66	-9,73

GraficaA9: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 9

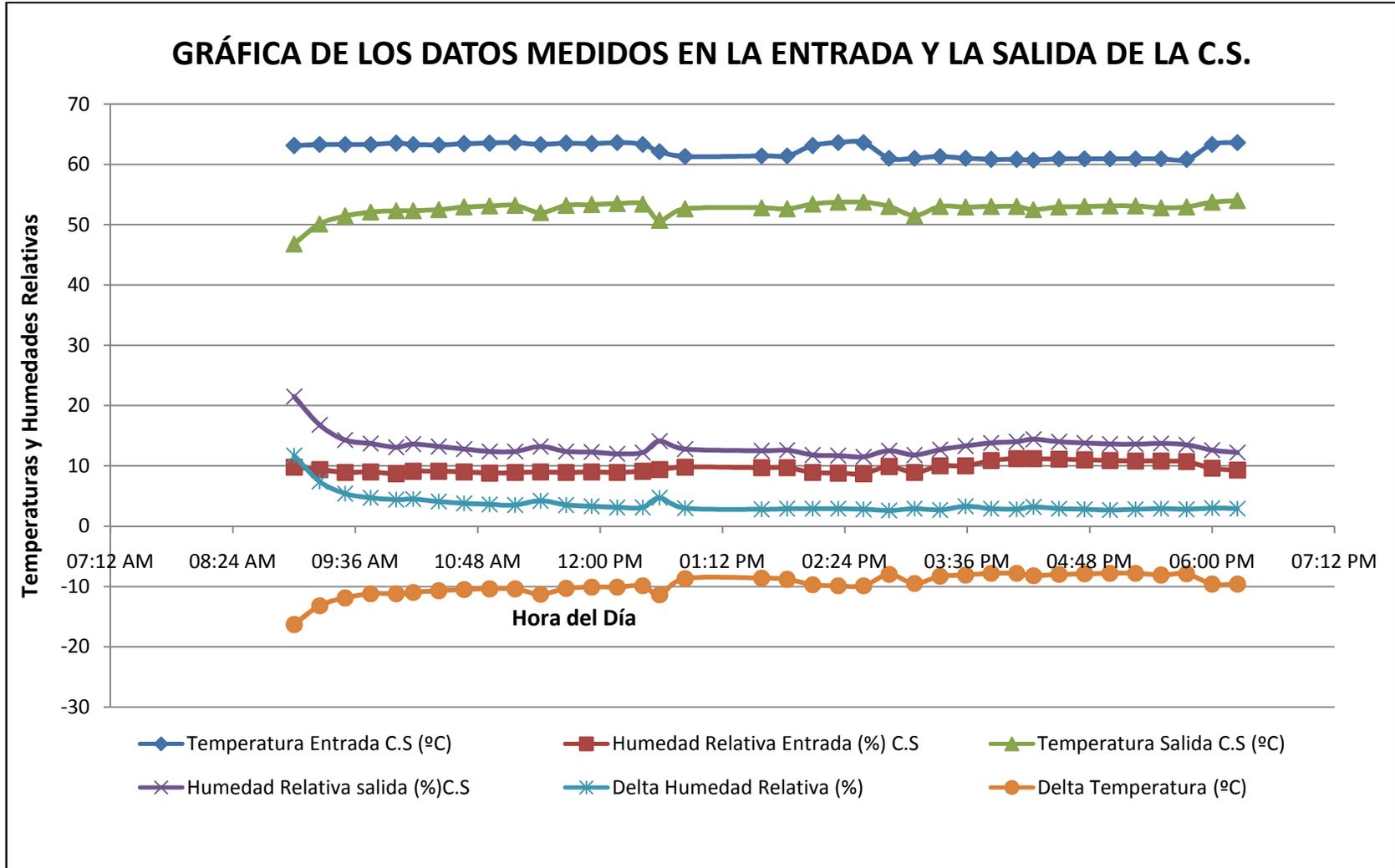


Tabla O: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 10

03/05/2011 PRUEBA #10

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO						
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S	Temperatura Salida C.S (°C)	Humedad Relativa salida (%)C.S	Delta Humedad Relativa (%)	Delta Temperatura (°C)
07:15 a.m.	63	10,8	46,5	24	13,2	-16,5
07:30 a.m.	63,5	11	51,5	17,9	6,9	-12
07:45 a.m.	63,5	11	51,7	17,7	6,7	-11,8
08:00 a.m.	61,2	11,8	51,7	17	5,2	-9,5
08:15 a.m.	60,3	12,3	51,6	17,4	5,1	-8,7
08:30 a.m.	60,3	12,6	50,8	18,3	5,7	-9,5
08:45 a.m.	60,4	11,5	51,6	15,9	4,4	-8,8
09:00 a.m.	61,3	10,4	52,2	14,2	3,8	-9,1
09:15 a.m.	61	10,4	52,1	14	3,6	-8,9
09:30 a.m.	60,7	10,7	52,1	14,3	3,6	-8,6
09:45 a.m.	60,9	10,9	52,2	14,6	3,7	-8,7
10:00 a.m.	60,6	11,5	52,3	15,4	3,9	-8,3
10:15 a.m.	60,6	12	52,4	15,9	3,9	-8,2
10:30 a.m.	60,8	11,7	52,6	15,4	3,7	-8,2
10:45 a.m.	60,6	11,6	52,5	15,7	4,1	-8,1
11:00 a.m.	60,3	12	52,1	15,8	3,8	-8,2
11:15 a.m.	60,4	12,2	52,4	16	3,8	-8
11:30 a.m.	62,6	10,9	53,1	15	4,1	-9,5
11:45 a.m.	63,1	10,3	53,5	13,5	3,2	-9,6
12:00 p.m.	63,4	9,9	53,6	13,4	3,5	-9,8
12:15 p.m.	63,1	10,3	53,5	13,5	3,2	-9,6
12:30 p.m.	63,4	9,3	53,4	12,6	3,3	-10
12:45 p.m.	63,6	9,1	53,6	12,4	3,3	-10
01:00 p.m.	63,6	9,1	53,6	12,2	3,1	-10
01:15 p.m.	63,5	9,5	53,6	12,6	3,1	-9,9
01:45 p.m.	63,4	9,6	52,4	13,6	4	-11
02:00 p.m.	63,6	9,6	53,6	12,9	3,3	-10
02:15 p.m.	63,6	9,1	53,8	12,1	3	-9,8
02:30 p.m.	61,1	10	53,2	12,4	2,4	-7,9
02:45 p.m.	60,6	10,1	53	12,4	2,3	-7,6
03:00 p.m.	60,6	10,3	52,1	13,3	3	-8,5
03:15 p.m.	63,5	9,1	53,6	12,2	3,1	-9,9
03:30 p.m.	63,7	9,2	53,9	12,1	2,9	-9,8
03:45 p.m.	59,4	11	51,1	14,2	3,2	-8,3
04:00 p.m.	63,7	9,5	52	12,7	3,2	-11,7
04:10 p.m.	62,9	10,1	51	13	2,9	-11,9
04:25 p.m.	63,7	9,7	52,3	12,8	3,1	-11,4
04:40 p.m.	63,6	9,6	53,7	12,6	3	-9,9
04:55 p.m.	63,6	9,6	53,7	12,6	3	-9,9
Valor Prom	62,12	10,49	52,45	14,45	3,96	-9,67

GraficaA10: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 10

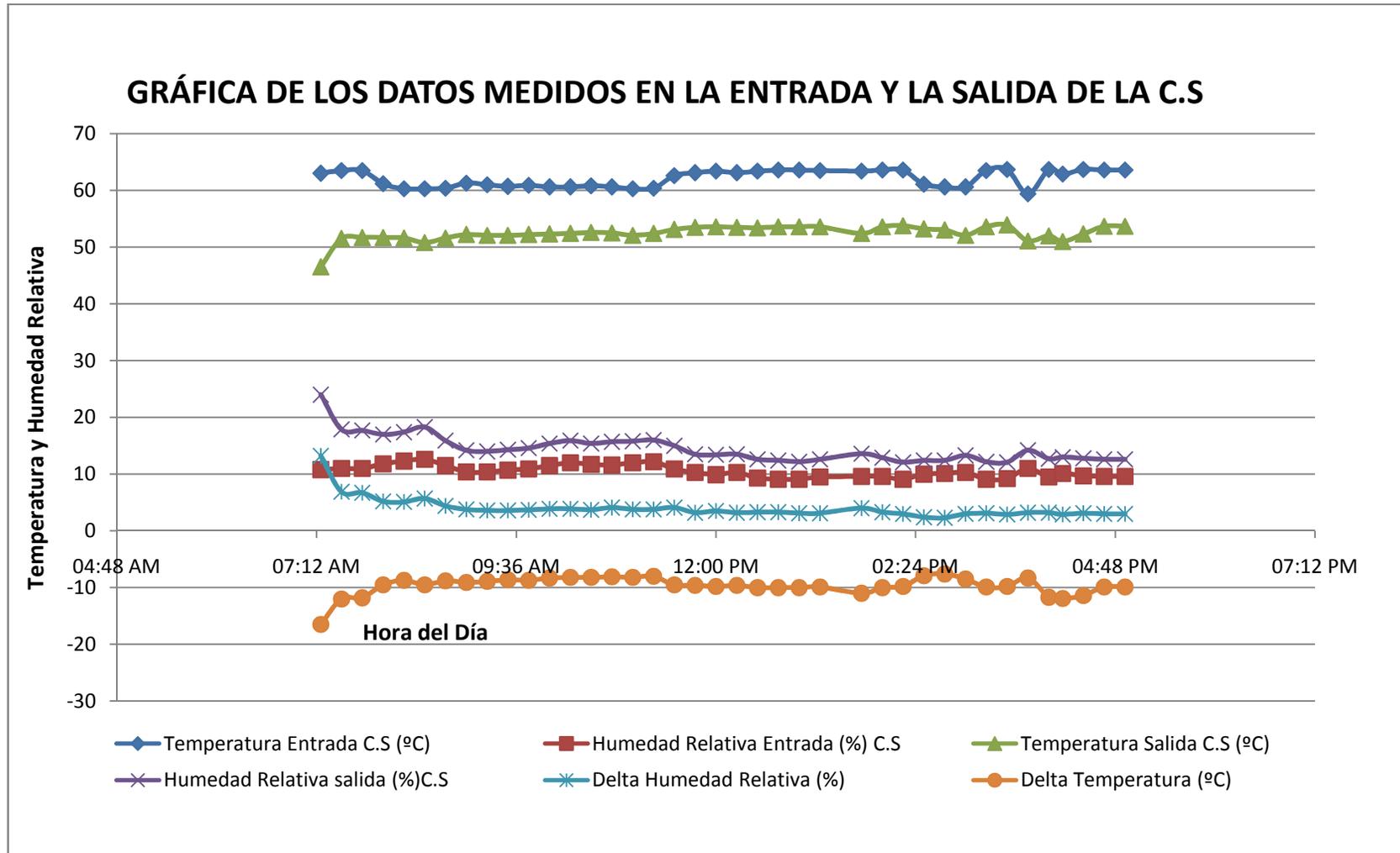


Tabla P: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 11

04/05/2011 PRUEBA #11

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES		
RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO		
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S
08:30 a.m.	58,8	13,4
08:45 a.m.	59,2	13,5
09:00 a.m.	59,3	13,1
09:15 a.m.	59,1	12,8
09:45 a.m.	59,3	13,1
09:55 a.m.	58,9	12,6
10:10 a.m.	56,4	13,7
10:25 a.m.	56,4	13,6
10:40 a.m.	56,4	13,6
10:55 a.m.	56,3	14,1
11:10 a.m.	58,7	12,9
11:20 a.m.	58,7	12,9
11:35 a.m.	58,8	13,3
11:55 a.m.	58,6	13,2
12:10 p.m.	58,6	13,4
12:25 p.m.	56,3	14,5
01:15 p.m.	59	12,2
01:25 p.m.	58,8	12,4
01:45 p.m.	55,7	14,4
02:05 p.m.	56,6	13,9
02:20 p.m.	57,7	13,2
02:35 p.m.	57,9	13
02:45 p.m.	57,8	13
03:05 p.m.	57,6	13,5
03:20 p.m.	57,8	13,4
03:35 p.m.	57,7	13,3
03:50 p.m.	58,4	13
04:05 p.m.	58,8	12,8
04:20 p.m.	58,4	12,9
04:25 p.m.	58,4	13
04:45 p.m.	58,1	12,8
05:05 p.m.	58	12,9
05:20 p.m.	57,8	14,7
Valor Prom		

GraficaA11: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 11

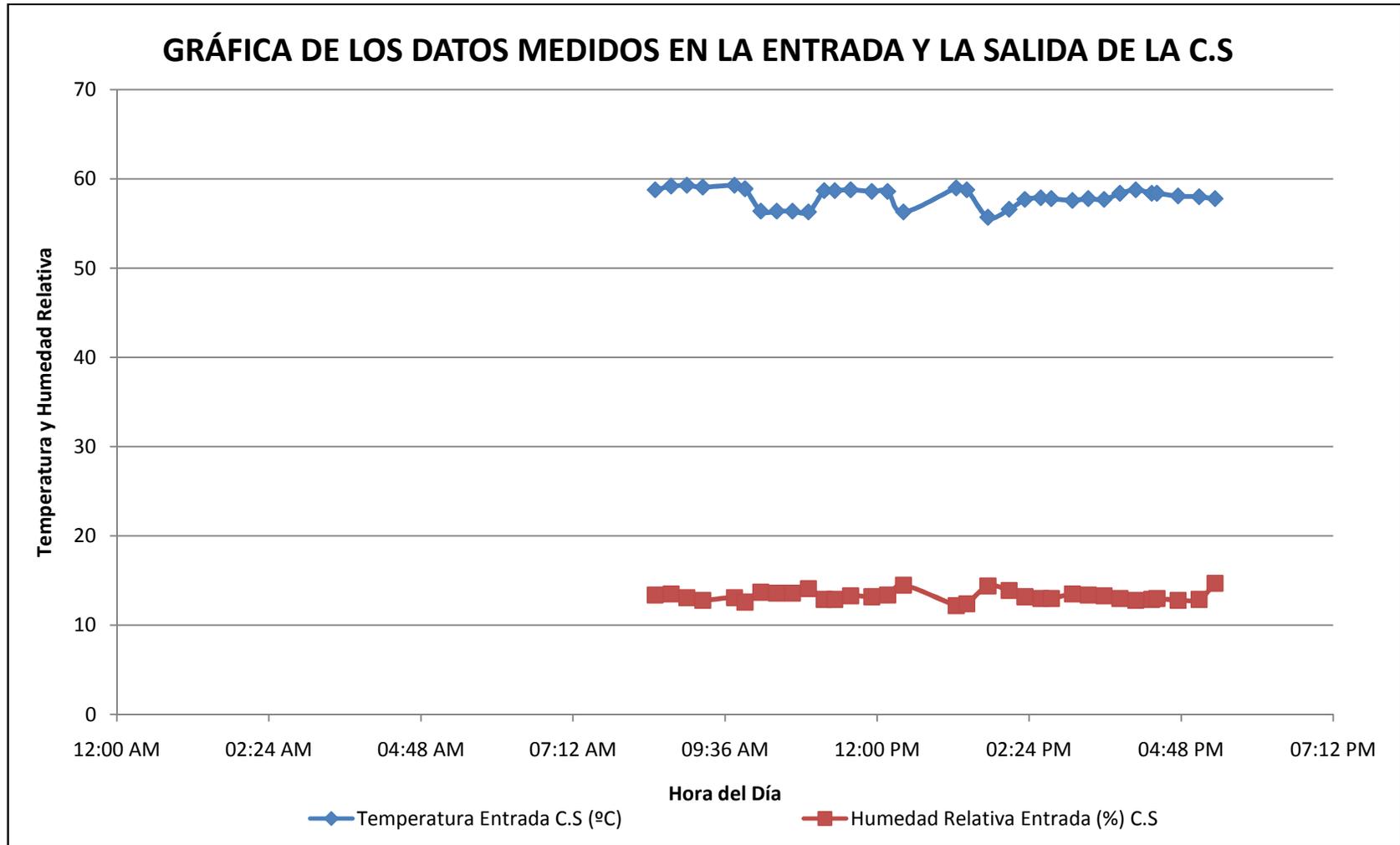
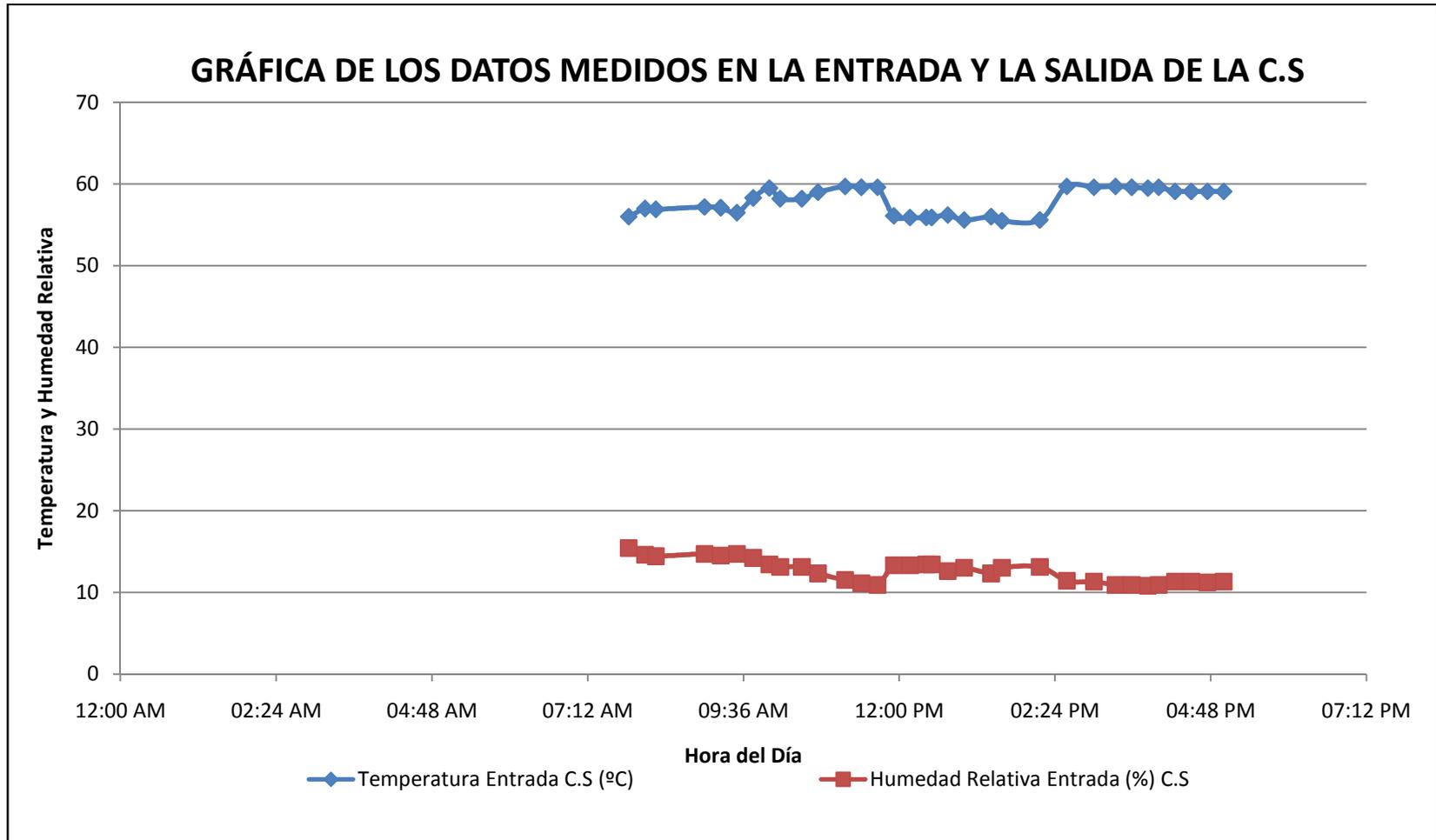


Tabla Q: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 12

05/05/2011 PRUEBA #12

TABLA DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS EN LA CAMARA DE SECADO		
hora	Temperatura Entrada C.S (°C)	Humedad Relativa Entrada (%) C.S
07:50 a.m.	56	15,4
08:05 a.m.	57	14,6
08:15 a.m.	56,9	14,4
09:00 a.m.	57,2	14,7
09:15 a.m.	57,1	14,5
09:30 a.m.	56,5	14,7
09:45 a.m.	58,3	14,2
10:00 a.m.	59,5	13,4
10:10 a.m.	58,2	13,1
10:30 a.m.	58,2	13,1
10:45 a.m.	59	12,3
11:10 a.m.	59,7	11,5
11:25 a.m.	59,6	11,1
11:40 a.m.	59,6	10,9
11:55 a.m.	56,1	13,3
12:10 p.m.	55,9	13,3
12:25 p.m.	55,9	13,4
12:30 p.m.	55,9	13,4
12:45 p.m.	56,2	12,6
01:00 p.m.	55,6	13
01:25 p.m.	56	12,3
01:35 p.m.	55,5	13
02:10 p.m.	55,6	13,1
02:35 p.m.	59,7	11,4
03:00 p.m.	59,6	11,3
03:20 p.m.	59,7	10,9
03:35 p.m.	59,6	10,9
03:50 p.m.	59,5	10,8
04:00 p.m.	59,6	10,9
04:15 p.m.	59,1	11,3
04:30 p.m.	59,1	11,3
04:45 p.m.	59,1	11,2
05:00 p.m.	59,1	11,3
Valor Prom		

GraficaA12: Temperatura y humedad relativa en la entrada y salida de la C.S para la prueba # 12



Anexo 3: Tablas de datos para realizar las curvas de Humedad Vs tiempo y velocidad Vs. Tiempo.

Tabla Q: Humedad a base seca en función del tiempo para las pruebas de piña

Tiempo (min)	Humedad Prueba #1	Humedad Prueba #2	Humedad Prueba #3	Humedad Prueba #4
0	4,66	6,35	3,7552	4,2871
60	2,73	3,84	2,2429	2,5743
120	1,82	2,69	1,5076	1,8256
180	1,25	1,83	1,033	1,2666
240	0,809	1,21	0,6747	0,8564
300	0,491	0,8	0,4234	0,5384
360	0,208	0,46	0,1721	0,3076
420	0,0636	0,21	0,0791	0,123
465	0	0,09	0	0

Tabla R: velocidad de secado en función del tiempo para las pruebas de piña

Tiempo (min)	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #1	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #2	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #3	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #4
0	0	0	0	0
60	16,09264082	16,6921	15,6729	16,107
120	7,587721836	7,6478	7,6203	7,0407
180	4,752748843	5,7192	4,9185	5,2567
240	3,677126736	4,1231	3,7132	3,8574
300	2,651533565	2,7266	2,6043	2,9904
360	2,35969811	2,261	2,6043	2,1704
420	1,204029707	1,6625	0,9638	1,7359
465	0,707075617	1,064	1,093	1,5422

Tabla S: Humedad a base seca en función del tiempo para las pruebas de guayaba

Tiempo (min)	Humedad Prueba #5	Humedad Prueba #6	Humedad Prueba #7	Humedad Prueba #12
0	3,3571	4,7003	5,6239	4,6875
60	2,2082	2,9816	3,7032	2,4807
120	1,6035	1,7384	2,6049	1,7644
180	1,1651	0,9509	1,8228	1,0576
240	0,8212	0,4903	0,7705	0,649
300	0,5415	0,2327	0,391	0,3317
360	0,3261	0,0792	0,1552	0,149
420	0,1523	0,0148	0,046	0,0432
465	0	0	0	0

Tabla T: velocidad de secado en función del tiempo para las pruebas de guayaba

Tiempo (min)	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #5	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #6	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #7	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #12
0	0	0	0	0
60	14,6604427	16,734	16,1077	22,1361
120	7,71622396	12,1046	9,2107	7,1851
180	5,59416667	7,6676	6,5589	7,0898
240	4,38830729	4,4847	8,8249	4,0986
300	3,56908854	2,5081	3,1826	3,1827
360	2,74859375	1,4945	1,9775	1,8326
420	2,21776042	0,627	0,9157	1,0612
465	2,59121528	0,1921	0,5143	0,5777

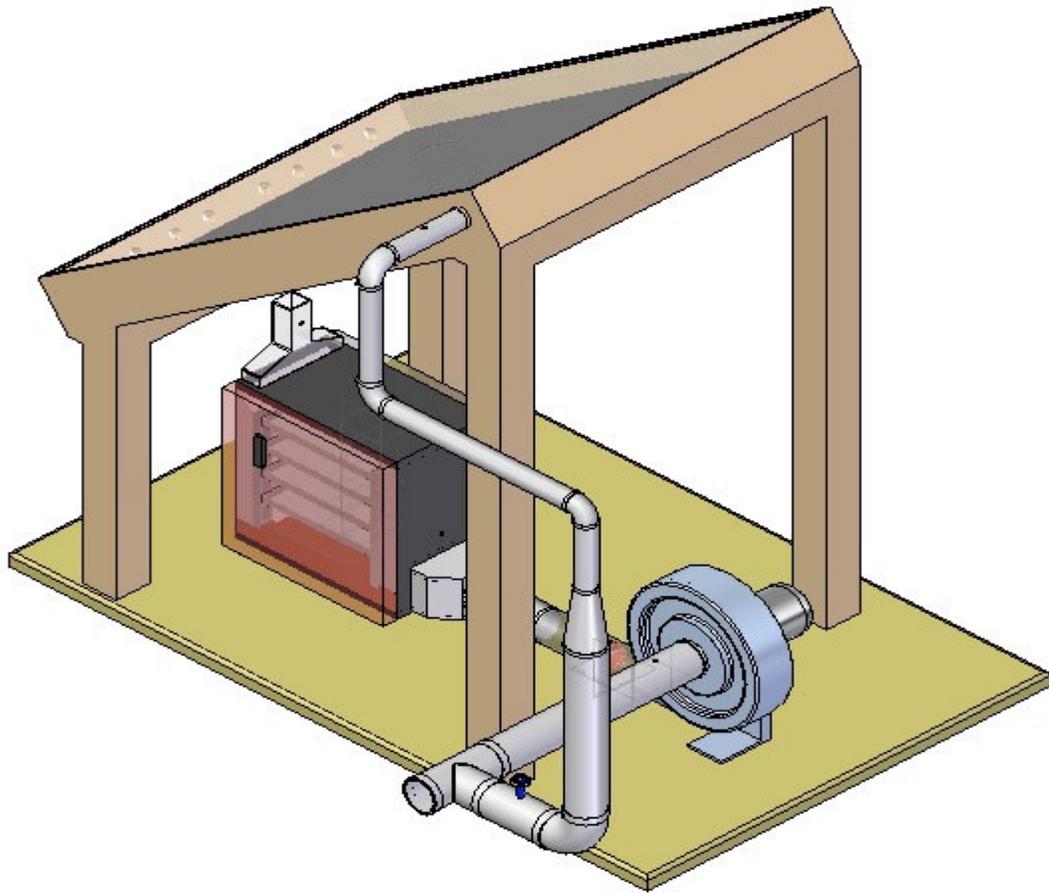
Tabla V: Humedad a base seca en función del tiempo para las pruebas de banano

Tiempo (min)	Humedad Prueba #8	Humedad Prueba #9	Humedad Prueba #10	Humedad Prueba #11
0	1,9561	2,016	2,2122	2,5439
60	1,0598	1,1225	1,3094	1,2217
120	0,74	0,7674	0,9028	0,6861
180	0,5169	0,5307	0,6303	0,3891
240	0,357	0,3512	0,4188	0,1631
300	0,2045	0,2023	0,2358	0,0878
360	0,1532	0,1221	0,1098	0,0376
420	0,0483	0,0534	0,0406	0
465	0	0	0	

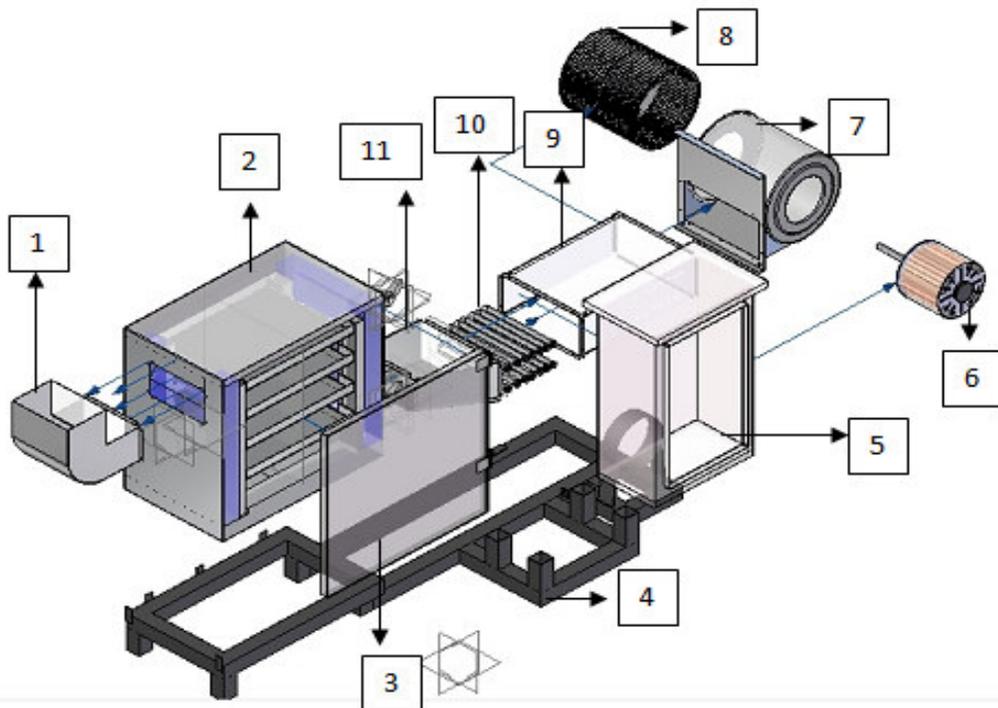
Tabla Z: velocidad de secado en función del tiempo para las pruebas de banano

Tiempo (min)	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #8	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #9	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #10	Velocidad de Secado (gH ₂ O/min*m ²) Prueba #11
0	0	0	0	0
60	11,6230261	11,2851	10,7059	15,2394
120	2,0735489	4,4849	4,8217	6,1732
180	0,96437098	2,9895	3,2314	3,4231
240	0,51838723	2,2671	2,508	2,6048
300	0,39551746	1,8806	2,1701	0,8678
360	0,11087457	1,0129	1,4941	0,5785
420	0,19433153	0,8676	0,8206	0,4333
465	0,08081859	0,8992	0,6419	

Anexo 4: planos de detalle del prototipo secador

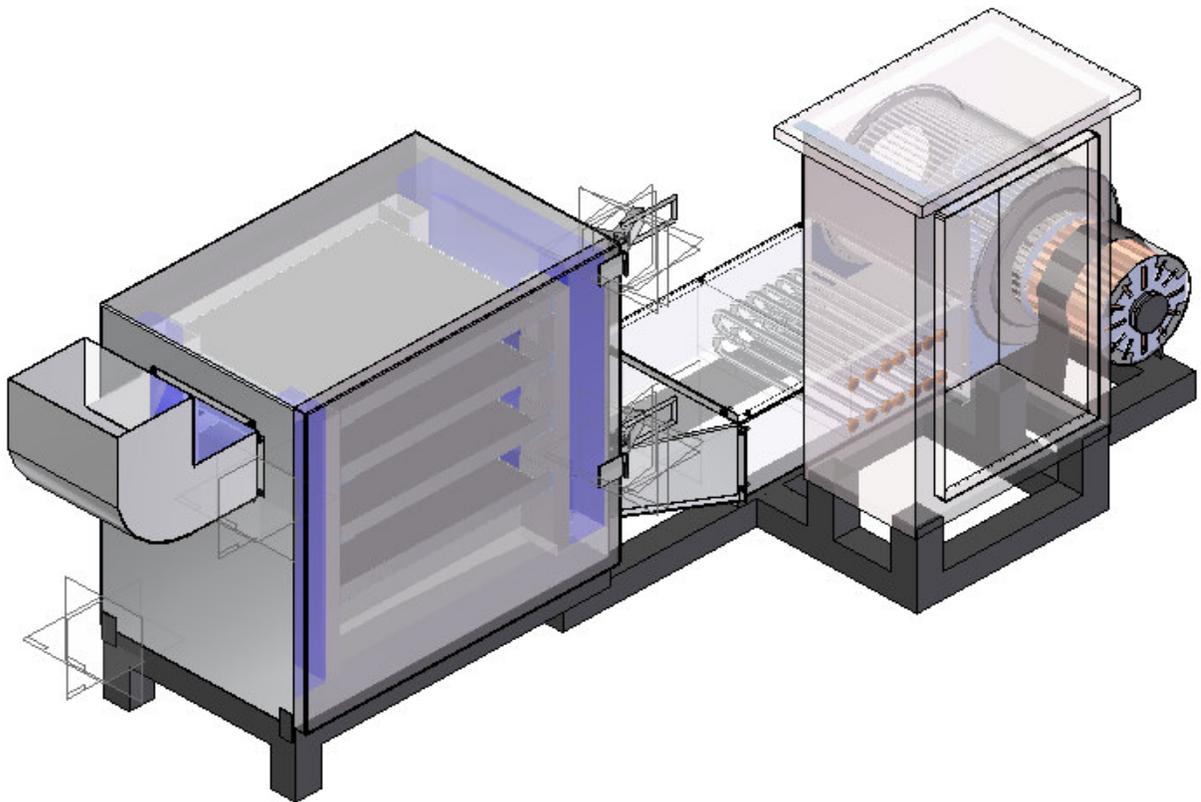


	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarce			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	DESHIDRATADOR DE FRUTAS CON COLECTOR.			Lámina 1 de 37

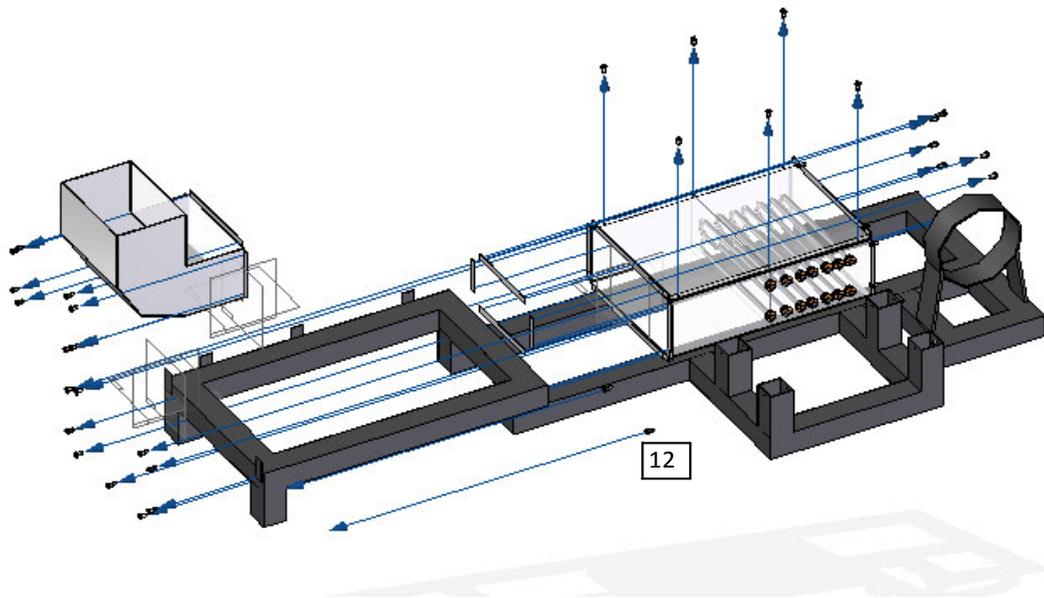


NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
1	1	Chimenea.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
2	1	Cámara de Secado.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
3	1	Puerta de la Cámara de Secado.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
4	1	Base de la Máquina.	Tubo Rectangular de 4cmX4 cm (Acero 1040)
5	1	Caja de Control.	Parte conseguida ya hecha.
6	1	Motor.	Parte conseguida ya hecha.
7	1	Carcasa del Ventilador.	Parte conseguida ya hecha.
8	1	Alabes del Ventilador.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
9	1	Ducto de Entrada de Aire Rect.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
10	1	Resistencias	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
11	1	Ducto de Entrada a la C.S.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.

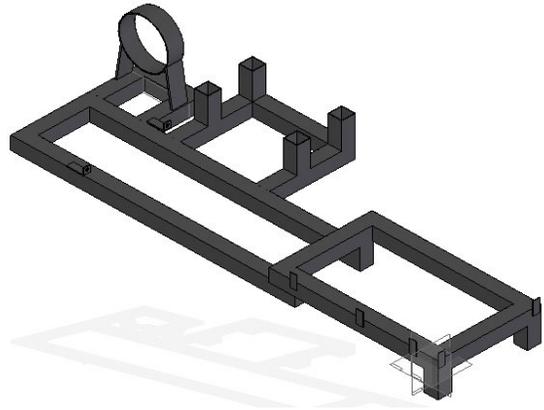
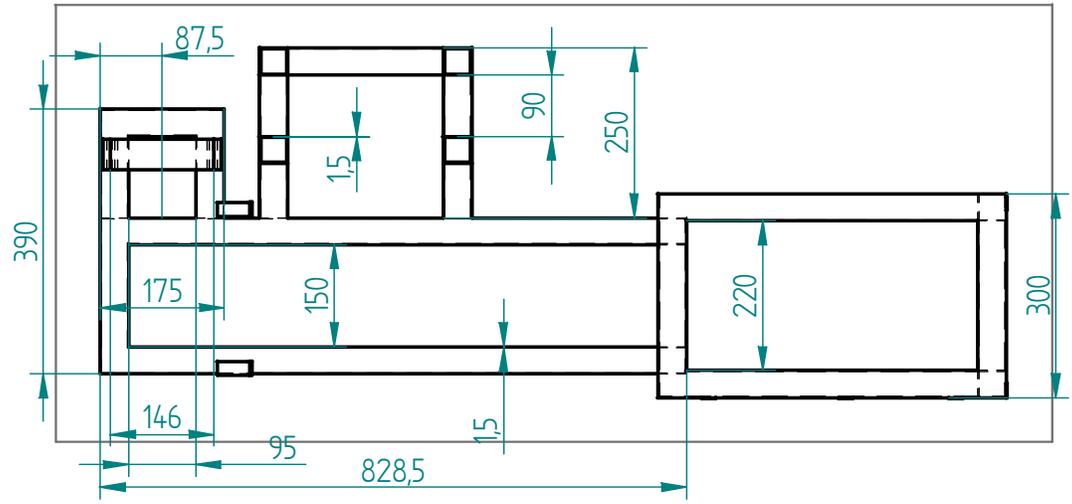
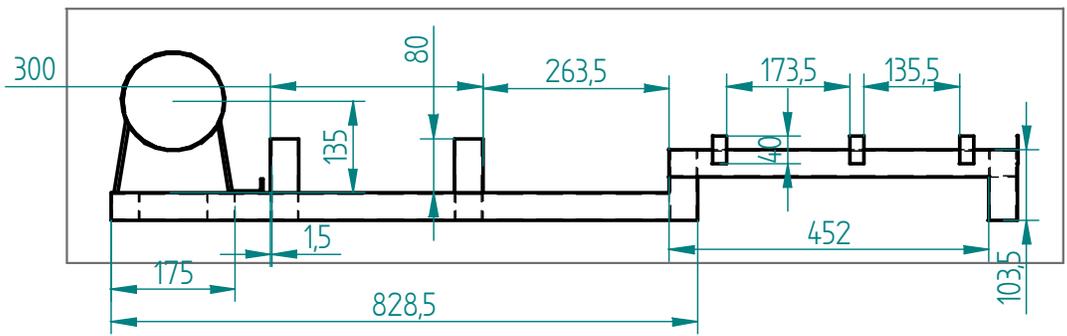
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	VISTA EXPLOSIONADA DE TODA LA MÁQUINA.			



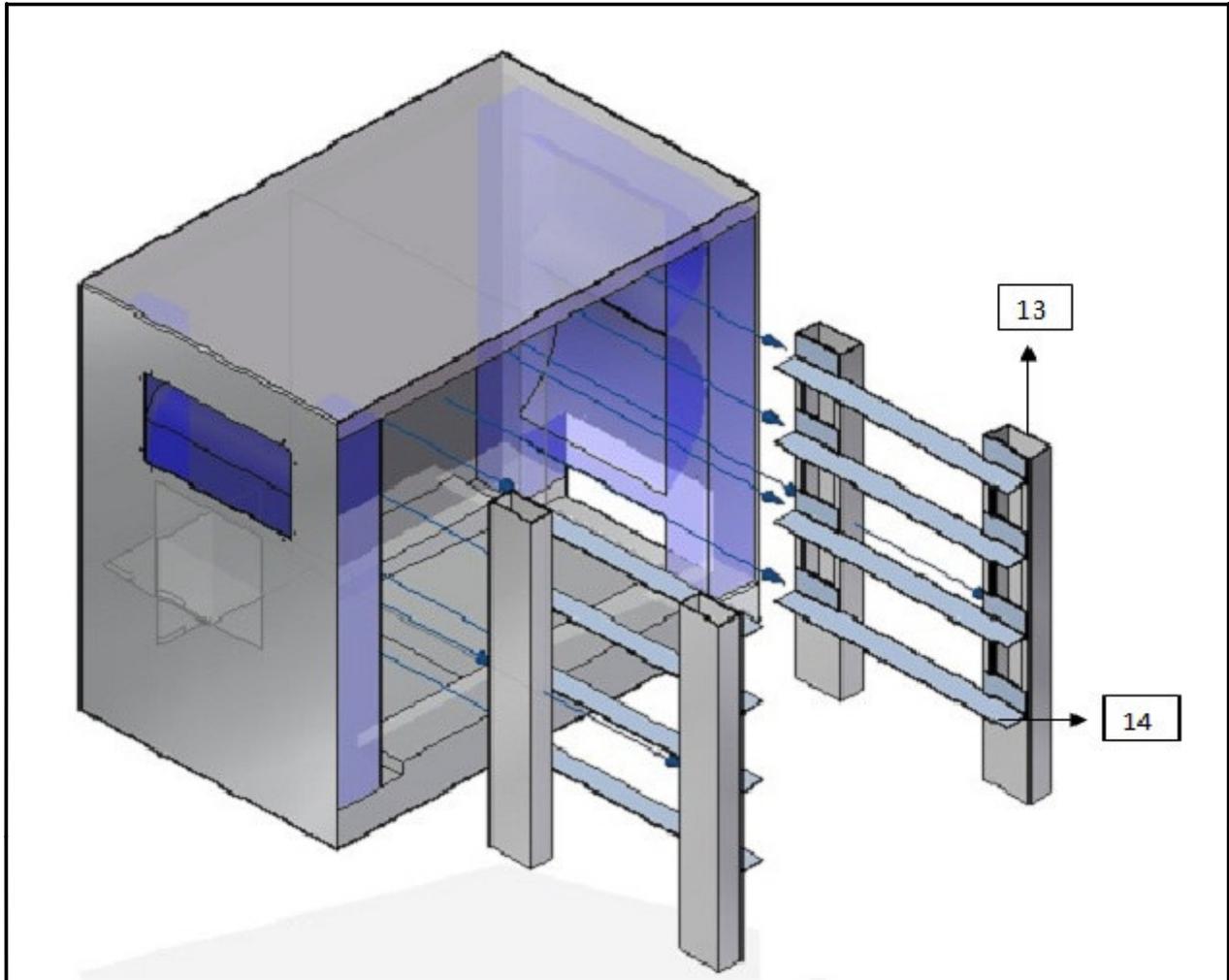
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olate			
Norma				
Escala	Despiece de: MÁQUINA DESHIDRATADORA DE FRUTAS.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 3 de 37



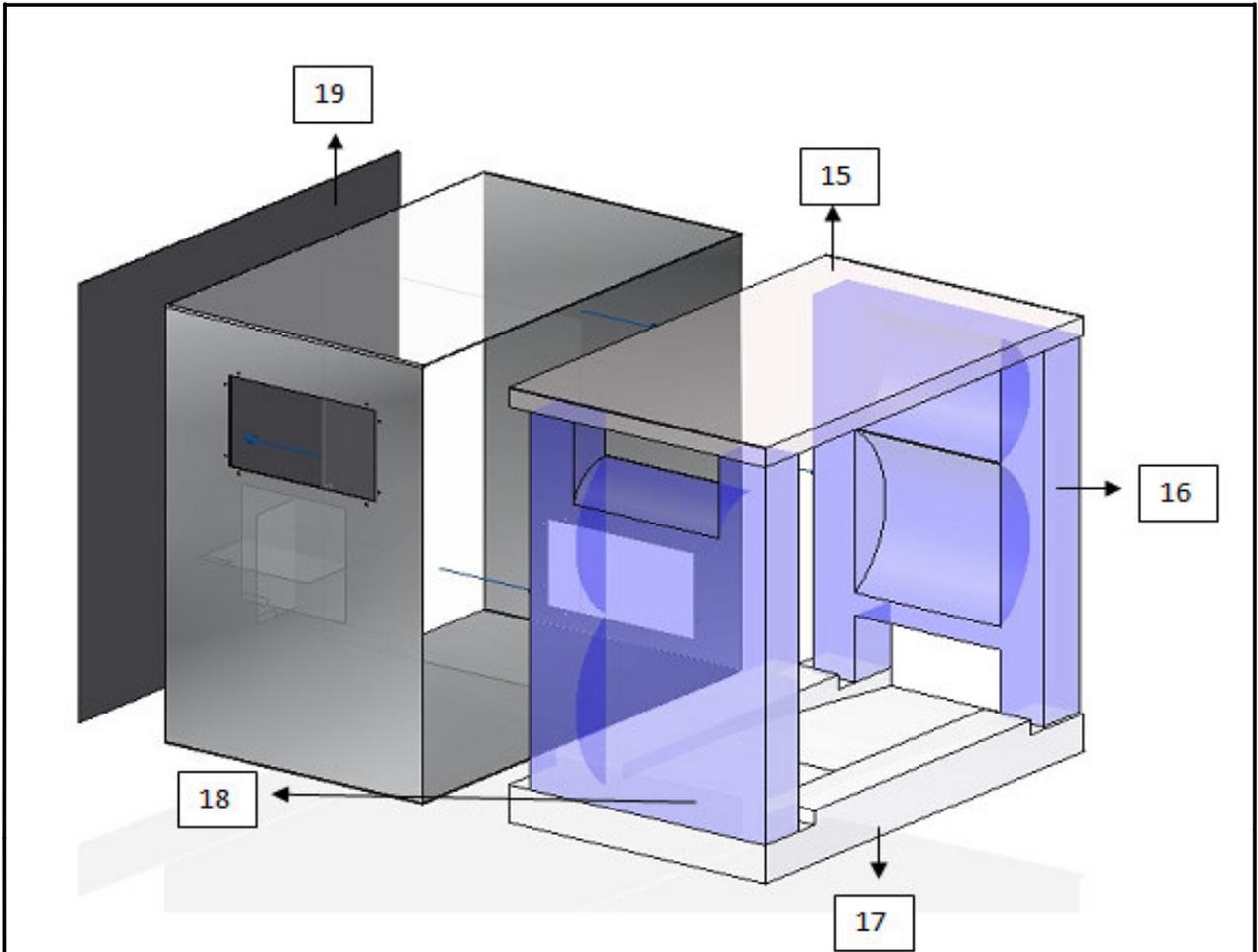
NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
12	40	Tornillo Autoroscante	1/8" Acero Inoxidable.
	Nombre	Fecha	Escuela de Ingenierías: Facultad de Ingeniería Mecánica
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011	
Comprobó	Javier M. Castellanos Olate		
Norma			
Escala	Despiece de: VISTA EXPOSIONADA DE LAS POSICIONES DE LOS TORNILLOS.		DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232			Lámina 4 de 37



	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:10	Despiece de: BASE DE LA MÁQUINA DESHIDRATADORA DE FRUTAS.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 5 de 37

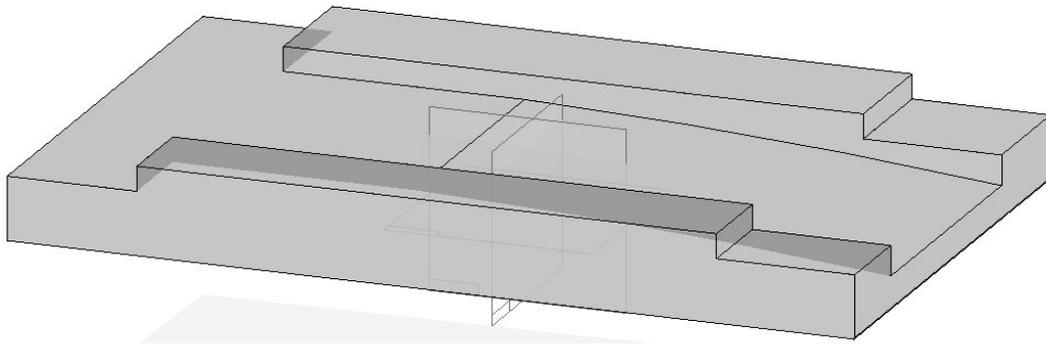
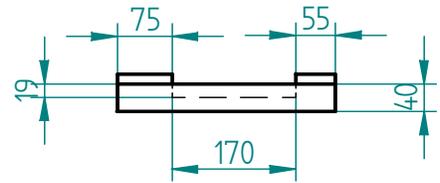
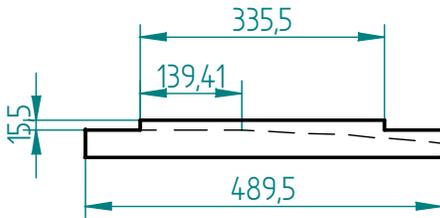


NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
13	1	Ángulos.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
14	1	Soportes de Bastidor.	Tubo Rectangular de 1" X 2" (Acero Inoxidable).
	Nombre	Fecha	Escuela de Ingenierías: Facultad de Ingeniería Mecánica
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011	
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte.		
Norma			
Escala	Despiece de: VISTA EXPLOSIONADA DE CÁMARA DE SECADO (C.D.S) Y BASTIDOR.		DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232			Lámina 6 de 37

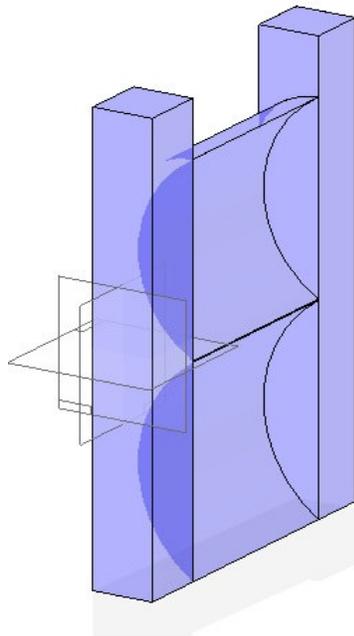
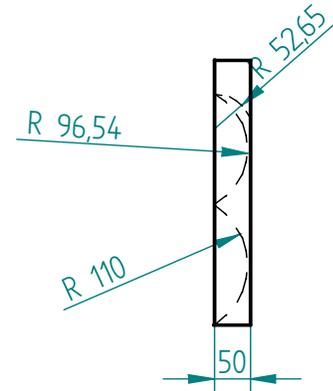
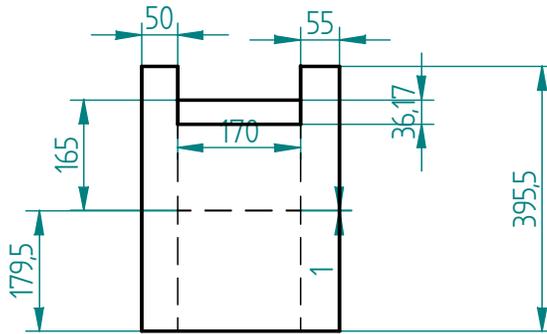


NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
15	1	Aislante Superior interior C.D.S.	Termolón, Fibra de Vidrio Y Cover Cryl.
16	1	Aislante Derecho interior C.D.S.	Termolón, Fibra de Vidrio Y Cover Cryl.
17	1	Aislante Inferior interior C.D.S.	Termolón, Fibra de Vidrio Y Cover Cryl.
18	1	Aislante Izquierdo interior C.D.S.	Termolón, Fibra de Vidrio Y Cover Cryl.
19	1	Tapa de Cabina de la C.D.S.	Lámina de Acero Inóxidable Calibre 18.

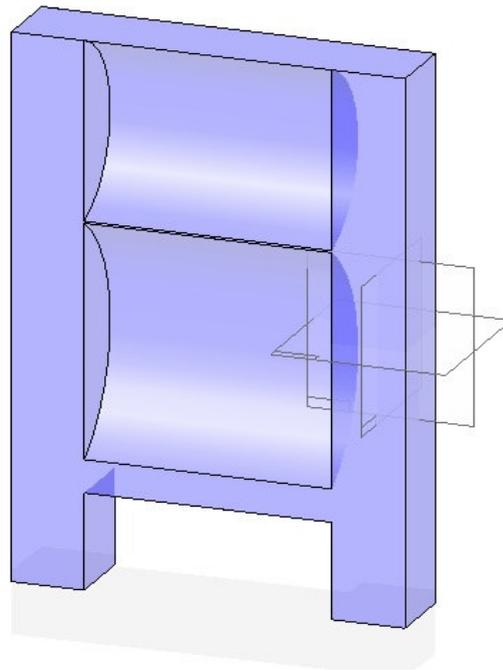
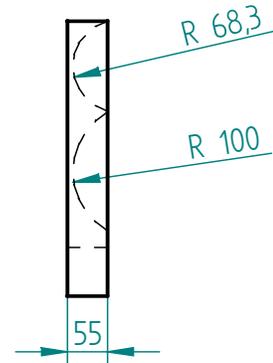
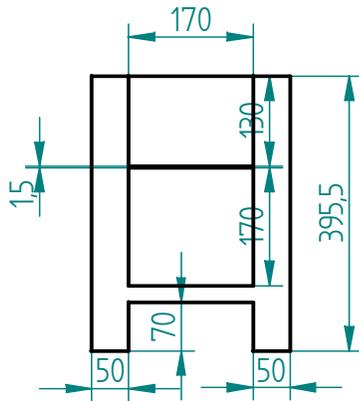
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	VISTA EXPLOSIONADA DE C.D.S CON AISLANTES.			Lámina 7 de 37



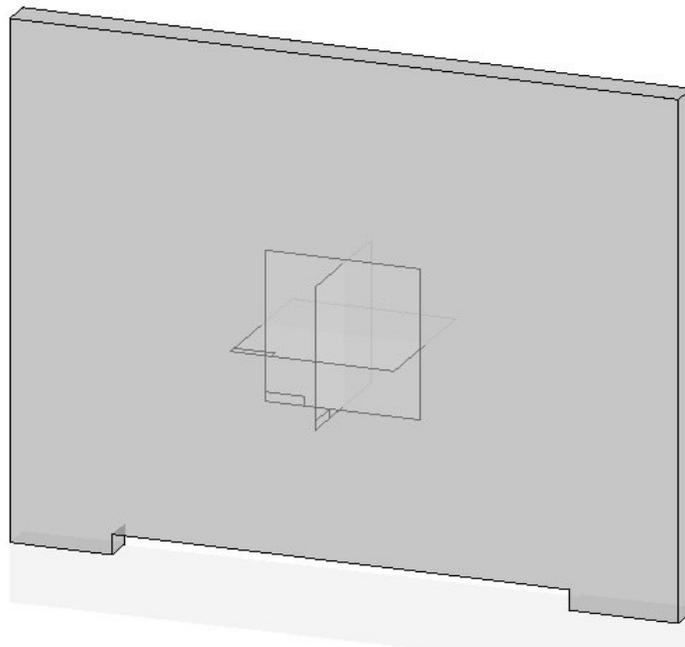
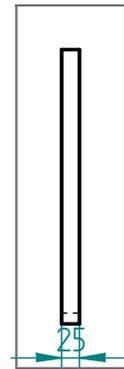
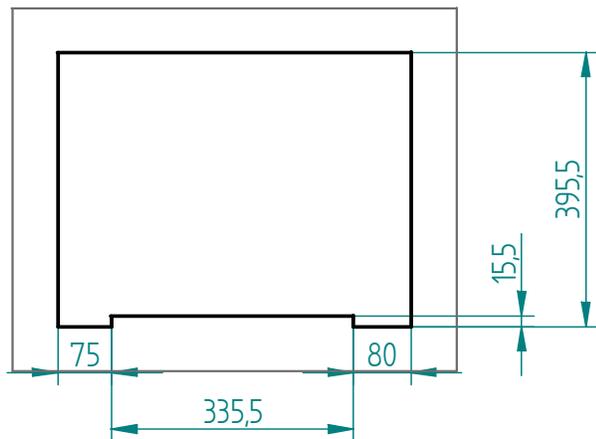
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:10 Id: 85070 85232	Despiece de: AISLANTE INFERIOR DE C.D.S.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
				Lámina 8 de 37



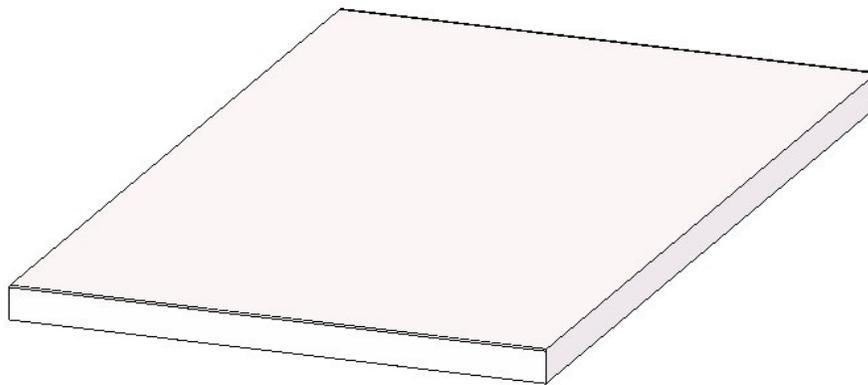
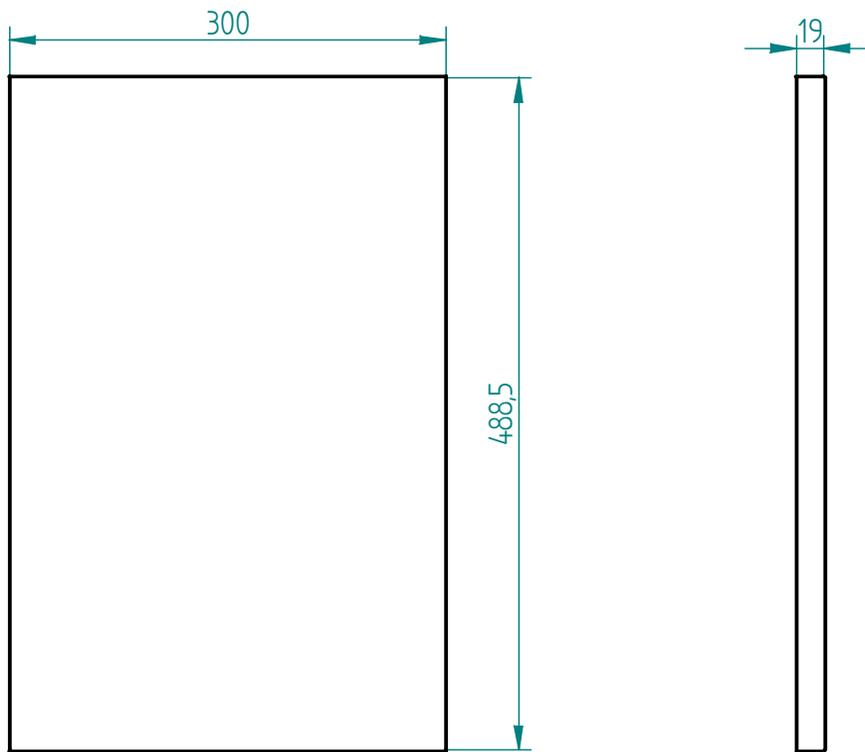
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olate			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Norma				Lámina 9 de 37
Escala 1:10	Despiece de:			
Id: 85070 85232	AISLANTE LATERAL IZQUIERDO DE C.D.S.			



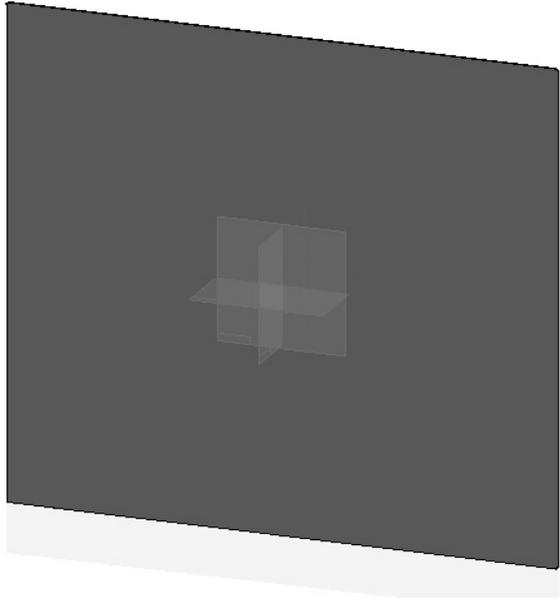
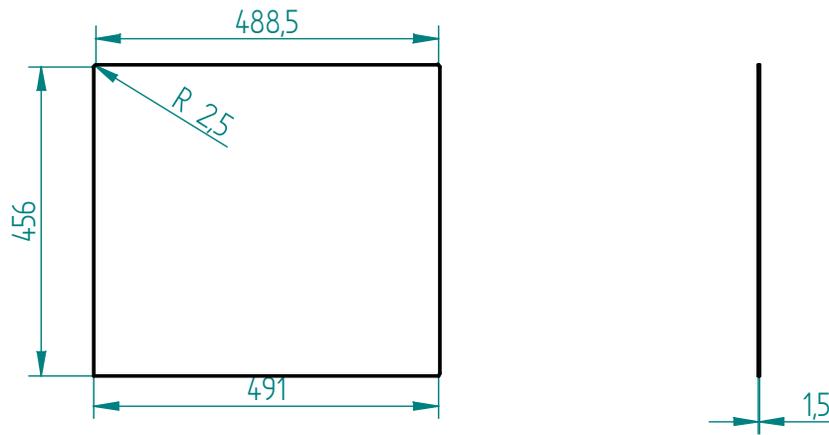
	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olate			
Norma				
Escala 1:10	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	AISLANTE LATERAL DERECHO DE C.D.S.			Lámina 10 de 37



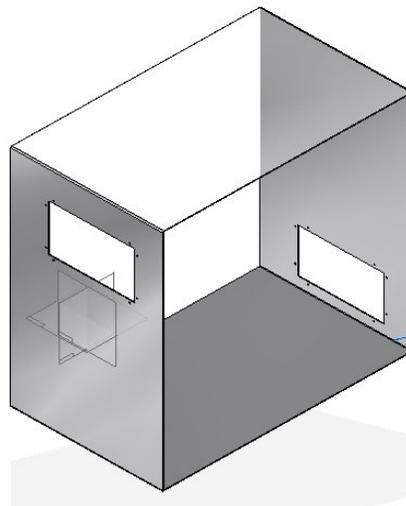
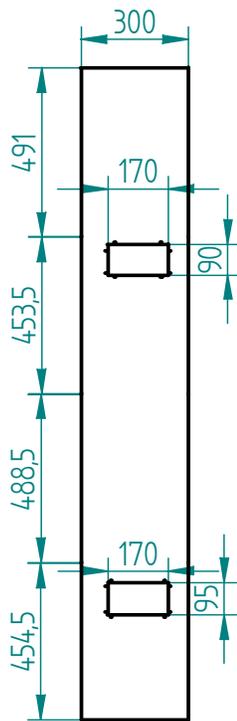
	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:10	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	AISLANTE POSTERIOR DE C.D.S.			Lámina 11 de 37



	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarie			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	AISLANTE SUPERIOR DE C.D.S.			Lámina 12 de 37

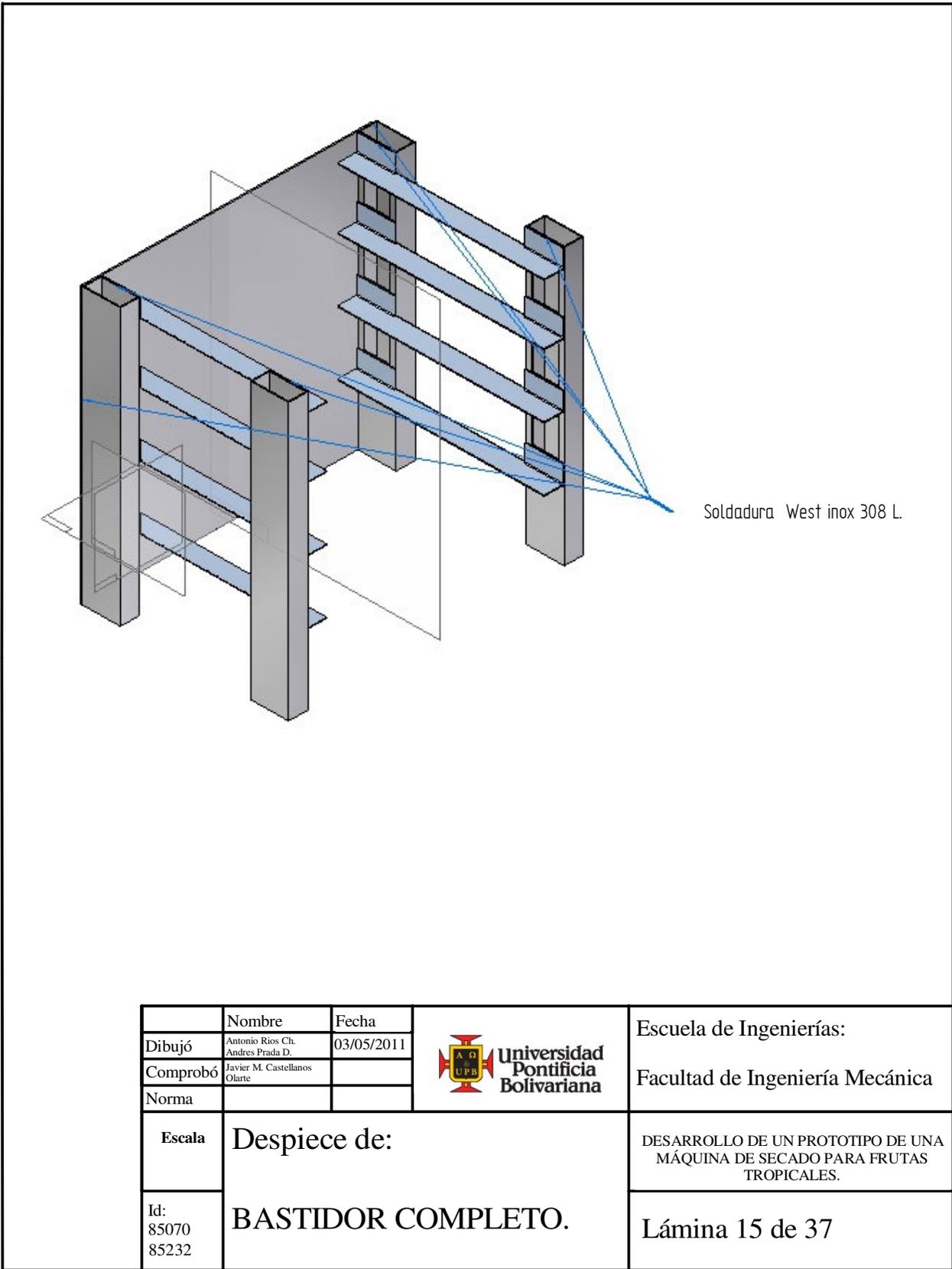


	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Oiarte			
Norma				
Escala 1:10	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	TAPA DE CABINA DE LA C.D.S.			Lámina 13 de 37



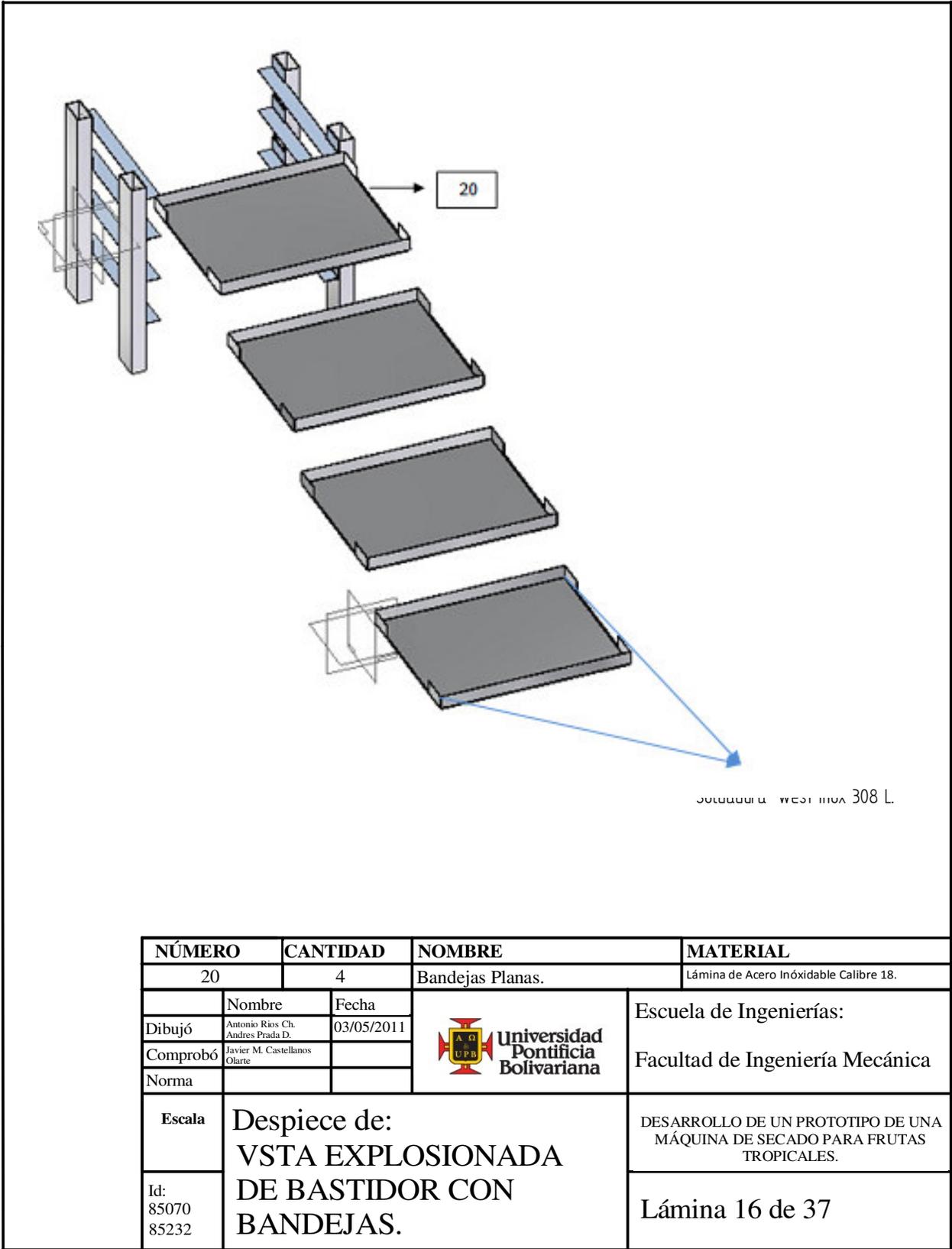
Soldadura West inox 308 L.

	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Oiarce			
Norma				
Escala 1:20	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	CABINA DE LA C.D.S.			Lámina 14 de 37

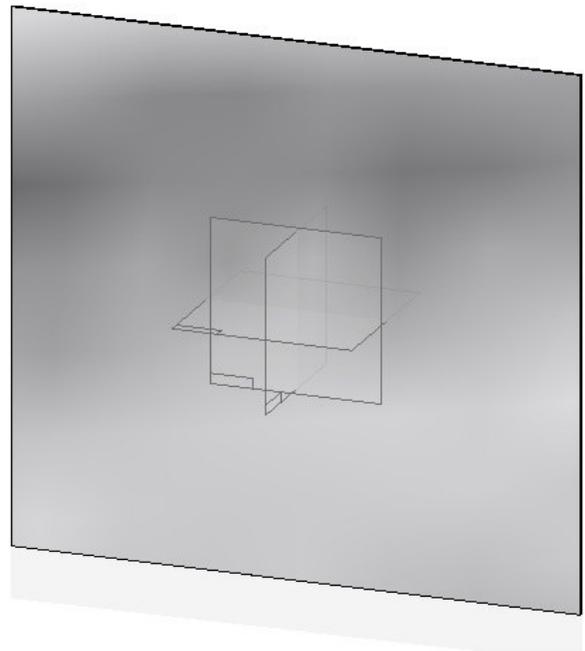
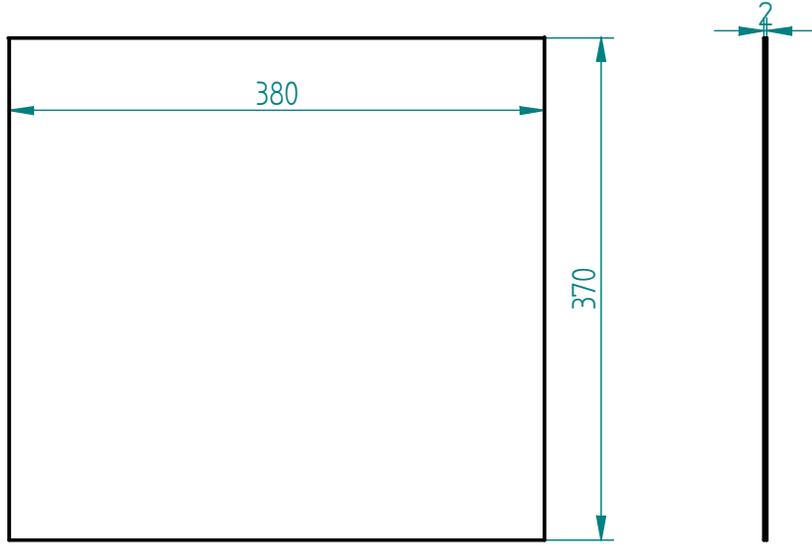


Soldadura West inox 308 L.

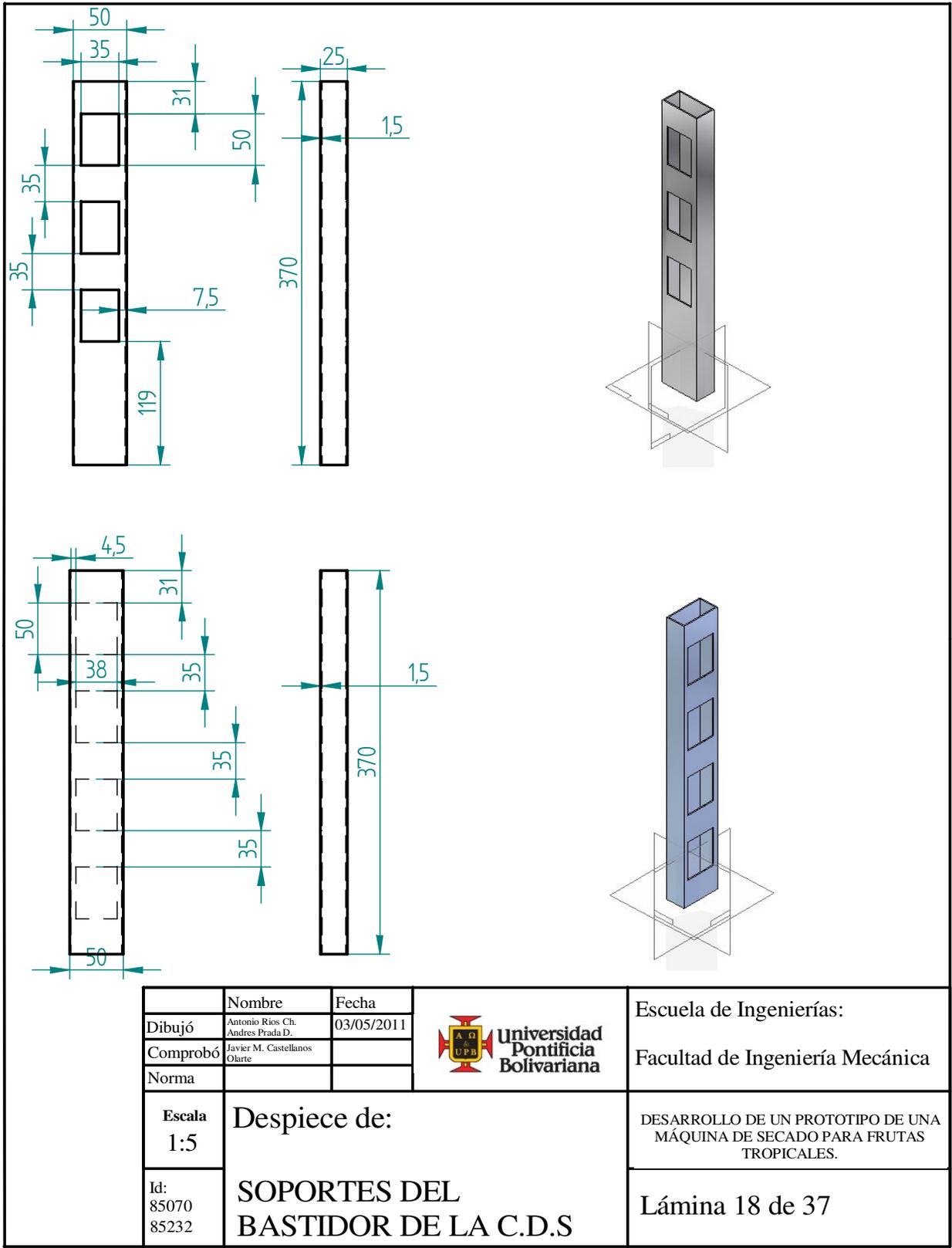
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	BASTIDOR COMPLETO.			Lámina 15 de 37



NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
20	4	Bandejas Planas.	Lámina de Acero Inoxidable Calibre 18.
	Nombre	Fecha	Escuela de Ingenierías: Facultad de Ingeniería Mecánica
Dibujó	Antonio Rivas Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011	
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte		
Norma			
Escala Id: 85070 85232	Despiece de: VSTA EXPLOSIONADA DE BASTIDOR CON BANDEJAS.		DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
			Lámina 16 de 37



	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ojarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PLACA DE SOPORTE DEL BASTIDOR.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 17 de 37



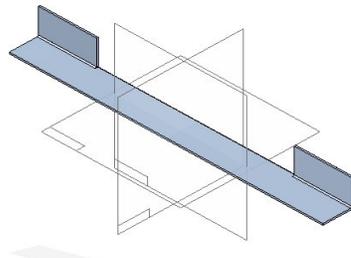
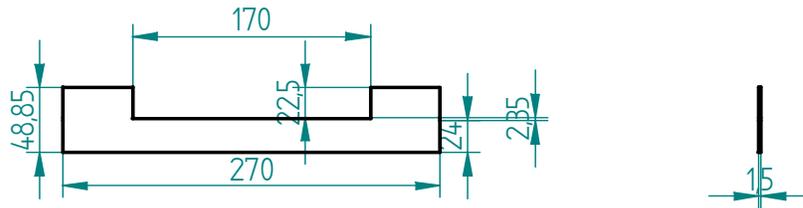
	Nombre	Fecha
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte	
Norma		
Escala 1:5	Despiece de:	
Id: 85070 85232	SOPORTES DEL BASTIDOR DE LA C.D.S	



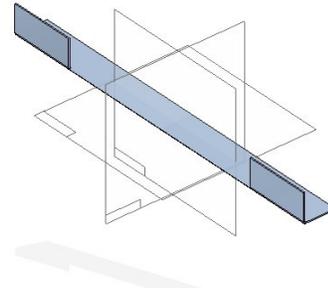
Escuela de Ingenierías:
Facultad de Ingeniería Mecánica

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.

Lámina 18 de 37

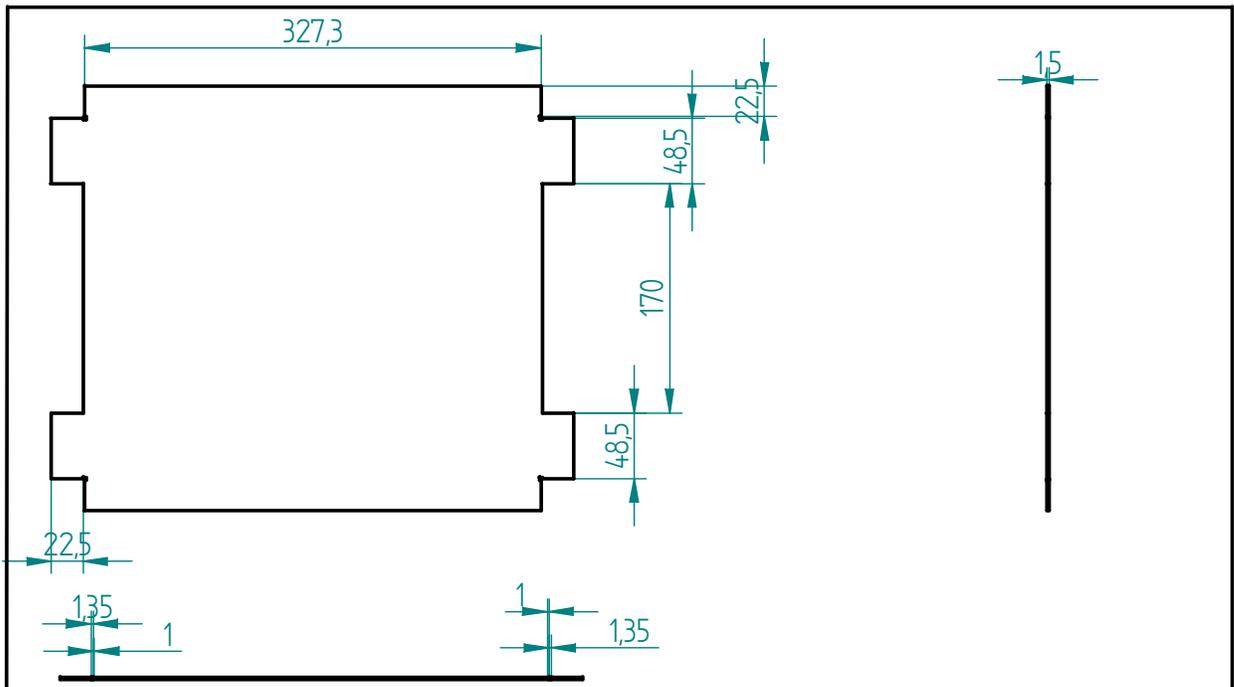


Angulo Para Bastidor Derecho.

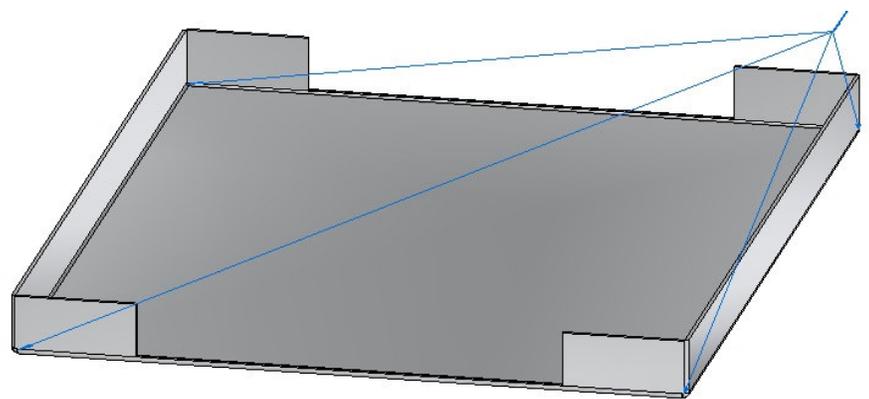


Angulo Para Bastidor Izquierdo.

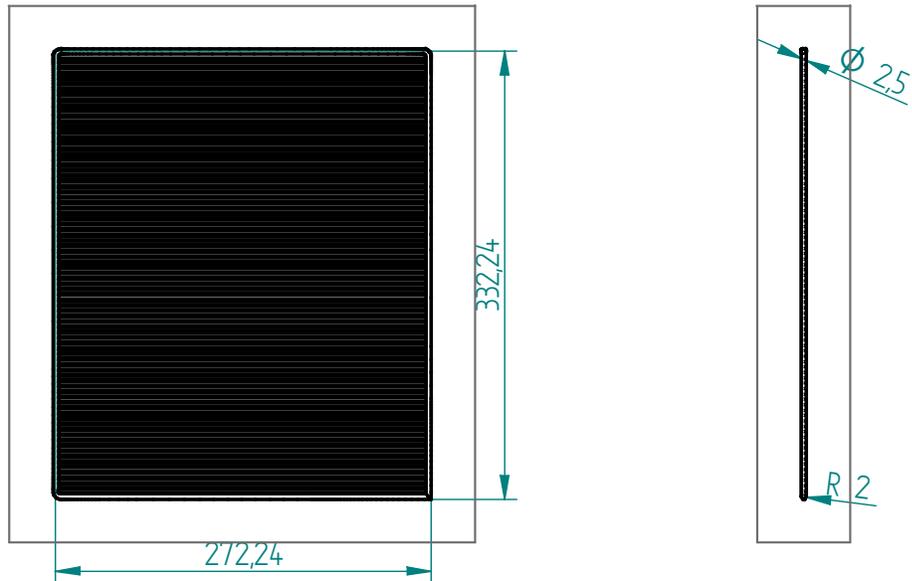
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ojarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	PERFIL EN ANGULO PARA BASTIDOR.			Lámina 19 de 37



Soldadura West inox 308 L.



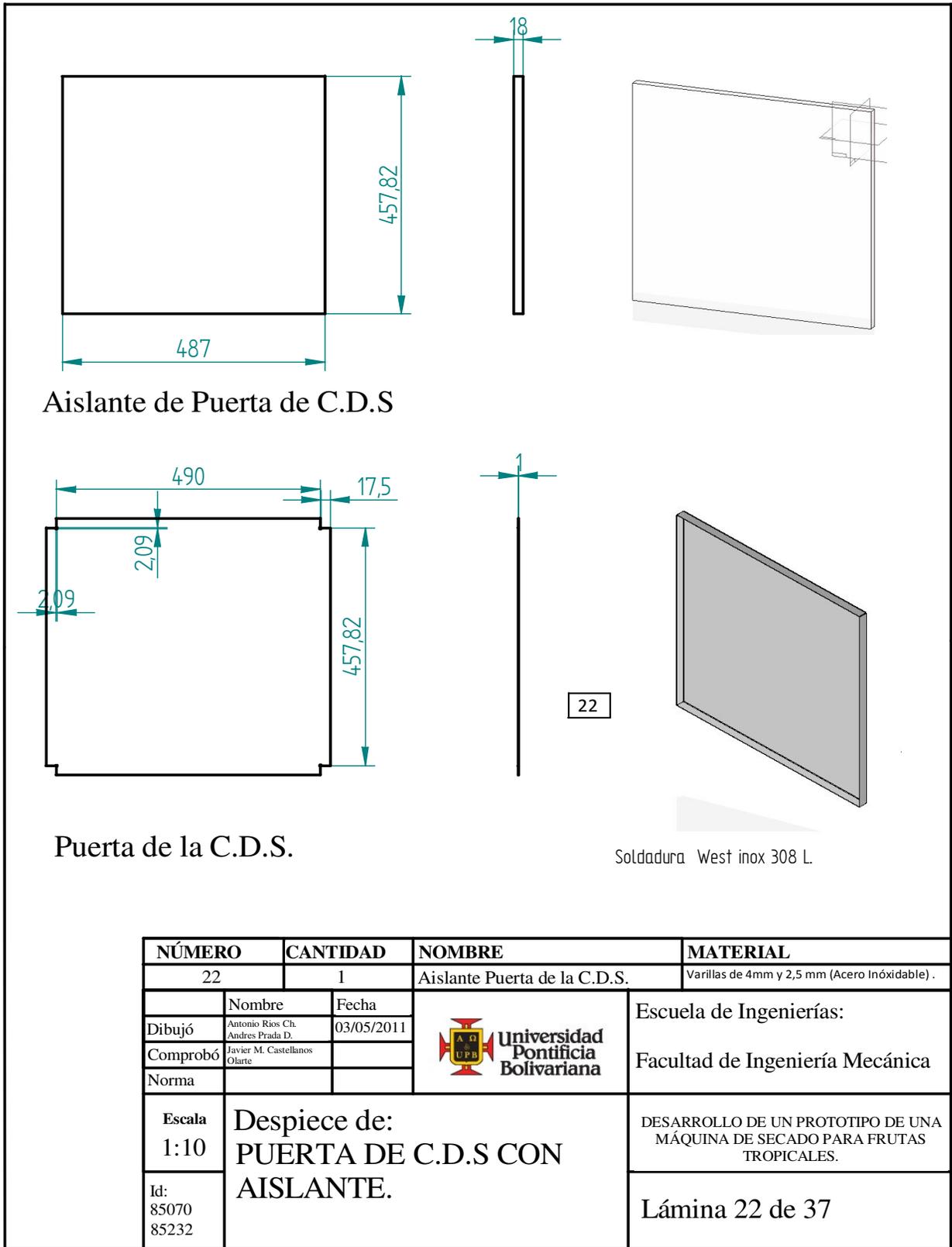
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	BANDEJAS PLANAS			Lámina 20 de 37

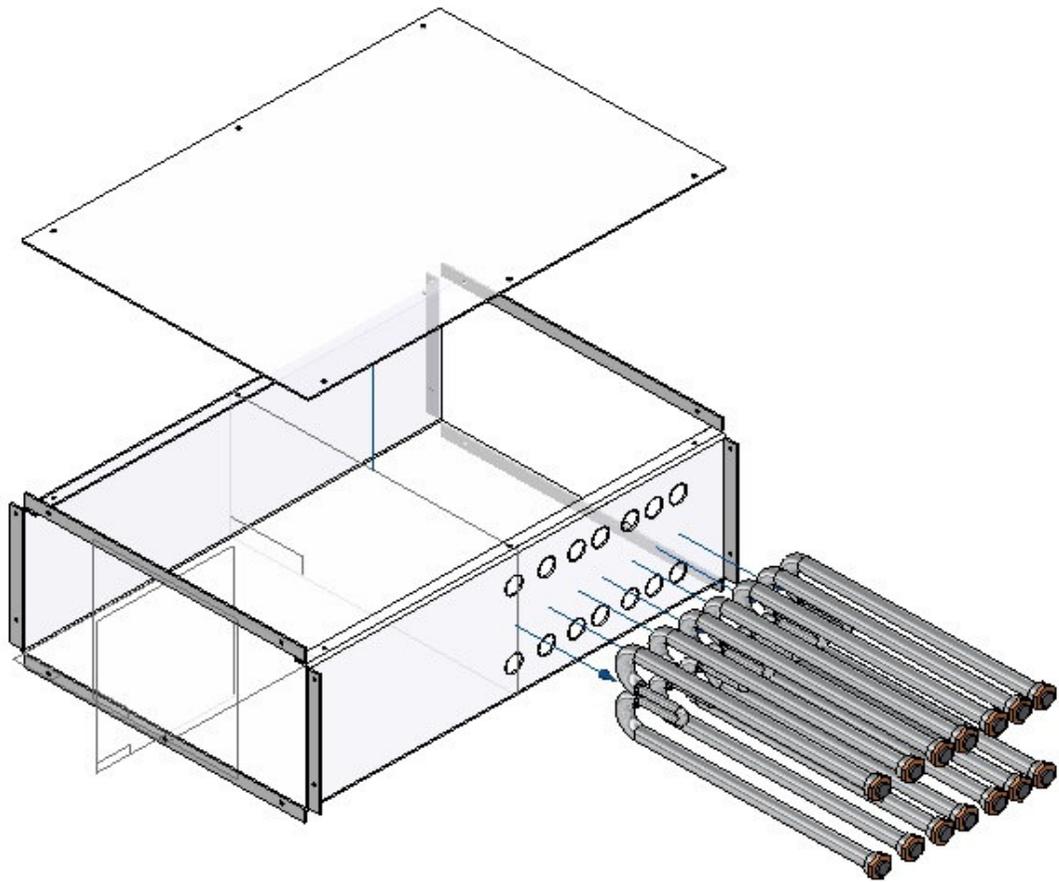


Soldadura West inox 308 L.

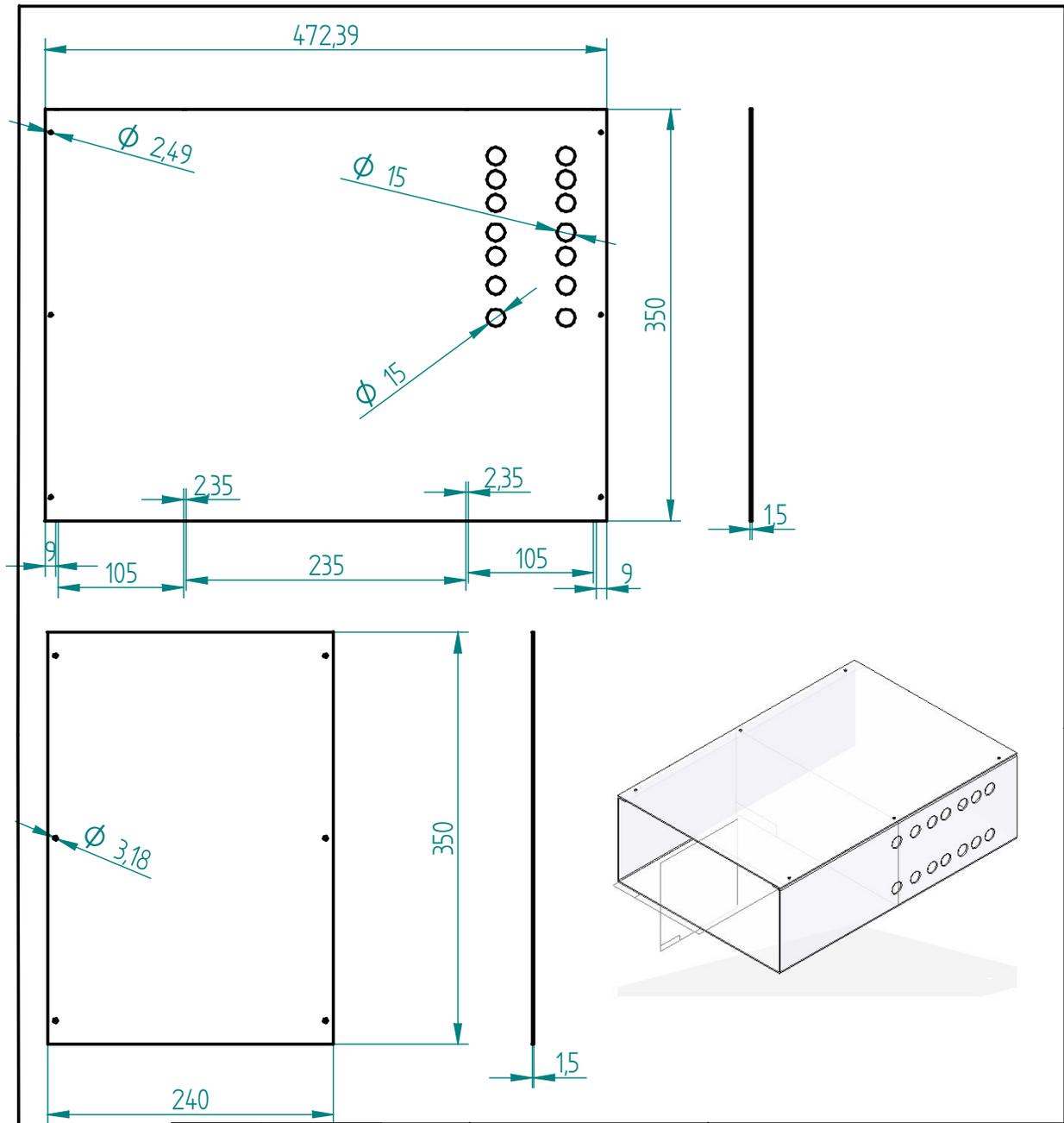
Soldadura en los extremos de cada varilla interna ; Varilla externa doblada y soldada en la unión.

NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
21	4	Parrillas.	Varillas de 4mm y 2,5 mm (Acero Inoxidable) .
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana Escuela de Ingenierías: Facultad de Ingeniería Mecánica
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011	
Comprobó	Javier M. Castellanos Olate		
Norma			
Escala 1:5 Id: 85070 85232	Despiece de: PARRILLAS.		DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES. Lámina 21 de 37





	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarie			
Norma				
Escala	Despiece de: VISTA EXPLOSIONADA DE DUCTO CON RESISTENCIAS.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 23 de 37



	Nombre	Fecha
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011
Comprobó	Javier M. Castellanos Oiarre	
Norma		



Escuela de Ingenierías:
Facultad de Ingeniería Mecánica

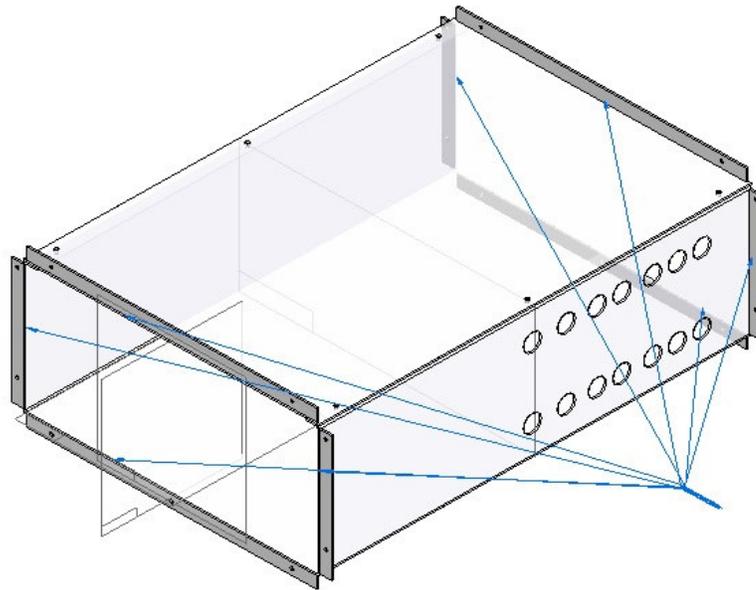
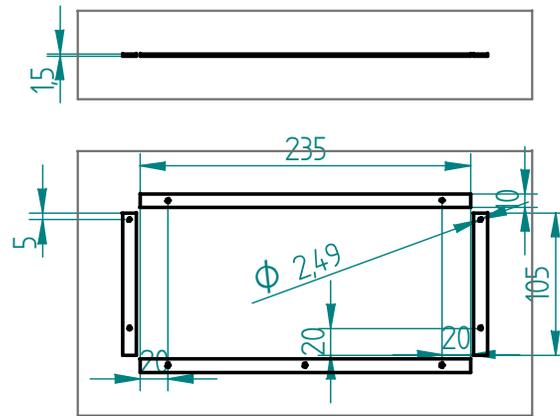
Escala
1:5

Despiece de:
**DUCTO DE ENTRADA DE
AIRE SECCIÓN
RECTANGULAR.**

Id:
85070
85232

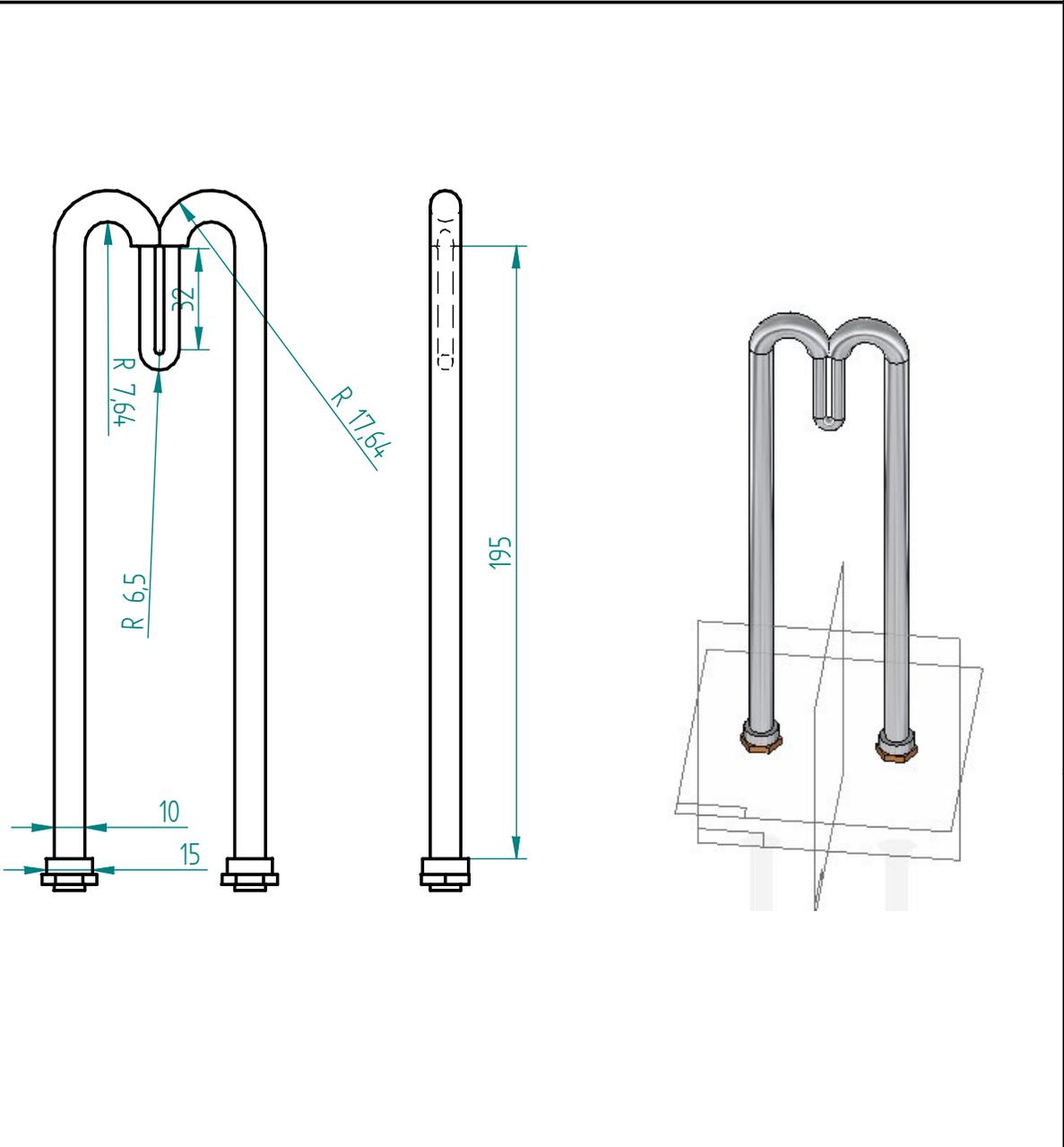
DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA
MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS
TROPICALES.

Lámina 24 de 37

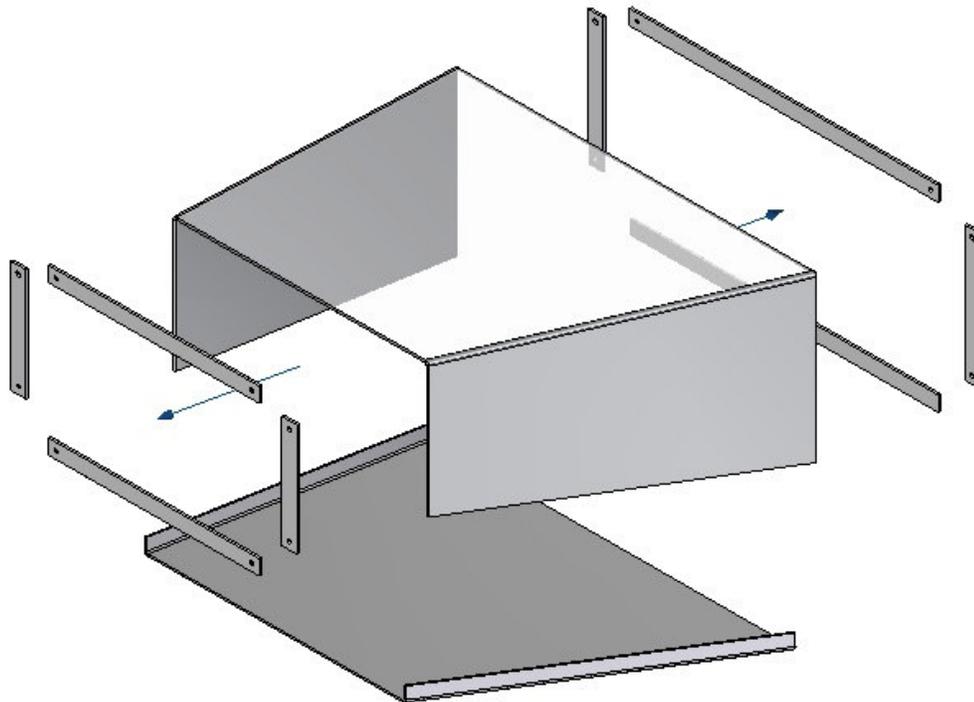


Soldadura West inox 308 L.

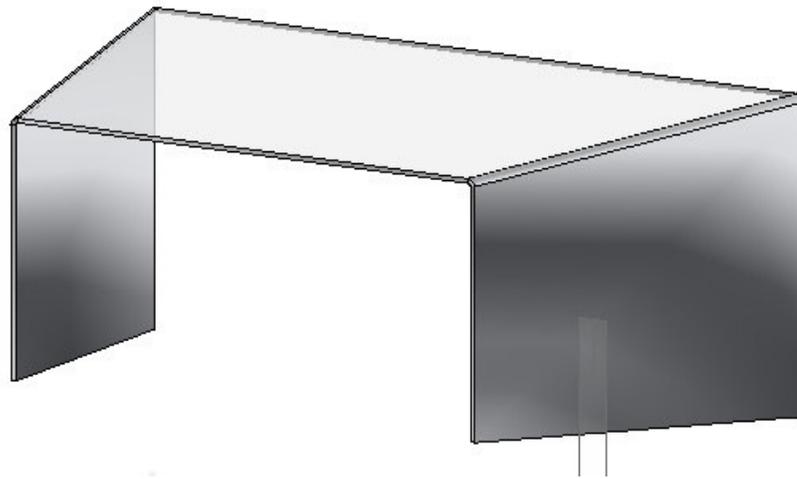
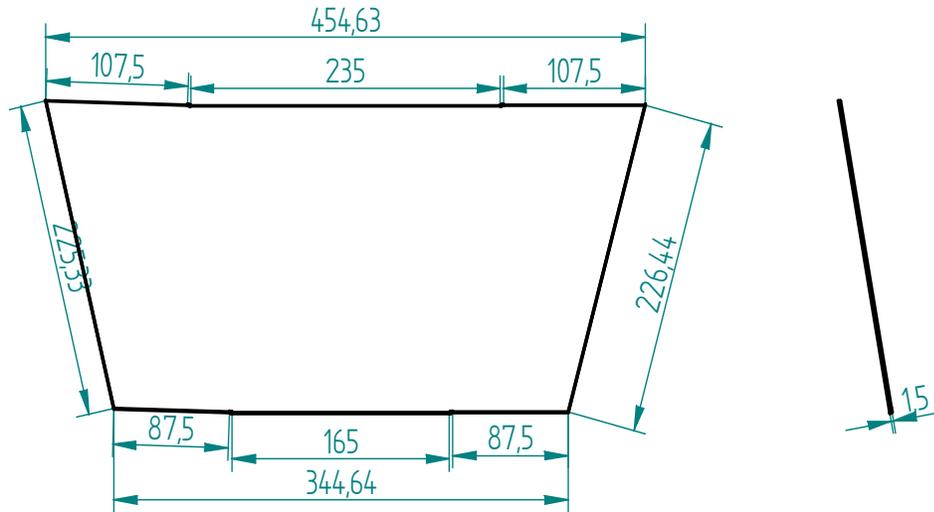
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PESTAÑAS PARA UNIÓN CON TORNILLO.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 25 de 37



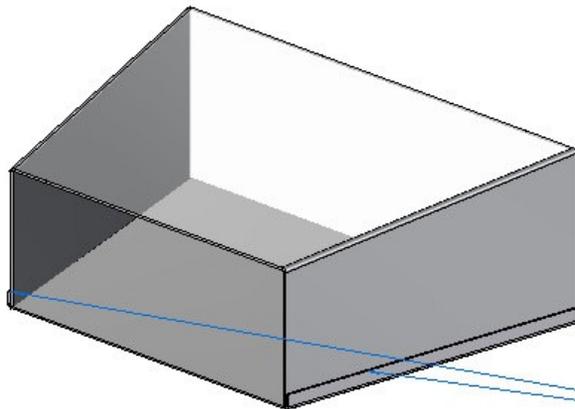
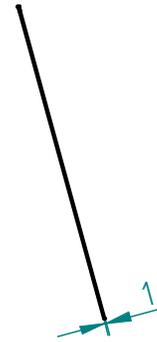
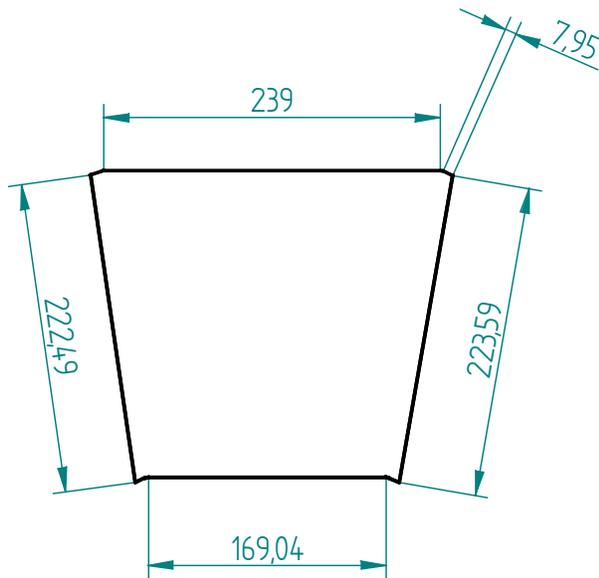
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Oiarde			
Norma				
Escala 1:2	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	RESISTENCIAS.			Lámina 26 de 37



	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Despiece de: VISTA EXPLOSIONADA DE DUCTO DE ENTRADA A LA C.D.S.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 27 de 37

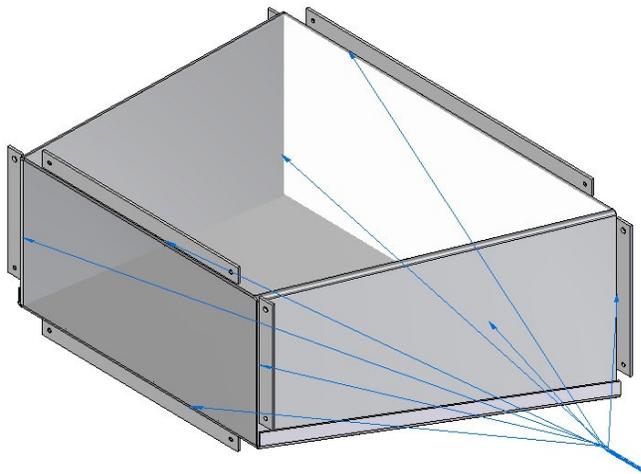
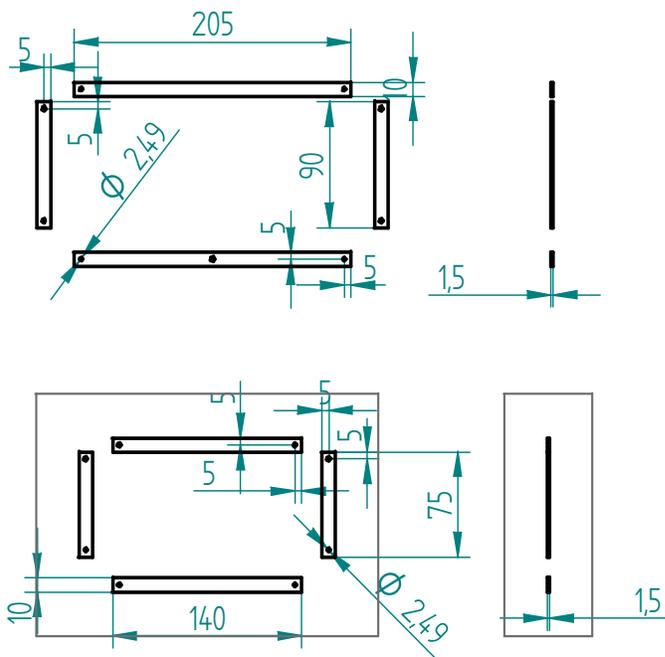


	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PARTE SUPERIOR DE DUCTO ENTRADA A LA C.D.S.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 28 de 37



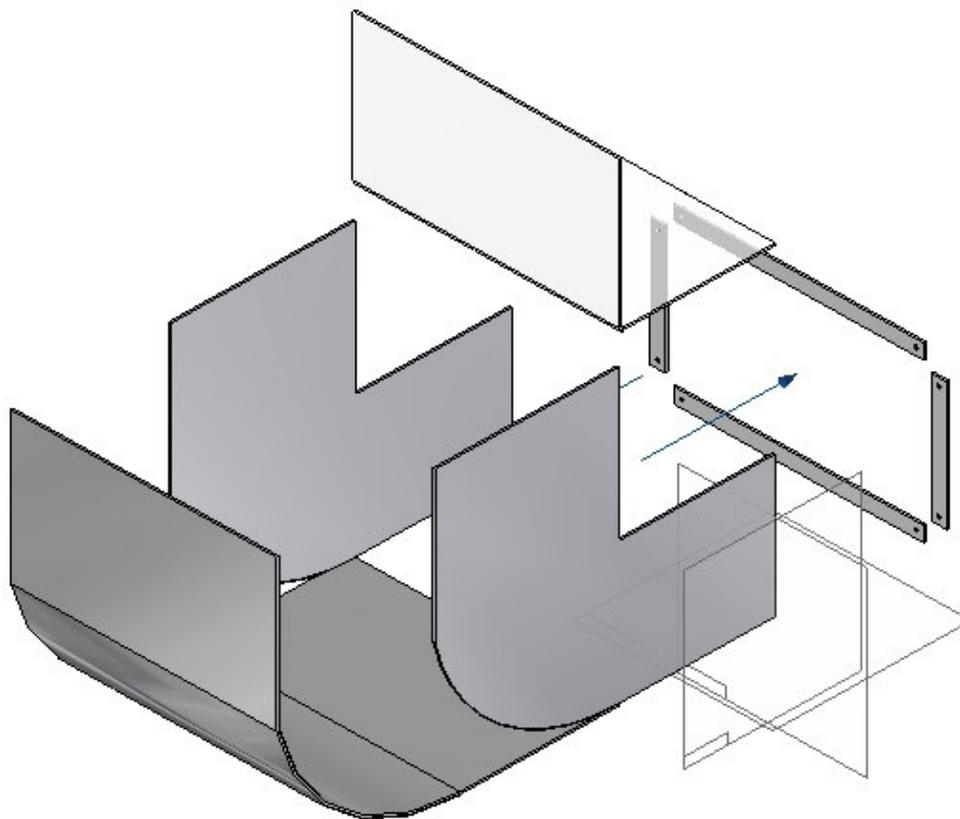
Soldadura West inox 308 L.

	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PARTE INFERIOR DEL DUCTO ENTRADA A LA C.D.S.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 29 de 37

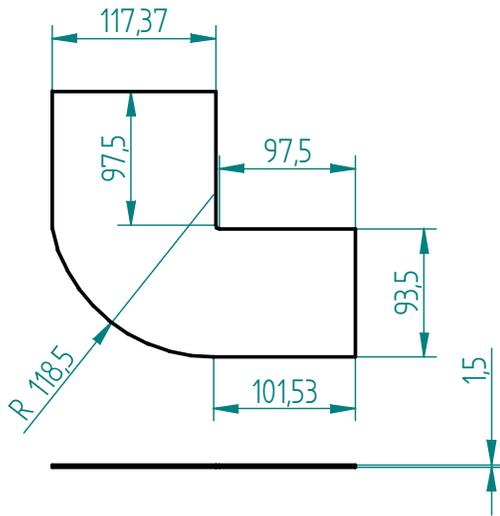


Soldadura West inox 308 L.

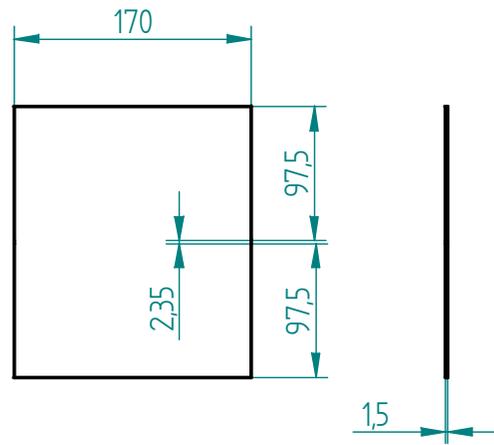
	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ojarte			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
1:5	PESTAÑAS DEL DUCTO DE ENTRADA A LA C.D.S.			
Id: 85070 85232				Lámina 30 de 37



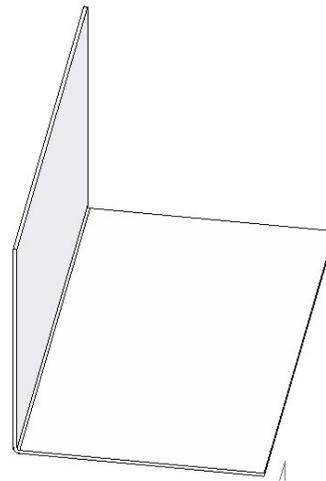
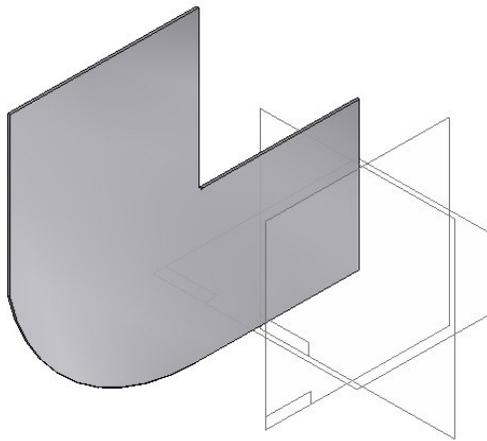
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
	VISTA EXPLOSIONADA DE CHIMENEA.			
Id: 85070 85232				Lámina 31 de 37



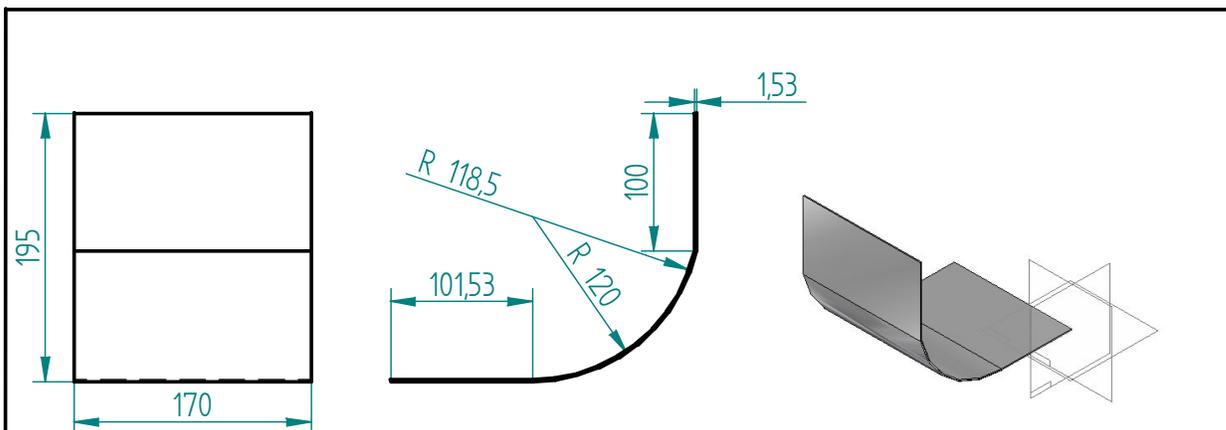
Laterales de Chimenea.



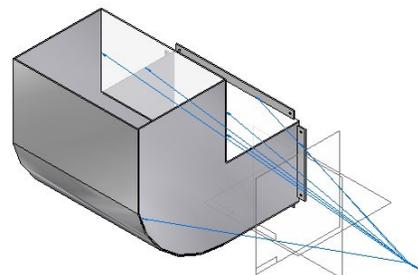
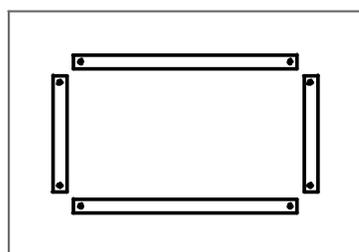
Parte Superior de Chimenea.



	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ollarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	PARTES DE CHIMENEA.			Lámina 32 de 37



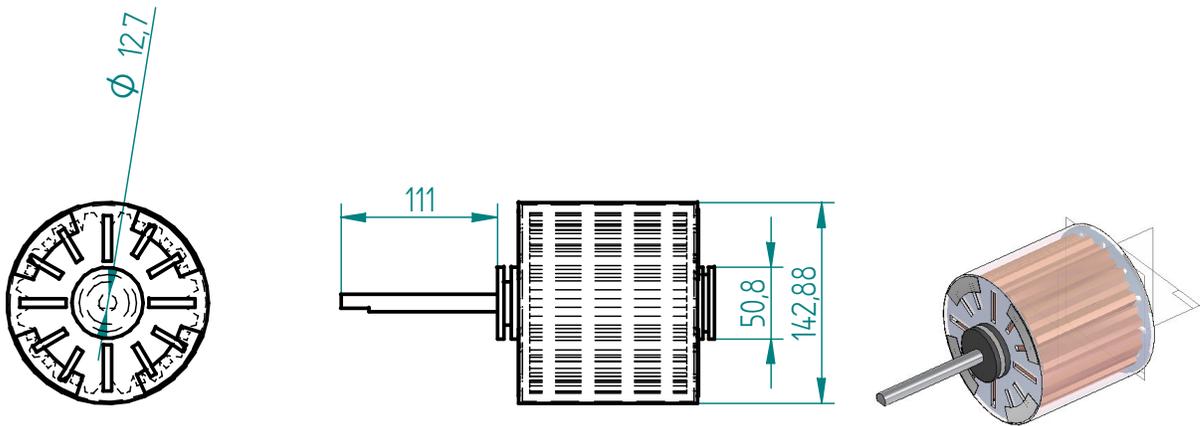
Parte Posterior de la Chimenea.



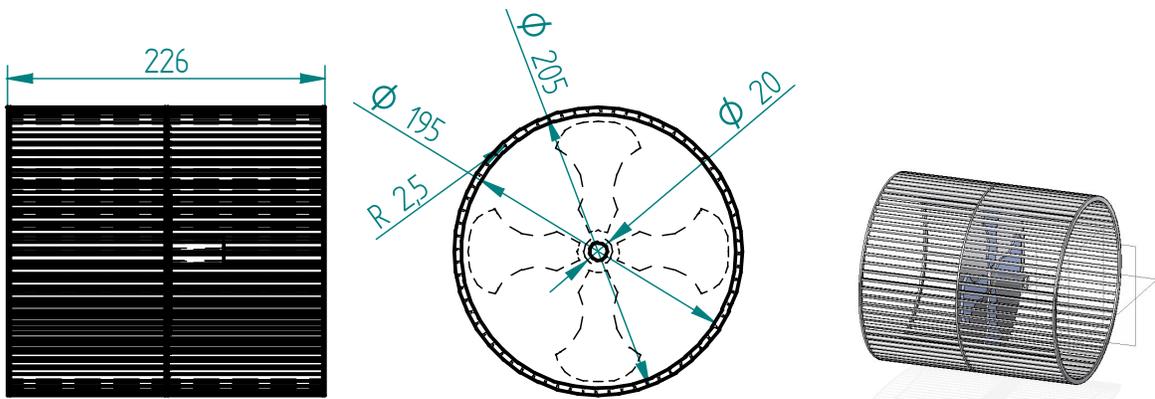
Pestañas de Chimenea.

Soldadura West inox 308 L.

	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ollarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	PARTES DE CHIMENEA.			Lámina 33 de 37

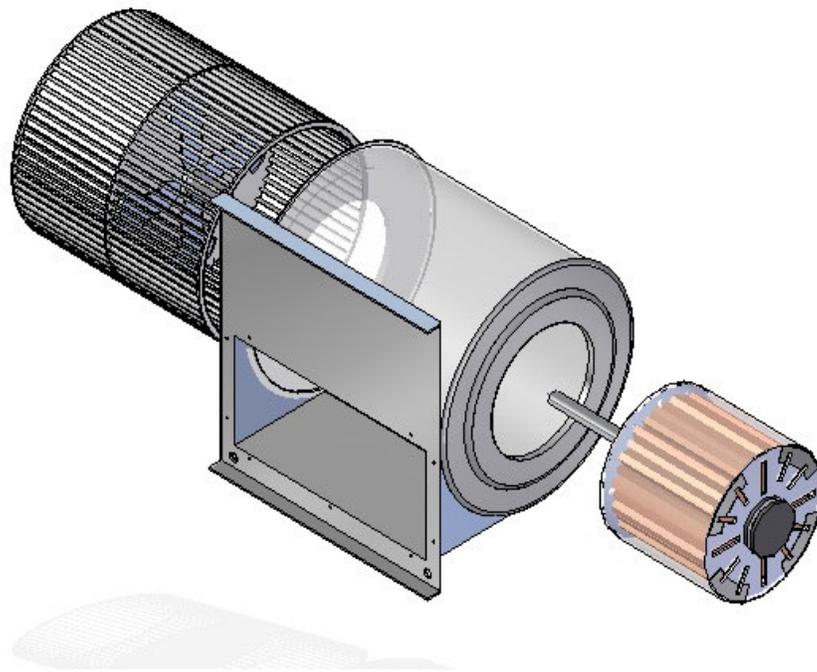
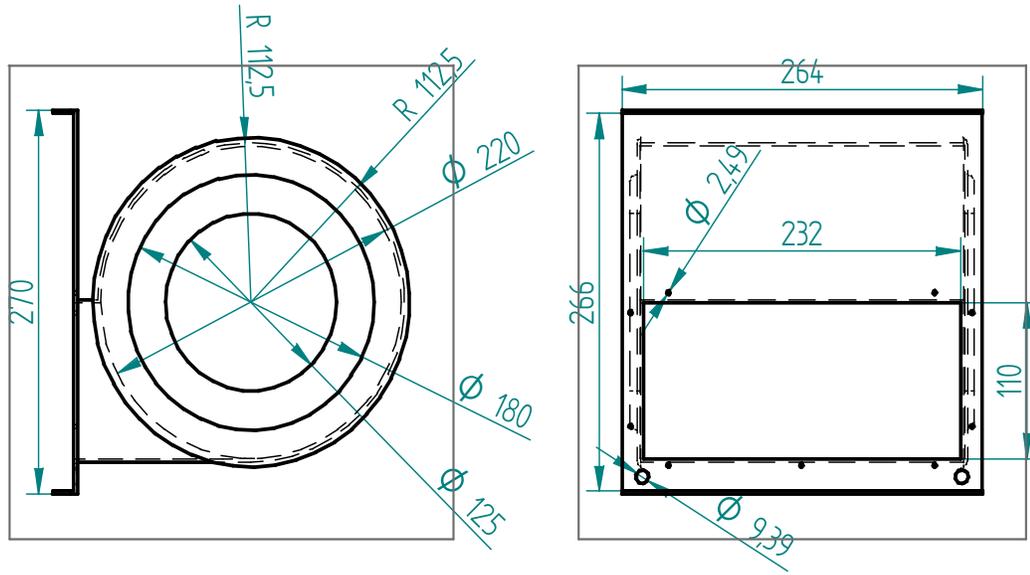


Motor Eléctrico.

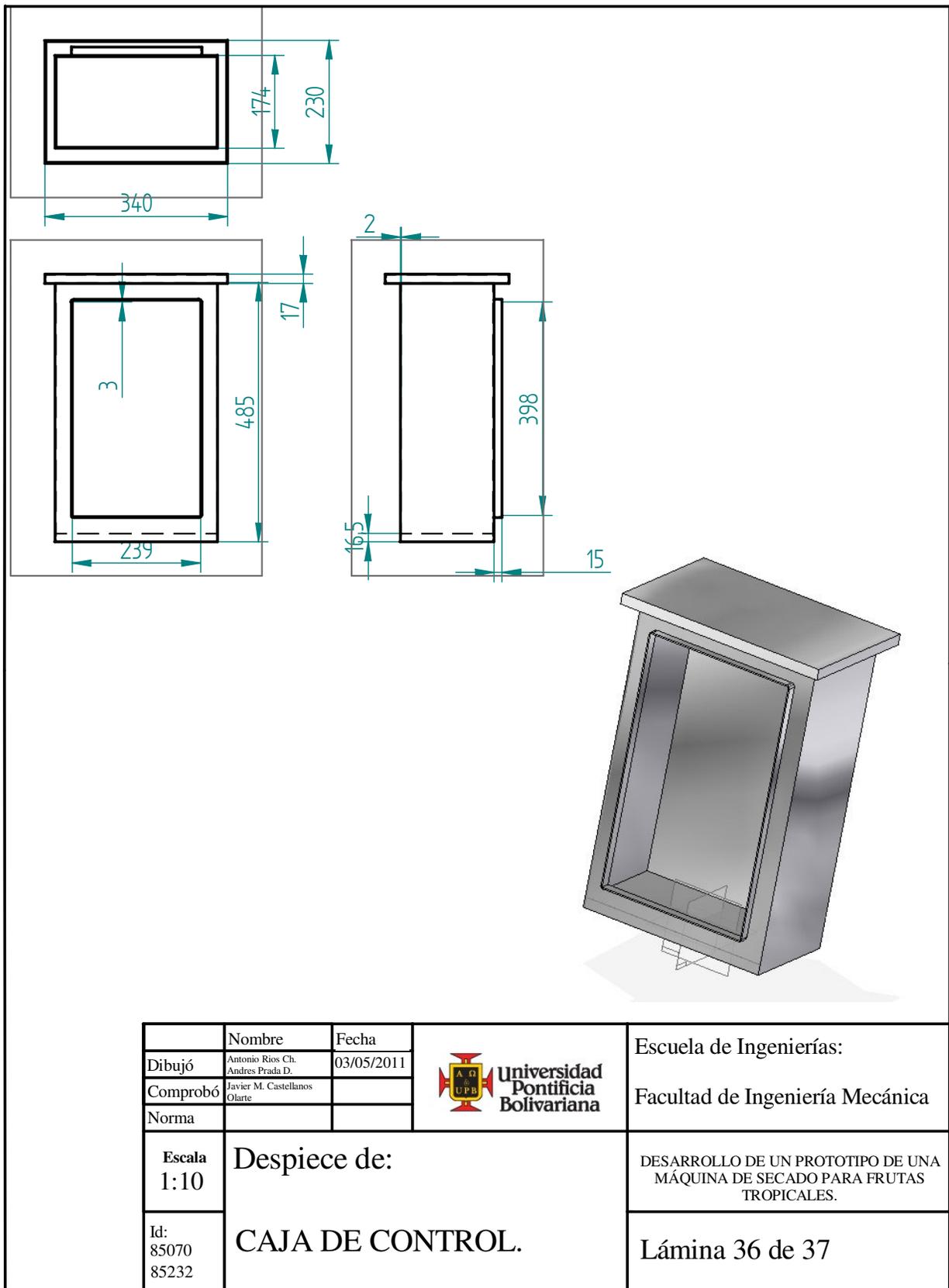


Álabes de Ventilador C.

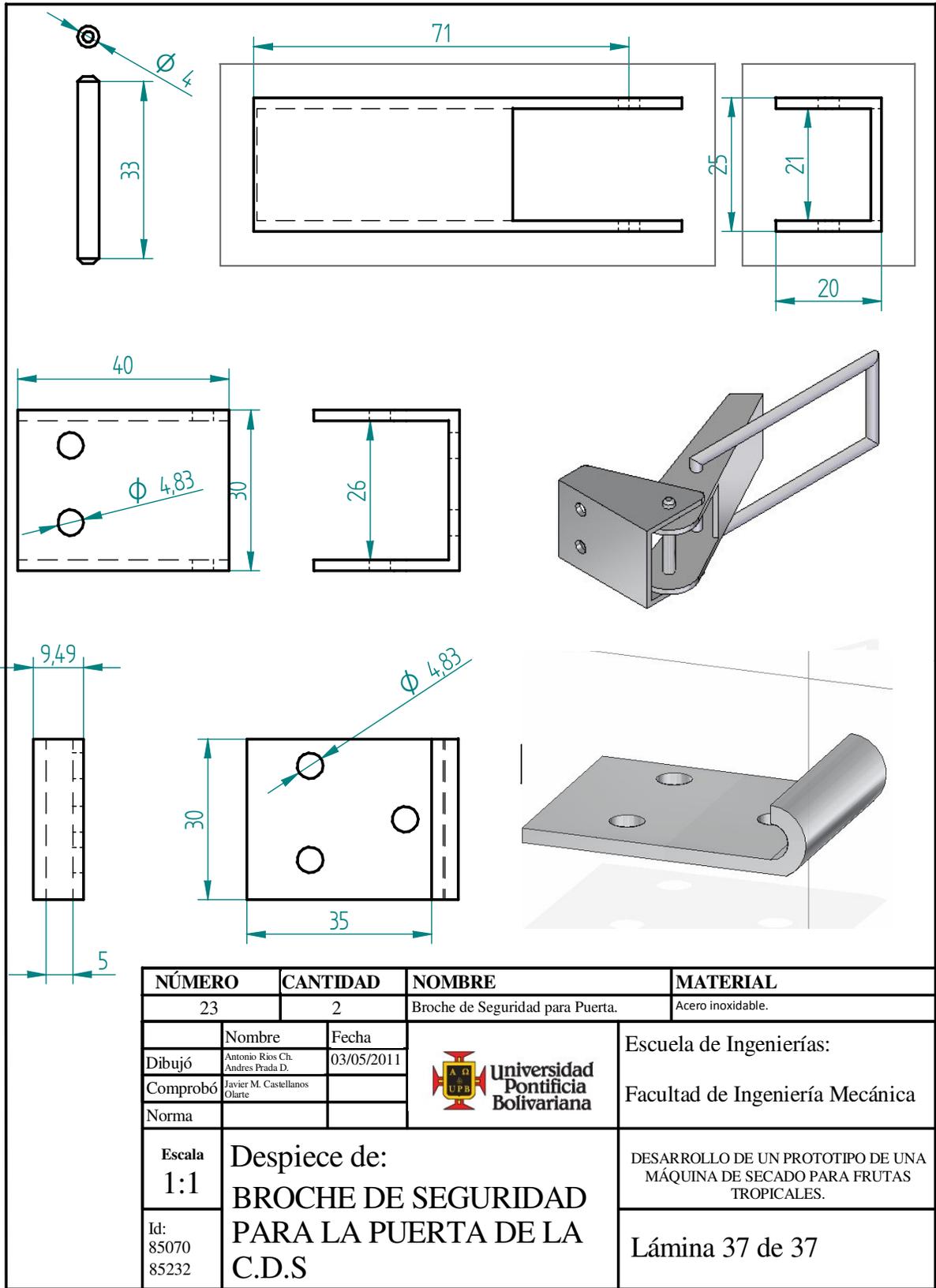
	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Ojarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PARTES DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 34 de 37



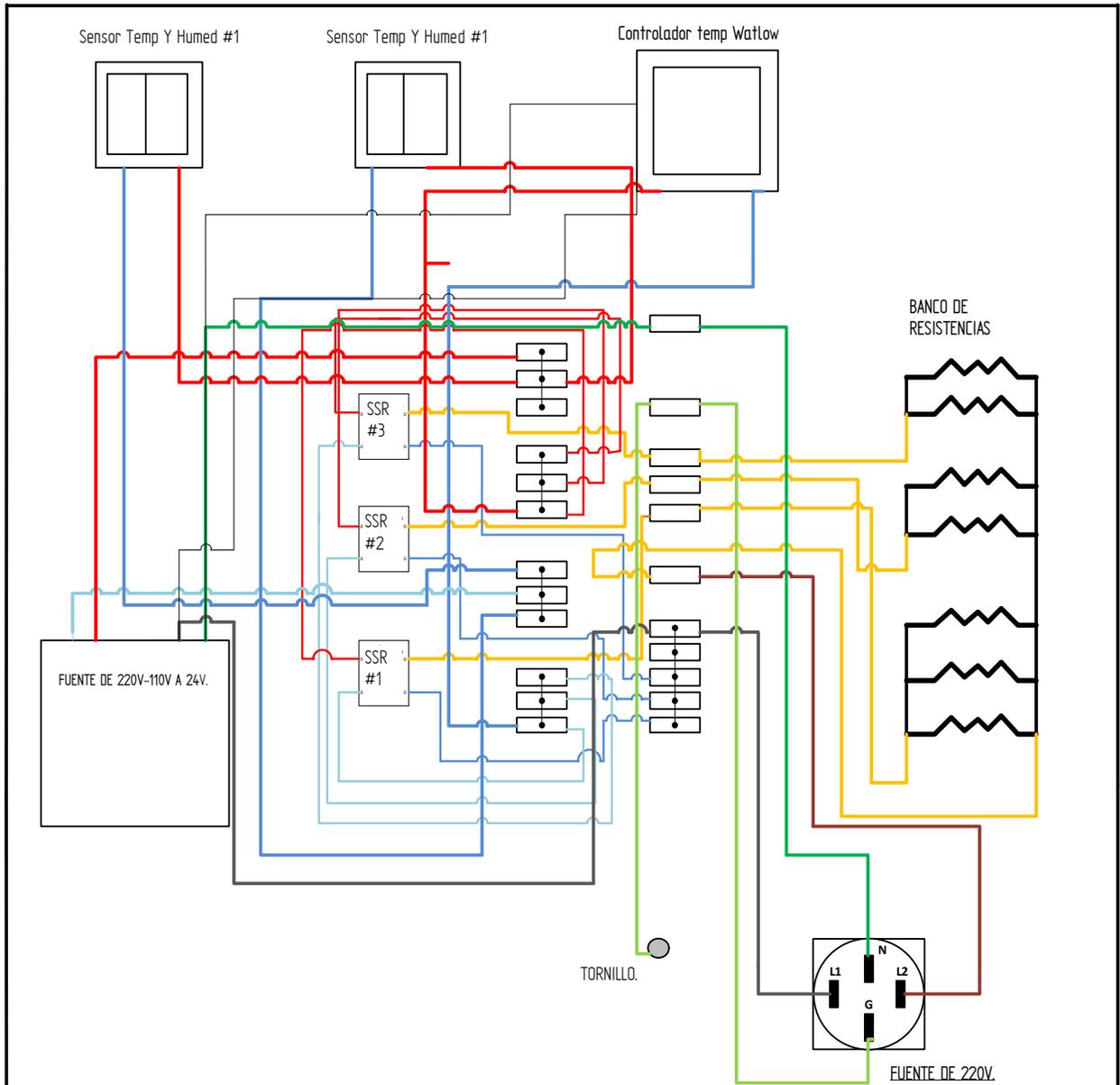
	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:5	Despiece de: PARTES DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 35 de 37



	Nombre	Fecha		Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala 1:10	Despiece de:			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232	CAJA DE CONTROL.			Lámina 36 de 37



NÚMERO	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL
23	2	Broche de Seguridad para Puerta.	Acero inoxidable.
	Nombre	Fecha	Escuela de Ingenierías: Facultad de Ingeniería Mecánica
Dibujó	Antonio Rios Ch. Andres Prada D.	03/05/2011	
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte		
Norma			
Escala 1:1 Id: 85070 85232	Despiece de: BROCHE DE SEGURIDAD PARA LA PUERTA DE LA C.D.S		DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES. Lámina 37 de 37



	Nombre	Fecha	 Universidad Pontificia Bolivariana	Escuela de Ingenierías:
Dibujó	Antonio Ríos Ch. Andrés Prada D.	03/05/2011		Facultad de Ingeniería Mecánica
Comprobó	Javier M. Castellanos Olarte			
Norma				
Escala	Plano Eléctrico del control de Temperatura del Sistema.			DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DE SECADO PARA FRUTAS TROPICALES.
Id: 85070 85232				Lámina 1 de 1

ANEXO 5: Tablas de Pruebas iniciales de Laboratorio

Tablas para las pruebas realizadas con Banano.

PRUEBA #1 : V1 y V3								
t(min)	0	45	90	135	180	300	420	660
Masa V	192,33519	192,33519	192,33519	192,33519	192,33519	192,33519	192,33519	192,33519
Masa V+B	277,115	269,2606	260,7565	253,119	247,5963	229,4861	225,1576	218,9751
Masa B	84,77981	76,92541	68,42131	60,78381	55,26111	37,15091	32,82241	26,63991
Xt	0	0,0926447	0,19295278	0,28303909	0,34818078	0,561795314	0,6128511	0,6857753

PRUEBA # 2 : V4 y V2								
t(min)	0	45	90	135	180	300	420	660
Masa V	193,4924	193,4924	193,4924	193,4924	193,4924	193,4924	193,4924	193,4924
Masa V+B	272,1244	264,4112	256,5963	250,3142	245,0987	227,8228	223,8986	218,1523
Masa B	78,632	70,919	63,104	56,822	51,606	34,330	30,4062	24,660
Xt	0	0,09809238	0,19747813	0,27737054	0,343698494	0,563404212	0,6133101	0,68638849

PRUEBA # 3 : V8 y V9							
t(min)	0	45	90	135	255	375	615
Masa V	195,01	195,01	195,01	195,01	195,01	195,01	195,01
Masa V+B	289,012	280,393	271,2165	263,5987	240,4164	234,0832	224,5523
Masa B	94,002	85,383	76,207	68,589	45,406	39,073	29,5423
Xt	0	0,09168954	0,1893098	0,270348503	0,51696347	0,5843365	0,6857269

Tablas para las pruebas realizadas con Piña.

PRUEBA # 3 :V8						
t(min)	0	60	120	180	210	390
Masa V.p	96,827	96,827	96,827	96,827	96,827	96,827
Masa V.p+B	132,8866	126,021	119,8434	113,8207	111,4872	103,297
Masa B	36,0596	29,194	23,0164	16,9937	14,6602	6,47
Xt (g H2O/g total)	0	0,1903959	0,3617123	0,5287330	0,5934453	0,8205748

PRUEBA # 1 :V2						
t(min)	0	60	120	180	210	390
Masa V.p	96,757	96,757	96,757	96,757	96,757	96,757
Masa V.p+B	135,38	129,3965	123,102	116,7556	114,428	104,5373
Masa B	38,623	32,6395	26,345	19,9986	17,671	7,7803
Xt (g H2O/g total)	0	0,1549206	0,3178935	0,4822101	0,5424747	0,7985579

PRUEBA # 2 : V4						
t(min)	0	60	120	180	210	390
Masa V.p	96,7354	96,7354	96,7354	96,7354	96,7354	96,7354
Masa V.p+B	139,0752	132,6102	125,6328	118,9708	116,188	105,1222
Masa B	42,3398	35,8748	28,8974	22,2354	19,4526	8,3868
Xt (g H2O/g total)	0	0,15269321	0,31748851	0,47483455	0,54055995	0,80191687

PRUEBA # 4 : V9						
t(min)	0	60	120	180	210	390
Masa V.p	98,183	98,183	98,183	98,183	98,183	98,183
Masa V.p+B	138,908	133,151	126,5505	120,4774	117,937	106,2118
Masa B	40,725	34,968	28,3675	22,2944	19,754	8,0288
Xt (g H2O/g total)	0	0,1413628	0,3034377	0,4525623	0,5149417	0,8028533

Tablas para las pruebas realizadas con Guayaba.

PRUEBA # 1 :V1					
t(min)	0	90	210	330	570
Masa V.p	96,891	96,891	96,891	96,891	96,891
Masa V.p+B	158,036	147,386	134,1955	123,6166	106,9027
Masa B	61,145	50,495	37,3045	26,7256	10,0117
Xt (g H2O/g total)	0	0,1741761	0,3899011	0,5629144	0,8362630

PRUEBA # 2 :V2					
t(min)	0	90	210	330	570
Masa V.p	96,8172	96,8172	96,8172	96,8172	96,8172
Masa V.p+B	160,2432	150,2824	136,908	125,4858	108,3541
Masa B	63,426	53,4652	40,0908	28,6686	11,5369
Xt (g H2O/g total)	0	0,15704601	0,36791221	0,54799924	0,81810456

PRUEBA # 3 :V3					
t(min)	0	90	210	330	570
Masa V.p	96,8007	96,8007	96,8007	96,8007	96,8007
Masa V.p+B	151,969	143,1938	130,7825	120,296	106,238
Masa B	55,1683	46,3931	33,9818	23,4953	9,4373
Xt (g H2O/g total)	0	0,1590624	0,3840339	0,5741159	0,8289362

PRUEBA # 4 :V4					
t(min)	0	90	210	330	570
Masa V.p	98,1733	98,1733	98,1733	98,1733	98,1733
Masa V.p+B	149,0835	141,1423	130,393	120,7201	106,3773
Masa B	50,9102	42,969	32,2197	22,5468	8,204
Xt (g H2O/g total)	0	0,1559845	0,3671268	0,5571261	0,8388535

ANEXO 6: Tablas para determinar el valor promedio de las densidades utilizadas para cada una de las frutas.

# Prueba	Masa de Banano (gr)	Volumen Desplazado (ml)	Densidad (gr/ml)	Densidad (Kg/m ³)
1	48,81	50	0,98	976,20
2	45,85	48	0,96	955,21
3	39,57	40	0,99	989,25
4	40,05	40	1,00	1001,25
5	34,74	35	0,99	992,57
6	48,32	50	0,97	966,40

# Prueba	Masa de Piña (gr)	Volumen Desplazado (ml)	Densidad (gr/ml)	Densidad (Kg/m ³)
1	19,96	20	1,00	998,00
2	32,12	25	1,28	1284,80
3	27,46	30	0,92	915,33
4	42,8	45	0,95	951,11
5	32,6	35	0,93	931,43
6	18,6	20	0,93	930,00
7	33	33	1,00	1000,00
8	26,94	25	1,08	1077,60
9	31,61	30	1,05	1053,67

# Prueba	Masa de Guayaba (gr)	Volumen Desplazado (ml)	Densidad (gr/ml)	Densidad (Kg/m ³)
1	60,04	65	0,92	923,69
2	32,58	35	0,93	930,86
3	41,47	45	0,92	921,56
4	32,39	35	0,93	925,43
5	30,34	30	1,01	1011,33
6	28,44	35	0,81	812,57
7	21,88	25	0,88	875,20

ANEXO 7: PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA

- 1.** Conectar el ventilador a alimentación de 220V.
- 2.** Girar la perilla del motor para ajustarlo a máxima velocidad.
- 3.** Conectar la clavija que energiza los relés de estado sólido, alimentación de 24 voltios, Transmisores de Humedad Relativa y temperatura y controlador Watlow.
- 4.** Encender el controlador de temperatura y ajustar el Set Point (60°C). Se debe ir aumentando la temperatura gradualmente de 10°C hasta llegar a éste.
- 5.** Abrir la puerta para acceder a la C.D.S.
- 6.** Retirar las bandejas lisas o parrillas de la C.D.S cuidadosamente. (Recuerde que en el interior de la máquina hay aire caliente, si se puede utilice guantes para retirar las bandejas o parrillas).
- 7.** Pelar, cortar y ubicar las muestras en las bandejas o parrillas.
- 8.** Pesar las bandejas o Parrillas sin las muestras (según corresponda la prueba).
- 9.** Pesar las bandejas o parrillas con las porciones de fruta (Tener el cuenta que se debe tener el mismo peso en cada una de las bandejas por tanda).
- 10.** Ingresar las bandejas o parrillas dentro de la C.D.S.
- 11.** Luego de realizar estos procedimientos, se deben retirar las bandejas o parrillas en intervalos iguales de 60 minutos por 465 minutos y en cada tiempo tomar datos de peso.

ANEXO 8: GUÌA DE MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES DE USO DEL PROTOTIPO

Como se trata de una máquina sencilla, solo se deben realizar los siguientes procedimientos para asegurar el óptimo funcionamiento de la misma:

1. Lavar las bandejas o parrillas después de terminar las pruebas.
2. Cuando el motor está trabajando a su máxima capacidad se debe colocar un ventilador que ayude a disminuir la temperatura de éste, para que trabaje de una mejor manera.
3. Ocasionalmente lavar y secar el porta bandejas, además de limpiar con un paño las paredes en el interior de la cámara (no utilizar productos como, límpido o alcoholes ya que puede retirar la capa de Cover Cryl que tiene ésta).
4. Cada 2 meses, retirar los tornillos que unen las dos partes del ducto de entrada para realizar una limpieza en el interior del mismo, esto, con el fin de que el aire que entre a la C.D.S sea lo más limpio posible.
5. Llevar el motor eléctrico a revisión cada año.
6. No tocar las líneas que conectan las resistencias.
7. Cambiar el aislante de las tuberías cuando sea necesario.