



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁTRONICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
DESHIDRATADORA AUTOMÁTICA, PARA FRUTAS Y
VERDURAS PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.**

AUTORES:

**BAUTISTA CHIMARRO LUIS ALFREDO
MEZA MOREJÓN DAVID FEDERICO**

DIRECTOR: ING. GUASUMBA JOSÉ, MSC.

SANGOLQUÍ

2016

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA AUTOMÁTICA PARA FRUTAS Y VERDURAS PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A." realizado por los señores **BAUTISTA CHIMARRO LUIS ALFREDO Y MEZA MOREJÓN DAVID FEDERICO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **BAUTISTA CHIMARRO LUIS ALFREDO Y MEZA MOREJÓN DAVID FEDERICO** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 27 de enero de 2016

Atentamente,

ING. GUASUMBA JOSÉ, MSC

DIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **MEZA MOREJÓN DAVID FEDERICO** con cédula de Identidad N° 1713168456 y **BAUTISTA CHIMARRO LUIS ALFREDO** con cédula de Identidad N° 1717858557 declaramos que este trabajo de titulación " **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA AUTOMÁTICA PARA FRUTAS Y VERDURAS PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, ha si también como se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 27 de enero de 2016


DAVID FEDERICO MEZA MOREJÓN

C.C 1713168456

LUIS ALFREDO BAUTISTA CHIMARRO

C.C 1717858557

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **MEZA MOREJÓN DAVID FEDERICO** y **BAUTISTA CHIMARRO LUIS ALFREDO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación " **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIDRATADORA AUTOMÁTICA PARA FRUTAS Y VERDURAS PARA LA EMPRESA SENSORTECSA S.A.**" cuyos contenidos, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 27 de enero de 2016

DAVID FEDERICO MEZA MOREJÓN

C.C 1713168456

LUIS ALFREDO BAUTISTA CHIMARRO

C.C 1717858557

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, a mis padres y hermanos.

A Dios porque ha estado conmigo en cada momento, dándome fortaleza para continuar.

A mis padres quienes han velado incondicionalmente por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo en todo momento, a mis hermanos quienes han depositado su confianza, sin dudar ni un solo momento en mis capacidades.

Luis Bautista

A Dios por derramar Sabiduría y paciencia en mí día tras día para no abandonar este difícil camino.

A mis Padres Federico y Nancy por demostrarme que a base de Esfuerzo, Principios y Sacrificio es posible alcanzar la meta, son un ejemplo a seguir.

A mis hermanas Isabel y Daniela que mi esfuerzo se convierta en su motivación personal para alcanzar sus metas.

David Meza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida. A mis padres Luis y Bertha, quienes me han apoyado y motivado mi formación académica. A mis hermanos Fabián, Miguel y Ramiro por ser mi apoyo y fuerza para seguir adelante. A mis profesores por su colaboración intelectual a lo largo de mi carrera Universitaria.

Luis Bautista

Agradezco primero a Dios por permitirme culminar esta proyecto con éxito, superando muchos inconvenientes y obstáculos, definitivamente él ha trazado el camino para cumplir con esta etapa de estudios. A mis Padres quienes por medio de sus consejos y soporte han colaborado enormemente para culminar este proyecto. Al Ing. José Guasumba, Director del Proyecto por su colaboración no solo intelectual sino también anímica a través de sus palabras y consejos entregados durante la realización del Proyecto.

David Meza

INDICE DE CONTENIDO

	PAG
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del Problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación e Importancia	4
1.6 Área de Influencia.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Definiciones Generales.....	6
2.2 Características Generales de la Uvilla.....	7
2.3 Características Generales del Mango.....	8
2.4 Características Generales de la Piña.	10
2.5 Características Generales del Plátano.....	11

2.6	Deshidratación.....	12
2.7	Actividades Previas a la Deshidratación.....	13
2.8	Procesos Posteriores a la Deshidratación	14
2.9	Influencia de Parámetros en la Calidad Final del Producto.	14
2.10	Tecnología del Secado	16
2.11	Por el Método de Proporcionar Calor	17
2.12	Cinética del Secado.....	22
2.13	Velocidad Constante de Secado.....	24
2.14	Velocidad Decreciente de Secado.....	25
2.15	Tiempo y Temperatura.....	25
2.16	Convección	26
2.17	Radiación.....	27
2.18	Conducción.....	28
2.19	Control Industrial.....	28
2.19.1	Controladores Lógicos Programables.....	29
2.19.2	Controlador Coupler Modbus TCP.....	29
CAPÍTULO 3.....		33
DISEÑO TÉRMICO.....		33
3.1	Calor Sensible	33
3.2	Calor de Evaporación	35
3.3	Calor Útil.....	36
3.4	Dimensionamiento de la Cámara de Deshidratado	37
3.5	Perdidas de Calor en la Cámara de Deshidratado	40
3.5.1	Perdidas en la Masa	40
3.5.2	Coeficiente Global de Transferencia de Calor en la Masa.....	46
3.5.3	Calor Neto Requerido en la Cámara de Deshidratado	59
3.5.4	Perdidas de Presión en la Cámara de Deshidratado.....	60
CAPÍTULO 4.....		64
DISEÑO MECATRÓNICO		64
4.1	Sistema Mecánico	64

4.1.1	Análisis Estructural	64
4.1.2	Masa de Bandejas de Aluminio Serie 3000	64
4.1.3	Masa de la Fruta	65
4.1.4	Masa Aproximada de la Máquina	66
4.1.5	Masa Aproximada de Motores y Niquelinas Eléctricas	73
4.1.6	Cálculo Estructural.....	75
4.2	Sistema Eléctrico Electrónico	84
4.2.1	Selección del Ventilador Centrifugo.....	84
4.2.2	Selección de Niquelinas Eléctricas	87
4.2.3	Selección del Conductor Eléctrico	89
4.2.4	Selección del Contactor	89
4.2.5	Selección de Sensores	92
4.2.6	Selección de Controlador Lógico Programable.....	92
4.2.7	Fuente de Alimentación 24VDC.....	93
4.2.8	Distribución del Tablero de Control.....	94
4.2.9	Esquemas Eléctricos de Potencia y Control	94
4.3	Sistema de Control	97
4.3.1	Descripción del Proceso	97
4.3.2	Controlador ON-OFF	98
4.3.3	Diagrama de Flujo y de Control	99
4.3.4	Diseño del HMI	100
4.3.5	Programación del Sistema de Control	105
4.3.5.1	Algoritmo de Control de Temperatura.....	106
CAPÍTULO 5.....		107
MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN		107
5.1	Características Generales	107
5.2	Lista de Materiales.....	108
5.2.1	Eléctrico	108
5.2.2	Electrónico y Control.....	109
5.2.3	Metal Mecánica e Insumos	109
5.3	Procesos de Fabricación parte Mecánica	111

5.3.1	Construcción de la Estructura Externa	111
5.3.2	Construcción de la Estructura Posterior de la Cámara	112
5.3.3	Construcción de la Cámara de Deshidratado	113
5.3.4	Construcción Armazón Soporta Bandejas	115
5.3.5	Colocación de Niquelinas y Ventiladores.....	116
5.3.6	Pared Aislante	117
5.3.7	Puerta del Horno.....	117
5.3.8	Paredes Externas	118
5.4	Uniones por Pernos y Pasadores	120
5.5	Enderezado y Conformado	120
5.6	Proceso de Implementación parte Electrónica.....	121
5.6.1	Montaje y distribución en el Tablero de Control	121
5.7	Tiempos de Fabricación.....	124
CAPÍTULO 6.....		125
PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		125
6.1	Protocolo de Pruebas	125
6.1.1	Pruebas en Vacío	125
6.1.2	Pruebas con Carga.....	126
6.2	Valores Prácticos.....	127
6.2.1	Pruebas con Carga de la Piña	127
6.2.2	Pruebas con Carga de la Uvilla	129
6.3	Temperatura Externa al Horno Deshidratador	132
6.4	Pruebas del Controlador Usado ON – OFF	133
6.5	Análisis de Resultados.....	134
CAPÍTULO 7.....		135
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO		135
7.1	Análisis de Costos	135
7.1.1	Costos Directos	135
7.1.1.1	Costo de Materiales Mecánicos.....	135
7.1.1.2	Costo de Materiales Eléctrico Electrónico	136

7.1.1.3 Costo de Mano Obra y Taller.....	137
7.1.1.4 Costo Total de la Maquinaria.....	137
7.1.2 Costos Indirectos.....	138
7.1.3 Costos Totales.....	138
7.2 Evaluación Financiera.....	138
7.2.1 Fuente de Financiamiento.....	138
7.2.2 Valor Actual Neto.....	139
7.2.3 Flujo de Caja.....	141
7.2.4 Valor Actual Neto (V.A.N).....	141
7.2.5 Tasa Interna de Retorno (T.I.R).....	143
CAPÍTULO 8.....	144
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
8.1 CONCLUSIONES.....	144
8.2 RECOMENDACIONES.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	147

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de Secado Continuo.	16
Figura 2	Proceso de Secado Discontinuo.	17
Figura 3	Secadero de bandejas con corriente de Aire.	18
Figura 4	Secadero de Túnel Contracorriente.	19
Figura 5	Secaderos Rotatorios.	20
Figura 6	Curva de Secado de la Uvilla.	22
Figura 7	Curva de Secado del Plátano.	23
Figura 8	Curva de Secado del Mango.	23
Figura 9	Curva de Secado de la Piña.	24
Figura 10	Controlador Coupler MODBUS TCP.	30
Figura 11	Panel Touch 7" Beckhoff.	32
Figura 12	Sensor de Humedad y Temperatura.	32
Figura 13	Bandeja de Deshidratación.	38
Figura 14	Distribución de las Bandejas.	39
Figura 15	Orificios Distribución Uniforme del Aire.	40
Figura 16	Área transversal de la Cámara de Deshidratado.	41
Figura 17	Diámetro Hidráulico de la Cámara de Deshidratado.	43
Figura 18	Circuito Térmico para las Frutas.	47
Figura 19	Diagrama de Moody.	51
Figura 20	Analogía Eléctrica–Paredes de la Cámara de Deshidratado.	56
Figura 21	Diagrama de Perdidas de Presión.	60
Figura 22	Coeficientes de Perdidas por Contracción y Expansión.	62
Figura 23	Análisis Estático de las Reacciones en la Estructura.	76
Figura 24	Análisis Estático de la Estructura en la Base del Horno.	76
Figura 25	Análisis el Esfuerzo Presente en una de las Vigas.	77
Figura 26	Análisis de Esfuerzos Presentes en toda la Estructura.	77
Figura 27	Análisis de Desplazamiento en la Estructura.	78
Figura 28	Estructura Metálica Usada para la Deshidratadora.	84
Figura 29	Distribución y Geometría de las Niquelinas Usadas.	88
Figura 30	Distribución del Tablero de Control.	94
Figura 31	Distribución del Tablero de Control.	95
Figura 32	Distribución del Tablero de Potencia.	96
Figura 33	Controlador de Temperatura ON-OFF.	98
Figura 34	Diagrama de Control del PLC.	100
Figura 35	Pantalla Inicial HML.	101
Figura 36	Pantalla Principal del Administrador.	101
Figura 37	Pantalla Principal del Usuario.	102
Figura 38	Pantalla de Selección de Frutas.	102
Figura 39	Pantalla de Control Manual.	103
Figura 40	Pantalla de Control Automático.	104

Figura 41 Pantalla de Tiempo / Temperatura.....	104
Figura 42 Pantalla de Tiempo / Humedad	105
Figura 43 Detalles de las Partes Constructivas del Horno Desh	107
Figura 44 Tipos de Juntas Utilizadas para la Elaboración	112
Figura 45 Estructura Metálica de la parte Exterior del Horno	112
Figura 46 Estructura Posterior de la Cámara de Deshidratado	113
Figura 47 Trazo y Corte de las Planchas de Acero Inoxidable	114
Figura 48 Recubrimiento de la Cámara Interna con Acero Inox. 304	115
Figura 49 Armazón Soporta Bandejas.....	116
Figura 50 Colocación de Niquelinas y Moto Ventiladores.....	116
Figura 51 Aislantes en las Paredes de la Cámara	117
Figura 52 Construcción Puerta del Horno	118
Figura 53 Colocación de Acero Galvanizado en paredes Laterales	119
Figura 54 Colocación Recubrimiento parte Posterior e Inferior	119
Figura 55 Construcción Total Parte Mecánica de la Deshidratadora	121
Figura 56 Canaletas en Laterales del Tablero	122
Figura 57 Rieles y Elementos de Potencia, Control.....	122
Figura 58 Detalle de la Conexión Eléctrica en el Tablero de Control.....	123
Figura 59 Distribución de la Pantalla, Luces y Botones en el Tablero	123
Figura 60 Curva de Deshidratado Masa en f (Tiempo), Piña.....	128
Figura 61 Curva de Deshidratado % Humedad en f (Tiempo), Piña.....	128
Figura 62 Curva de Deshidratado Masa en f (Tiempo), Uvilla	130
Figura 63 Curva de Deshidratado % Humedad en f (Tiempo), Uvilla	130
Figura 64 Gráfica de Valores Temperatura en Función del Tiempo	131
Figura 65 Graficas de Temperaturas Externas	132
Figura 66 Respuesta del Sistema Control ON- OFF.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Nutricional de la Uvilla.....	8
Tabla 2 Propiedades Físico Químicas de la Uvilla.....	8
Tabla 3 Composición Nutricional del Mango.....	9
Tabla 4 Propiedades Físico Químicas del Mango.....	9
Tabla 5 Composición Nutricional de la Piña.	10
Tabla 6 Propiedades Físico Químicas de la Piña.	10
Tabla 7 Composición Nutricional del Plátano.	11
Tabla 8 Propiedades Físico Químicas del Plátano.	11
Tabla 9 Calor Específico de las Frutas a Deshidratar.....	34
Tabla 10 Temperatura del Proceso para la Masa	34
Tabla 11 Calor Sensible de las Frutas a Procesar.....	34
Tabla 12 Calor de Evaporación de las Frutas a Procesar.....	36
Tabla 13 Calor Útil	37

Tabla 14 Volumen de Deshidratado por Jornada.....	37
Tabla 15 Resultados de los Cálculos de Flujo Másico y Velocidad.	45
Tabla 16 Valores del Caudal Requerido para la Cámara.....	46
Tabla 17 Viscosidad Cinemática de Aire a Presión Constante de 1atm	48
Tabla 18 Valores del Número de Reynolds.	49
Tabla 19 Valores del Número de Prandtl.	49
Tabla 20 Valores del Número de Nusselt de las Frutas.....	52
Tabla 21 Conductividad Térmica del Aire en Función de Temperatura	52
Tabla 22 Coeficiente de Convección Interna en la Cámara.....	52
Tabla 23 Coeficiente de Convección Externa.	53
Tabla 24 Coeficiente de Conductividad Térmica de la Masa.	54
Tabla 25 Coeficiente de Conductividad Térmica de los Materiales.....	54
Tabla 26 Coeficiente Global de Transferencia de Calor.	54
Tabla 27 Pérdidas de Calor por Jornada en la Masa.....	55
Tabla 28 Pérdidas de Calor por Jornada en el Aire.	56
Tabla 29 Coeficiente Global de Transferencia de Calor en Paredes.	57
Tabla 30 Pérdidas de Calor en las Paredes.	58
Tabla 31 Calor Total perdido por Jornada.	59
Tabla 32 Calor Neto Total Requerido por Jornada.	59
Tabla 33 Características Técnicas de la Fibra de Vidrio.....	68
Tabla 34 Características Técnicas del Acero Galvanizado.....	69
Tabla 35 Características Técnicas del Tubo de Acero Inox 304.....	72
Tabla 36 Características Técnicas del Angulo de Acero Inox 304.....	73
Tabla 37 Descripción de Masas por Componentes Mecánicos	75
Tabla 38 Características Técnicas Coeficientes de Resistencia.....	82
Tabla 39 Datos Obtenidos	83
Tabla 40 Ventiladores Disponibles en el Mercado.....	85
Tabla 41 Carga Específica Máxima en Aleaciones.....	87
Tabla 42 Máximas Potencias Tubulares, Aleaciones de Níquel-Cromo	88
Tabla 43 Selección de Conductor Eléctrico.	89
Tabla 44 Dimensionamiento de Contactores.	91
Tabla 45 Selección de Contactores Schneider	91
Tabla 46 Materiales e insumos Eléctricos.....	108
Tabla 47 Materiales de Monitoreo y Control	109
Tabla 48 Materiales e Insumos Mecánicos.....	109
Tabla 49 Características de los Pernos Tirafondos	120
Tabla 50 Tiempos de Fabricación.....	124
Tabla 51 Protocolo de Resultados en Vacío.....	125
Tabla 52 Protocolo de Resultados en Carga	126
Tabla 53 Resultados de la Prueba Carga Piña.....	127
Tabla 54 Resultados de la Prueba Carga Uvilla	129
Tabla 55 Valores Temperatura en Función del Tiempo	131

Tabla 56 Valores de Temperatura Externos a la Cámara.....	132
Tabla 57 Temperaturas y Tiempos de Secado	134
Tabla 58 Costo Materiales Mecánicos.	136
Tabla 59 Costo de Materiales Eléctricos Electrónicos.	136
Tabla 60 Costo de Mano de Obra y Taller.	137
Tabla 61 Costo Total de la Maquinaria.	137
Tabla 62 Costos Indirectos.	138
Tabla 63 Costos Totales.	138
Tabla 64 Producción Anual Estimada.	139
Tabla 65 Costo Mano de Obra por Carga.....	140
Tabla 66 Costos Consumo Energético.	140
Tabla 67 Flujo de Caja con Proyección a Diez Años.	141
Tabla 68 Cálculos del Valor Actual Neto V.A.N.	142

RESUMEN

El presente proyecto consistió en el diseño, construcción y automatización de una máquina para deshidratar frutas y vegetales de manera automática con una capacidad promedio de 100kg por carga. En este diseño se consideró las propiedades de los materiales, en especial para la elaboración de la cámara de deshidratado que debió ser de acero inoxidable debido al contacto directo con productos alimenticios. La máquina es gobernada por un controlador lógico programable (PLC) BECKHOFF encargado de la maniobra, control y señalización de variables como la temperatura, la humedad y el tiempo envueltos en el proceso de deshidratación, que se muestran mediante la pantalla Intouch ADVANTECH de siete pulgadas ubicada en la pared lateral izquierda de la máquina. Para la optimización de los tiempos de trabajo se diseñó un sistema mecatrónico compuesto por un novedoso sistema de recirculación de aire que disminuyó tanto el consumo energético del sistema así también como el tiempo de trabajo. En el análisis económico y financiero se reflejó que la construcción de este deshidratador tuvo una rentabilidad alta y atractiva, debido a su alta capacidad de procesamiento, su buen aprovechamiento de espacios y la funcionalidad conveniente de cada uno de los elementos empleados en la máquina. El deshidratador es un artefacto amigable con el usuario debido a su fácil operación por medio de la pantalla Intouch y su destacado y claro sistema de distribución de botones.

PALABRAS CLAVE:

- **DESHIDRATADORA**
- **CONTROL DE TEMPERATURA**
- **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.**

ABSTRACT

This Project consists on designing and construction of a 100 kilos Automatic Fruts and Vegetables dehydration machine, In this design it has been considered the properties of the materials for the production of the dehydrated chamber, resolving that it has to be stainless Steel. The device is governed by a Programmable logic Controller (PLC) BECKHOFF incharged of maneuvering, controlling and signposting of temperature and humidity involved in the process showed by the 7 inch ADVANTECH Intouch screen localized at the left side wall of the structure. For optimization of working time, it was designed a mechatronics system composed by an interesting and well developing recirculation system of air that decreases the process time as well as the energy consumption amount which the device works. In the economic and financial analysis, it reflects that the dehydrator has a high and attractive money returns, due to its great processing capacity and its good using space distribution. Moreover It is friendly with the operator because its easy mode operation and its clever control buttons distribution.

KEY WORDS:

- **DEHYDRATOR**
- **TEMPERATURE CONTROL**
- **PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En la actualidad existe una considerable oferta de alimentos y productos tradicionales en el Ecuador lo que conllevó a la búsqueda de nuevas opciones e inclusive estrategias por parte del productor para vender con éxito su producto. Las alternativas para dar un valor agregado al producto pueden estar en su novedosa presentación a la venta, su conveniente precio o sus cualidades y propiedades únicas en comparación con productos semejantes.

En base a los conocimientos adquiridos a lo largo del tiempo en la Universidad se contó con los medios suficientes y el método de investigación adecuado para cubrir las expectativas creadas por parte de los productores de alimentos para alcanzar el éxito, herramientas que contribuyeron para la creación de una máquina que optimice los recursos humanos, disminuya los tiempos en los procesos de producción y sea “amiga” del usuario.

Entonces se llegó a la conclusión que el valor agregado que adquiera la empresa que utilice la máquina sea el método amigable y sencillo de operación de la misma.

Por su parte SENSORTECSA S.A. es una empresa que se dedica al estudio, diseño e implementación de proyectos industriales de ingeniería que abarca el desarrollo de nueva maquinaria de operación y control automático en sus procesos desde hace más de una década, razón por la cual consideró conveniente en contar con nuestra propuesta para cubrir la demanda de una empresa en formación con base en Machachi, que había solicitado anteriormente una máquina que pudiera deshidratar frutas y verduras de la zona de manera precisa, rápida y económicamente conveniente.

En su afán de mejoramiento y expansión la empresa tomó la decisión de entregar la responsabilidad del desarrollo de este proyecto, tomando en cuenta el valor agregado ofrecido en el mismo, el que estaría orientado hacia el campo de la automatización y el control, factores que disminuirían considerablemente los tiempos de los procesos y lograrían controlar las variables involucradas en el proceso de deshidratación con mayor exactitud, abaratando de manera considerable los costos de producción.

1.2 Definición del Problema

Las comunidades de Machachi debido a su falta de conocimiento y recursos económicos se acostumbraron a la venta directa de las frutas y vegetales tal y como las obtenían de las cosechas de sus terrenos, es decir la materia prima era vendida sin procesar, lo que hacía del producto un elemento carente de valor agregado que generaba una utilidad baja para sus productores quienes además en muchos casos eran forzados a vender estos productos a precios muy bajos debido a la relativa facilidad de descomposición de sus frutas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un sistema automático de deshidratación de frutas y verduras empleando diferentes técnicas y herramientas mecánicas, eléctricas, electrónicas y computacionales utilizadas por la ingeniería.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Controlar la cantidad de agua remanente en las frutas una vez que pasaron por el proceso de deshidratación dependiendo del criterio del usuario.
- Disminuir el tiempo en el proceso de deshidratación de frutas y verduras por medio del uso correcto de la máquina en comparación con el tiempo que toma a otras máquinas de similares características.
- Mediante la implementación de la máquina demostrar de que manera influye la ingeniería en proporcionar un fácil entendimiento al usuario de su cualidades y funcionamiento .

1.4 Alcance

Este proyecto se enfocó a la construcción e implementación de un equipo de deshidratación para frutas y verduras para la empresa SENSORTECSA S.A.

Se inició con resultados de investigación y análisis del comportamiento de las frutas y verduras más representativas de la zona de donde se obtuvo la información necesaria para el diseño térmico de la fuente de calor, el diseño mecánico del gabinete y el diseño del sistema de control, los mismos que fueron construidos utilizando materiales disponibles en el país.

Finalmente el proyecto incluyó con la entrega del manual de usuario en donde se detalló el correcto uso de la máquina, así como los respectivos planos de conjunto, planos mecánicos, eléctricos, de control, manual de mantenimiento y de seguridad.

1.5 Justificación e Importancia

Ecuador cuenta con una amplia capacidad agrícola lo que incentiva al desarrollo de proyectos que puedan mejorar las condiciones de producción actuales y de esta manera reducir los costos de producción y obtener un producto final de mejor calidad.

La empresa SENSORTECSA S.A. ha decidido apoyar en el diseño y construcción del deshidratador para frutas y verduras donde se tomó en cuenta que la tecnología está al alcance por medio del conocimiento adquirido y su bajo costo en la fabricación en relación a otros sistemas de deshidratación como la liofilización, procedimiento en el que se congela un producto para deshidratarlo en vacío por sublimación.

El proceso de deshidratar ayuda considerablemente a conservar las características físicas que pueden ser percibidas por los sentidos como olor, sabor, color y las cualidades nutricionales. Se reducen los espacios de almacenaje, manipulación y transporte ya que se optimiza el tamaño del producto y se disminuye su peso.

A su vez se pueden conservar excedentes de cosechas, evitando desperdiciar el producto que no ha sido procesado, como también se descarta la exposición del producto a polvo e insectos.

Se entregó estabilidad en el control de las condiciones envueltas en este proceso como temperatura, humedad, velocidad y circulación de aire manteniendo todas las enzimas y vitaminas de los alimentos intactas.

1.6 Área de Influencia

Para el desarrollo e implementación la empresa SENSORTECSA S.A.se adjudicó directamente los beneficios de la máquina de deshidratación expuesta en este trabajo, mientras que indirectamente lo hicieron las comunidades productoras de frutas de la ciudad de Machachi.

El consumidor de los productos deshidratados en la máquina también se benefició por cuanto la máquina fue fabricada bajo los parámetros de calidad de la norma NTE INEN 1529-11:2013 (Detección de moho en alimentos) y la Norma CPE INEN-CODEX 40:2013 (Higiene para alimentos envasados sépticamente).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones Generales

Acero Inoxidable.- Es un acero de elevada resistencia a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales aleados que contiene, poseen gran afinidad por el oxígeno y reaccionan con él, formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro.

Bastidor.- Armazón de palos o listones de madera, o de barras delgadas de metal, en la cual se fijan lienzos para pintar y bordar, que sirve también para armar vidrieras y otros usos.

Humedad. - Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie o el interior de un cuerpo o en el aire.

Punto de Rocío.- es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse.

Temperatura.- Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el kelvin (K).

Termodinámica.- Parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía.

Tobera.- Abertura tubular, primitivamente de forma cónica, por donde se introduce el aire en un horno o una forja, fragua o crisol.

Deshidratación.- es la alteración de agua y sales minerales en el plasma de un cuerpo. Puede producirse por estar en una situación de mucho calor (sobre todo si hay mucha humedad).

2.2 Características Generales de la Uvilla

Las condiciones geográficas y climáticas de los variados climas de los andes ecuatorianos brindan las condiciones favorables para el cultivo de la uvilla, su origen se atribuye a los valles bajos de la cordillera de los andes en Sudamérica.

La uvilla es una fruta casi silvestre y de producción artesanal, el incremento de consumo en otros países de esta fruta ha impulsado la tecnificación del cultivo y por consiguiente el mejoramiento de la productividad del cultivo y producción de la uvilla en Ecuador, la comercialización está orientada al mercado nacional y en especial a los mercados de la unión europea, abriendo la posibilidad de exportaciones que han incidido para que se la cultive comercialmente. El cultivo se ha extendido a casi toda la serranía, con buenas posibilidades, en especial bajo invernadero, en donde se pueden obtener buenos rendimientos y sobre todo calidad.

Las condiciones favorables del clima y las posibilidades que ofrecen los recursos naturales en el Ecuador, permiten la obtención de productos de óptima calidad para los mercados internacionales. Sin embargo, el cumplimiento de los requisitos de calidad eventualmente traen como consecuencia que los cultivos bajo invernadero utilicen grandes cantidades de fertilizantes y biosidas, a veces sin la adecuada protección de los trabajadores y el suficiente seguimiento de los procesos de contaminación, especialmente de suelos y aguas.

Tabla 1
Composición Nutricional de la Uvilla

COMPONENTES	CONTENIDO DE 100 GR.
Humedad	80.0%
Carbohidratos	16 g.
Fibra	4.90 g.
Grasa Total	0.16 g.
Proteína	0.05 g.
Ácido Ascórbico	43 mg.
Calcio	8 mg.
Caroteno	1.61 mg.
Fosforo	55.30 mg.
Hierro	1.23 mg.
Niacina	1.73 mg.
Riboflavina	0.03 mg.

Fuente: (Orrego, 2003)

Tabla 2
Propiedades Físico Químicas de la Uvilla

CONCEPTO	MEDIDAS
Peso Uvilla sin Cáliz	2 – 10 g.
Diámetro	1.25 – 2.50 cm.
Ph	3.50
Acidez	1.66
Brix	14.43
Color	Amarillo Quemado
Calorías	62 cal
Vitamina A	1730 UI.

Fuente: (Orrego, 2003)

2.3 Características Generales del Mango.

El mango tiene propiedades antioxidantes gracias a su alto nivel de vitamina C. Ideales en casos de enfermedades degenerativas y personas fumadoras. El mango es una buena alternativa para aquellas personas que no toleran otras fuentes de vitamina C como las naranjas, pimientos, limones o kiwis. Ese aporte de vitamina C también colaborará en tener un buen sistema inmunológico que defiende a las personas de las infecciones.

Efecto diurético gracias a su aporte de potasio. El mango es ideal en personas que necesiten eliminar líquidos (en algunos casos de obesidad e hipertensión) y no quieran desmineralizarse. En cambio aquellas personas que por alguna enfermedad tengan un exceso de potasio o no les sea conveniente (insuficiencia renal) deberán evitarlo o comentarlo con su médico.

Tabla 3
Composición Nutricional del Mango

COMPONENTES	CONTENIDO DE 100 GR.
Carbohidratos	14.98 g.
Fibra	1.7 g.
Grasas	0.27 g.
Proteína	0.51 g.
Calcio	10mg
Fosforo	11 mg.
Hierro	0.13 mg.
Sodio	1 mg.
Niacina	0.669 mg.
Magnesio	9 mg.

Fuente: (Orrego, 2003)

Tabla 4
Propiedades Físico Químicas del Mango

CONCEPTO	MEDIDAS
Agua	85.5%
Peso	380 – 700 g.
Dimensiones	grosor: 2 a 5 mm largo: 10cm
Ph	3.9 - 4.64
Textura	Suave y Seco
Color	Amarillo
Calorías	60 Kcal
Vitamina C	36.4 mg.

Fuente: (Orrego, 2003)

2.4 Características Generales de la Piña.

La piña se encuentra clasificada como una de las frutas más finas de los trópicos y es conocida en todo el mundo, aunque su cultivo se reduce a las zonas tropicales y subtropicales.

Se estima que la piña tropical fue cultivada por vez primera por los indígenas de Brasil y Paraguay antes del arribo de los europeos a estas tierras, aunque hoy se encuentran en dichas regiones algunas especies silvestres productoras de frutos pequeños y de semillas.

La piña es rica en carotenos y azúcares. El contenido de azúcares permanece constante después de la cosecha, la acidez y el contenido de carotenos se incrementan moderadamente y la concentración de ésteres y el color aumentan considerablemente.

Tabla 5
Composición Nutricional de la Piña

COMPONENTES	CONTENIDO DE 100 GR.
Carbohidratos	13.5 g.
Grasa Total	0.40 g.
Proteínas	0.44 g.
Fibra	1.9 g

Fuente: (Orrego, 2003)

Tabla 6
Propiedades Físico Químicas de la Piña

CONCEPTO	MEDIDAS
Agua	89.2 %
Peso	1.5 - 2.0 kg.
Dimensiones	grosor: 3 a 5 mm diámetro: 6 a 9 cm
Ph	3.3 - 5.2
Textura	Suave y Seca
Color	Amarillo Claro
Calorías	50 Kcal.
Vitamina C	20 mg.
Densidad	1010 Kg/ m ³

Fuente: (Orrego, 2003)

2.5 Características Generales del Plátano.

El platano o banano es una planta nativa de India, Australia y África tropical. Puede crecer hasta 20 pies o más. El banano es de la familia de las Musáceas, la cual incluye al guineo y al plátano (también conocido como plátano macho). Su cultivo se ha extendido a los países tropicales en Latinoamérica y el Caribe. Una de las ventajas del banano, además de su rico sabor y de sus beneficios para la salud, es que es una fruta que se puede conseguir durante todo el año.

El plátano no es sólo de una de las frutas más consumidas en el mundo entero, sino también una de las más sanas. Su sabor es dulce y delicioso, es una fruta rica en vitaminas A, B, C, E y minerales esenciales

Tabla 7
Composición Nutricional del Plátano

COMPONENTES	CONTENIDO DE 100 GR.
Grasas	0.48 mg
Proteína	1.03 g.
Fibra	2.4 g.
Fosforo	20 mg.
Hierro	0.31 mg.
Sodio	1 mg.

Fuente: (Orrego, 2003)

Tabla 8
Propiedades Físico Químicas del Plátano

CONCEPTO	MEDIDAS
Agua	75.0 %
Peso	Promedio de 150 gr.
Dimensiones / Rodajas	Grosor: 3 a 5 mm Diámetro: 2 a 2.5 cm
Ph	4.5 - 5.2
Textura	Suave y Seca
Color	Café Claro
Calorías	92 kcal.
Vitamina c	9.1 mg.
Densidad	980 Kg/ m ³

Fuente: (Orrego, 2003)

2.6 Deshidratación.

El principio básico en el cual se fundamenta la deshidratación es que a proporciones bajas de humedad, la actividad de agua disminuye a niveles en los cuales no pueden desarrollarse los microorganismos ni las reacciones químicas que puedan deteriorar el producto.

El objetivo principal de la deshidratación, consiste en prolongar la vida útil de los alimentos por reducción de su actividad de agua, siendo un método muy eficaz para evitar la putrefacción y pérdida de los mismos. Por esta razón, la deshidratación o secado de las frutas se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor cantidad de agua existente en los alimentos, mediante algún método mecánico o térmico.

El agua retirada durante este secado o deshidratado, puede ser eliminada de los alimentos por las simples condiciones ambientales o por una variedad de procesos controlados de deshidratación, en los que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, liofilización y ósmosis, aunque por intuición el término secado está más bien involucrado con la eliminación del agua por la adición de calor.

El término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo supervisión, lo cual implica el control sobre las condiciones climatológicas dentro de la cámara. Esta técnica genera una gran ventaja en la cual los alimentos secos y deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados; ellos son menos costosos de producir. El trabajo requerido es mínimo, el equipo de proceso es limitado.

La eliminación del agua puede ser completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de tratar de obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios.

El tiempo de secado y la humedad final del producto, dependerán de la temperatura aplicada, localización del secador, de las condiciones climáticas del lugar y de las características del producto, secándose más rápido,

trozando en pequeñas porciones y con una mayor superficie de secado, que es el caso de la uvilla.

Temperaturas de secado que oscilan entre los 60 a 90 °C aseguran la destrucción de las bacterias y la inacción de las enzimas, luego de terminado el proceso, los alimentos se deben dejar enfriar antes de almacenarlos.

Los principales objetivos del proceso de deshidratación son disminuir el peso y el volumen de los alimentos. Esto resulta un ahorro en el costo del transporte, empaques y almacenamiento.

2.7 Actividades Previas a la Deshidratación.

Las actividades que se deben realizar, previos al proceso de deshidratación, son las siguientes:

– Recepción

Se refiere a las recepciones de las frutas o verduras, para efectuar el acopio de las mismas en un lugar adecuado.

– Clasificación

Se escoge la fruta o verdura de acuerdo a su tamaño, con el único fin que el secado sea uniforme.

– Pesado

Antes de realizar el secado es necesario efectuar un pesado, con el fin de cuantificar la materia prima, con la que se empezará el proceso, y poder determinar el rendimiento del producto final, una vez culminado el secado en el cual se elimina gran parte del agua que contienen los productos.

– Lavado

Se realizar un lavado de las frutas y verduras, con el objeto de eliminar las impurezas que se encuentran presentes en las cortezas.

- **Colocación del Producto**

Se distribuye las frutas o verduras en las bandejas de forma uniforme.

2.8 Procesos Posteriores a la Deshidratación

- **Enfriamiento**

Antes de ser manipulado y envasado el producto se deja enfriar hasta temperatura ambiente, debido a que se lo realiza de forma manual.

- **Clasificación y Envasado**

Se selecciona y elimina el producto defectuoso. Por ejemplo las uvillas son envasadas en fundas plásticas, antes del envasado pasan a ser tratadas con aceite de vaselina para darles más brillo.

2.9 Influencia de Parámetros en la Calidad Final del Producto.

La variación en la textura del producto final, depende de las condiciones del secador; por ejemplo, al usar velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas, los cambios serán pronunciados comparando con flujos y temperaturas más bajos.

A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento. Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua provoca que la concentración de solutos en la superficie aumente, lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable.

Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación, dando lugar a un alimento seco en su superficie, pero húmedo en su interior.

Las principales características físicas del producto a cuidar son:

– **Aroma**

La desecación del producto, produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación.

La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento.

Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos.

– **Color**

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas. Por lo general, cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada es la temperatura, mayores son las pérdidas de estos pigmentos.

– **Valor Nutritivo**

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras son mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua, por ello, los tiempos de deshidratación deben ser cortos.

2.10 Tecnología del Secado

– Proceso de Secado Continuo

Es un proceso empleado en producción a gran escala. Su principio de funcionamiento consiste en colocar el producto húmedo en el extremo de entrada del horno secador, para que se desplace de manera continua dentro del mismo, de modo que al terminar su recorrido se encuentre libre de humedad.

En este proceso de secado, la materia húmeda es alimentada continuamente dentro del horno, en tanto que el producto seco se lo retira de la misma forma. En muchos casos el sólido se traslada dentro del secador mientras se pone en contacto de una corriente gaseosa que puede ser en flujo paralelo o en contracorriente como se representa en el siguiente esquema.

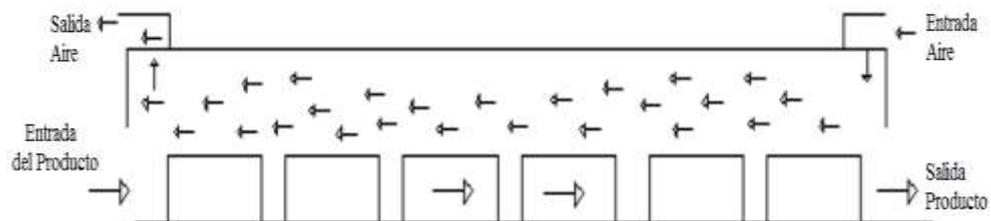


Figura 1 Proceso de Secado Continuo

Fuente: (Andrade, V; Transferencia de Calor Pag.40)

– Proceso de Secado Discontinuo o por Lotes.-

Este proceso de secado es intermitente o cíclico. El producto se coloca dentro de la cámara de secado, se lo deshidrata hasta niveles de humedad pre establecidos, después se lo retira del equipo para volver a cargarlo con un nuevo lote y repetir el proceso. Esto generalmente implica mano de obra, como consecuencia, este proceso de secado no resulta ser económico, de ahí que estos equipos están orientados para aplicaciones a menor escala.

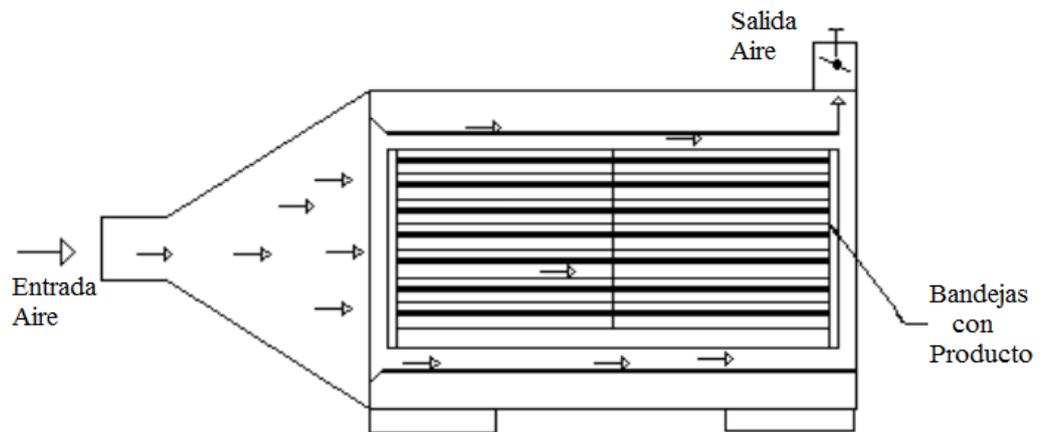


Figura 2 Proceso de Secado Discontinuo

Fuente: (Andrade, V; Transferencia de Calor Pag.42)

2.11 Por el Método de Proporcionar Calor

– Proceso de Secado Directo

El proceso de secado directo, consiste en suministrar aire caliente de manera directa hacia el producto, para la evaporación del agua y para el arrastre del vapor producido a la superficie del material húmedo.

Este proceso, a su vez, se encuentra clasificado por el método de operación aplicado (continuo o discontinuo), y por la naturaleza del material que se va secar:

a) Equipos Discontinuos

– Secaderos de Bandejas con Corriente de Aire

Es una cámara aislada que contiene un ventilador para circular el aire, haciéndolo pasar a través de un calentador, y luego sobre placas ajustables que dirigen el aire sobre las bandejas que contienen el producto.

Las bandejas son removibles, una vez cargadas en el gabinete, este se cierra y se procede a la introducción del aire caliente para evaporar la humedad, hasta lograr el secado deseado.

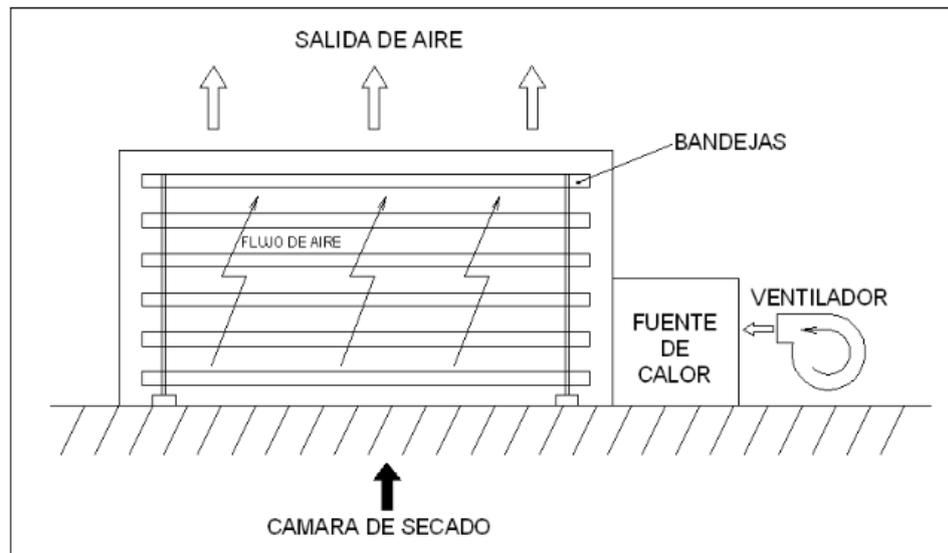


Figura 3 Secadero de bandejas con corriente de Aire

Fuente: (Andrade, V; Transferencia de Calor Pag.43)

– **Secaderos con Circulación a Través del Lecho Sólido**

El aire caliente actúa como medio de fluidización y de secado. La parrilla que soporta el lecho puede ser una simple placa perforada. Estos secaderos pueden trabajar bajo presión superior o inferior a la atmosférica según su lugar de trabajo, siempre y cuando estén situados adecuadamente los ventiladores.

b) Equipos Continuos

– **Secaderos de Túnel Contracorriente**

Estos secadores, en esencia son adaptaciones del secador de carritos en operación continua. Consisten en túneles relativamente largos donde los mismos son cargados con bandejas llenas del producto a secar, circulan y se ponen en contacto con una corriente de gas, para evaporar la humedad.

El tiempo de permanencia en el secador debe ser largo para que sea posible reducir el contenido de humedad del producto al valor deseado.

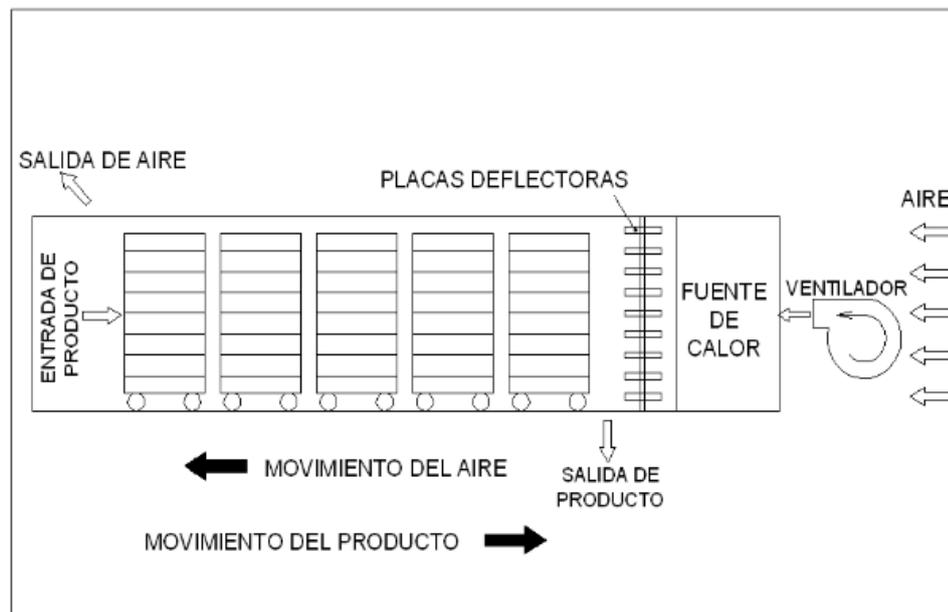


Figura 4 Secadero de Túnel Contracorriente

Fuente: (Andrade, V; Transferencia de Calor Pag.45)

– Secaderos Sprays o Atomizador

Se utilizan en la industria de los alimentos para secar disoluciones y papillas. Se introduce el producto alimenticio en la cámara de secado en forma de lluvia fina, donde se ponen en contacto íntimo con una corriente de aire caliente, produciéndose un secado muy rápido y la formación de un polvo seco.

– Secaderos Rotatorios

En esta clase de secadero el producto gira en una cámara cilíndrica pasando aire caliente a través de él, a medida que el producto es agitado. El cilindro se halla instalado formando un pequeño ángulo con la horizontal, por lo que el producto se mueve lentamente a través del dispositivo. Dentro del secador existen elevadores que se extienden por las paredes del cilindro, por todo lo largo del secador, elevando el sólido y dejándolo caer por el aire en forma de lluvia, exponiéndole completamente a la acción secante del gas.

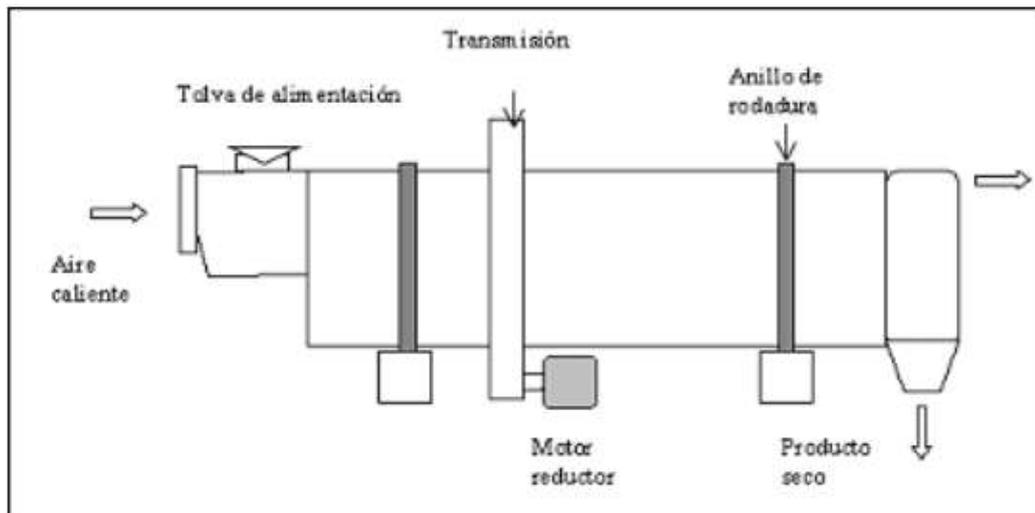


Figura 5 Secaderos Rotatorios

Fuente: (Andrade, V; Transferencia de Calor Pag.47)

– **Proceso de Secado Indirecto**

Son secadores cuyos gabinetes son hechos con placas de hierro fundido o de acero.

Están provistos de puertas que cierran herméticamente, de modo tal que solo se pueda operar a presiones menores que la atmosférica. No se sopla ni se recircula aire a través de ellos. Las bandejas que contienen el sólido a secar descansan sobre estantes perforados o huecos a través de los cuales pasa agua caliente o vapor de agua, a fin de proveer calor suficiente para la evaporación de la humedad. El sólido recibe el calor a través de los estantes. Una vez cerrado, se extrae el aire del secador por medio de una bomba de vacío o de un eyector de chorro de vapor, y se procede a destilar la humedad.

Este proceso, a la vez, se encuentra sub clasificado al igual que los directos, por el método aplicado de operación, y por la naturaleza del material que se va secar:

a) Equipos Discontinuos

– Secaderos de Bandejas a Vacío

Este tipo de deshidratador del tipo indirecto consta generalmente de una cámara metálica hermética al vacío, que en su interior contiene bandejas que soportan y calientan al producto, así como una fuente de vacío y condensador respectivo.

El agua contenida en el fruto se evapora debido al vacío que se crea, y porque la temperatura de operación en este tipo de secador, es menor que en los secadores de presión atmosférica. Por esta razón, sólo se lo puede aplicar a productos sensibles a la temperatura como son los disolventes tóxicos, sustancias farmacéuticas, etc.

– Secaderos por Congelación.-

El secado por congelación es un lento proceso por lotes utilizado en la industria farmacéutica y bioquímica para extraer producto seco de una solución acuosa. Normalmente, se coloca el producto en pequeños frascos en los estantes de una cámara de vacío, que primero se congela y después se evacúa. Después, los estantes se calientan lentamente hasta evaporar el líquido, mientras que la cámara se evacúa continuamente mediante un condensador en frío.

b) Equipos Continuos

– Secaderos de Tambor

Son cubiertas cilíndricas con casquete para el vapor de agua, colocadas horizontalmente, en las que se puede secar una pasta o lodo. Se agita el barro por medio de un conjunto de cuchillas fijadas en el eje horizontal que pasa a través de los extremos de la cubierta cilíndrica. Por una abertura ubicada en la parte superior, la humedad evaporada pasa a un condensador. Con una bomba de vacío se saca el gas no condensable y el sólido seco se descarga por una puerta ubicada en la parte inferior del secador.

2.12 Cinética del Secado

En la cinética del secado se basan los estudios en los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo, contrario a lo que describe la dinámica del secado que toma los cambios de temperatura y humedad.

Así la cinética del secado cuantifica la cantidad de humedad evaporada, el tiempo y el consumo de energía. Sin embargo, el cambio de humedad depende de la transferencia de calor y de masa entre la superficie del cuerpo, el ambiente y el interior del material a secar.

Es indispensable saber que la intensidad del secado refleja el cambio en la cantidad de humedad a través del tiempo, que es influenciado por los parámetros del secado como, temperatura, humedad, velocidad relativa del aire, presión total entre otros.

El secado es afectado también por factores externos como impurezas que alteran el equilibrio del secado al interactuar con la superficie de las partículas. En el caso de sistemas dispersos, la interacción entre las partículas y entre las paredes del equipo es importante y significativa porque también afectan la superficie de las partículas.

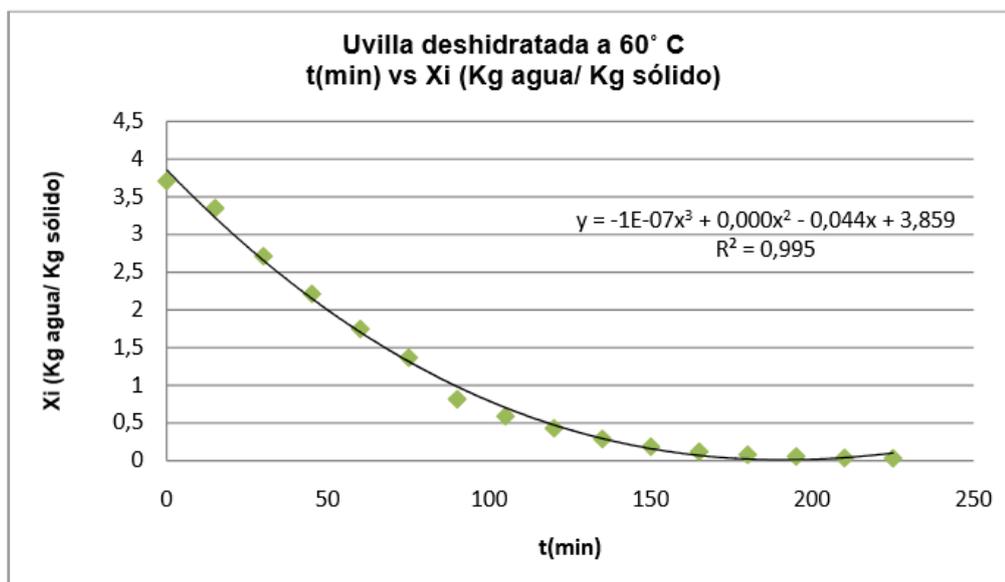


Figura 6 Curva de Secado de la Uvilla

Fuente: (Tesis ESPOCH, 2010)

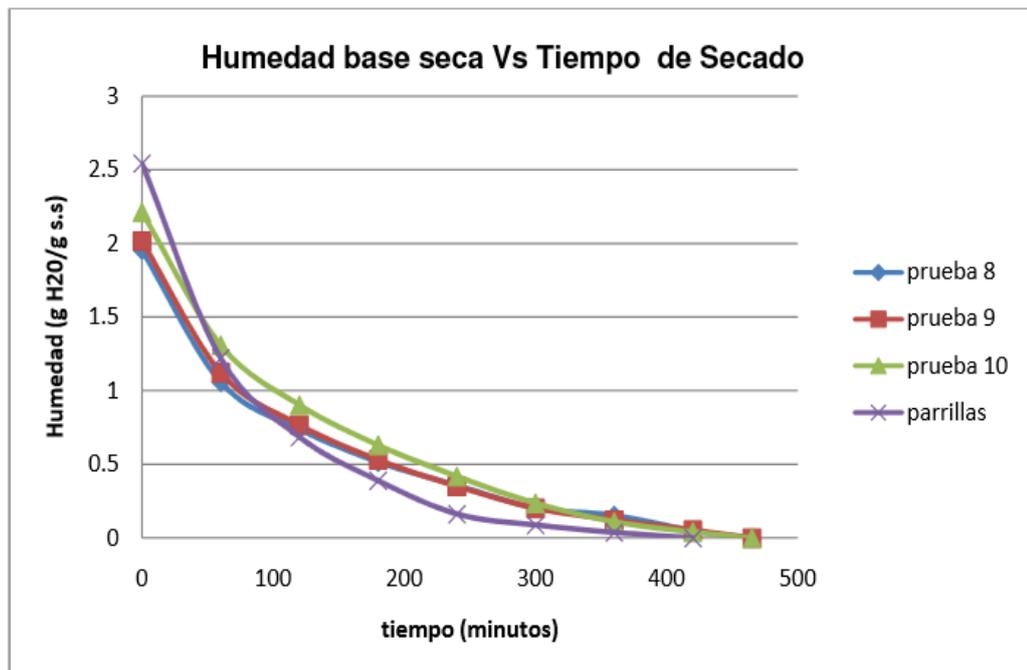


Figura 7 Curva de Secado del Plátano

Fuente: (Rios, 2011).

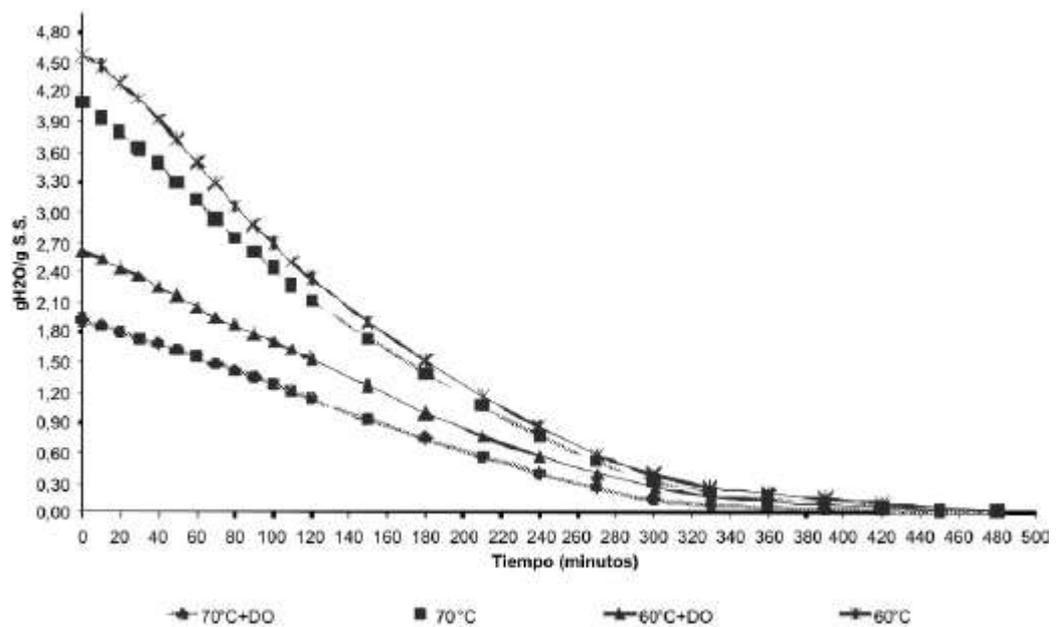


Figura 8 Curva de Secado del Mango

Fuente: (Rios, 2011).

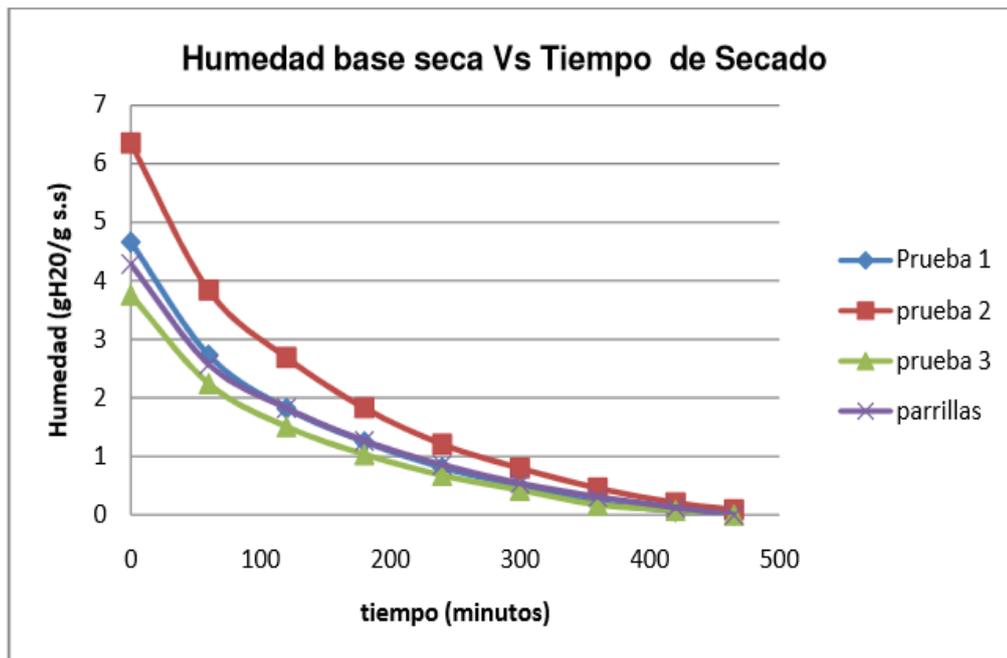


Figura 9 Curva de Secado de la piña

Fuente: (Rios, 2011).

2.13 Velocidad Constante de Secado

La superficie contiene humedad, la vaporización se lleva a cabo a partir de ahí. En esta etapa de secado la difusión del vapor del agua a través de la interface aire / humedad y la velocidad a la cual la superficie por difusión es eliminada hacia el final del periodo es constante, la humedad tuvo que ser transportada del interior del sólido hacia la superficie por fuerzas capilares. Cuando el promedio del contenido de humedad ha alcanzado el contenido de humedad crítico, la película de humedad en la superficie ha sido tan reducida por evaporación que más allá del secado causa distorsiones de la superficie, entonces, el proceso se controla por las resistencias exteriores.

Cabe mencionar que la actividad acuosa o actividad de agua es muy tomada en cuenta en el proceso de deshidratación que se define como la relación existente entre la presión de vapor de un alimento en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. Se encuentra relacionado a la humedad del alimento lo que permite determinar su capacidad de conservación y de propagación microbiana, (Sanchez, 2003).

$$a_w = \frac{p}{p_o} \quad (1)$$

Dónde:

a_w actividad de agua; p presión de vapor de agua en la sustancia;

p_o presión de vapor del agua pura a la misma temperatura

2.14 Velocidad Decreciente de Secado

Es la velocidad a la cual la humedad puede pasar a través del sólido como resultado de la concentración de gradientes entre las partes más profundas y la superficie en el paso a controlar. Dado que, la profundidad media del nivel de humedad incrementa progresivamente y la conductividad de calor de las zonas externas secas es muy pequeña, la velocidad de secado es cada vez influenciada por la conducción de calor. Sin embargo, si el producto seco tiene una densidad alta y cavidad pequeña con poros pequeños, el secado es determinado no tanto por la conducción de calor pero, si por una resistencia alta a la difusión dentro del producto. Como la concentración de humedad disminuye por el secado, la velocidad de movimiento de humedad interna también disminuye.

2.15 Tiempo y Temperatura

La mayoría de los métodos importantes de deshidratación de alimentos emplean calor. Dado que los componentes de los alimentos son sensibles al calor, es preciso encontrar un término medio entre la máxima velocidad de secado y el óptimo mantenimiento de la calidad en los alimentos.

En los procesos de secado que emplean altas temperaturas por periodos cortos, los alimentos son menos dañados que los alimentos sometidos a procesos de secado que emplean temperaturas más bajas por tiempos más largos. Varios procesos de secado pueden lograr la deshidratación en pocos minutos si el alimento se subdivide suficientemente.

2.16 Convección

La transferencia de calor es un proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están en distinto nivel energético. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento, e implica los efectos combinados de la conducción y del movimiento de un fluido. Cuanto mayor es el movimiento de un fluido, tanto mayor es la transferencia de calor por convección.

Ante la ausencia de cualquier movimiento del fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente se da mediante conducción pura. La presencia de movimiento en el fluido incrementa la transferencia térmica entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las tasas de transferencia de calor

La tasa de calor por convección llamada también flujo de calor por convección \dot{Q}_{conv} , se determina por la ley de enfriamiento de Newton, la cual se expresa como, (Cengel, 2003):

$$Q_{\text{conv}} = h * A * (T_s - T_f) \quad (2)$$

Dónde:

\dot{Q}_{conv} Tasa de transferencia de calor por convección, [J/s]; **h** Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/(m²°K)]; **A** Superficie de contacto, [m²]
T_s Temperatura de la Superficie, [°K]; **T_f** Temperatura del fluido mas allá de la Superficie, [°K].

2.17 Radiación

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío, o bien que no exista materia entre ellas.

La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas (o fotones). Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica.

La transferencia de energía por radiación es más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío. Ésta es exactamente la manera en que la energía del sol llega a la Tierra.

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados.

La tasa de radiación máxima que puede emitirse desde una superficie a una temperatura absoluta T_s está dada por la ley de Stefan-Boltzmann (Cengel, 2003):

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4 \quad (3)$$

Dónde:

\dot{Q}_{emit} Tasa de radiación máxima, $\left[\frac{J}{s}\right]$; ε Emisividad de la superficie ($0 \leq \varepsilon < 1$)

A Área de la superficie que emite o recibe, $[m^2]$; σ Constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,5 \times 10^{-8}, \left[\frac{W}{m^2 K^4}\right]$).

2.18 Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes.

La conducción de calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor Δx , con área de sección transversal se encuentra que el calor ΔQ transferido en un tiempo Δt fluye del extremo caliente al frío.

La rapidez de transferencia de calor H , está dada por la ley de la conducción de calor de Fourier. A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes T_1 y T_2 , con $T_2 > T_1$, (Cengel, 2003).

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = -K * A * \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Dónde:

H Rapidez de transferencia de calor, [W]; **K** Conductividad térmica del material, $\left[\frac{W}{m} \text{ } ^\circ\text{K}\right]$; **A** Área de sección transversal, [m²]; $\frac{dT}{dx}$ Gradiente de temp.

2.19 Control Industrial

La determinación de los elementos en la parte de control se describe a continuación:

2.19.1 Controladores Lógicos Programables

Los controladores Lógicos programables por sus características de diseño tienen un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricaciones industriales de cualquier tipo, a transformaciones industriales.

2.19.2 Controlador Coupler Modbus TCP

Ethernet es el medio de transmisión de datos para redes de área local, en el cual todos los equipos están conectados a la misma línea de comunicación que trabaja con el protocolo CSMA/CD, lo que quiere decir que todo equipo puede transmitir en cualquier momento y sin ninguna prioridad determinada

Este elemento posee un módulo de transmisión y recepción de información que a su vez guarda los siguientes datos:

- Software del Sistema.
- Valores Temporales y su aplicación en la memoria RAM.
- Programa de aplicaciones, direcciones Físicas.

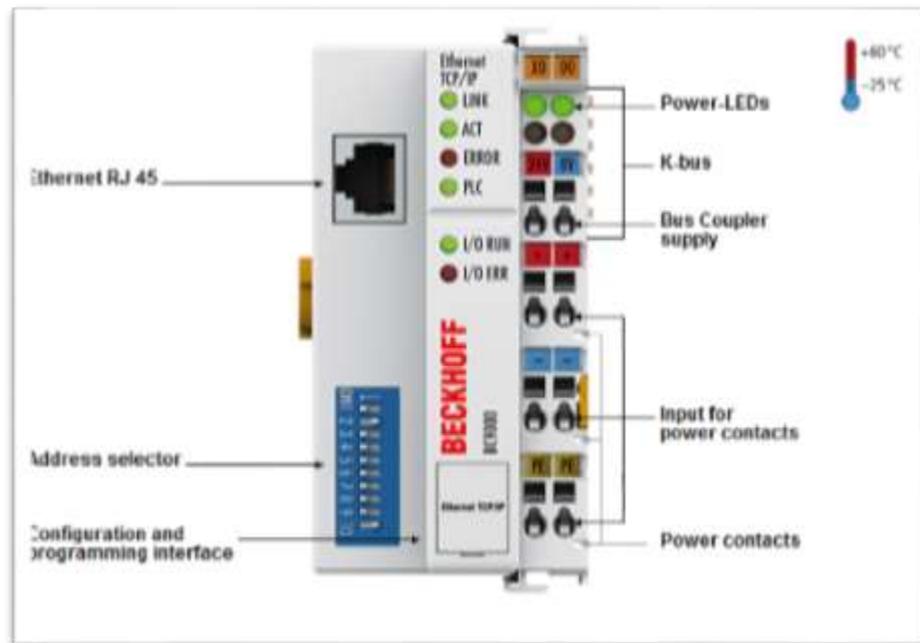


Figura 10 Controlador Coupler MODBUS TCP

Fuente: (<http://www.beckhoff.es/>)

El Controlador Coupler MODBUS TCP es un protocolo de comunicaciones que se basa en la arquitectura maestro/esclavo y posee las siguientes ventajas: es público, de implementación fácil y maneja bloques de datos sin tener restricciones. Puede controlar un sistema de medida de temperatura y humedad para comunicar los resultados a un computador.

Se puede conectar el ordenador a una unidad Remota (RTU) para el control de adquisición de datos. La versión Modbus/TCP, es semejante a la RTU pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TC/IP.

El Bus de datos es un sistema digital que se dedica a transferir datos entre una o varias computadoras. Permite la conexión lógica entre distintos subsistemas, enviando datos entre dispositivos.

El Controlador con el que se va a trabajar es el BECKHOFF BC 9050, que es un acoplador Bus que posee interfaz de Bus de Campo para Ethernet. Es un esclavo inteligente que puede ser usado como inteligencia no central en el sistema. Tiene la capacidad de manejar de entre 1 a 64

terminales y un terminal final de Bus. Con la extensión de Bus K puede ser conectado a más de 255 terminales.

Manejado con programación TwinCAT de acuerdo a la norma IEC 61131-3, posee una configuración usada para cargar programación PLC, la que puede también ser cargada vía Ethernet.

En los parámetros por defecto las entradas y salidas de los terminales Bus conectadas, son asignadas al controlador y cada una de estas puede ser configurada de tal manera que pueda intercambiar información directamente a través del Bus de campo con el artefacto de automatización de más alto nivel.

Este controlador soporta la generación de todos los tipos de terminal Bus.

Las terminales análogas pueden registrar rangos de temperatura, valores de ganancia y características de liberalización.

La función de uso PLC o IPC se bloquea para cuidar la configuración de todos los periféricos durante la fase de arranque. Si se requiere, el controlador puede cargar una configuración de información de carácter no Central para guardarla y manipularla como si fuera Central, lo que significa que no es necesario transportar el procedimiento de inicialización de variables nuevamente si el terminal Bus es intercambiado.

El Controlador en mención ira acompañado de los siguientes elementos para el control de temperatura y humedad en la máquina:

- Panel Touch Screen Advantech 7'' 800 x 480 de 128 MB.
- Módulo de 8 entradas digitales de 24 V 1 hilo bus K.
- Módulo de 8 salidas digitales de 24 V 1 hilo bus K.
- Módulo de 2 Entradas Analógicas de 4-20 mA 1 hilo bus K.
- Módulo de Fin de Bus tipo K.
- Sensor de Sensor de Humedad y Temperatura con salida de 4-20 mA.

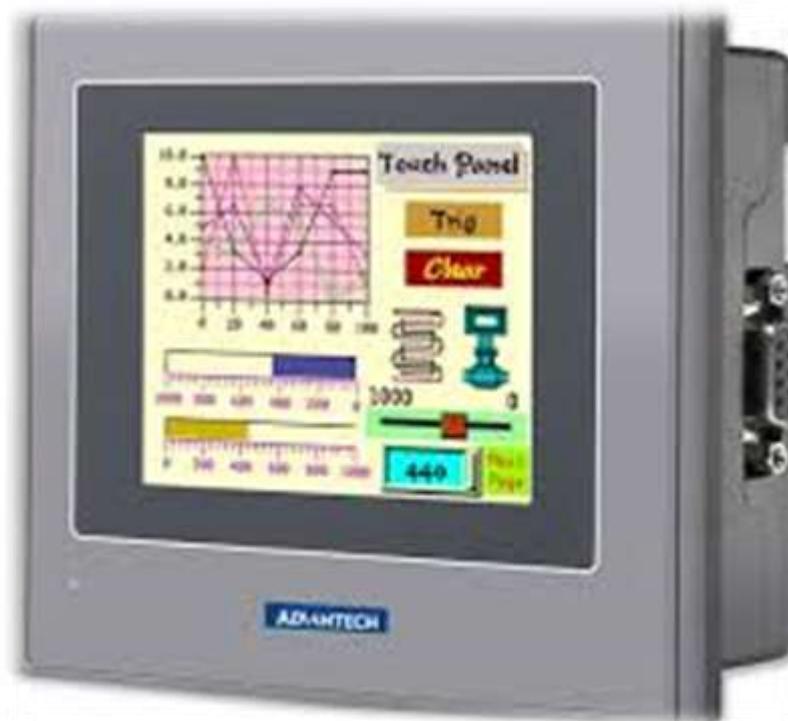


Figura 11 Panel Touch 7" Beckhoff

Fuente: (<http://www.beckhoff.es/>)



Figura 12 Sensor de Humedad y Temperatura

Fuente: (<http://www.beckhoff.es/>)

CAPÍTULO 3

DISEÑO TÉRMICO

3.1 Calor Sensible

Calor necesario para elevar la temperatura del agua contenida en el vegetal a deshidratar desde la existente en el ambiente hasta la misma cuando comienza a evaporar sin cambiar su estado. Es la parte de la energía interna asociada con la energía cinética de las moléculas, (Sanchez, 2003).

$$\dot{Q}_s = \frac{m_h * C_{p_{masa}} * (T_{proceso} - T_a)}{t_{proceso}} \quad (5)$$

Dónde:

\dot{Q}_s Calor sensible, [kW]; m_h Masa a deshidratar en la maquina, [Kg];

$C_{p_{masa}}$ Calor específico de la masa, $\left[\frac{J}{kg * ^\circ K}\right]$; $t_{proceso}$ tiempo de procesamiento, [21600s]; $T_{proceso}$ Temperatura del proceso [$^\circ C$];

T_a Temperatura del ambiente, [$285 \text{ }^\circ K = 12^\circ C$].

El calor específico de vegetales en estado fresco se lo obtiene a partir de la siguiente expresión (Heldan, Y & Singh, R, 2001):

$$Cp = 0,84 + 0,0335 * Ho \left[\frac{J}{kg * ^\circ K}\right] \quad (6)$$

En la siguiente tabla se presenta el calor específico de las frutas a procesar en función de la humedad inicial.

Tabla 9
Calor Específico de las Frutas a Deshidratar

Nombre	Ho [%]	Cp $\left[\frac{J}{kg^{\circ}K}\right]$
Piña	89.2	3.83
Mango	85.5	3.70
Uvilla	80.0	3.52
Plátano	75.0	3.35

Fuente: (Orrego, 2003)

Tabla 10
Temperatura del Proceso para la Masa

Nombre	T proceso [$^{\circ}K$]
Piña	338
Mango	333
Uvilla	328
Plátano	333

Fuente: (Orrego, 2003)

Ejemplo de Cálculo:

Uvilla:

$$\dot{Q}_s = \frac{43.2 \text{ kg} * \frac{3.52 \text{ kJ}}{\text{kg}} * (328.15^{\circ}K - 285^{\circ}K)}{21600 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_s = 0.3027 \text{ kJ/s}$$

Tabla 11
Calor Sensible de las Frutas a Procesar

Nombre	Qs [kW]
Piña	0.41
Mango	0.36
Uvilla	0.30
Plátano	0.32

3.2 Calor de Evaporación

Calor necesario para evaporar el agua contenida en el vegetal que se desea deshidratar hasta obtener un porcentaje deseado de humedad relativa en el mismo, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_e = E * h_{fg} \quad (7)$$

Dónde:

\dot{Q}_e Calor de evaporación, [kW]; **E** Valor de evaporación, [Kg/s]; h_{fg} Entalpía de evaporización del agua al ambiente, [KJ/Kg = 2257].

La masa seca es la resultante luego de haber extraído un determinado porcentaje de humedad del producto fresco, (Egan, 2008).

$$m_s = m_h \left(1 - \left(\frac{H_0 - H_f}{100 - H_f} \right) \right) \quad (8)$$

Dónde:

m_s Masa del producto deshidratado, [kg]; H_0 Humedad del producto fresco, [%]; H_f Humedad del producto seco, [%].

La velocidad de evaporación es la rapidez con la que el agua cambia de estado líquido a gaseoso.

$$E = \frac{m_s * (H_{bs} - H_{bh})}{t} \quad (9)$$

Dónde:

h_{bs} Humedad en bulbo seco, [%]; h_{bh} = Humedad en bulbo humedo, [%].

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - H_0} \quad (10)$$

$$H_{bh} = \frac{H_f}{100 - H_f} \quad (11)$$

A continuación se realiza un ejemplo del reemplazo de datos para la uvilla en las ecuaciones.

$$H_{bs} = \frac{100}{100 - 80.0} = 5.0$$

$$H_{bh} = \frac{12}{100 - 16} = 0.1905$$

$$m_s = 43.2 \left(1 - \left(\frac{80 - 16}{100 - 16} \right) \right) = 43.2 \left(1 - \frac{64}{84} \right) = 10.2857$$

$$E = \frac{m_s * (H_{bs} - H_{bh})}{21600} = \frac{10.2857 * (5 - 0.19047)}{21600}$$

$$E = 0.00229 \text{ Kg/s}$$

$$\dot{Q}_e = 0.00229 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_e = 5.1736 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$$

Tabla 12
Calor de Evaporación de las Frutas a Procesar

Nombre	Ho [%]	Hf [%]	E ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)	\dot{Q}_e [kW]
Piña	89.2	12.0	0.0022	5.05
Mango	85.5	15.0	0.0023	5.17
Uvilla	80.0	16.0	0.0023	5.17
Plátano	75.0	15.0	0.0022	5.08

Fuente: (Orrego, 2003)

3.3 Calor Útil

El calor útil es el que se requiere para el proceso de deshidratado, sin considerar ninguna pérdida existente, y se lo obtiene mediante la suma del calor sensible más el calor de evaporación.

Tabla 13
Calor Útil

Nombre	\dot{Q}_s [kW]	\dot{Q}_e [kW]	\dot{Q}_u [kW]
Piña	0.41	5.05	5.46
Mango	0.36	5.17	5.53
Uvilla	0.30	5.17	5.47
Plátano	0.32	5.08	5.40

3.4 Dimensionamiento de la Cámara de Deshidratado

En el dimensionamiento de la cámara deshidratadora se tomó varias consideraciones como el volumen a procesar de las frutas en estado fresco, en este caso fue de 100 kg (a pesar de trabajar con 43,2 kg debido a que no se consideró que la fruta debía estar dividida en la mitad), por carga de proceso, el cual se propone un ejemplo para la uvilla en función de la densidad, (Cengel, 2003).

$$m_{humeda} = 100 \text{ [kg]}$$

$$\delta_{uvilla} = 1150 \text{ [Kg/ m}^3\text{]}$$

$$\delta = \frac{m_{humeda}}{\text{Volumen}} \quad (12)$$

Dónde:

m_{humeda} Masa humeda, [Kg]; δ_{uvilla} Densidad de la fruta, [Kg/m³]

$$\text{Volumen} = \frac{100 \text{ [kg]}}{1150 \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

$$\text{Volumen} = 0.089 \text{ [m}^3\text{]}.$$

Tabla 14
Volumen de Deshidratado por Jornada.

Nombre	Densidad ($\frac{kg}{m^3}$)	Volumen[m ³]
Piña	1010	0.099
Mango	1054	0.095
Uvilla	1150	0.089
Plátano	980	0.102

Fuente: (Orrego, 2003)

En el dimensionamiento de las bandejas se consideró medidas estándar existentes en el mercado. Las cuales son de dimensiones:

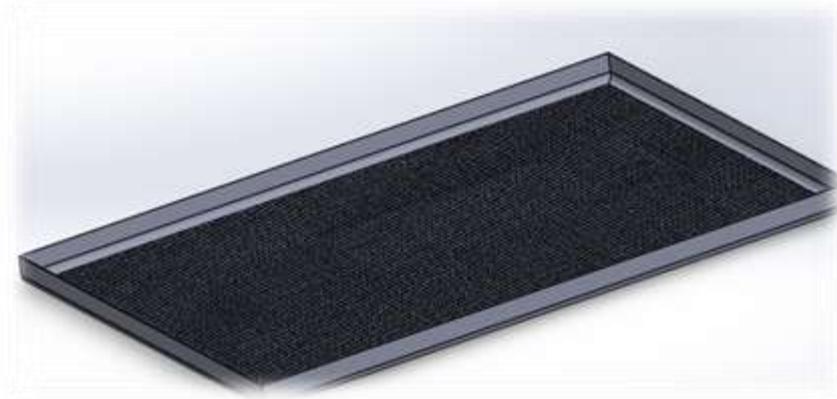


Figura 13 Bandeja de Deshidratación

Según Norma de Certificación de alimentos NSF:

L bandeja	=	650 [mm]
A bandeja	=	450 [mm]
H bandeja	=	28 [mm]
H utilizado	=	15 [mm]
Vol. bandeja	=	0.0043 [m^3]

Calculo de las bandejas necesarias para la producción diaria de las frutas y vegetales a deshidratar, mediante:

$$\#Bandejas = \frac{VolumenMax}{Vol_{bandeja}} \quad (13)$$

$$\#Bandejas = \frac{0.102 [m^3]}{0.0043 [m^3]}$$

$$\#Bandejas = 23.73 \cong 24 \text{ bandejas.}$$

Para aprovechar la distribución del calor, y optimización de material, se consideró usar 2 columnas de 12 bandejas, como se observa en la figura 14.



Figura 14 Distribución de las Bandejas

Las medidas de la cámara de deshidratado están basadas en las dimensiones de las bandejas, su distribución y espaciamento entre ellas.

$$\text{Ancho cámara desh.} = (2 * A_{\text{bandeja}}) + (3 * 50[\text{mm}])$$

$$\text{Ancho cámara desh.} = 1050 [\text{mm}].$$

$$\text{Altura cámara desh.} = (12 * H_{\text{bandeja}}) + (10 * 50[\text{mm}]) + (2 * 100[\text{mm}])$$

$$\text{Altura cámara desh.} = 1050 [\text{mm}].$$

$$\text{Profundidad cámara desh.} = (L_{\text{bandeja}}) + 10 [\text{mm}]$$

$$\text{Profundidad cámara desh.} = 750 [\text{mm}].$$

En la parte posterior de la cámara de deshidratado están ubicados los ventiladores con sus respectivas niquelinas eléctricas, y para que exista un flujo uniforme de aire caliente se colocó una plancha de acero perforada de diámetro 10mm, como se observa en la siguiente figura.

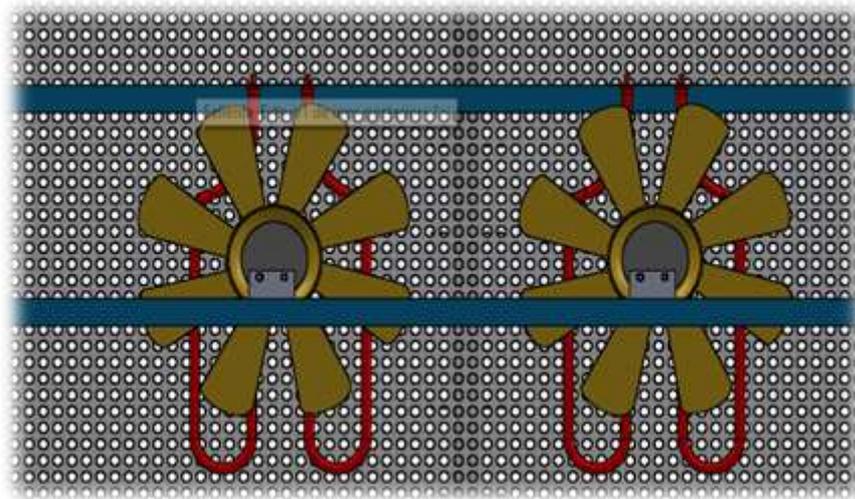


Figura 15 Orificios Distribución Uniforme del Aire

3.5 Pérdidas de Calor en la Cámara de Deshidratado

3.5.1 Pérdidas en la Masa

Se utilizó debido a que la densidad de flujo calorífico se puede comparar con la ley de ohm para el cálculo de la corriente a partir de la relación que existe entre la diferencia de potencial (voltaje) y la resistencia eléctrica (Cengel, 2003).

$i = \frac{V}{R}$ Entonces realizando la analogía se tiene:

$$q = \frac{\Delta T}{R_t} = \frac{\dot{Q}}{A_t} \quad (14)$$

Dónde:

q Densidad de flujo calorífico, [W/m²]; **Q̇** Flujo de calor, [W]; **A_t** Área de la sección transversal al flujo de calor, [m²]; **ΔT** Diferencia de temperatura del flujo de calor, [°K]; **R_t** Resistencia Térmica Convectiva.

Las pérdidas globales de calor en la masa se determinó mediante la ley de Newton, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_{\text{perdido_masa}} = A_{t_masa} * U_{masa} * \Delta T_{masa} \quad (15)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{\text{perdido_masa}}$ Flujo de calor, [W]; A_{t_masa} Área de la sección transversal al flujo de calor, [m²]; U_{masa} Coeficiente global de transferencia de Calor, $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K}\right]$; ΔT_{masa} Diferencia de temperatura del flujo de calor, [°K]; R_{eq} Sumatoria de resistencias existentes en el sistema.

– **Área Transversal al Flujo de Calor**

El área transversal se calcula de la siguiente manera:

$$A_{t_masa} = b * L \quad (16)$$

$$A_{t_masa} = 1000[\text{mm}] * 750[\text{mm}]$$

$$A_{t_masa} = 0.75 [\text{m}^2]$$

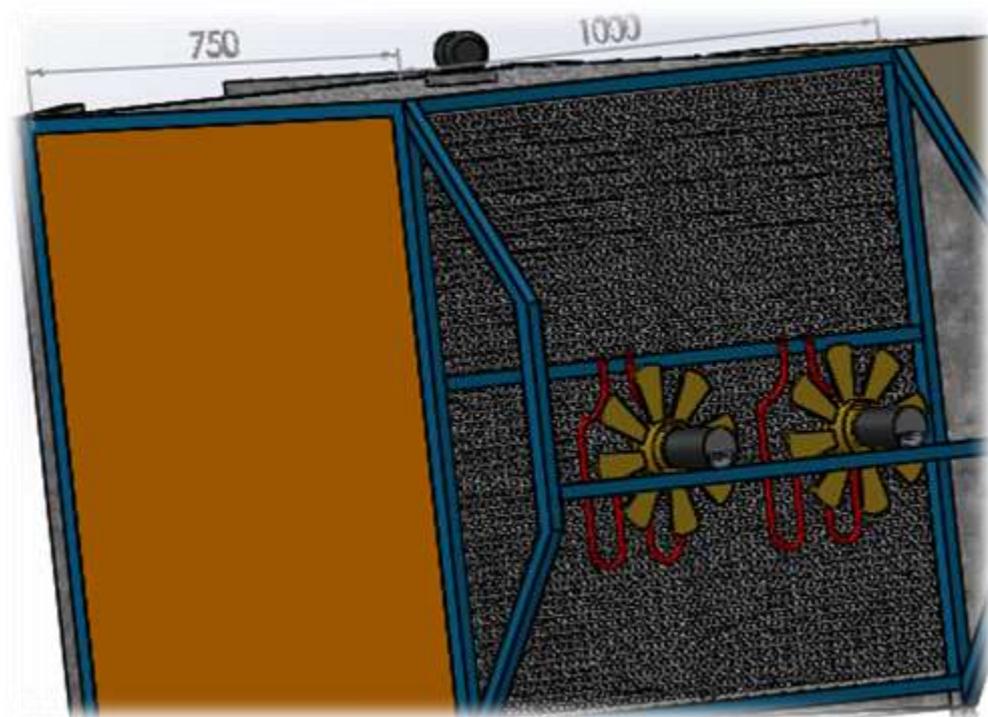


Figura 16 Área transversal de la Cámara de Deshidratado

– **Perímetro Mojado**

El perímetro mojado es el contorno del canal que está en contacto con el fluido. Siendo para un ducto rectangular de lados b y L , el perímetro mojado es igual a:

$$P_M = 2b + 2L \quad (17)$$

$$P_M = 2 * (1050) + 2 * (1000)$$

$$P_M = 4.1 \text{ [m]}$$

Dónde:

L Ancho del ducto, [m]; **b** Altura del ducto, [m].

– **Diámetro Hidráulico**

El diámetro hidráulico es un parámetro característico de la sección de un tubo o canal genérico y permite estudiar el comportamiento del flujo de igual modo que si éste fuera circular, (Streeter, V & Nuylie, B, 2000).

$$D_h = \frac{4 * A_t}{P_M} \quad (18)$$

Dónde:

D_h Diametro hidraulico de la camara de deshidratado, [m]; **A_t** Area transversal de la Camara de Deshidratado, [m²]; **P_M** Perimero Mojado de contacto con el Fluido, [m].

Reemplazando los valores, se tiene:

$$D_h = \frac{4 * 0.750 \text{ [m}^2\text{]}}{4.1 \text{ [m]}} \quad (19)$$

$$D_h = 0.732 \text{ [m]}$$

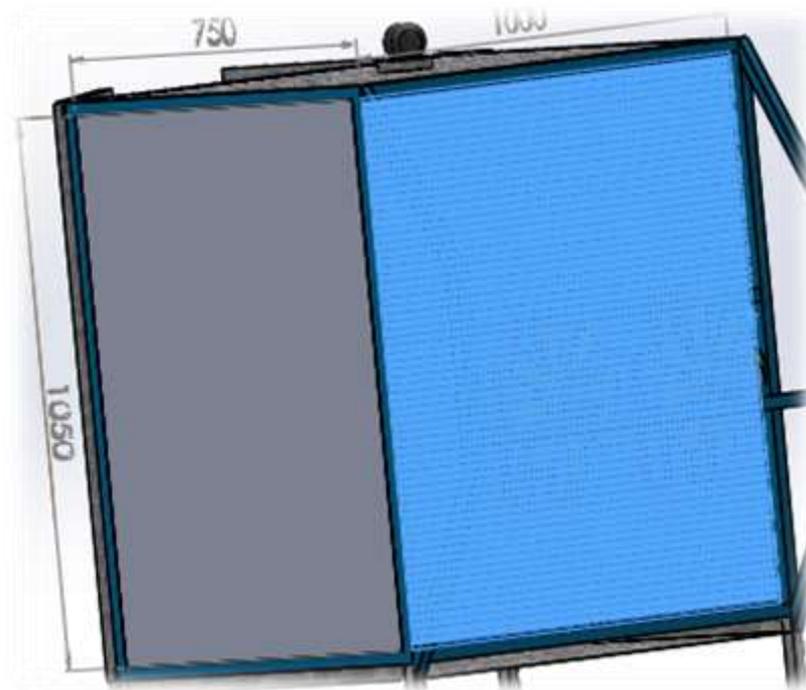


Figura 17 Diámetro Hidráulico de la Cámara de Deshidratado

La velocidad mínima requerida de aire dentro de la cámara de deshidratado, se obtiene a partir del cálculo del flujo másico en función del calor útil generado en el proceso, (Streeter, V & Nuylie, B, 2000).

$$V_{\text{aire_minima}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{\delta_{\text{aire}} * A_{t_masa}} \quad (20)$$

Dónde:

$V_{\text{aire_minima}}$ Velocidad del aire en la cámara de deshidratado, $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$;

\dot{m}_{aire} Flujo másico de aire en el proceso, $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$; δ_{aire} Densidad del aire en Machachi, $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$; A_{t_masa} Area transversal, $[\text{m}^2]$.

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * \Delta T_{\text{proc}} ; \quad (\text{Cengel, 2003}) \quad (21)$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{\dot{Q}_u}{C_{p\text{aire}} * (\Delta T_{\text{proceso}})} \quad (22)$$

Dónde:

\dot{m}_{aire} Flujo másico de aire en el proceso, $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$; \dot{Q}_u Calor Útil en el Proceso, [W];
 $\Delta T_{\text{proceso}}$ Variación de temperatura en el proceso, [°C]; $c_{p\text{aire}}$ Calor específico del aire en Machachi, $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{K}}\right]$.

La variación de temperatura dentro de la cámara de deshidratado se produjo al elevar la temperatura ambiente hasta la máxima tolerable para el proceso de deshidratado.

$$\Delta T_{\text{proceso}} = T_{\text{max}} - T_{\text{ambiente}} \quad (23)$$

El calor específico está en función de su temperatura ambiente y su densidad. Los valores obtenidos se encuentran a presión atmosférica de 1atm (Keenan, 1985), por la cual en el Cantón Machachi se tiene que:

$$\begin{aligned} T_{\text{ambiente}} &= 12 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \delta_{\text{aire}} &= 1.225 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \\ c_{p\text{aire}} &= 1.007 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{K}}\right] \end{aligned}$$

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo del flujo másico del aire para la temperatura máxima en este caso se realiza para la uvilla:

$$\dot{m}_{\text{aire uvilla}} = \frac{5.47 \text{ [KW]}}{1.007 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{K}}\right] * (55 - 12) \text{ [} ^\circ\text{K]}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire uvilla}} = 0.1263 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$$

A continuación se reemplaza los valores obtenidos del flujo másico, densidad del aire y el área transversal en la ecuación (20).

$$V_{\text{aire_minima}} = \frac{0.1263 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]}{1.225 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] * 0.75 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$V_{\text{aire_minima}} = 0.14 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Tabla 15
Resultados de los Cálculos de Flujo Másico y Velocidad

Nombre	$\dot{m}_{\text{aire}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$	$V_{\text{aire_minima}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
Piña	0.1023	0.1134
Mango	0.1144	0.1268
Uvilla	0.1264	0.1400
Banano	0.1117	0.1237

Según los datos obtenidos teóricamente, se tiene una velocidad mínima requerida por cada nivel de 0.1134 m/s. Comercialmente se encuentran ventiladores industriales que generan una velocidad mínima de 1.0 m/s, por lo cual se acopla a esta velocidad para el dimensionamiento de los ventiladores.

El caudal de aire requerido por bandeja, se calcula mediante el área libre entre niveles, como se indica en la siguiente ecuación, (Streeter, V & Nuylie, B, 2000).

$$Q_{\text{nivel}} = V_a * A_{\text{libre}} * 60 \quad (24)$$

Dónde:

Q_{nivel} Caudal necesario de aire por nivel, $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$; V_a Velocidad mínimo de aire requerido, $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$; A_{libre} Aire libre entre bandejas, $[\text{m}^2]$.

Precedemos a realizar un ejemplo para el caudal requerido por nivel, para la uvilla, como se muestra a continuación:

$$Q_{\text{nivel}} = 1.0 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * (1.0 * 0.078) [\text{m}^2] * 60$$

$$Q_{\text{nivel}} = 4.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$$

El caudal necesario para toda la cámara de deshidratado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{total_necesario}} = \Sigma Q_{\text{nivel}} \quad (25)$$

$$Q_{\text{total_necesario}} = 12 * 4.5 \left[\frac{m^3}{\text{min}} \right] \quad Q_{\text{total_necesario}} = 54 \left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]$$

Tabla 16
Valores del Caudal Requerido para la Cámara

CAUDAL		
$\left[\frac{m^3}{\text{min}} \right]$	$\left[\frac{m^3}{s} \right]$	CFM
54	0.9	1908

El caudal necesario requerido dentro de la cámara de deshidratado es de 1908 CFM, debido a la distribución de las bandejas se opta a la utilización de 2 moto ventiladores de 882 CFM, existentes en el mercado.

3.5.2 Coeficiente Global de Transferencia de Calor en la Masa

Mediante los coeficientes globales de transferencia de calor que son constantes inversamente proporcionales a la resistencia eléctrica equivalente de un circuito eléctrico en serie se tiene, (Cengel, 2003).

$$q = \Delta T \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{eq}' + 2 * R_{conv_i} + R_{cond_304} + R_{cond_LV} + R_{con_galv} + R_{Hco}} \quad (26)$$

Dónde:

$$- R_{Hco} = \text{Resistencia Térmica de Convección Externa} = \frac{1}{h_{co}} \quad (27)$$

$$- R_{cond} = \text{Resistencia Térmica de Conducción} = \frac{X * H_{bandejas}}{\lambda_{masa}} \quad (28)$$

$$- R_{conv} = \text{Resistencia Térmica de Convección Interno} = \frac{1}{h_{ci_masa}} \quad (29)$$

h_{co} Coeficiente de convección externa, $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$; $H_{bandejas}$ Altura de trabajo

de la bandeja, [0.008]; λ_{masa} Coeficiente de Conductividad térmica, $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{K}}\right]$;

$h_{\text{ci_masa}}$ Coeficiente de convección interna, $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{K}}\right]$.

El circuito equivalente térmico con respecto a las pérdidas de calor en la masa se muestra en la siguiente figura:

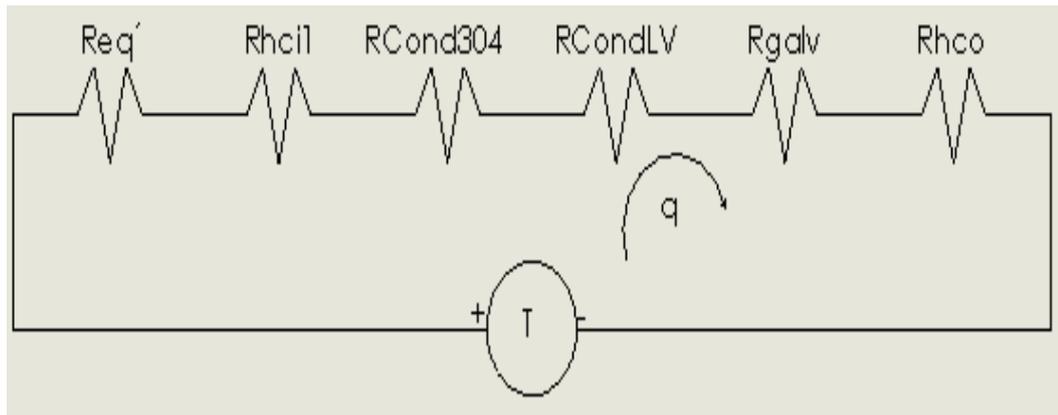


Figura 18 Circuito Térmico para las Frutas

$$q = \Delta T * \frac{1}{Req} = \frac{1}{Req' + 2 * R_{conv_i} + R_{cond_304} + R_{cond_LV} + R_{con_galv} + R_{Hco}}$$

$$Req' = \frac{1}{\frac{13}{R_{hci_masa}} + \frac{12}{R_{cond_masa}}} \quad (30)$$

De donde se deduce que el coeficiente Global de Transferencia de Calor para determinar las perdidas en la masa está dado por la siguiente expresión

$$U_{\text{masa}} = \frac{1}{Req} \quad (31)$$

$$U_{t_masa} = \frac{1}{Req' + 2 * R_{conv_i} + R_{cond_304} + R_{cond_LV} + R_{con_galv} + R_{Hco}}$$

– **Coeficiente de Convección Interno**

Para la determinación del coeficiente de convección interno se debe partir de la ecuación del número de Nusselt, (Cengel, 2003), como se indica a continuación:

$$h_{ci_masa} = \frac{\text{Nusselt} * \lambda_{aire}}{Dh} \quad (32)$$

Dónde:

h_{ci_masa} Coeficiente de conv. interna de pérdidas en la masa $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K}\right]$;

Nusselt Número de Nusselt; λ_{aire} Conductividad térmica del aire, $\left[\frac{W}{m * ^\circ K}\right]$;

Dh Diámetro hidráulico de la cámara de deshidratado, [m].

A su vez para la determinación del número de Nusselt es necesario obtener el número de Reynolds y de Prandtl respectivamente, (Cengel, 2003).

$$Re = \frac{V_{aire_masa} * Dh}{\nu_{aire}} \quad (33)$$

Dónde:

Re Número de reynolds; V_{aire_masa} Velocidad de aire minima requerida dentro de la camara, $\left[\frac{m}{s}\right]$; **Dh** Diámetro hidráulico de la camara, [m];

ν_{aire} Viscosidad cinemática del Aire, $\left[\frac{m^2}{s}\right]$.

Tabla 17
Viscosidad Cinemática de Aire a Presión Constante de 1atm

$T_{maxima} [^\circ C]$	$\nu_{aire} * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$
55	1.847
60	1.849
65	1.942

Fuente: (Cengel, 2003).

A continuación se realiza un ejemplo para la uvilla, reemplazando valores en la ecuación (33), los resultados pertenecientes a las demás frutas se muestra en la tabla 18.

$$Re_{uvilla} = \frac{0.14 \left[\frac{m}{s} \right] * 0.732[m]}{1.847 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]}$$

$$Re_{uvilla} = 5548.46$$

Tabla 18
Valores del Número de Reynolds

Nombre	$\dot{m}_{aire} \left[\frac{kg}{s} \right]$	$V_{aire_{minima}} \left[\frac{m}{s} \right]$	$u_{aire} * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$	Re
Piña	0.1023	0.1134	1.942	4274.398
Mango	0.1144	0.1268	1.849	5019.881
Uvilla	0.1264	0.1400	1.847	5548.457
Banano	0.1117	0.1237	1.849	4897.155

El número de Prandtl para el aire perteneciente al proceso se lo obtiene a partir de tablas termodinámicas cuyos valores se encuentran en función de la temperatura y la presión de este fluido.

Tabla 19
Valores del Número de Prandtl

$T_{maxima} [^{\circ}C]$	Prandtl
55	0.7215
60	0.7202
65	0.7177

Fuente: (Cengel, 2011)

Para determinar el valor del número de Nusselt se procede a utilizar la ecuación de Pethukov & Kirilov, debido que no se cumplen las condiciones requeridas para el uso de la ecuación de Dittus & Boelter, (Incropera, F & DeWitt, D, 1999).

$$\text{Nusselt} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * \text{Re} * \text{Prandtl}}{1.1 + \frac{900}{\text{Re}} - \frac{0.63}{1+10*\text{Prandtl}} + 12.7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\text{Prandtl}^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (34)$$

Dónde:

Nusselt Número de nusselt para la cámara; **Re** Número de Reynolds
f Factor de fricción; **Prandtl** Numero de prandtl en función de la temperatura.

El factor de fricción se determina mediante tablas del diagrama de Moody, para lo cual se requiere conocer el número de Reynolds y la Rugosidad Relativa, (Streeter, V & Nuylie, B, 2000).

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{Dh} \quad (35)$$

Dónde:

ε Rugosidad absoluta del acero inoxidable 304, [0.00009 m]; **Dh** Diámetro hidráulico de la cámara de deshidratado, [m].

Por lo que se tiene la relación:

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{Dh}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{0.00009 \text{ [m]}}{0.732 \text{ [m]}}$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = 0.0001229$$

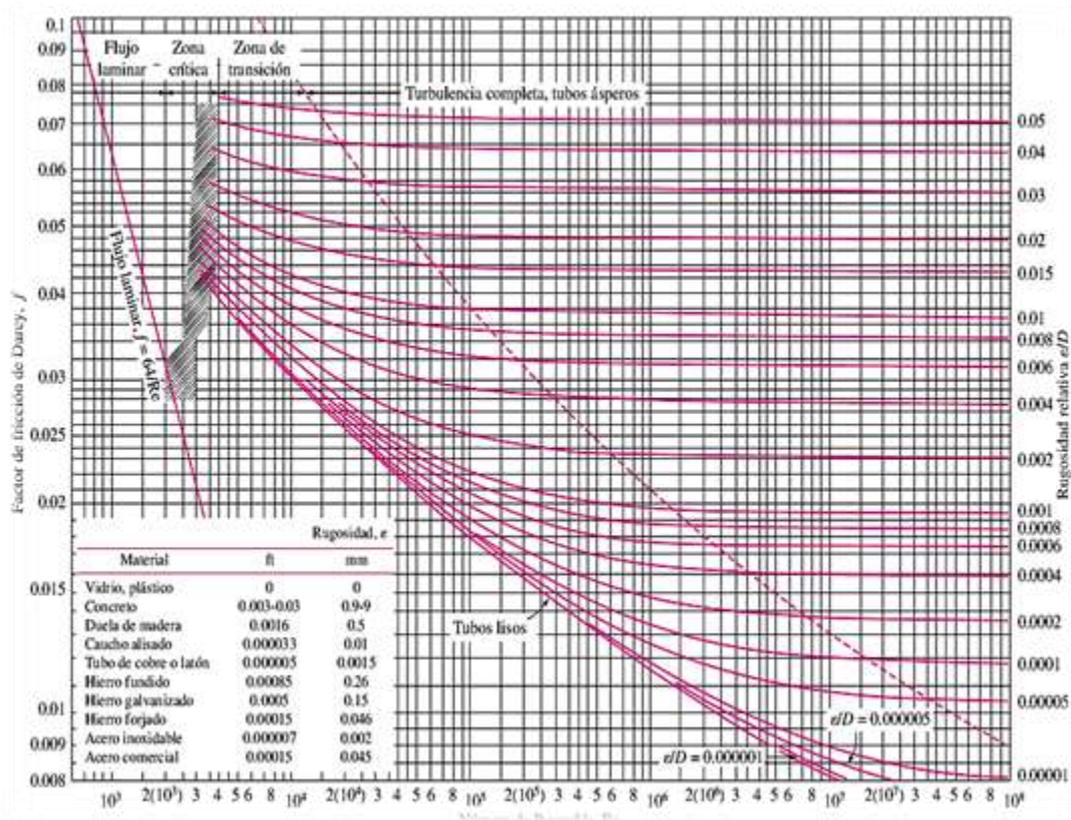


Figura 19 Diagrama de Moody

Fuente: (Cengel, 2003)

Entonces:

$$Re_{uvilla} = 5548.457$$

$$\frac{\epsilon}{Dh} = 0.0001229$$

$$Prandtl = 0.7215$$

$$f = 0.035$$

A continuación se procede a realizar un ejemplo de cálculo del número de Nusselt, para la cámara, usando la ecuación general como se muestra:

$$Nusselt_{uvilla} = \frac{\left(\frac{0.035}{8}\right) * 5548.457 * 0.7215}{1.1 + \frac{900}{5548.457} - \frac{0.63}{1+10*0.7215} + 12.7 * \left(\frac{0.035}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(0.7215^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

$$Nusselt_{uvilla} = 17.149$$

Tabla 20
Valores del Número de Nusselt de las Frutas

Nombre	Re	Prandtl	f	Nusselt
Piña	4274.398	0.7177	0.039	14.141
Mango	5019.881	0.7202	0.036	15.7181
Uvilla	5548.457	0.7215	0.035	17.149
Banano	4897.155	0.7202	0.037	15.726

El valor de la conductividad térmica del aire se encuentra en función de la temperatura máxima que se emplea dentro de la cámara deshidratadora, sus valores se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21
Conductividad Térmica del Aire en Función de Temperatura

Nombre	T_{max} (°C)	$\lambda_{aire} \left[\frac{W}{m * ^\circ K} \right]$
Piña	65	0.02845
Mango	60	0.02808
Uvilla	55	0.02772
Banano	60	0.02808

Fuente: (Coronel, 2014).

Posterior a la obtención del número de Nusselt se procede al cálculo del coeficiente de convección interna, y se realiza un ejemplo de cálculo en la ecuación (32):

$$h_{ci\ uvilla} = \frac{17.149 * 0.02772 \left[\frac{W}{m * ^\circ K} \right]}{0.732 [m]}$$

$$h_{ci\ uvilla} = 0.649$$

Tabla 22
Coeficiente de Convección Interna en la Cámara

Nombre	Nusselt	$\lambda_{aire} \left[\frac{W}{m * ^\circ K} \right]$	$h_{ci,masa} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$
Piña	14.141	0.02845	0.549
Mango	15.7181	0.02808	0.603
Uvilla	17.149	0.02772	0.649
Banano	15.726	0.02808	0.603

– Coeficiente de Convección Externo

Los coeficientes de convección externa se los obtiene mediante resultados obtenidos experimentalmente del ensayo del Método de placa caliente y el Método de la caja caliente aislada.

Tabla 23
Coeficiente de Convección Externa

Dirección de Flujo	Referencia	$h_{co_externo} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$
0	Flujo Ascendente	4.04
45		3.85
90	Flujo Horizontal	3.06
135		2.27
180	Flujo Descendente	0.96

Para el cálculo de las pérdidas en la masa se emplea el flujo horizontal, debido a que el flujo en la masa se produce en dirección horizontal.

$$h_{co_externo} = 3.06 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$$

– Coeficiente de Conductividad Térmica en la Masa

Es la capacidad de agua presente en los vegetales para conducir el calor, para su valor se realiza mediante la siguiente expresión, (Cengel, 2003).

$$\lambda_{masa} = 0.14 + 0.0049 * H_o \quad (36)$$

Dónde:

λ_{masa} Coeficiente de conductividad térmica, $\left[\frac{W}{m * ^\circ K} \right]$; H_o Humedad inicial del producto, [%].

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo para el coeficiente de conductividad térmica para la uvilla como se indica:

$$\lambda_{masa} = 0.14 + (0.0049 * 80) \quad \lambda_{masa} = 0.532 \left[\frac{W}{m * ^\circ K} \right]$$

Tabla 24
Coefficiente de Conductividad Térmica de la Masa

Nombre	Ho [%]	$\lambda_{\text{masa}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$
Piña	89.2	0.577
Mango	85.5	0.559
Uvilla	80	0.532
Banano	75	0.508

Tabla 25
Coefficiente de Conductividad Térmica de los Materiales

Material	Espesor [m]	$\lambda_{\text{material}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$
Acero Inox. 304	0.0006	16.6
Lana de Vidrio	0.025	0.0400
Galvanizado	0.0004	90
Externo		3.06

Fuente: (Domingo, 2011)

Como paso final para la determinación del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, se realiza un ejemplo para la uvilla, reemplazando los valores en la ecuación (31):

$$U_{\text{masa_uvilla}} = \frac{1}{\text{Req}' + 2 * R_{\text{conv}_i} + R_{\text{cond}_{304}} + R_{\text{cond}_{LV}} + R_{\text{con}_{galv}} + R_{\text{Hco}}}$$

$$\text{Req}' = \frac{1}{\frac{13}{R_{\text{hci_uvilla}}} + \frac{12}{R_{\text{cond_uvilla}}}}$$

$$U_{\text{masa_uvilla}} = 1.3682 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

Tabla 26
Coefficiente Global de Transferencia de Calor

Nombre	$\lambda_{\text{masa}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$	$h_{\text{ci_masa}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$	$h_{\text{co_externo}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$	$U_{\text{masa}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \right]$
Piña	0.577	0.549	3.06	0.4906
Mango	0.559	0.603	3.07	0.4658
Uvilla	0.532	0.649	3.08	0.4466
Banano	0.508	0.603	3.09	0.4657

– **Calculo de Pérdidas de Calor en la Masa**

Para el cálculo de las perdidas en la masa se realiza mediante la utilización de la siguiente ecuación, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_{\text{perdido_masa}} = A_{t_masa} * U_{masa} * \Delta T_{masa} \quad (37)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{\text{perdido_masa}}$ Flujo de calor perdido en la masa, [W]; U_{masa} Coeficiente global de transferencia de Calor, $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K}\right]$; ΔT_{masa} Diferencia de temperatura del flujo de calor, [$^\circ K$].

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo de las pérdidas de calor por jornada con respecto a la uvilla, como se indica a continuación.

$$\dot{Q}_{\text{perdido_uvilla}} = 0.75[m^2] * 0.4466 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K}\right] * (55[^\circ C] - 12[^\circ C])$$

$$\dot{Q}_{\text{perdido_uvilla}} = 14.404 [W]$$

Tabla 27
Pérdidas de Calor por Jornada en la Masa

Nombre	$\dot{Q}_{\text{perdido_masa}}$ [W]
Piña	19.499
Mango	16.770
Uvilla	14.404
Banano	16.767

– **Pérdidas de Calor en el Aire**

Para las pérdidas de calor por aire en el proceso se requiere la diferencia de temperaturas entre el fluido que entra y el que sale de la cámara de deshidratado, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_{\text{perdido_aire}} = \dot{m}_{\text{aire proceso}} * c_{p\text{aire}} * (\Delta T) \quad (38)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{\text{perdido_aire}}$ Flujo de calor perdido en el aire, [W]; \dot{m}_{aire} Flujo másico de aire en el proceso, $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$; $C_{p\text{aire}}$ Calor específico del aire Machachi $\left[1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}\right]$.

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo de las pérdidas de calor por aire con respecto a la uvilla.

$$\dot{Q}_{\text{perdido_aire_uvilla}} = 0.1264 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right] * 1.007 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}}\right] * (55 [^\circ\text{C}] - 12 [^\circ\text{C}])$$

$$\dot{Q}_{\text{perdido_aire_uvilla}} = 5.473 [\text{kW}]$$

Tabla 28
Pérdidas de Calor por Jornada en el Aire

Nombre	$\Delta T [^\circ\text{C}]$	$\dot{Q}_{\text{perdido aire}} [\text{kW}]$
Piña	53	5.4598
Mango	48	5.5303
Uvilla	43	5.4718
Banano	48	5.3981

– **Coeficiente Global de Transferencia de Calor en las Paredes de la Cámara de Deshidratado**

Empleando la analogía eléctrica se determina el coeficiente global de transferencia de calor como se indica en la siguiente figura.

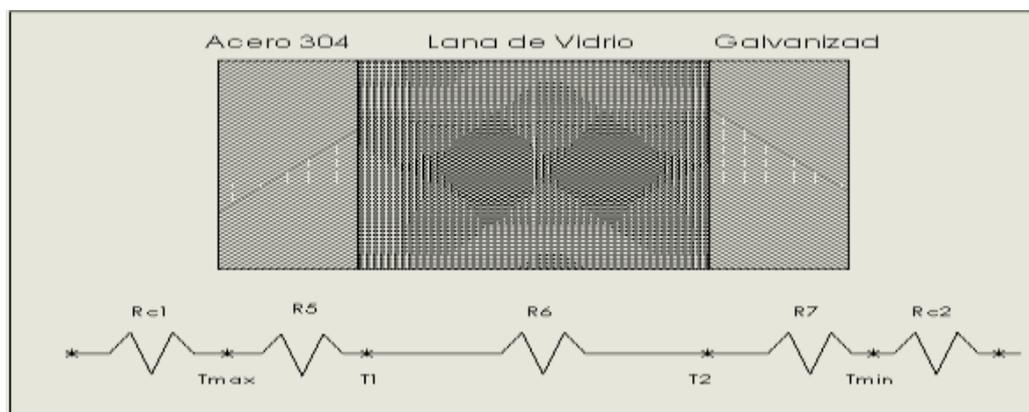


Figura 20 Analogía Eléctrica–Paredes de la Cámara de Deshidratado
(Cengel, 2003):

$$U_{\text{paredes}} = \frac{1}{R_{c1} + R_5 + R_6 + R_7 + R_{c2}} \quad (39)$$

Dónde:

U_{paredes} Coeficiente global de transferencia de calor en paredes;

R_{c1} Resistencia termica de convección interna; R_{c2} Resistencia termica de convección externa; R_5 Resistencia termica de conducción por lamina de acero 304; R_6 Resistencia termica de conducción por lana de vidrio;

R_7 Resistencia termica de conducción por acero galvanizado; e Espesor de los

diferentes materiales usados

Reemplazando se obtiene la siguiente ecuación:

$$U_{\text{paredes}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ci_masa}} + \frac{e1}{\lambda_{304}} + \frac{e2}{\lambda_{LV}} + \frac{e3}{\lambda_{GLV}} + \frac{1}{h_{co_ext}}} \quad (40)$$

Se procede a realizar un ejemplo de cálculo del coeficiente global de transferencia de calor en paredes de la cámara de deshidratado con respecto a la uvilla.

$$U_{\text{paredes_uvilla}} = \frac{1}{\frac{1}{0.549} + \frac{0.0006}{16.6} + \frac{0.025}{0.041} + \frac{0.0004}{90} + \frac{1}{3.06}} \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$$

$$U_{\text{paredes_uvilla}} = 0.4036 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$$

Tabla 29
Coeficiente Global de Transferencia de Calor en Paredes

Nombre	$h_{ci_interno}$ $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$	U_{paredes} $\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$
Piña	0.549	0.3626
Mango	0.603	0.3854
Uvilla	0.649	0.4036
Banano	0.603	0.3854

– **Cálculo de Pérdidas de Calor en las Paredes de la Cámara de Deshidratado**

Finalmente para obtener el coeficiente global de transferencia de calor se obtiene de la siguiente expresión, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_{\text{perdido_paredes}} = A_{\text{paredes}} * U_{\text{paredes}} * \Delta T_{\text{paredes}} \quad (41)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{\text{perdido_paredes}}$ Pérdida de calor en las paredes por jornada, [W];

A_{paredes} Area total de transferencia de calor, [m^2]; U_{paredes} Coeficiente global de transferencia de calor en paredes, [$\frac{W}{m^2 * ^\circ K}$]; $\Delta T_{\text{paredes}}$ Diferencia de temperatura de proceso y ambiente [$^\circ K$].

Se procede a realizar un ejemplo del cálculo de las pérdidas de calor en las paredes de la cámara de deshidratado con respecto a la uvilla.

$$A_{\text{paredes}} = A_{\text{Frontal}} + 2 * A_{\text{Lateral}} + 2 * A_{\text{SupInf}} \quad (42)$$

$$A_{\text{paredes}} = (1 * 1.05)[m^2] + 2 * (0.75 * 1.05)[m^2] + 2 * (1 * 0.75)[m^2]$$

$$A_{\text{paredes}} = 4.125[m^2]$$

$$\dot{Q}_{\text{perdido_paredes_uvilla}} = 4.125[m^2] * 0.4036 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right] * (55 - 12)[^\circ C]$$

$$\dot{Q}_{\text{perdido_paredes_uvilla}} = 71.5964 [W]$$

Tabla 30
Pérdidas de Calor en las Paredes

Nombre	$\Delta T [^\circ C]$	$\dot{Q}_{\text{perdido_paredes}} [W]$
Piña	53	79.2668
Mango	48	76.3014
Uvilla	43	71.5964
Banano	48	76.3014

– **Pérdidas de Calor Totales en la Cámara de Deshidratado**

El calor perdido total en la cámara de deshidratado se obtiene mediante la siguiente ecuación que es la sumatoria de todas las pérdidas:

$$\dot{Q}_{\text{total_perdido}} = \dot{Q}_{\text{perdido_masa}} + \dot{Q}_{\text{perdido_aire}} + \dot{Q}_{\text{perdido paredes}} \quad (43)$$

Por lo que se resume las perdidas en la siguiente tabla.

Tabla 31
Calor Total perdido por Jornada

Nombre	$\dot{Q}_{\text{total_perdido}}$ [W]
Piña	5558.557
Mango	5623.380
Uvilla	5557.814
Banano	5491.206

3.5.3 Calor Neto Requerido en la Cámara de Deshidratado

El calor neto necesario para el proceso de deshidratado es igual a la sumatoria del calor útil y las pérdidas de calor durante la jornada, (Cengel, 2003).

$$\dot{Q}_{\text{neto}} = \dot{Q}_{\text{útil}} + \dot{Q}_{\text{total_perdido}} \quad (44)$$

Tabla 32
Calor Neto Total Requerido por Jornada

Nombre	\dot{Q}_{neto} [KW]
Piña	11.0183
Mango	11.1537
Uvilla	11.0296
Banano	10.8893

3.5.4 Pérdidas de Presión en la Cámara de Deshidratado

Las pérdidas de presión en la cámara de deshidratado se deben a que ocurren tres tipos de fenómenos: contracción súbita, rugosidad y expansión súbita.

La caída de presión en un intercambiador de calor tiende a presentar una gran área frontal y una longitud de flujo pequeña y esta relación se la encuentra mediante la siguiente ecuación y diagrama:

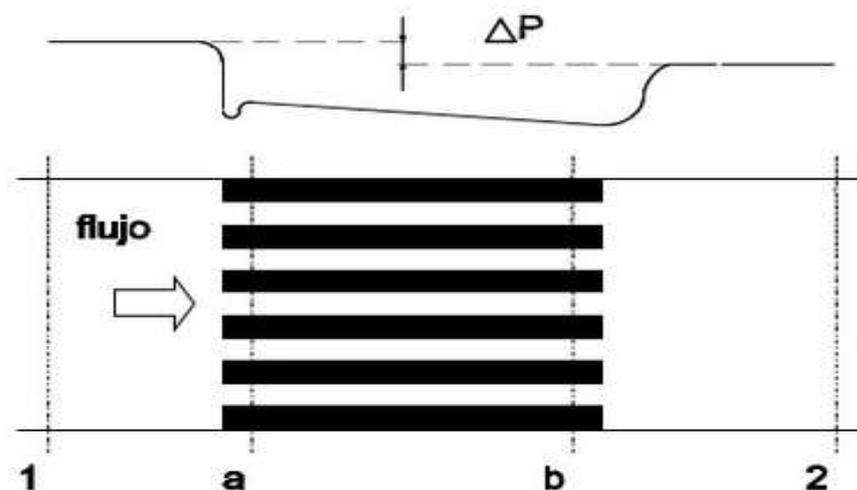


Figura 21 Diagrama de Pérdidas de Presión

Fuente: (Kays, W & London, A, 1998)

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ent}} + \Delta P_{\text{núcleo}} - \Delta P_{\text{sal}} \quad (44)$$

$$\Delta P_{\text{ent}} = \frac{1}{2} \rho_a V_a^2 \left[1 - \left(\frac{A_c}{A_1} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \rho_a V_a^2 K_c \quad (45)$$

$$\Delta P_{\text{núcleo}} = f \frac{1}{2} \rho_m V_m^2 \left[\frac{L}{D_h} \right] + (\rho_b V_b^2 - \rho_a V_a^2) \quad (46)$$

$$\Delta P_{\text{sal}} = \frac{1}{2} \rho_b V_b^2 \left[1 - \left(\frac{A_c}{A_1} \right)^2 \right] + \frac{1}{2} \rho_b V_b^2 K_e \quad (47)$$

Dónde:

A_c Área de la sección transversal del flujo, [m²]; A_1 Área frontal, [m²];

K_c Coeficiente de contracción; K_e Coeficiente de expansión; f Factor de fricción

V_m Velocidad del aire en la bandeja, $\left[\frac{m}{s}\right]$; D_h Diámetro hidráulico, [m];

V_a Velocidad del aire a la entrada, $\left[\frac{m}{s}\right]$; V_b Velocidad del Aire a la Salida, $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Las densidades dentro de la cámara van hacer las mismas por lo que se tiene:

$$\rho_b = \rho_m = \rho_b$$

$$G = \rho_1 * V_a = \rho_2 * V_b$$

$$\sigma = \left(\frac{A_c}{A_1}\right)$$

A continuación se procede a realizar el reemplazo de las ecuaciones (45, 46, 47) en (44), por lo que se tiene:

$$\Delta P = \frac{G^2}{2\rho_1} \left[[1 - \sigma^2 + K_c] + 2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) + \frac{fA}{4A_c} \frac{\rho_1}{\rho_m} - [1 - \sigma^2 - K_e] \frac{\rho_1}{\rho_2} \right]$$

$$\Delta P = \frac{\rho^2 V_a^2}{2\rho} \left[\left[1 - \left(\frac{A_c}{A_1} \right)^2 + K_c \right] + \frac{fA}{4A_c} - \left[1 - \left(\frac{A_c}{A_1} \right)^2 - K_e \right] \right]$$

Para la determinación de los coeficientes de Contracción y expansión se usa el siguiente diagrama y el número de Reynolds, ejemplo realizado para la uvilla:

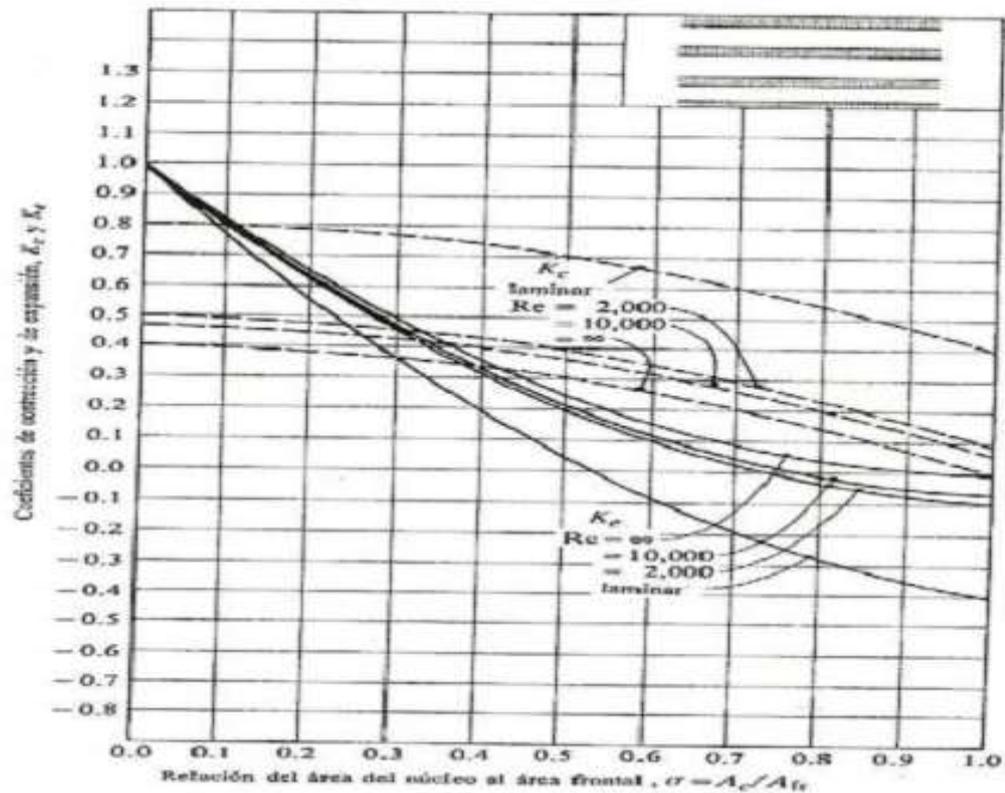


Figura 22 Coeficientes de Perdidas por Contracción y Expansión

Fuente: (Kays, W & London, A, 1998).

$$Re_{uvilla} = 5548.45$$

$$f = 0.029$$

$$A_c = 0.750 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_1 = 1.05 \text{ [m}^2\text{]}$$

Dónde:

A_c = área sección transversal del flujo

A_1 = área frontal de la cámara

Entonces:

$$K_e = 0.18$$

$$K_c = 0.38$$

$$\Delta P = 0.000873 \text{ [Pa]}$$

La presión en la entrada de la cámara de deshidratado se determina mediante la relación:

$$P_{\text{Entrada}} = \rho * \frac{V_E^2}{2} \quad (48)$$

Dónde:

V_E Velocidad entrada de aire mínima requerida $_{uvilla}$, $\left[0.14 \frac{m}{s}\right]$;

ρ Densidad promedio del aire en la cámara $\left[1.225 \frac{Kg}{m^3}\right]$.

$$P_{\text{Entrada}} = 1.225 * \frac{(0.14)^2}{2}$$

$$P_{\text{Entrada}} = 0.012 [Pa]$$

CAPÍTULO 4

DISEÑO MECATRÓNICO

4.1 Sistema Mecánico

4.1.1 Análisis Estructural

Tomando en cuenta que en un sistema de equilibrio las fuerzas y los momentos que actúan sobre el sistema se balancean de tal manera que:

$$\Sigma F=0 ; \Sigma M=0$$

Se analiza la masa total que tiene que soportar la estructura y se considera:

4.1.2 Masa de Bandejas de Aluminio Serie 3000

Dimensión de bandejas = 45 x 65 x 2,8 [cm]

Espesor de bandejas = 0.8 [mm]

$$\delta_{al} = \frac{m_{bandej}}{V} ; (\text{Cengel, 2003}) \quad (49)$$

Dónde:

δ Densidad aluminio 3000, $\left[2.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]$; m Masa de la bandeja, [Kg];

V Volúmen de bandejas, [cm³].

Entonces:

$$m = \delta_{al} * V_{total}$$

$$V_{total} = V_{base} + 2 * V_{lateral1} + 2 * V_{lateral2} [cm^3] \quad (50)$$

$$V_{base} = 45cm * 65cm * 0.08cm$$

$$V_{base} = 234[cm^3]$$

$$V_{lateral1} = 65cm * 2.8cm * 0.08cm$$

$$V_{lateral1} = 14.56[cm^3]$$

$$V_{lateral2} = 45cm * 2.8cm * 0.08cm$$

$$V_{lateral2} = 10.08[cm^3]$$

Reemplazando los valores en la ecuación (50) se tiene:

$$V_{total} = 234 + 2 * 14.56 + 2 * 10.08 [cm^3]$$

$$V_{total} = 283.28 [cm^3]$$

Se procede al reemplazo en la ecuación (49)

$$m_{bandej} = 2.7 * 283.28 [g]$$

$$m_{bandej} = 0.76 [Kg]$$

La máquina está compuesta de 24 bandejas, por lo que se tiene una masa total aproximada de:

$$masa_{band_{total}} = 24 * 0.76 [Kg]$$

$$masa_{band_{total}} = 18.24 [Kg]$$

4.1.3 Masa de la Fruta

Para el análisis estructural se considera la masa de la uvilla que es 100kg.

4.1.4 Masa Aproximada de la Máquina

Paredes Internas de la Cámara

Está compuesto de 4 paredes internas (lateral izquierda, lateral derecha, puerta izquierda y puerta derecha de acero inoxidable 304 de espesor 0.6 [mm] y una densidad de 7.8 g/cm³, (Fuente Norma ASTM A276):

Pared Superior

$$(100\text{cm} * 75\text{cm} * 0.06\text{cm}) = 450 [\text{cm}^3]$$

Considerando la circunferencia de escape de gases de 4" = 10.16 [cm]

$$\text{Área del Círculo} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$\text{Área del Círculo} = 81.073 [\text{cm}^2]$$

$$\text{Volúmen del Orificio} = 81.073\text{cm}^2 * 0.06\text{cm}$$

$$\text{Volúmen del Orificio} = 4.86 [\text{cm}^3]$$

Por lo tanto:

$$\text{Volúmen pared Superior} = 450 - 4.86 [\text{cm}^3]$$

$$\text{Volúmen pared Superior} = 445.14 [\text{cm}^3]$$

$$\text{masa}_{\text{sup}} = 7.8 * 445.13 [\text{g}] \quad \text{masa}_{\text{sup}} = 3.47\text{kg}$$

Pared Lateral Derecha y Pared Lateral Izquierda

$$\text{Volumen Lateral_Izquierda} = 2(75\text{cm} * 105\text{cm} * 0.06\text{cm}) = 945\text{cm}^3$$

$$\text{masa}_{\text{derech_izq}} = 7.8 * 945 [\text{g}] \quad \text{masa}_{\text{derech_izq}} = 7.37\text{kg}$$

Pared en Puertas de Cámara

$$\text{Volumen Puertas} = (100\text{cm} * 105\text{cm} * 0.06\text{cm}) = 630\text{cm}^3$$

$$\text{masa}_{\text{puerta}} = 7.8 * 630 \text{ [g]} \quad \text{masa}_{\text{puerta}} = 4.91\text{kg}$$

Pared Interna Posterior

Compuesta por una lámina perforada de acero inoxidable 304 con un espesor de 0.06 cm y una densidad de 5.85g/cm³ (perforación de 1 cm de diámetro x 0.4cm entre orificios)

$$\text{Volumen Posterior} = 100\text{cm} * 105\text{cm} * 0.06\text{cm} = 630[\text{cm}^3]$$

$$\text{masa}_{\text{posterior}} = 630 * 5.85[\text{g}] \quad \text{masa}_{\text{posterior}} = 3.68[\text{kg}]$$

Pared Interna Inferior

Compuesta por una lámina perforada de acero inoxidable 304 con un espesor de 0.06 cm y una densidad de 5.85g/cm³ (perforación de 1 cm de diámetro x 0.4cm entre orificios).

$$\text{Volumen Inferior} = 100\text{cm} * 75\text{cm} * 0.06\text{cm} = 450\text{cm}^3$$

$$\text{masa}_{\text{inferior}} = 450 * 5.85 \text{ [g]} \quad \text{masa}_{\text{inferior}} = 2.63 \text{ [kg]}$$

Por ende la masa total dentro de la cámara de deshidratado es la suma de todas sus masas de las paredes:

$$\text{masa}_{\text{INT}} = \text{masa}_{\text{sup}} + \text{masa}_{\text{derech_izq}} + \text{masa}_{\text{puerta}} + \text{masa}_{\text{posterior}} + \text{masa}_{\text{inferior}}$$

$$\text{masa}_{\text{INT}} = 3.47 + 7.37 + 4.91 + 3.68 + 2.63 \text{ [Kg]}$$

$$\text{masa}_{\text{INT}} = 22.06 \text{ [Kg]}$$

Paredes Internas de Aislamiento de Fibra de Vidrio

Compuesta por láminas de 2.5 [cm] de espesor ubicadas en la pared de las puertas, dos láminas en el lado izquierdo y derecho y una plancha en la parte superior de la cámara de deshidrato con una densidad de 2.58 g/cm³ (2580kg/m³)

Tabla 33
Características Técnicas de la Fibra de Vidrio

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (BTU in/ft ² h°F)	Rango de temperatura (°C)
Poliestireno expandido	17	0.40	-150 a 50
Fibra de vidrio	16	0.318	-84 a 538
Lana mineral o de roca	96	0.59	50 a 650
Silicato de calcio	240	0.40	454 a 650
Perlita expandida o silicato de sodio	224	0.39	454 a 1000

Fuente: (Berrocal, 2007).

Paredes Laterales

$$\text{Volumen Aisl Lateral} = 2(75\text{cm} * 105\text{cm} * 2.5\text{cm}) = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{mas_aisl}_{\text{lateral}} = 16 * 0.02[\text{Kg}] \quad \text{mas_aisl}_{\text{lateral}} = 0.32[\text{Kg}]$$

Pared Frontal (Puertas)

$$\text{Volumen Aisl Puertas} = (100\text{cm} * 105\text{cm} * 2.5\text{cm}) = 0.026250 \text{ m}^3$$

$$\text{mas_aisl}_{\text{puerta}} = 16 * 0.02625[\text{Kg}] \quad \text{mas_aisl}_{\text{puerta}} = 0.42[\text{Kg}]$$

Pared Superior

$$(\text{Volumen Aisl Superior} = 100\text{cm} * 75\text{cm} * 2.5\text{cm}) = 0.01850 \text{ m}^3$$

Considerando la circunferencia de escape de gases de 4" = 10.16 cm

$$\text{Área del Círculo} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$\text{Área del Círculo} = 81.073 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volúmen del orificio} = 81.073\text{cm}^2 * 2.5\text{cm}$$

$$\text{Volúmen del orificio} = 0.0002[\text{m}^3]$$

$$\text{Volumen Ais Superior Total} = 0.01850 - 0.0002 [\text{m}^3]$$

$$\text{Volumen Ais Superior Total} = 0.0183 [\text{m}^3]$$

$$\text{mas_aisl}_{\text{sup}} = 16 * 0.0183[\text{Kg}] \quad \text{mas_aisl}_{\text{sup}} = 0.293[\text{Kg}]$$

La masa total de la fibra de vidrio dentro de la cámara de deshidratado es la suma de todas sus paredes:

$$\text{masa_aisl}_{\text{LANA}} = \text{masa_aisl}_{\text{lateral}} + \text{masa_aisl}_{\text{puerta}} + \text{masa_aisl}_{\text{sup}}[\text{Kg}]$$

$$\text{masa_aisl}_{\text{LANA}} = 0.32 + 0.42 + 0.293 [\text{Kg}] \quad \text{masa_aisl}_{\text{LANA}} = 1.03 [\text{Kg}]$$

Paredes Externas de la Cámara

Al igual que las paredes internas esta compuesta por 4 paredes de acero galvanizado tol - 410 de espesor 0.4mm y una densidad de 7.425 g/cm³.

Tabla 34
Características Técnicas del Acero Galvanizado

TABLA DE REFERENCIA															
Calibre	Espesor [mm]		Número de unidades por Paquete			Peso (kg)									
	Negro	Galvanizado	1000x2000	1200x2400	1220x2440	Lámina Negra			Lámina Galvanizada (180 g/m ²)						
						1000x2000	1200x2400	1220x2440	1000x2000	1200x2400	1220x2440				
Cal.10	3.42	3.44
Cal.11	3.04	3.06	...	35	35	47.89	68.68	70.99	48.05	69.20	71.52				
Cal.12	2.66	2.68	...	35	35	41.71	60.07	62.08	42.07	60.58	62.62				
Cal.13	2.28	2.30	...	50	50	35.77	51.51	53.24	38.13	52.03	53.78				
Cal.14	1.90	1.92	50	75	75	29.79	42.90	44.34	30.15	43.41	44.87				
Cal.15	1.71	1.73	50	65	50	26.84	38.65	39.95	27.20	39.16	40.48				
Cal.16	1.52	1.54	50	100	100	23.85	34.34	35.49	24.21	34.86	36.03				
Cal.17	1.37	1.39	50	100	100	21.45	30.89	31.93	21.81	31.41	32.47				
Cal.18	1.21	1.24	150	150	150	19.06	27.45	28.37	19.42	27.97	28.91				
Cal.19	1.08	1.09	150	150	150	16.67	24.00	24.81	17.03	24.52	25.35				
Cal.20	0.91	0.94	150	150	150	14.32	20.62	21.31	14.68	21.13	21.84				
Cal.21	0.84	0.86	150	150	150	13.12	18.89	19.53	13.48	19.41	20.06				
Cal.22	0.78	0.78	200	200	200	11.82	17.17	17.75	12.28	17.89	18.28				
Cal.23	0.68	0.71	200	200	200	10.73	15.45	15.97	11.09	15.97	16.50				
Cal.24	0.61	0.63	200	200	200	9.53	13.72	14.19	9.89	14.24	14.72				
Cal.25	0.53	0.56	200	200	200	8.33	12.00	12.41	8.69	12.52	12.94				
Cal.26	0.45	0.48	250	200	250	7.14	10.28	10.62	7.50	10.80	11.16				
Cal.27	0.42	0.44	250	250	250	6.54	9.42	9.73	6.90	9.94	10.27				
Cal.28	0.38	0.40	350	250	250	5.94	8.56	8.84	6.30	9.07	9.38				
Cal.29	0.34	0.37	350	250	250	5.38	7.75	8.01	5.74	8.27	8.55				
Cal.30	0.30	0.33	300	...	...	4.79	6.89	7.12	5.15	7.41	7.66		
Cal.31	0.25	0.28	250	...	...	3.93	5.65	5.84	4.29	6.17	6.38		

Fuente: (Acero, 1993)

Pared Superior

$$\text{Volumen Superior Galvanizado} = (100\text{cm} * 75\text{cm} * 0.04\text{cm}) = 300\text{cm}^3$$

Considerando la circunferencia de escape de gases de 4" = 10.16 cm

$$\text{Área del Círculo} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$\text{Área del Círculo} = 81.073 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Volúmen del orificio} = 81.073\text{cm}^2 * 0.04\text{cm}$$

$$\text{Volúmen del orificio} = 3.24 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volúmen pared Superior Galvanizado} = 300 - 3.24 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{Volúmen pared Superior Galvanizado} = 296.75 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{masa_glv}_{sup} = 7.425 * 296.75 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{sup} = 2.2 \text{ [Kg]}$$

Pared lateral derecha y Pared lateral izquierda

$$\text{Volumen Galvanizado Laterales} = 2(75\text{cm} * 105\text{cm} * 0.04\text{cm}) = 630 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{masa_glv}_{lateral} = 7.425 * 630 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{lateral} = 4.68 \text{ [Kg]}$$

Pared en Puertas de Cámara

$$\text{Volumen Galvanizado Puerta} = (100\text{cm} * 105\text{cm} * 0.04\text{cm}) = 420 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$\text{masa_glv}_{puerta} = 7.425 * 420 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{puerta} = 3.12 \text{ [Kg]}$$

Pared externa Posterior

Compuesta por una lámina perforada de acero galvanizado 410 con un espesor de 0.04 cm y una densidad de 7.425 g/cm³.

Geometría 1 Superior:

$$\text{Dimensiones} = 41\text{cm} * 105\text{cm}$$

$$\text{Área geometría 1} = 4305 \text{ cm}^2$$

$$\text{volumen geometría 1} = 4305\text{cm}^2 * 0.04\text{cm}$$

$$\text{volumen geometría 1} = 172.2\text{cm}^3$$

$$\text{masa_glv}_{\text{geom1}} = 7.425 * 172.2 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{\text{geom1}} = 1.27[\text{Kg}]$$

Geometría 2 Intermedia:

$$\text{Dimensiones} = 39\text{cm} * 105\text{cm}$$

$$\text{Área geometría 2} = 4095 \text{ cm}^2$$

$$\text{volumen geometría 2} = 4095\text{cm}^2 * 0.04\text{cm}$$

$$\text{volumen geometría 2} = 163.8\text{cm}^3$$

$$\text{masa_glv}_{\text{geom2}} = 7.425 * 163.8 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{\text{geom2}} = 1.21[\text{Kg}]$$

Geometría 3 Inferior

$$\text{Dimensiones} = 43.5\text{cm} * 105\text{cm}$$

$$\text{Área geometría 3} = 4567.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{volumen geometría 3} = 4567.5\text{cm}^2 * 0.04\text{cm}$$

$$\text{volumen geometría 3} = 182.7\text{cm}^3$$

$$\text{masa_glv}_{\text{geom3}} = 7.425 * 182.7 \text{ [g]} \quad \text{masa_glv}_{\text{geom3}} = 1.35[\text{Kg}]$$

Pared Externa Inferior

Compuesta por una lámina perforada de acero galvanizado 410 con un espesor de 0.04 cm y una densidad de 7.425 [g/cm³]

Volumen Galvanizado Inferior = $100\text{cm} * 75\text{cm} * 0.04\text{cm} = 300 [\text{cm}^3]$

$$\text{masa_glv}_{\text{inferior}} = 7.425 * 300 [\text{g}] \quad \text{masa_glv}_{\text{inferior}} = 2.22[\text{Kg}]$$

La masa total del galvanizado del recubrimiento externo de la cámara de deshidratado es la suma de todas sus paredes:

$$\text{masa_glv}_{GLV} = \text{masa_glv}_{\text{sup}} + \text{masa_glv}_{\text{lateral}} + \text{mas_glv}_{\text{puerta}} + \text{masa_glv}_{\text{geom1}} + \\ + \text{masa_glv}_{\text{geom2}} + \text{masa_glv}_{\text{geom3}} + \text{masa_glv}_{\text{inferior}} [\text{Kg}]$$

$$\text{masa_glv}_{GLV} = 2.2 + 4.68 + 3.12 + 1.27 + 1.21 + 1.35 + 2.2 [\text{Kg}]$$

$$\text{masa_glv}_{GLV} = 16.05 [\text{Kg}]$$

Tubo de Acero Inoxidable Interno

Para la sujeción de las bandejas se usa dos tubos de 1 pulgada de diámetro por 1.5 mm de espesor con una densidad de 1.14 [kg/m].

Tabla 35
Características Técnicas del Tubo de Acero Inox 304

TP 304 - 304L - Según Norma ASTM A554					
Dimensiones mm (a-b)	Espesor de Pared (s)				
	1	1.2	1.5	2	3
10 x 10	0.294	0.377			
12 x 12	0.372	0.440	0.565		
15 x 15	0.454	0.538	0.662		
20 x 20	0.628	0.730	0.901		
25 x 25	0.785	0.921	1.140		
30 x 30	0.939	1.143	1.38	1.884	
40 x 40	1.252	1.496	1.859	2.453	3.604
50 x 50			2.337	3.091	4.562
60 x 60			2.812	3.725	5.512
80 x 80			3.774	5.006	7.434
100 x 100				6.283	9.418

Terminación
2B:
Pulido exterior grit 180

Aplicación
Muebles, carpintería metálica
Largo estándar: 6000 mm.
Consultar por otros diámetros,
espesores y largos especiales.

El diagrama muestra un tubo cuadrado con una sección transversal que indica el espesor de la pared (s), el radio exterior (R) y las dimensiones de la sección (a y b). Hay un símbolo de soldadura en la esquina superior derecha.

Fuente: (Acero, 1993)

Por lo tanto se procede a calcular la masa de los tubos inox.

$$\text{masa_tubo}_{\text{inox}} = 2 * (1.05 * 1.14) [\text{Kg}]$$

$$\text{masa_tubo}_{inox} = 2.39[\text{Kg}]$$

Ángulos Internos

La parte interna está compuesta de 48 ángulos de acero inoxidable 304 de $\frac{3}{4}$ " con una distancia de 70cm y una densidad de .88 kg/m

$$\text{masa_ang}_{inox} = 0.7\text{m} * .88 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

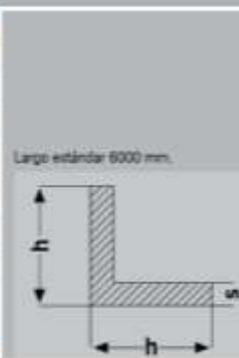
$$\text{masa_ang}_{inox} = 0.616 [\text{Kg}]$$

$$\text{masa_ang}_{inox_TOTAL} = 0.616 * 48 [\text{Kg}]$$

$$\text{masa_ang}_{inox_TOTAL} = 29.56 [\text{Kg}]$$

Tabla 36
Características Técnicas del Angulo de Acero Inox 304

Ángulos laminados				
Pulgadas (s)	Pulgadas (h)	mm. (s)	mm. (h)	Kg/mt.
1/8"	3/4"	3.17	19.05	0.880
1/8"	1"	3.17	25.40	1.190
1/8"	1"1/4	3.17	31.70	1.510
1/8"	1"1/2	3.17	38.10	1.820
1/8"	2"	3.17	50.80	2.300
3/16"	1"	4.76	25.40	1.780
3/16"	1"1/4	4.76	31.70	2.170
3/16"	1"1/2	4.76	38.10	2.650
3/16"	2"	4.76	50.80	3.700
1/4"	1"1/2	6.35	38.10	3.440
1/4"	2"	6.35	50.80	4.760



Fuente: (Acero, 1993).

4.1.5 Masa Aproximada de Motores y Niquelinas Eléctricas

Masa Niquelinas Eléctricas

El horno deshidratador está compuesto de 4 niquelinas eléctricas de aleación Ni-Cr, cada una con longitud de 2 [m] y una densidad de 8300 [kg/m³], con diámetro de 9.5 [mm], (Resistencias Tubulares Industriales Kountaras, 2015).

$$\text{Volúmen del cilindro} = \pi * r^2 * h [\text{cm}^3]$$

$$\text{Volúmen del cilindro} = \pi * (0.475\text{cm})^2 * 200\text{cm}$$

$$\text{volúmen de un cilindro} = 141.76 [\text{cm}^3]$$

$$\text{masa}_{\text{niquelina}} = 141.76\text{cm}^3 * 8300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{masa}_{\text{niquelina}} = 1.17 [\text{Kg}]$$

Por lo tanto se realiza el cálculo del valor para las 4 niquelinas usadas en la cámara de deshidratado.

$$\text{masa}_{\text{total}_{\text{niquelina}}} = 4 * 1.17 [\text{Kg}]$$

$$\text{masa}_{\text{total}_{\text{niquelina}}} = 4.68 [\text{Kg}]$$

Masa Motores

Los motores usados tiene una masa de 5.6 [Kg], y al usar 2 motores tenemos:

$$\text{masa}_{\text{total}_{\text{motores}}} = 2 * 5.6 [\text{Kg}]$$

$$\text{masa}_{\text{total}_{\text{motores}}} = 11.2 [\text{Kg}]$$

Masa Tablero de Control

La masa total del tablero de control se considera con todos los elementos tanto de control y de potencia que conforma la caja, dando una masa aproximada de 16kg.

Masa Total

La masa total es la sumatoria de las masas de cada componente, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 37
Descripción de Masas por Componentes Mecánicos

COMPONENTE	MASA [kg]
Bandejas	18.24
Fruta	100
Paredes Internas Cámara Inox	22.06
Aislamiento Fibra de Vidrio	1.03
Paredes Externas Cámara Glv	16.05
Tubo Acero Inox Interno	2.39
Ángulos Inox Internos	29.56
Niquelinas	4.68
Motores	11.2
Tablero de Control	16
TOTAL	221.2

4.1.6 Cálculo Estructural

La estructura debe soportar un peso aproximado de 221.2 kg obtenido anteriormente.

$$F = m * a \quad (51)$$

Dónde:

F Fuerza a soportar la estructura, [kN]; **a** Aceleración de la gravedad, $\left[\frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2}\right]$

$$F = 221.2 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 2.167 \text{ [kN]}$$

La masa [W] distribuida sobre el perímetro cuadrado de la estructura sirve para calcular las reacciones RA, RB, RC, RD distribuidas en cada lado de la misma y se calcula de la siguiente manera:

$$R_A = R_B = R_C = R_D = \frac{F}{4} = \frac{2.167 \text{ kN}}{4} = 0.54 \text{ [kN]}$$

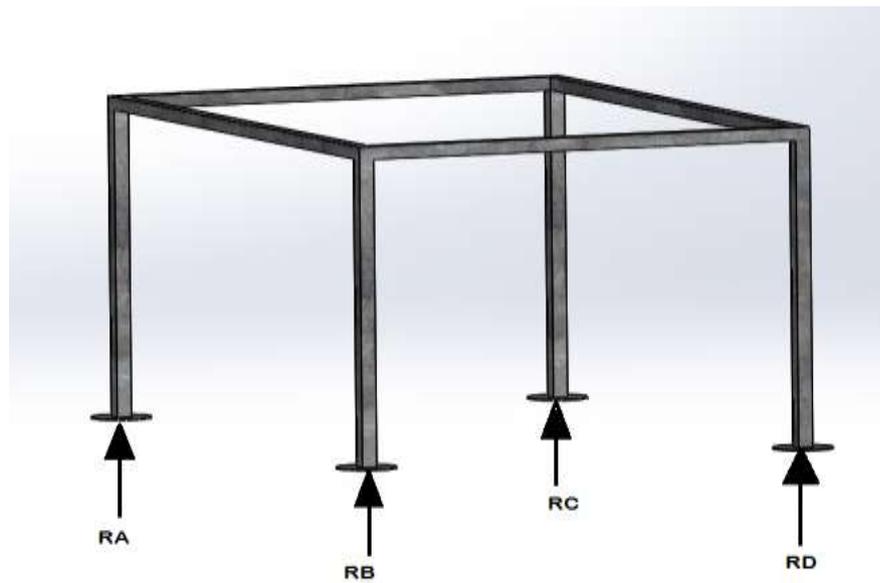


Figura 23 Análisis Estático de las Reacciones en la Estructura

Dónde cada una de estas reacciones es la fuerza que se ejerce sobre cada una de las vigas de la base de la estructura, es decir:

$$R_A = F_{\text{viga}} = 0.54 \text{ [kN]}$$

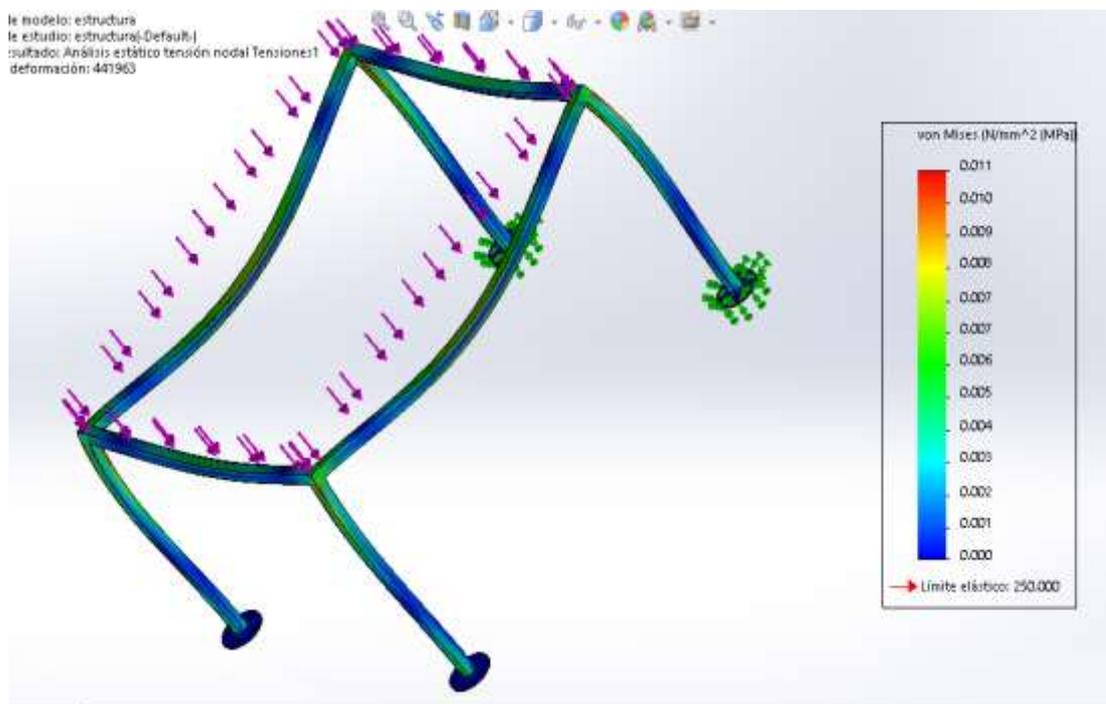


Figura 24 Análisis Estático de la Estructura en la Base del Horno

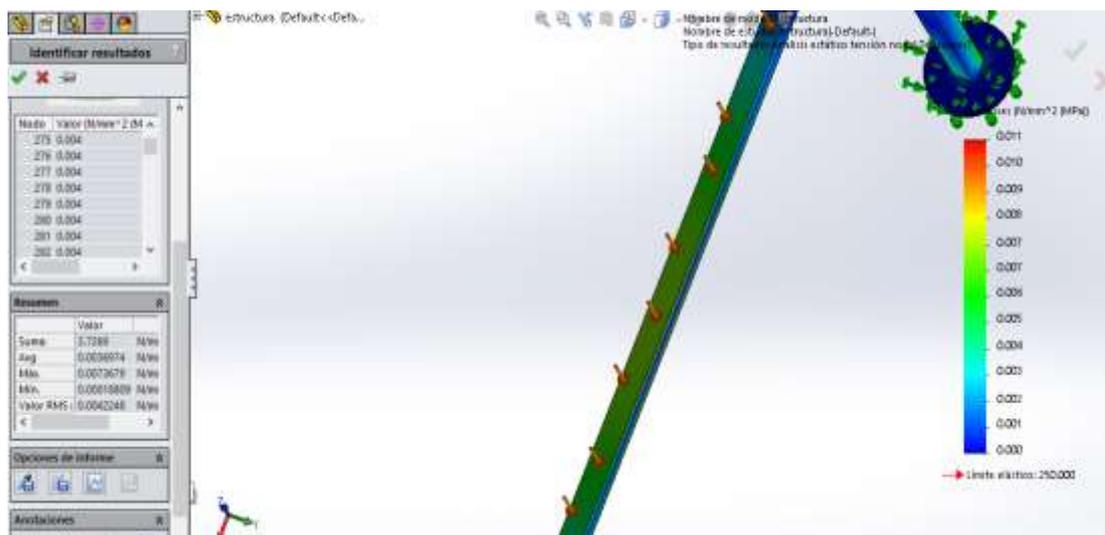


Figura 25 Análisis el Esfuerzo Presente en una de las Vigas

En esta gráfica se muestra el valor promedio del esfuerzo en una de las caras de la estructura que es de 0.004 [N/mm²].

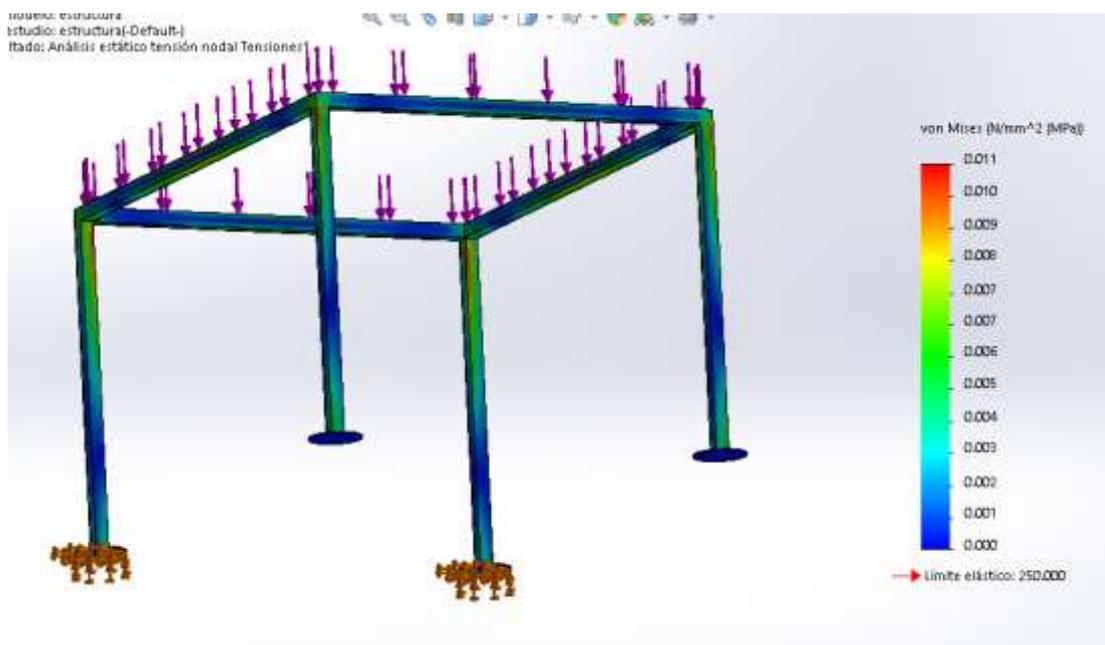


Figura 26 Análisis de Esfuerzos Presentes en toda la Estructura

En esta gráfica se muestra el valor y el lugar de ubicación del esfuerzo máximo que soporta la estructura base de la máquina deshidratadora que es de 0.010 N/mm² [MPa] en la proximidad del punto de unión de los vértices.

Cálculo esfuerzo cortante máximo (cf.)

Es el esfuerzo resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de la viga frontal de la estructura de soporte, que ocurre a 45° de la superficie de Tensión. La fluencia (deformación irrecuperable del elemento) se produce después de alcanzar este valor, (Budynas, 2008).

$$cf = \frac{S_y}{2} \quad (52)$$

Dónde:

cf Esfuerzo cortante máximo, [kg]; **S_y** Esfuerzo de fluencia del acero ASTM 36

tiene un valor de $2530 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 36[\text{kpsi}] = 250\text{MPa}$

$$cf = 1265 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 125[\text{MPa}]$$

Con este valor se justifica que el esfuerzo que soporta la estructura de Acero ASTM 36(0.010 MPa) está muy por debajo del valor máximo que podría soportar antes de alcanzar la fluencia (125 MPa).

Desplazamientos

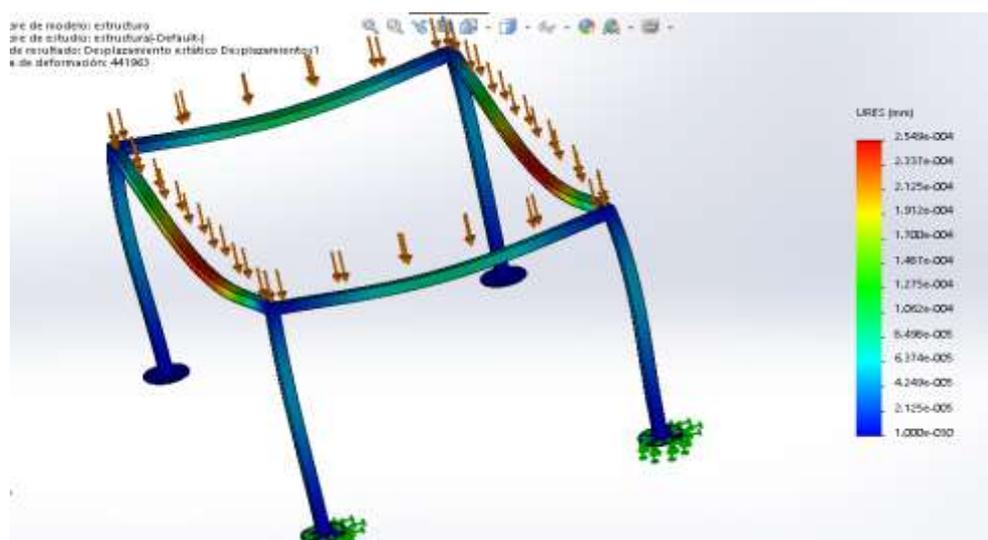


Figura 27 Análisis de Desplazamiento en la Estructura

En esta gráfica se muestra que el valor máximo del desplazamiento en una de las caras de la estructura es de 0.000254 [mm]

El material utilizado para soportar la carga estimada es el Acero ASTM A36, el cual tiene propiedades mecánicas convenientes para la máquina como seguridad, durabilidad, ligereza y resistencia.

Su esfuerzo mínimo de ruptura de retención $S_{ut} = 408$ MPa (58 kpsi) y esfuerzo de Fluencia $S_y = 250$ MPa (36 kpsi) además de un valor comercial accesible lo convierten en la mejor opción.

Ahora bien, la longitud de la viga frontal de la estructura es de 1000 mm:

$$L_{\text{viga AB}} = 1000 \text{ [mm]}$$

Que corresponde al ancho de la cámara de deshidratado.

Dónde:

$L_{\text{viga AB}}$ Longitud viga frontal de la estructura

Por medio del análisis a fluencia se determina la deflexión de la viga a carga nominal, (Budynas, 2008).

$$Y = \frac{F * a^2 * (3 * L - 4 * a)}{24 * E * I} \quad (53)$$

Dónde:

F Fuerza a soportar de la estructura, [N]; **E** Módulo de Elasticidad del acero, $\left[250000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right]$; **I** Momento de inercia de la sección transversal de la viga, $[27 * 10^{-6} \text{m}^4]$; **Y** Deflexión, [mm]; **a** Longitud de acción, [m]; **L** longitud de la viga frontal, [m].

$$a = \text{longitud de acción} = \frac{L_{\text{viga AB}}}{2} [\text{m}] \quad (54)$$

Esta longitud se divide para 2 por considerar a la mitad de la viga como el punto de acción de la carga.

$$a = \frac{1000}{2}$$

$$a = 500\text{mm} = 0.5 [\text{m}]$$

$$I = 27 * 10^{-6} [\text{m}^4]$$

$$Y = \frac{2167 * (0.50)^2 * (3 * 1 - 4 * 0.50)}{24 * 255 * 10^4 * 27 * 10^{-6}}$$

$$Y = \frac{541.75 * (3 - 2)}{162000000}$$

$$Y = 0.0033 * 10^{-3} [\text{m}]$$

$$Y = 0.0033 [\text{mm}]$$

Mediante las especificaciones AISC 2005 se considera los límites establecidos de vigas sometidas a cargas viva en la que el límite máximo de deflexión es:

$$\text{Deflexión Máxima} = \frac{L}{500} \quad (55)$$

Dónde:

L Longitud del Claro, [mm].

$$\text{Deflexión Máxima} = \frac{1000}{500}$$

$$\text{Deflexión Máxima} = 2 [\text{mm}]$$

Con lo que verificamos que la deflexión $Y = 0.0033 [\text{mm}]$ se encuentra dentro del rango admisible [2mm] en comparación al límite máximo de deflexión.

Además como se observa el valor en el que se deformaría la estructura [0.000254mm] está muy por debajo del valor máximo de deflexión de la estructura [2mm].

Momentos Actuantes a Carga Nominal

Considerando uno de los extremos de la viga de la estructura, (Budynas, 2008).

$$M_1 = \frac{F_{\text{viga}} * a * (L - a)}{L} \quad (56)$$

Dónde:

a Longitud de acción, [m]; **F_{vigaAB}** Fuerza sobre la viga de uno de los lados de la estructura, [kN]; **L_{vigaAB}** Longitud de la viga AB (ancho de la máquina), [1m].

$$a = \text{longitud de acción} = \frac{L_{\text{viga AB}}}{2} \text{ [m]}$$

$$a = \frac{1000}{2}$$

$$a = 500 \text{ [mm]}$$

$$a = 0.50 \text{ [m]}$$

La sección de empotramiento se define mediante la siguiente ecuación:

$$M_f = \frac{W * l}{4} \quad (57)$$

Dónde:

M_f Sección de empotramiento, [kg * cm]; **W** Masa total[kg]; **l** Longitud de la viga al punto medio, [cm].

$$M_f = \frac{221.2 * 50}{4}$$

$$M_f = 2768.75 \text{ [kg * cm]}$$

Deformación Elástica (te)

Es la propiedad mecánica de los materiales para sufrir deformaciones reversibles cuando están sujetos a fuerzas exteriores y pueden recuperar la forma original.

Tomando en cuenta los 25mm de longitud y espesor de 2mm, (Budynas, 2008).

$$te = \frac{W}{S} \quad (58)$$

Dónde:

te Deformación elástica, $\left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$; **W** Masa total, [kg]; **S** Sección de la viga, $[\text{mm}^2]$;
 ΔL Deformación, [mm].

$$te = \frac{221.2}{25 * 25}$$

$$te = 0.3539 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

Para tener una estabilidad a la tracción se debe tener en cuenta el coeficiente de resistencia k (Carga de Seguridad) ubicada en la siguiente tabla:

Tabla 38
Características Técnicas Coeficientes de Resistencia

Coeficiente de resistencia de algunos materiales de empleo más corriente						
Materiales	E Modulo de elasticidad Kg/mm ²	R (Kg/mm ²) carga de rotura		P _e (Kg/mm ²) Carga del limite de elasticidad	K Coeficiente de resistencia	
		Tracción	Compresión		Maquinas	Construcción
Hierro soldado	20000	30/36	28/30	16/20	9	8/10
Hierro homogéneo	20000	35/40	28/30	18/24	9/12	8/10
Acero dulce	22000	40/60	>80	25/35	12/15	13/20
Acero al níquel	22000	50/110	>80	30/50	20/25	18/24
Acero especial al cr, S.	- 20000	90/180 45/60	- -	60/120 24/30	15/30 15/20	- 15/20
Alambre de hierro	24000	75/200	-	40/50	18/30	24/30
Alambre de acero	10000	10/15	60/80	trac.6- comp. 13	trac.3- comp. 9	trac.2- comp. 5
Fundición	11000	13/15	40	-	-	-

Fuente: (Mott, 2009).

$$\frac{W}{S} \leq k \quad (59)$$

Dónde:

W Masa total, [kg]; **S** Sección de la viga, [625mm²]; **k** Coeficiente de resistencia del acero dulce, $\left[\frac{13}{20}\right]$.

$$\frac{W}{S} = \frac{221.2}{625}$$

$$\frac{W}{S} = 0.3539 \leq 0.65$$

Con lo que se cumple la condición de estabilidad de la tracción por encontrarse dentro de los parámetros recomendados, con lo que se confirma la elaboración de la estructura metálica en acero de construcción corriente ASTM 36.

Por otra parte en el diseño se utilizará el ángulo estructural de 25 x 25 [mm] con espesor de 2[mm] utilizando tornillos tirafondo y soldadura para las uniones de estos materiales.

Tabla 39
Datos Obtenidos

CONCEPTO	VALOR
Masa de la máquina con carga	221.2 [kg]
Fuerza a soportar por la estructura	2.167[kN]
Esfuerzo Máximo Cortante	125[MPa]
Deformación Elástica	0.3539[mm]
Estabilidad de la estructura a la tracción	Sí

Con los datos obtenidos se justifica el empleo para la construcción de la estructura de soporte de la máquina deshidratadora con tubo de acero de construcción corriente ASTM 36 de dimensiones 1" x 2mm.



Figura 28 Estructura Metálica Usada para la Deshidratadora

4.2 Sistema Eléctrico Electrónico

4.2.1 Selección del Ventilador Centrífugo

Para seleccionar el ventilador, es necesario conocer el caudal de aire necesario requerido dentro del horno.

El caudal necesario es de 1908 CFM, por lo que se divide para utilizar dos ventiladores, que teóricamente satisfagan el caudal requerido.

De acuerdo con las características de funcionamiento de los ventiladores y los requerimientos del sistema se selecciona un ventilador centrífugo el cual está ubicado en la parte posterior del equipo y presenta las siguientes características.

Tabla 40
Ventiladores Disponibles en el Mercado



MODELO	AMPERIOS [I]	MEDIDA HELICE [Pulg]	CFM	ALIMENTACIÓN [V]	POTENCIA [Hp]	RPM
SE3377	2.6	25.5	2293	220	1/3	1075
SE3177	1.9	17.7	1630	220	1/6	825
SE8888	1.1	15.7	1054	110/220	1/12	1550
SE0026	0.5	11.8	882	110/220	1/15	1580
SE0024	1.0	11.8	705	110/220	1/20	1550

Fuente: (Electric, 2015)

Características Técnicas:

Marca: Smart Electric.

Modelo: SE-0026.

Alimentación: Trifásico.

Potencia: 1/15 HP.

Voltaje: 110 / 220 V.

Velocidad Nominal: 1580 RPM

Corriente Nominal: 0.5 A.

Auto Protección Térmica.

Frecuencia: 50 / 60 Hz.

Par Nominal

$$T_n = \frac{9550 * w}{rpm} [\text{N. m}] \quad (\text{Chapman, S, Máquinas Eléctricas, 2009, Pag395}) \quad (60)$$

Dónde:

w Potencia nominal, [KW]; **rpm** Velocidad angular nominal $\left[\frac{rev}{min}\right]$.

$$T_n = \frac{9550 * 0.05}{1580} [\text{N.m}]$$

$$T_n = 0.3022 [\text{N.m}]$$

Potencia de Salida

$$Pot_{sal} = T_n * \omega [\text{W}] \text{ (Chapman, S, Máquinas Eléctricas, 2009, Pag395)} \quad (61)$$

Dónde:

ω Velocidad angular, $\left[\frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right]$.

$$Pot_{sal} = 50.0 [\text{W}]$$

Potencia de Entrada

$$Pot_{ent} = \sqrt{3} * U * I * \text{Cos}(\varphi) [\text{W}] \quad (62)$$

Dónde:

U Tensión de trabajo, [V]; **I** Corriente nominal, [A]; **Cos(φ)** Factor de potencia = 1, carga resistiva.

$$Pot_{ent} = \sqrt{3} * 110 * 0.5 * 1 [\text{W}]$$

$$Pot_{ent} = 95.26[\text{W}]$$

Rendimiento del Motor

$$n = \frac{Pot_{sal}}{Pot_{ent}} * 100 \% \quad (63)$$

Dónde:

Pot_{sal} Potencia de salida del motor, [W]; **Pot_{ent}** Potencia de Entrada del motor, [W].

$$n = \frac{50.0}{95.26} * 100 \%$$

$n = 52.53\%$

4.2.2 Selección de Niquelinas Eléctricas

Utilizando la tabla mostrada a continuación como referencia, se encuentra los valores correspondientes a la carga específica máxima.

Tabla 41
Carga Específica Máxima en Aleaciones

Tipos de utilización	w/cm ² (máximos)
Hornos y estufas	3
Utilizaciones comunes	4
Aire quieto (radiación)	3.5 a 4.5
Aire reforzado	4.5 a 5.5
Aletadas para aire forzado	4 a 7
Sumergida en aceite inflamable	1.2
Sumergida en líquidos viscosos	1.5
Sumergida en agua quieta	5 a 7
Sumergida en aceite térmico	5 a 7
Sumergida en agua (circulación forzada)	8 a 12
Manifolds	8
Fundidas en hierro	8 a 12
Fundidas en aluminio	8 a 14
Fundidas en bronce	8 a 16

Fuente: (Lawrence, 1984).

Tomando en cuenta que el aire que circula dentro de la cámara es forzado, se determina que la Carga Específica (C_e) es de 6 [W/cm²].

La resistencia tubular existente en el mercado posee un diámetro de 9.5 [mm]. Con esa referencia se realiza el análisis para la obtención de los siguientes valores por medio de la siguiente tabla:

longitud Radiante de la Niquelina = 2000 [mm].

Con la Carga Especifica de 6 [W/cm²] y con una longitud radiante de 2000 [mm], procedemos la siguiente tabla para calcular la potencia entregada por cada niquelina.

Tabla 42
Máximas Potencias Tubulares, Aleaciones de Níquel-Cromo

Ø (mm)	9.5					
(mm)	Neutro	Potencia	Potencia	Potencia	Potencia	Potencia
Largo	(mm)	(1.5 w/cm ²)	(3 w/cm ²)	(4 w/cm ²)	(6 w/cm ²)	(8 w/cm ²)
200	30	63	126	167	251	335
400	30	153	305	407	610	813
600	40	233	467	622	933	1244
800	40	323	646	861	1292	1723
1000	60	395	790	1053	1579	2106
1250	60	507	1014	1352	2028	2704
1500	60	619	1238	1651	2476	3302
1750	60	731	1463	1950	2925	3900
2000	70	834	1689	2225	3338	4450
2250	70	947	1893	2524	3786	5048
2500	70	1059	2117	2823	4235	5447
2750	70	1171	2342	3122	4684	6245
3000	70	1283	2566	3421	5132	6843
3250	70	1395	2790	3721	5581	
3500	70	1507	3015	4020	6029	
3750	70	1620	3239	4319	6478	
4000	70	1732	3463	4618		

Fuente: (Lawrence, 1984).

Por lo tanto la Potencia Máxima entregada por cada niquelina es 3338 [W]. Al necesitar cubrir la carga útil máxima en la cámara de deshidratado de 11.1537 [KW] se utilizó 4 de estas resistencias tubulares, y se obtuvo una potencia total:

$$3338 * 4 = 13.352 \text{ [KW]}$$

De esta manera se cumple con el calor requerido en la cámara de deshidratado, las resistencias van a ser ubicadas en la parte posterior de la cámara como se indica en la siguiente figura.

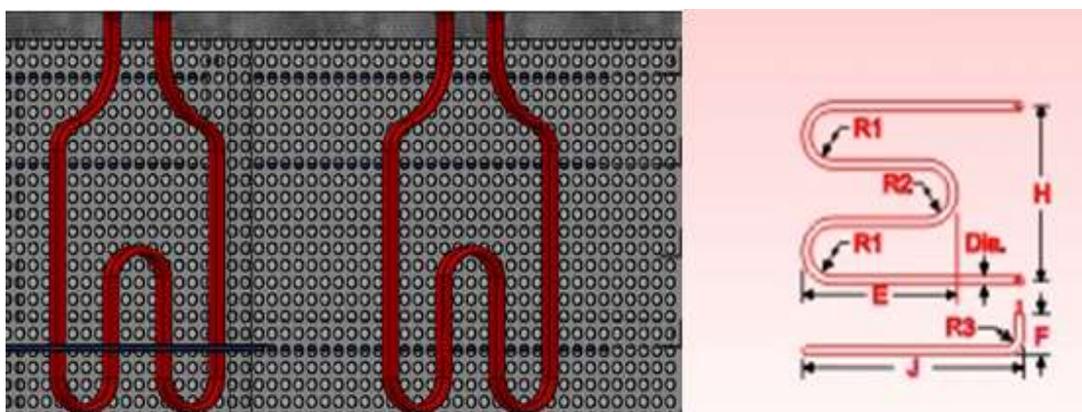


Figura 29 Distribución y Geometría de las Niquelinas Usadas

Fuente: (Kays, W & London, A, 1998).

4.2.3 Selección del Conductor Eléctrico

La corriente nominal de la máquina está dada por las niquelinas que es de 10 A, con un voltaje de trabajo de 220V cada una.

Con este valor de corriente y en base en la siguiente tabla se determinó que se debe usar un conductor de cobre #10 flexible tipo THWN 75°C.

Mientras que para la parte de control se usó un conductor #14 flexible tipo THWN 75°C, debido a que su corriente nominal es relativamente baja.

Tabla 43
Selección de Conductor Eléctrico

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Fuente: (Viakon, 2012).

4.2.4 Selección del Contactor

La selección de contactores está en base a la potencia que estos soportan, para lo cual se sobredimensionó al 125% de su potencia nominal de las niquelinas eléctricas (P_n).

$$P_{\text{contactor}} = 125 * P_n \quad (64)$$

$$P_n = V * I \quad (65)$$

$$P_n = 220 * 20$$

$$P_n = 4,4 \text{ Kw (5,9 hp)}$$

Por lo tanto:

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * 4,4 \text{ kw}$$

$$P_{\text{contactor}} = 5,5 \text{ kw (7,4 hp)}$$

Las aplicaciones de los contactores, en función de la categoría de servicio, son:

- **Categoría AC1:** se aplica a todos los aparatos de utilización en corriente alterna donde el factor de potencia sea, al menos, igual a 0,95.

Aplicaciones usuales tales como: receptores de calefacción y líneas de distribución.

- **Categoría AC2:** esta categoría se refiere al arranque, al frenado contracorriente, así como a la marcha por impulsos de los motores de anillos, $\text{Cos } \varphi > = 0,3 \text{ a } 0,7$.

Al cierre, el contactor establece la corriente de arranque, cerca de dos veces la intensidad nominal del motor.

A la apertura, debe cortar la corriente nominal con una tensión inferior o igual a la tensión de la red, tensión tanto más elevada cuanto más débil es la velocidad del motor, con lo cual la fuerza contra-electromotriz es poco elevada.

- **Categoría AC3:** se refiere a los motores de jaula cuyo corte se efectúa a motor lanzado.

Al cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la intensidad nominal del motor.

A la apertura, corta la corriente nominal absorbida por el motor; en este momento, la tensión en las bornes de sus polos es igualmente del orden del 20 % de la tensión de la red.

Aplicaciones usuales tales como: todos los motores de jaula de ardilla corrientes, ascensores, escaleras mecánicas, compresores, etc.

- **Categoría AC4:** esta categoría se refiere al arranque, al frenado por contra-corriente y a la marcha por impulsos de los motores de jaula.

Al cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la intensidad nominal del motor. Aplicaciones usuales tales como: trefiladoras, metalurgia, elevación, etc.

Tabla 44
Dimensionamiento de Contactores

Potencia Nominal(HP)	Voltaje Nominal (V)	Corriente Nominal (I)	Categoría De Servicio	Potencia Del Contactor (hp)
5,5	220	20	AC1	7,4

Características Técnicas.

Accionamiento: Electromagnético GMC-30P2.

Voltaje Nominal: 220V.

Categoría de Utilización según Norma IEC: AC1.

Frecuencia: 60 Hz.

Voltaje de Bobina: 110V.

Contactos Auxiliares: 2NA.

Tabla 45
Selección de Contactores Schneider

Referencia TeSys	HP220V	HP440V	AC3	AC1	Contactos Auxiliares
LC1D09	3	5.5	9	25	1NA+1NC
LC1D12	4	7.5	12	25	1NA+1NC
LC1D18	5.5	12	18	32	1NA+1NC
LC1D25	7.5	15	25	40	1NA+1NC
LC1D32	10	20	32	50	1NA+1NC
LC1D38	12	25	38	50	1NA+1NC
LC1D40	15	30	40	60	1NA+1NC
LC1D50	20	40	50	80	1NA+1NC
LC1D65	25	50	65	80	1NA+1NC
LC1D80	30	61	80	125	1NA+1NC
LC1D95	34	68	95	125	1NA+1NC
LC1D115	40	80	115	200	1NA+1NC
LC1D150	54	108	150	200	1NA+1NC

Fuente: (Schneider, 2013).

4.2.5 Selección de Sensores

Debido a las condiciones de trabajo de la máquina y al tipo de procesamiento que son alimentos, para el consumo humano, se consideró que los sensores y equipos sean los adecuados y no afecten en el proceso de trabajo, por ello se usó el sensor descrito a continuación.

Características del sensor de humedad y temperatura FF-GLT-EXT-TE1.

Material del Cable: Cable de cobre plano con PVC.

Tipo de Sensor de humedad: Sensor de humedad capacitivo.

Consumo de corriente: <3 mA.

Escalamiento de la Salida de Temperatura: -30...+70 °C en 4...20mA.

Rango de Medición de Humedad: 0...100% RH.

Material del Tubo: Acero Inoxidable AISI 316Ti de longitud 100mm.

Voltaje de Operación: 12...24 V AC/DC.

Sensor de Temperatura: Pt1000, 2-hilos.

Diámetro del tubo: 12 mm.

Salida del Sensor: 2x 4...20mA.

Precisión de Medición de Humedad: $\pm 2\%$ RH.

Tiempo de Respuesta Temperatura: T90: 25 s.

Escalamiento de Salida de Humedad: 0...100% RH on 4...20 mA.

4.2.6 Selección de Controlador Lógico Programable

El controlador lógico programable se seleccionó en base a los requerimientos de trabajo.

El controlador es modular, se lo puede armar dependiendo de las necesidades de trabajo, en este proceso se ha incrementado un módulo de entradas digitales, módulo de salidas digitales, módulo de entradas analógicas, y un módulo final de bus, además de una pantalla táctil de 7 pulgadas.

Características Técnicas.

Marca: Beckhoff.

Modelo: KL9050.

Número de Terminales: 64.

Carga de Corriente: < 10 A.

Interfaz de Bus: 2 x RJ 45 socket (Entrada + Salida).

Fuente de Alimentación: 24 VCC (-15%, +20%).

Corriente (Bus K): Entrada 70mA +, 4,2mA max.

Modulo Entrada (KL 1408): 8 entradas digitales.

Modulo Salida (KL 2408): 8 salidas digitales.

Modulo Análogo (KL 3051): 2 entradas análogas.

Pantalla Táctil 7 Pulgadas: marca advantech full color.

4.2.7 Fuente de Alimentación 24VDC

Es una fuente de poder, esencial para proporcionar alimentación a diversos dispositivos industriales, como el controlador lógico programable, sensores, tarjetas de control, acondicionadores de señal, etc.

Se seleccionó tomando en cuenta la corriente nominal requerida para todo el funcionamiento, para transformar la alimentación monofásica de 110 VAC a 24 VDC, para alimentar la parte de control.

Características Técnicas.

Modelo: LP-100W-24.

Eficiencia: 85%.

Voltaje de Alimentación: 110 V / 220V.

Voltaje de Salida: 24VDC.

Tolerancia Voltaje de Salida: $\pm 1\%$.

Corriente Nominal Salida: 4,2 A.

Rango de Corriente de Salida: 0 a 4,2 A.

Potencia de Salida: 100,8 W.

Rizado y Ruido: 240 mVp-p.

4.2.8 Distribución del Tablero de Control.

El tablero de control implementado es de 400x400x200 mm, fue diseñado específicamente para albergar de manera segura dispositivos eléctricos y electrónicos.

Se encuentra ubicado en la parte lateral derecha, a una altura apropiada para facilitar su manipulación y control.

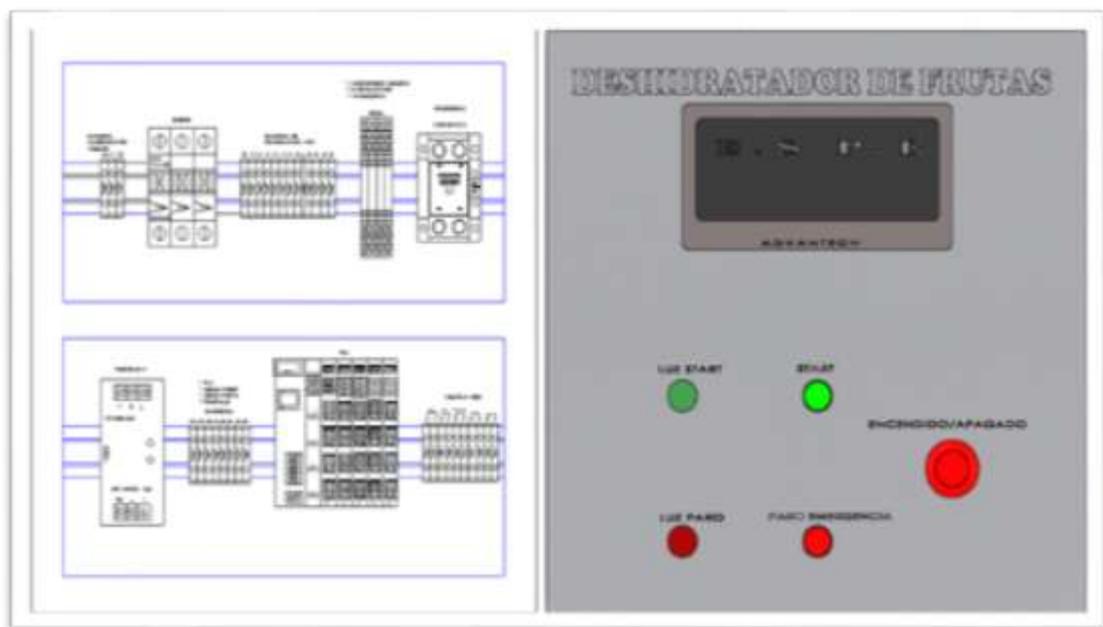


Figura 30 Distribución del Tablero de Control

4.2.9 Esquemas Eléctricos de Potencia y Control

– Diagrama de Control

Los sistemas de control son vitales para el funcionamiento del equipo, debido que facilitan el accionamiento de simples circuitos, hasta sistemas de automatización complejos que están interconectados los elementos de control con los elementos de fuerza.

La implementación de protecciones a los sistemas de control, garantizan el funcionamiento óptimo de todo el proceso, permitiendo proteger cuando esté fuera del régimen normal de trabajo, evitando así las sobrecargas y perturbaciones existentes.

El diagrama de control se describe en la siguiente figura:

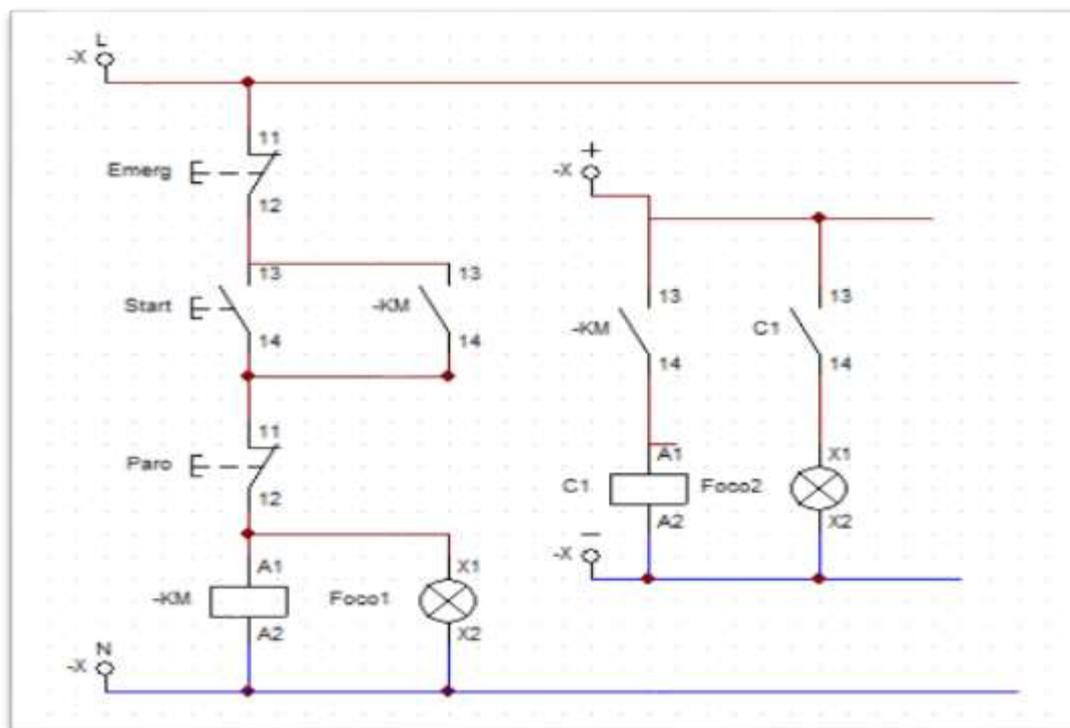


Figura 31 Distribución del Tablero de Control

Mediante el pulsador Start que tiene una fuente de alimentación de 110VAC, se acciona el contactor -KM encargado de energizar la bobina del mismo, y se enciende la luz piloto de Foco1 de color verde.

A la vez se energiza la fuente de 24VDC y se enciende todo el tablero de control, se activa el PLC, los sensores, y cada uno de los relés de protección están conectados a las bobinas de los contactores.

El pulsador Paro interrumpe la alimentación del contactor -K; y se enciende la luz piloto color rojo, en el módulo además existe un pulsador tipo hongo de emergencia que des energiza todo el sistema en caso de presentarse algún problema.

– Diagrama de Potencia

El sistema de conexión de potencia parte de la alimentación trifásica de 220VAC, se conecta en serie al elemento de protección, con el objetivo de proteger a todo el tablero de control.

El circuito se encarga de energizar todo el sistema, a través del contactor Brek, se activan los moto ventiladores, se accionan los contactores Cont1 , Cont2, que son los encargadas de encender las niquelinas eléctricas, por medio de una fuente se reduce el voltaje de 110 a 24 voltios, el cual se realiza la etapa de control.

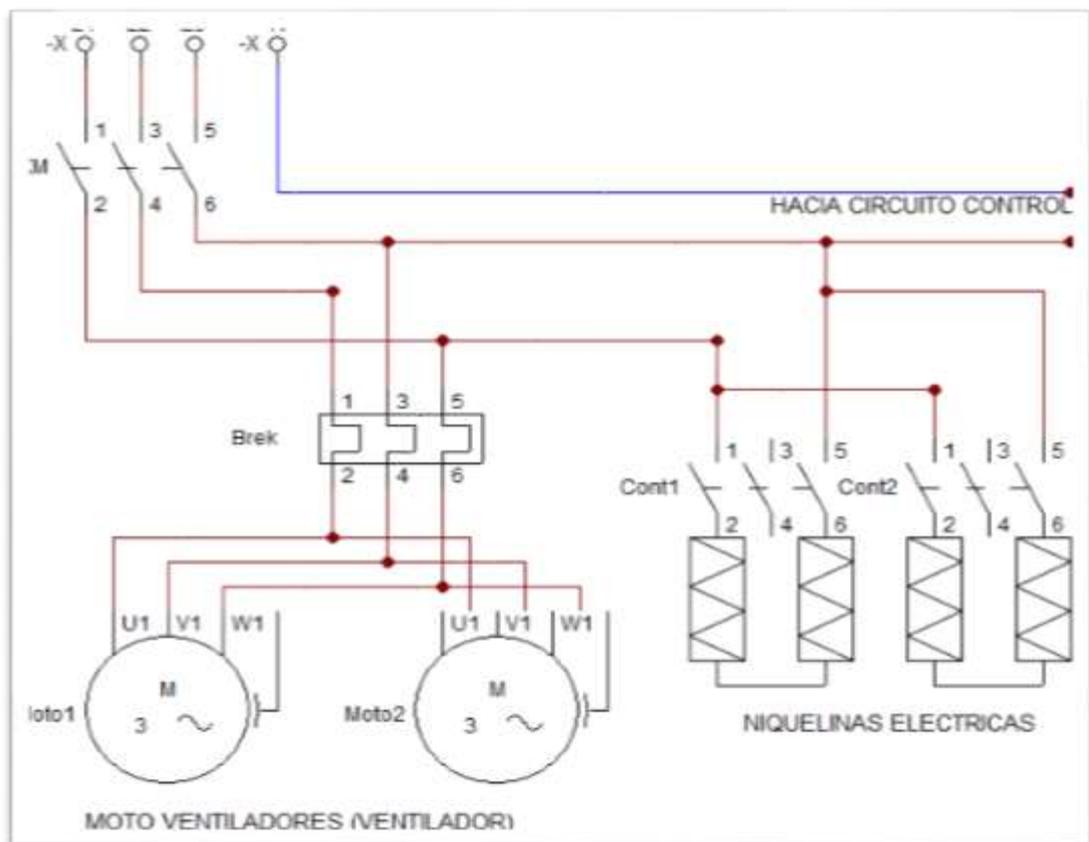


Figura 32 Distribución del Tablero de Potencia

4.3 Sistema de Control

4.3.1 Descripción del Proceso

1. Una vez colocada la carga de fruta a deshidratar en las bandejas dentro de la cámara se verificó la correcta conexión eléctrica entre el tomacorriente trifásico de la máquina y la conexión eléctrica del lugar.

2. Encendido de la pantalla táctil. Este procedimiento solo se lleva a cabo en cuanto el pulsador en forma de hongo de color rojo (parada de emergencia) se encuentre retraído y el botón pulsador de START de color verde fue presionado en la parte frontal de la caja metálica.

3. Se verifica la adecuada apertura de las escotillas posteriores de entrada de aire a los ventiladores.

4. El panel táctil debe encontrarse en la pantalla de selección de usuario del cuál dependiendo del operador se procederá a seleccionar la fruta a deshidratar y la forma de proceso de deshidratación, bien sea Manual o Automático.

5. En el caso de seleccionar el Proceso Automático lo único que se escoge es la cantidad de masa aproximada a deshidratar, teniendo en cuenta que solo en modo manual se puede tener la opción de elegir el tiempo de deshidratado.

6. Independiente del proceso de deshidratación escogido, siempre habrá un tiempo de calentamiento previo (10 minutos) con la finalidad de preparar el ambiente dentro de la cámara para optimizar los resultados y disminuir el tiempo de deshidratado.

7. Mediante la pantalla táctil se procede a encender los ventiladores para verificar las variables de trabajo como la temperatura y la humedad de la cámara.

8. Una vez terminado el proceso y esperar el apagado de la máquina, se verificó el estado de humedad de las frutas de manera visual en cada uno de los niveles para confirmar la adecuada cantidad de humedad requerida.

9. En caso de encontrar una humedad excedente a la requerida optar por realizar un último proceso manual de deshidratación según se requiera.

10. Finalmente alcanzada la humedad requerida retirar con cuidado las bandejas para evitar quemaduras por parte del operario.

4.3.2 Controlador ON-OFF

Es el modo más convencional el cual consisten en activar el mando de salida cuando la variable se encuentra por debajo de valor requerido SP y desactivarlo cuando la variable PV se encuentra por arriba del SP, como se puede observar en la siguiente figura.

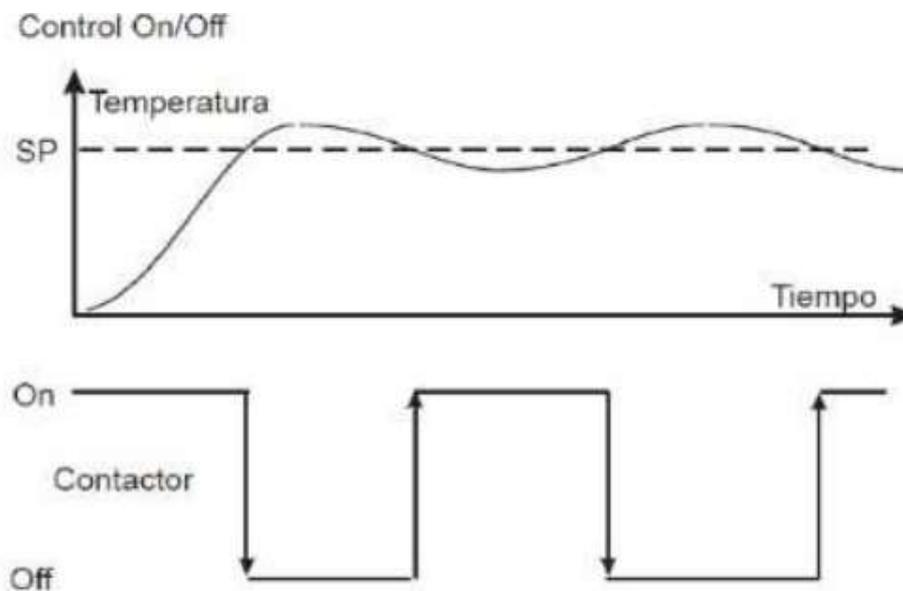


Figura 33 Controlador de Temperatura ON-OFF

Fuente: (Inacap, 2011)

El control ON-OFF funcionó correctamente ya que el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo. Para sistemas de calefacción se tiene un tiempo de retardo grande, lo cual ocasiona que se tengan inercias térmicas elevadas y no se puede tener un control muy preciso de la temperatura.

4.3.3 Diagrama de Flujo y de Control

Diagrama de Flujo:

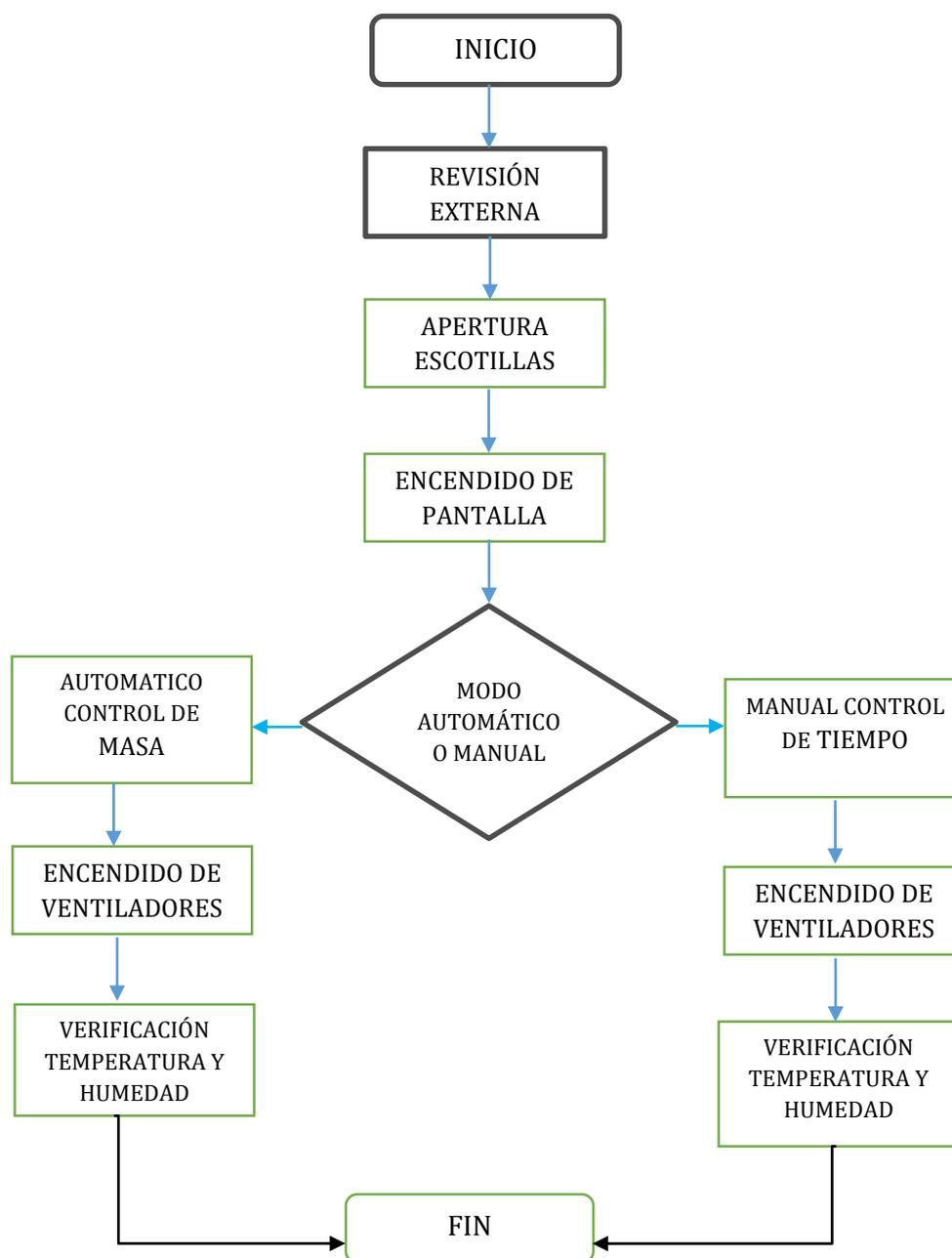


Diagrama de Control

Es el esquema gráfico donde se especifica las entradas y salidas del programador lógico programable (PLC), que se encarga de verificar la secuencia lógica de la programación.

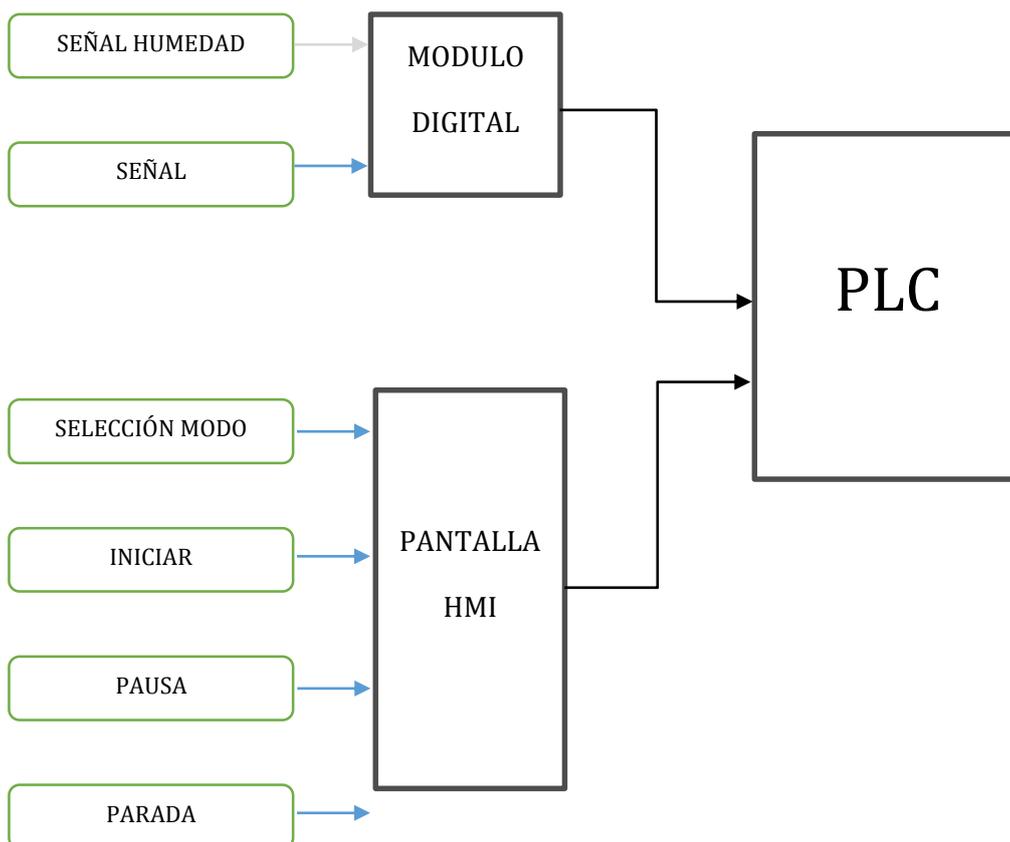


Figura 34 Diagrama de Control del PLC

4.3.4 Diseño del HMI

La finalidad de este diseño es facilitar el trabajo del operario de la máquina de manera que agilice el proceso convirtiéndolo a este en una operación sencilla.

A continuación se detalla un esquema básico del diseño de las pantallas

1. Selección de Usuario



Figura 35 Pantalla Inicial HML

Pantalla inicial que permite al operario seleccionar su alcance de trabajo en la máquina dependiendo de su cargo dentro de la empresa.

En caso de tratarse del Administrador tiene la capacidad de:

- Ingresar su clave.
- Cambiar las Claves de los Usuarios.
- Cambiar las variables a mostrar.
- Retornar a la Pantalla de Inicio.



Figura 36 Pantalla Principal del Administrador

En caso de tratarse del Usuario tiene la capacidad de:

- Ingresar su clave de acceso
- Trasladarse a las siguientes pantallas



Figura 37 Pantalla Principal del Usuario

2. Selección de Frutas

Son disponibles las 4 principales frutas que la empresa va a deshidratar que son la uvilla, la piña, el mango y el plátano dependiendo del modo manual o automático en el que se decida trabajar.



Figura 38 Pantalla de Selección de Frutas

3. Control Manual

Para encender la máquina se necesita presionar el botón verde del lado izquierdo de la pantalla y posteriormente el switch verde del lado derecho para activar los ventiladores. Tomar en cuenta que las niquelinas encargadas de entregar el calor a la cámara únicamente encenderán con los ventiladores trabajando. Además es indispensable colocar el número de horas que se desea deshidratar la fruta seleccionada y su tiempo. En esta pantalla se tiene la visualización de temperatura, humedad y tiempo restante del proceso en minutos. El botón rojo sirve para detener el proceso.



Figura 39 Pantalla de Control Manual

4. Control Automático

Para encender la máquina se necesita presionar el botón verde del lado izquierdo de la pantalla y los ventiladores se prenderán automáticamente. Tomar en cuenta que las niquelinas encargadas de entregar el calor a la cámara únicamente encenderán con los ventiladores trabajando. No es necesario colocar el número de horas que se desea deshidratar la fruta seleccionada, eso ya lo hace la programación. En esta pantalla se tiene la visualización de temperatura, humedad y tiempo restante del proceso en minutos. El botón Rojo sirve para detener el proceso

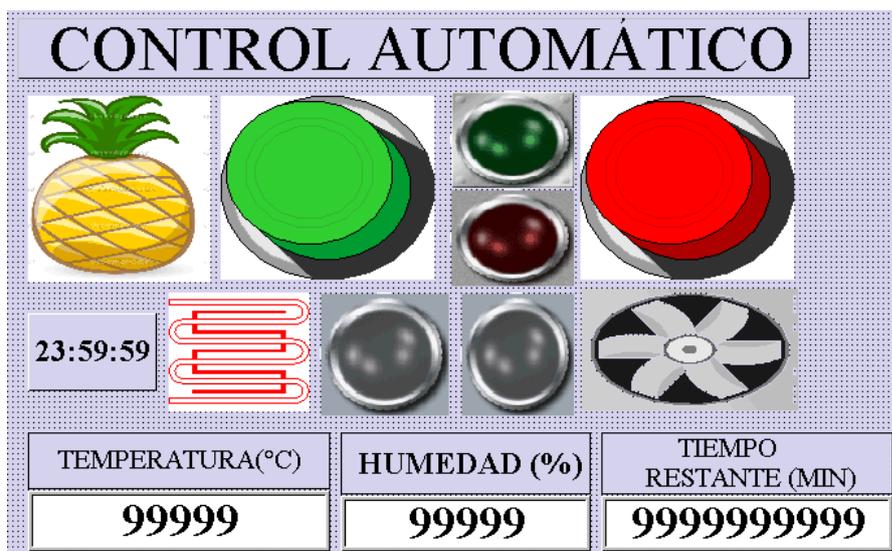


Figura 40 Pantalla de Control Automático

5. Gráficas Tiempo/Temperatura

Se despliega el gráfico de tiempo vs temperatura [min vs °C] con la idea de tener un mejor control de esta variable en el proceso.

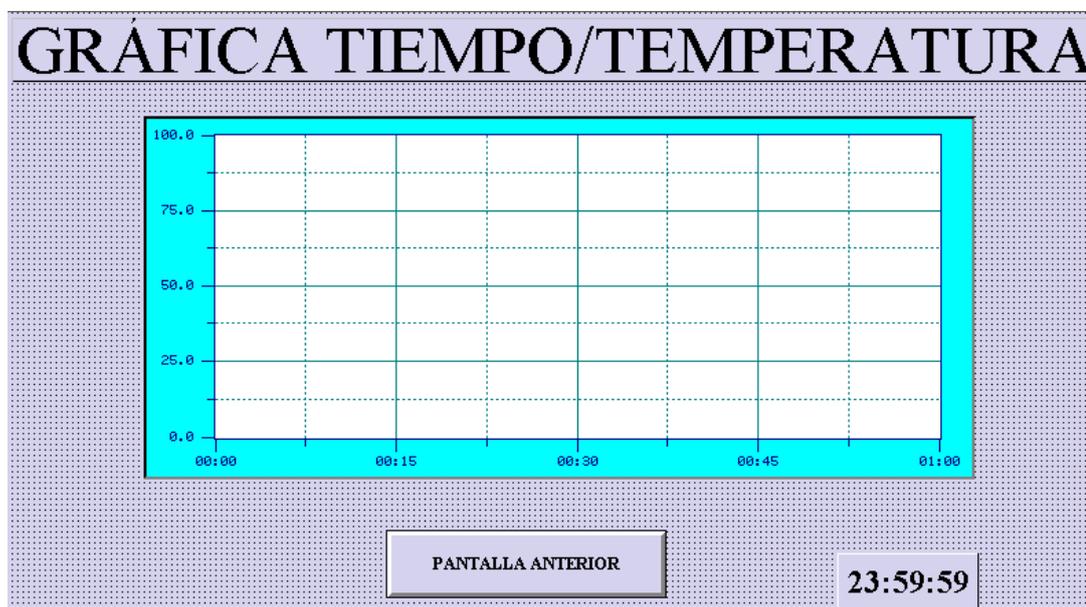


Figura 41 Pantalla de Tiempo / Temperatura

6. Gráficas Tiempo / Humedad

Se despliega el gráfico de tiempo vs Humedad [min vs %HR] con la idea de tener un mejor control de esta variable en el proceso.

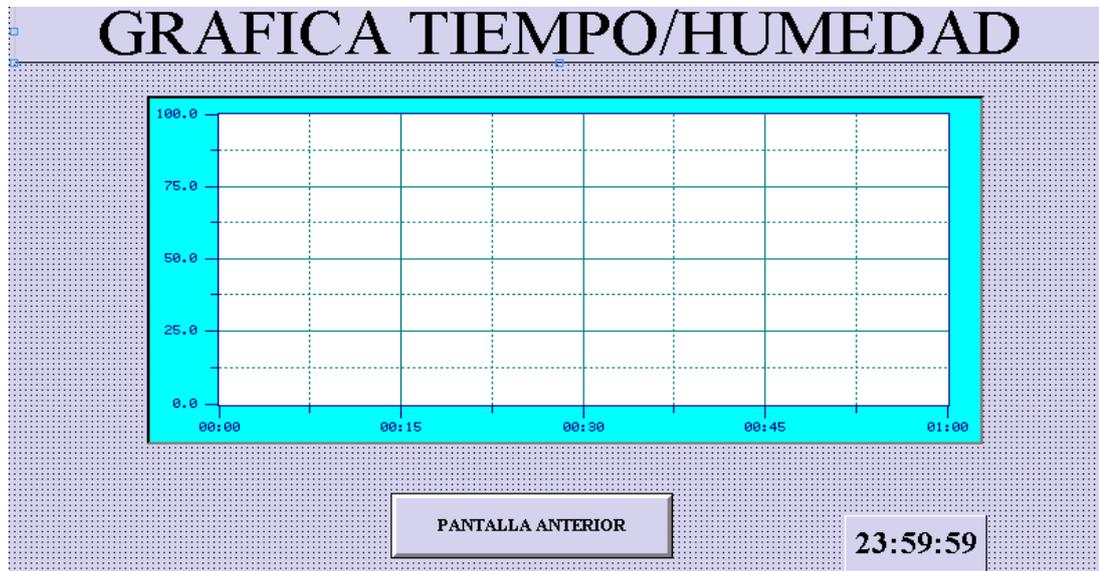


Figura 42 Pantalla de Tiempo / Humedad

4.3.5 Programación del Sistema de Control

A continuación se indica la programación en base a la norma estándar IEC 1131-3, que define dos lenguajes gráficos y dos lenguajes basados en texto, para la programación de PLCs. Los lenguajes gráficos utilizan símbolos para programar las instrucciones de control, mientras los lenguajes basados en texto, usan cadenas de caracteres para programar las instrucciones.

Se realizó las siguientes actividades:

- Selección del lenguaje de programación (Texto Estructurado).
- Asignación de variables para la programación de los eventos e interacción de la pantalla táctil HMI.
- Acondicionamientos internos de señales análogas y digitales.
- Control de acceso para manipulación del seteo de las variables.
- Visualización de permisos del proceso.

4.3.5.1 Algoritmo de Control de Temperatura

VAR_GLOBAL

P_MANUAL AT%MX0.6: BOOL; (**Pulsador MANUAL**)
 LUZ_MANUAL AT%QX0.2: BOOL; (**Luz MANUAL**)
 P_AUTOMATICO AT%MX1.1: BOOL; (**Pulsador AUTOMATICO**)
 LUZ_AUTOMATICO AT%QX0.3: BOOL; (**Luz AUTOMATICO**)
 INICIO AT%MX0.0: BOOL; (**Start MANUAL**)
 paro AT %MX0.2: BOOL; (**Paro MANUAL**)
 inicio1 AT %MX1.2: BOOL; (**Start AUTOMATICO**)
 paro1 AT %MX1.3: BOOL; (**Paro AUTOMATICO**)

(****SENSOR TEMPERATURA HUMEDAD ENTRADA ANALOGA****)

humedad AT %I*: INT; (**Entrada Humedad ANALOGA**)
 temperatura AT %I*: INT; (**Entrada Temperatura ANALOGA**)
 temp AT %MD20: INT; (**Saida Humedad**)
 humed AT %MD4: INT; (**Salida Temperatura**)

(**SALIDAS DIGITALES**)

luz_inicio AT%QX0.0: BOOL; (**Luz Start**)
 luz_paro AT%QX0.1: BOOL; (**Luz Paro**)
 luz_niquelina AT%QX0.5: BOOL; (**Luz Niquelinas**)
 luz_ventilador AT%QX0.7: BOOL; (**Luz Ventiladores**)
 LUZ_ALARMA AT%QX0.6: BOOL; (**Luz Emergencia**)

(****ENTRADAS DIGITALES****)

paro_emergencia AT%IX0.7: BOOL; (**Entrada Digital**)

END_VAR

CAPÍTULO 5

MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

5.1 Características Generales

En este capítulo esta todo lo referente al desarrollo en la parte de la construcción, se detalla todos los pasos como elementos, insumos necesarios para la elaboración del horno deshidratador.

A continuación se hará una rápida descripción de las partes y luego se indica lo que se usó y como fueron elaboradas.

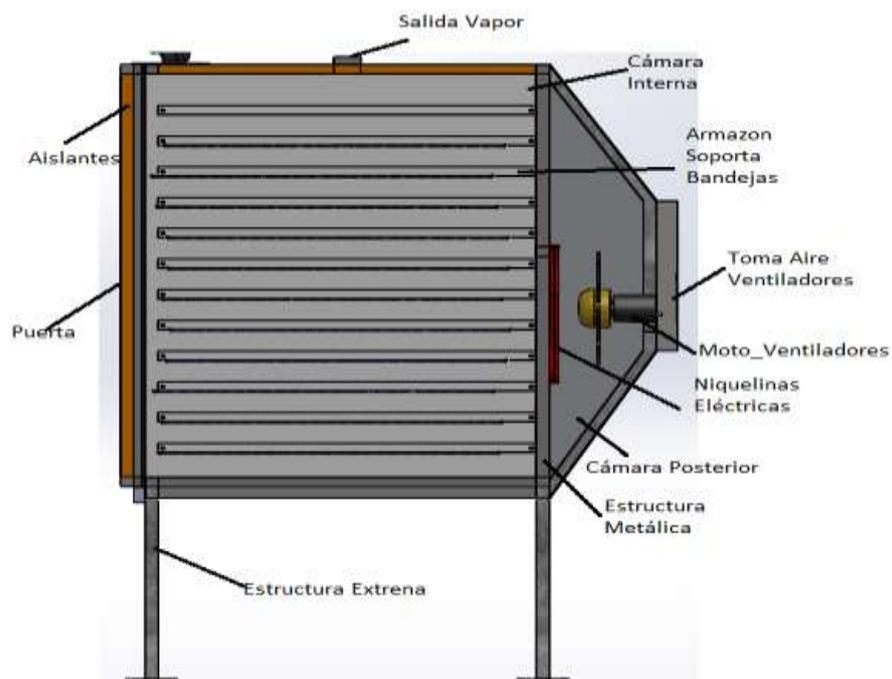


Figura 43 Detalles de las Partes Constructivas del Horno Desh

5.2 Lista de Materiales

5.2.1 Eléctrico

Los materiales e insumos eléctricos requeridos para la puesta en marcha la maquina deshidratadora se indican en la siguiente tabla:

Tabla 46
Materiales e Insumos Eléctricos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Caja metálica 40x40x20	1
Pulsador csc 22mm hongo c/r lmb-es5	1
Luz piloto sassin ad22-22ds verde 110-220v	1
Pulsador csc 22mm rojo fpb-ea2	1
Riel din metálica leipold	1
Canaleta ranurada 25x25mm	1
Mtr.cable flexible#14 awg	65
Bornera leipold jxb4/35 0.02-4mm 10 awg	30
Contactador lg sms-20p2 220v 30a 2polos	1
Brecker para riel cnc ycb1-100 3p 20 ^a	1
Puente enchufable 2 polos fbs	8
Tope final de montaje rápido clipfix 35-5	2
Fuente de alimentación 110-220vac a 24vdc – 4.2 a lp1100d	1

5.2.2 Electrónico y Control

Para el control y monitoreo de la máquina deshidratadora, se utilizó los materiales electrónicos y módulos descritos en la siguiente tabla:

Tabla 47
Materiales de Monitoreo y Control

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Panel advantech 7" 128m	1
Controlador coupler mod.tcp	1
Módulo 8 entradas digitales	1
Módulo 8 salidas digitales	1
Módulo 2 entradas digitales	1
Modulo fin de bus k	1
Sensor de temperatura /humedad(4-20ma)	1

5.2.3 Metal Mecánica e Insumos

Los materiales e insumos requeridos en la fabricación de la maquina deshidratadora de frutas y vegetales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 48
Materiales e Insumos Mecánicos

ITEM	DESCRIPCIÓN	AREA TOTAL[m ²]
	Plancha 1.22x2.44	
	Paredes laterales	1.575
	Pared superior	1.050
ACERO		
INOX	Paredes	
304 0.6MM	Puertas	0.750
	Frontales	
	TOTAL	3.375
	Plancha 1.22x2.44	
	Paredes laterales	2.125
	Pared superior	1.050

ACERO			
INOX	Paredes		
304	Puertas	0.750	
0.4MM	Frontales		
	Paredes posteriores		
TOTAL		3.925	
Plancha 1.22x2.44			
	Pared interna posterior	1.050	
ACERO			
INOX			
304 0.6MM	Pared interna inferior	0.750	
PERF.			
TOTAL		1.8	
Plancha 1x1.5			
	Paredes laterales	1.575	
	Pared superior	1.050	
FIBRA			
DE	Paredes		
VIDRIO	Puertas	0.750	
ESP.	Frontales		
2.5MM			
TOTAL		3.375	
TUBO			
ACERO			
INOX	Longitud 6m	4.5 m	
304	Soporte cámara de deshidratado		
1"X1.5M			

ÁNGULO	Longitud 6m	
ACERO	Soporte cámara de deshidratado	31.2 m
INOX		
304		
3/4		
ACERO	Bisagra puertas	2
GALV.		
ACERO	Tornillos	75
GALV	Tirafondo	
ACERO	Perilla de rosca	1
GALV	Para puertas	

5.3 Procesos de Fabricación parte Mecánica

5.3.1 Construcción de la Estructura Externa

Para la construcción de la estructura se usó tubo de acero galvanizado de la norma ASTM36 de 1" x 2mm de espesor.

Se realizó el corte del tubo con las siguientes medidas:

Cuatro pedazos de 160cm.

Cuatro pedazos de 100cm.

Cuatro pedazos de 75cm.

Una vez que se ha cortado los pedazos con sus respectivas juntas, se procedió a formar la estructura por partes, los cuatro pedazos de 160 cm son las columnas principales de la estructura.

Para usar la unión (soldadura), se utilizó algunos tipos de juntas como; a tope y angular como se observa en la siguiente figura.

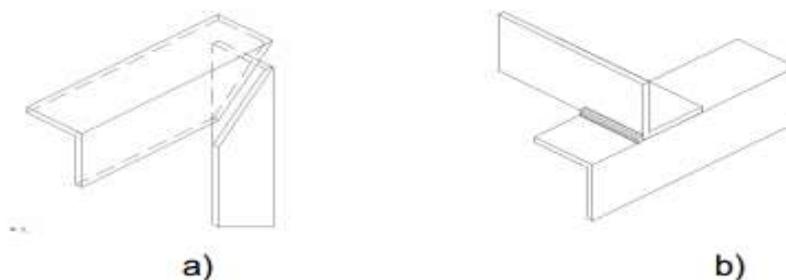


Figura 44 Tipos de Juntas Utilizadas para la Elaboración

a) Soldadura sobre bordes rectos (a tope), b) Soldadura angular

Fuente: (Rodríguez, 2002).

Todo este conjunto unido da forma de un cubo de 160cm x 75cm x 100cm, como se observa en la siguiente figura, cabe indicar que en la parte superior corresponde al lugar donde se armó la cámara de deshidratado.



Figura 45 Estructura Metálica de la parte Exterior del Horno

5.3.2 Construcción de la Estructura Posterior de la Cámara

Luego de haber concluido la estructura principal del horno, se procedió a construir la parte posterior de la cámara de deshidratado en donde fueron colocadas las niquelinas y los moto ventiladores, para ello se cortó pedazos de las siguientes dimensiones:

Dos pedazos de 41cm.
Dos pedazos de 44cm.
Dos pedazos de 100cm.

Posterior a realizar los cortes se procedió a soldarlos en la parte posterior de la cámara de deshidratado como se indica en la siguiente figura.

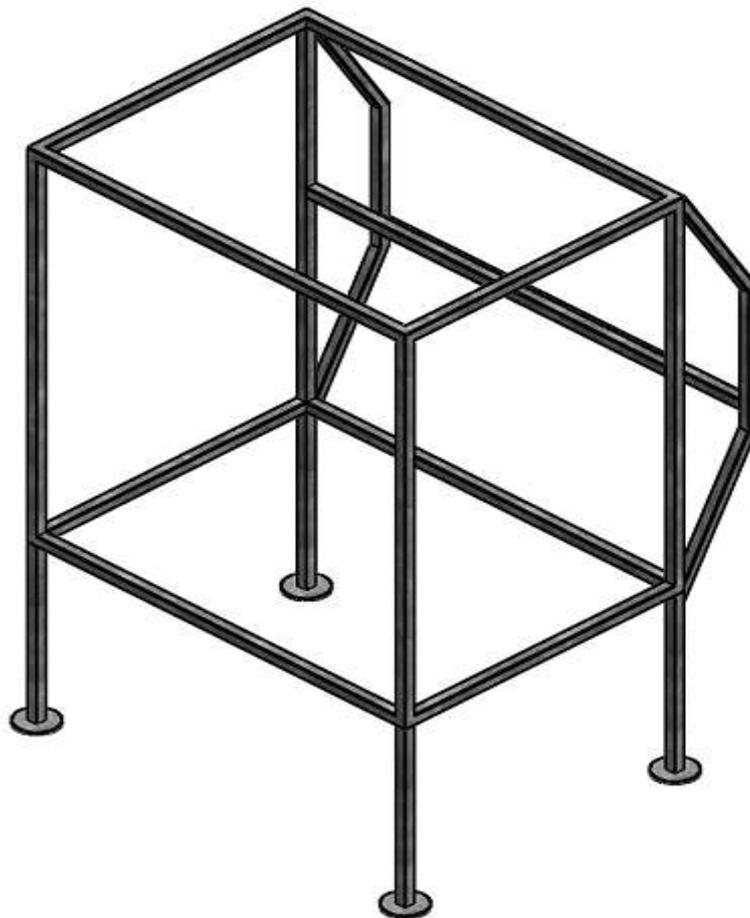


Figura 46 Estructura Posterior de la Cámara de Deshidratado

5.3.3 Construcción de la Cámara de Deshidratado

La cámara de deshidratado fue construida en su totalidad con acero inoxidable ASTM 304 con un espesor de 0.6mm.

Se trazó las medidas en la plancha y se procedió a realizar el corte, este procedimiento se realizó en la cizalla. Como se indica en la siguiente gráfica.



Figura 47 Trazo y Corte de las Planchas de Acero Inoxidable

De igual manera se usó en la parte posterior e inferior planchas 0.6mm de acero inoxidable ASTM 304 láminas perforadas de diámetro del agujero de 10mm y separación entre ellos de 4mm, igual se procedió a trazar y a realizar el corte en la cizalla.

Posterior a ellos se realizó el montaje como se indica en la siguiente gráfica:



Figura 48 Recubrimiento de la Cámara Interna con Acero Inox. 304

5.3.4 Construcción Armazón Soporta Bandejas

Luego de haber recubierto la cámara interna de acero inoxidable, se procedió a la construcción del armazón en donde fueron colocadas las bandejas para ello se usó ángulos de acero inoxidable ASTM 304 de $\frac{3}{4}$ " y tubos de acero inoxidable ASTM 403 de 1" de diámetro con espesor de 1.5mm.

Para ello se procedió a cortar pedazos de las siguientes dimensiones:

Cuarenta y ocho pedazos de 70cm del ángulo acero inoxidable de $\frac{3}{4}$ ".

Dos pedazos de 105cm del tubo de acero inoxidable de 1" de diámetro.

Mediante soldadura se unió como se muestra en la siguiente figura:

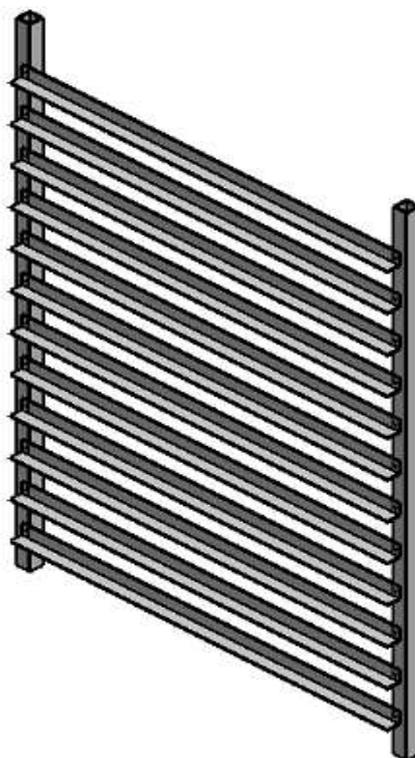


Figura 49 Armazón Soporta Bandejas

5.3.5 Colocación de Niquelinas y Ventiladores

Las niquelinas eléctricas y los moto ventiladores fueron colocados en la parte posterior de la cámara de deshidratado, distribuidos de tal forma que el calor generado fuese el mismo en toda la cámara, como se indica en la siguiente gráfica:

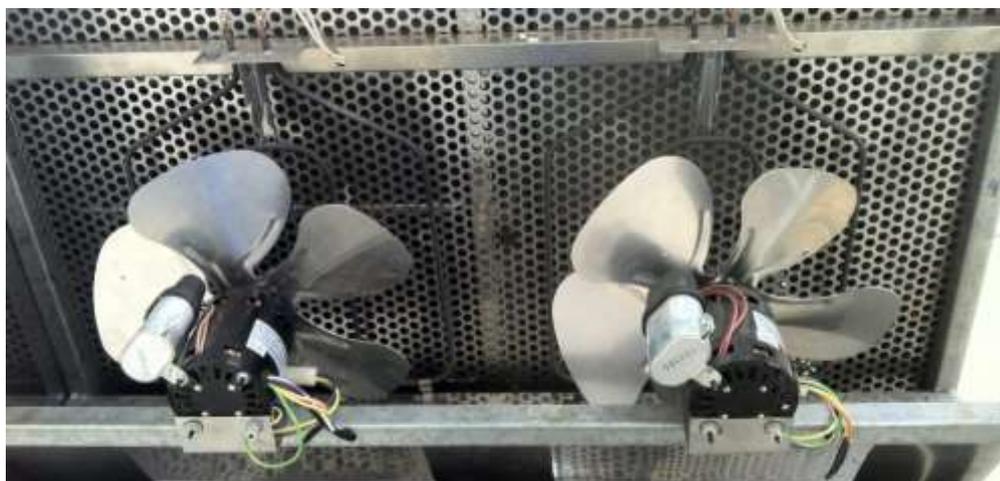


Figura 50 Colocación de Niquelinas y Moto Ventiladores

5.3.6 Pared Aislante

Una vez instaladas las planchas de acero inoxidable, y la estructura para soportar las bandejas dentro de la cámara de deshidratado se procedió a la colocación del aislante (fibra de vidrio), de espesor una pulgada, las que van a ser colocadas en cada pared como se indica en la siguiente figura:

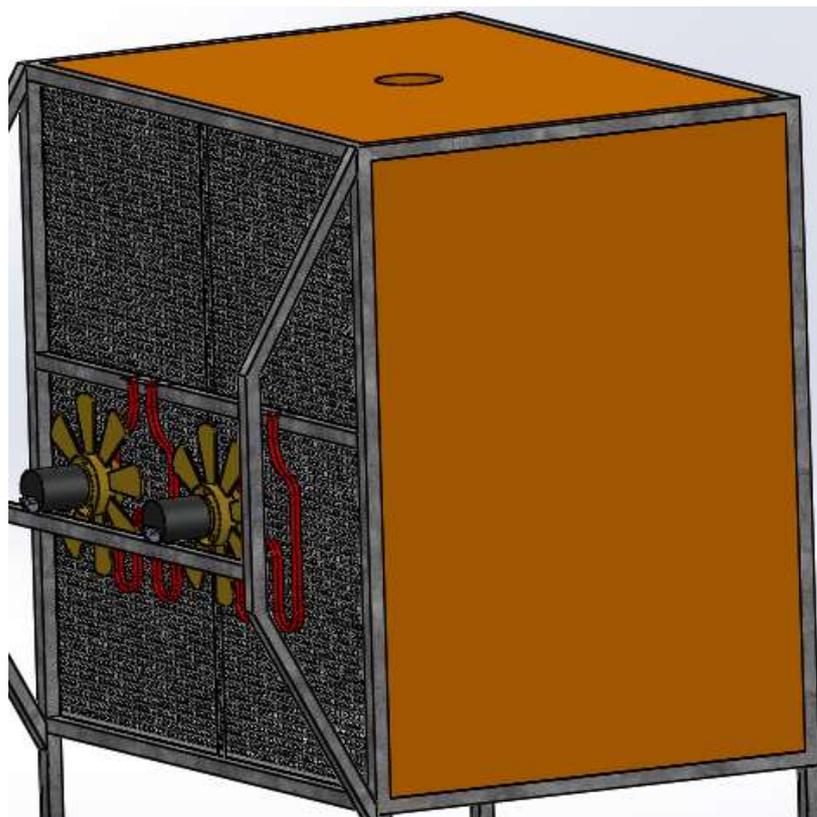


Figura 51 Aislantes en las Paredes de la Cámara

5.3.7 Puerta del Horno

Fue elaborada mediante el mismo procedimiento que se realizó en la construcción de la estructura.

Primero se procedió a la construcción del armazón, en esta máquina se usó 2 puertas, posterior se colocó el aislante (fibra de vidrio de 25mm) en la parte interna del armazón,

En la parte interna que va a tener contacto con la cámara de deshidratado se colocó acero inoxidable ASTM 304 de 0.6mm, mientras que en la parte posterior se colocó el acero galvanizado de 0.4mm

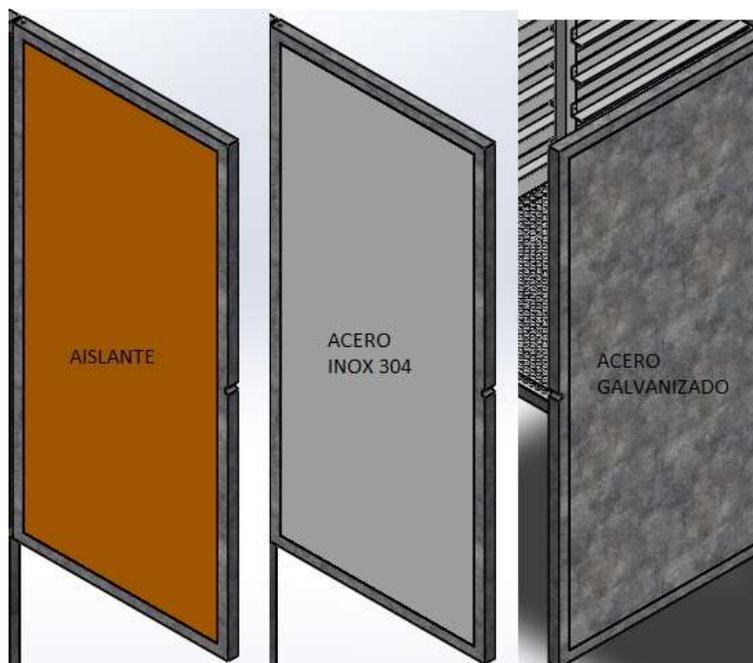


Figura 52 Construcción Puerta del Horno

5.3.8 Paredes Externas

Para finalizar la construcción del horno deshidratador luego de haber realizado todos los procesos anteriores se colocó las paredes laterales que están formadas de acero galvanizado de 0.4mm de espesor.

Se trazó las medidas en la plancha de galvanizado y se procedió a realizar el corte, este procedimiento se lo realizó en la cizalla.

Y posterior a ello se las colocó en la maquina como se indica en la siguiente gráfica:

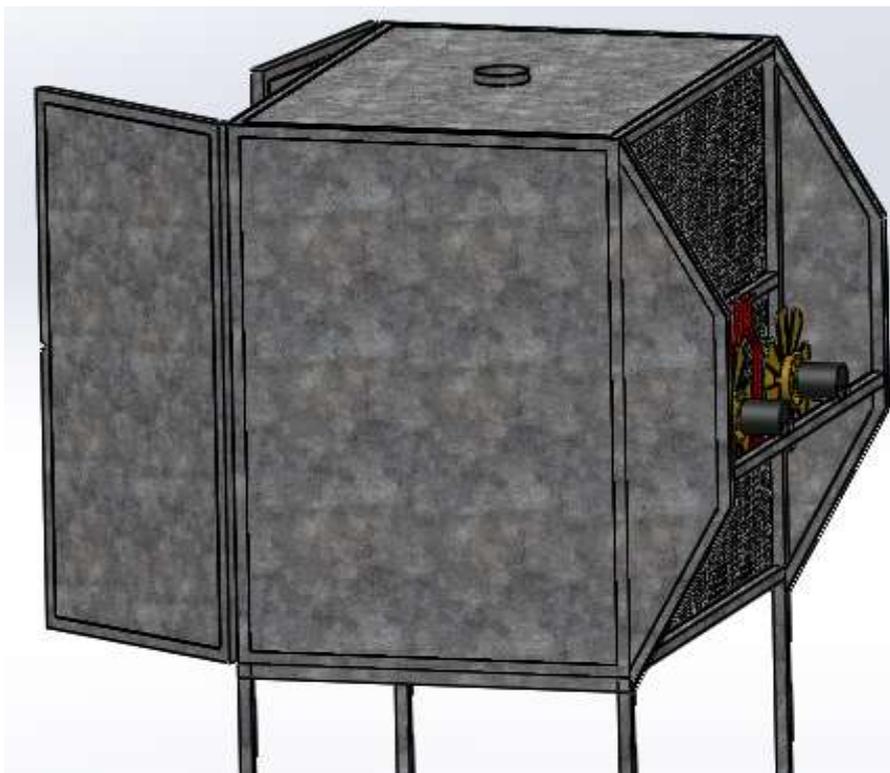


Figura 53 Colocación de Acero Galvanizado en Paredes Laterales

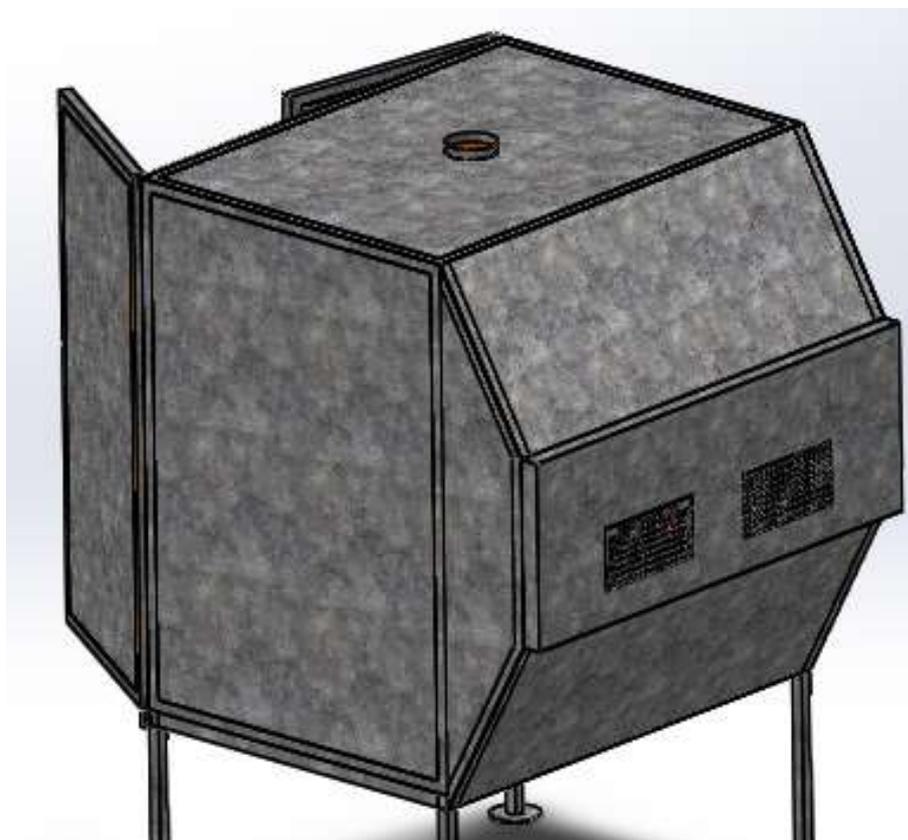


Figura 54 Colocación Recubrimiento parte Posterior e Inferior

5.4 Uniones por Pernos y Pasadores

El perno es un pasador con cabeza formada y vástago roscado que puede recibir una tuerca. Existen de diferentes formas y materiales pero por utilidad y buen valor se utilizó el tipo tirafondos que poseen las siguientes características.

Tabla 49
Características de los Pernos Tirafondos



TIRAFONDO hierro galvanizado x100un	
CHTO-0580	3/16" x 25
CHTO-0583	3/16" x 30
CHTO-0586	3/16" x 40
CHTO-0589	3/16" x 50
CHTO-0592	3/16" x 60
CHTO-0595	3/16" x 65
CHTO-0598	3/16" x 75
CHTO-0600	1/4" x 25
CHTO-0603	1/4" x 30
CHTO-0606	1/4" x 40
CHTO-0609	1/4" x 50
CHTO-0612	1/4" x 60
CHTO-0615	1/4" x 65
CHTO-0618	1/4" x 70
CHTO-0621	1/4" x 75
CHTO-0624	1/4" x 80
CHTO-0627	1/4" x 90
CHTO-0630	1/4" x 100
CHTO-0633	1/4" x 120
CHTO-0650	5/16" x 30
CHTO-0653	5/16" x 40
CHTO-0656	5/16" x 45
CHTO-0659	5/16" x 50
CHTO-0662	5/16" x 60
CHTO-0665	5/16" x 70
CHTO-0668	5/16" x 75
CHTO-0671	5/16" x 80
CHTO-0674	5/16" x 90
CHTO-0677	5/16" x 100
CHTO-0680	5/16" x 120
CHTO-0890	3/8" x 50
CHTO-0893	3/8" x 75
CHTO-0896	3/8" x 100
CHTO-0899	3/8" x 125(50un)

Fuente: (Dicoal, 2014).

En la máquina se utilizó los CHT-0580 Y CHT-0600 para junta las planchas de acero galvanizado exterior con la estructura HG 1" x 2mm.

5.5 Enderezado y Conformado

Para eliminar imperfecciones o defectos en las chapas se realizó un enderezado de perfiles, un planeado y un plegado o curvado en frío de las chapas mediante la prensa. Esta fase es crítica pues fue necesario evitar abolladuras o grietas por tracción o compresión en el material al modificar la forma de las piezas.

En este caso la conformación fue realizada en frío debido a que ni el espesor de la chapa superó los 10mm ni los radios de curvatura fueron superiores a 50 veces el espesor del material.



Figura 55 Construcción Total Parte Mecánica de la Deshidratadora

5.6 Proceso de Implementación parte Electrónica

5.6.1 Montaje y distribución en el Tablero de Control

Para la selección de las dimensiones del tablero de control se consideró los elementos a ser colocados en su parte interna y externa, como botoneras, relés, contactores, luces piloto, etc.

Considerando todo lo anterior se seleccionó un tablero de dimensiones 40cm x 40cm x 40cm

Para la distribución primero se instalaron las canaletas en los laterales como se indica en la siguiente gráfica:



Figura 56 Canaletas en Laterales del Tablero

Luego se procedió a colocar los rieles DIN y el montaje de los elementos de potencia y de control sobre los rieles DIN, como se indica:



Figura 57 Rieles y Elementos de Potencia, Control

Por último paso cuando ya se encontraban todos los elementos montados en el tablero de control se procedió a realizar las conexiones eléctricas, como se indica:

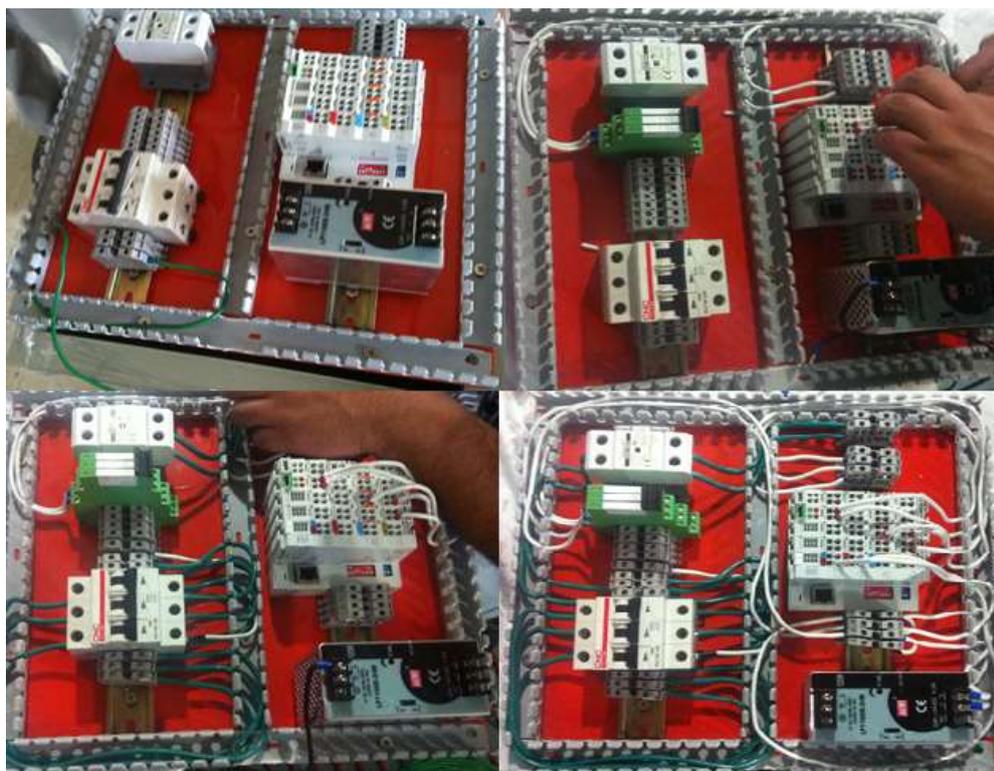


Figura 58 Detalle de la Conexión Eléctrica en el Tablero de Control

Una vez terminado de hacer todas las conexiones se colocó los elementos como luces piloto pulsadores, pantalla HMI, como se indica en la gráfica siguiente:



Figura 59 Distribución de la Pantalla, Luces y Botones en el Tablero

5.7 Tiempos de Fabricación

Tabla 50
Tiempos de Fabricación

DETALLE	DESCRIPCIÓN	TIEMPO[DÍAS]
Ingeniería	Dimensionamiento, Planos	15
Estructura	Corte y Soldadura	5
Puerta	Corte, Fresado, Torneado	3
Montaje Cámara	Soldadura	2
Montaje Rieles	Soldadura	1
Montaje Exterior	Unión con pernos	2
Tablero	Cableado	5
Soporte Tablero	Unión con Pernos	2
Montaje Motores	Unión con Pernos	1
Montaje Niquelinas	Unión con Pernos	1
Tablero de Control	Conexión Equipos	5
Pruebas Eléctricas	Funcionamiento	2
Pruebas Electrónicas	Funcionamiento	2
Pruebas Generales	Funcionamiento	2
TOTAL		33

CAPÍTULO 6

PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Protocolo de Pruebas

Finalizado el trabajo de fabricación se procedió a las pruebas para verificar el correcto funcionamiento de la deshidratadora sin someter a carga, y luego con carga máxima, con el propósito de verificar la inexistencia de fugas de calor, correcta secuencia de funcionamiento, tiempos de trabajo y correcto deshidratado de las frutas.

6.1.1 Pruebas en Vacío

Tabla 51
Protocolo de Resultados en Vacío

Procedimiento	PROTOCOLO DE RESULTADOS	
	Satisfactorio	No Satisfactorio
Diseño del Sistema Mecánico	X	
Diseño Sistema Eléctrico	X	
Diseño del Sistema de Control	X	
Funcionamiento Sistema Mecánico	X	
Funcionamiento Sistema Eléctrico	X	
Comprobación Planos Eléctricos	X	
Comprobación Planos Mecánicos	X	

6.1.2 Pruebas con Carga

Tabla 52
Protocolo de Resultados en Carga

PROTOCOLO DE RESULTADOS		
Procedimiento	Satisfactorio	No Satisfactorio
Diseño del Sistema Mecánico	X	
Diseño Sistema Eléctrico	X	
Diseño del Sistema de Control	X	
Funcionamiento Sistema Mecánico	X	
Funcionamiento Sistema Eléctrico	X	
Comprobación Planos Eléctricos	X	
Comprobación Planos Mecánicos	X	
Instrumentación	X	
Flexibilidad Control de Variables	X	
Tiempos de Trabajo	X	
Seguridad	X	
Restricciones HMI	X	
Deshidratación en todos los Niveles	X	

6.2 Valores Prácticos

Las Pruebas con carga fueron desarrolladas con las frutas que presentan mayor necesidad calórica y que para la empresa SENSORTECSA, dueña de la deshidratadora fueron las más tomadas en cuenta a la hora de deshidratar, la Uvilla y la Piña, en donde se obtuvo los siguientes resultados.

6.2.1 Pruebas con Carga de la Piña

Las muestras fueron tomadas en lapsos de 1 hora cada una, con el objetivo de alcanzar la humedad requerida que en el caso de la Piña es del 89.2% de humedad Inicial.

Al comenzar con una masa de 1070 gramos nuestro objetivo es llegar a 128.gramos que constituiría el 12% de humedad.

Tabla 53
Resultados de la Prueba Carga Piña

Tiempo de Trabajo [horas]	Masa Actual [g]	Masa Posterior [g]	% Masa Deshidratada	% Total de Humedad
INICIAL	1070	1070	0	89.2
1	1070	775	27.57	72.42
2	775	501	35.35	46.82
3	501	315	37.12	29.43
4	315	230	27	21.49
5	230	171	25.3	15.98
6	171	134	21.7	12.52

Como se observa en los resultados obtenidos para llegar a la humedad requerida, en el caso de la piña, se requirió aproximadamente seis horas.

En las siguientes graficas se observa el comportamiento en el proceso de deshidratado, tanto en función de la masa y en función de porcentaje final.

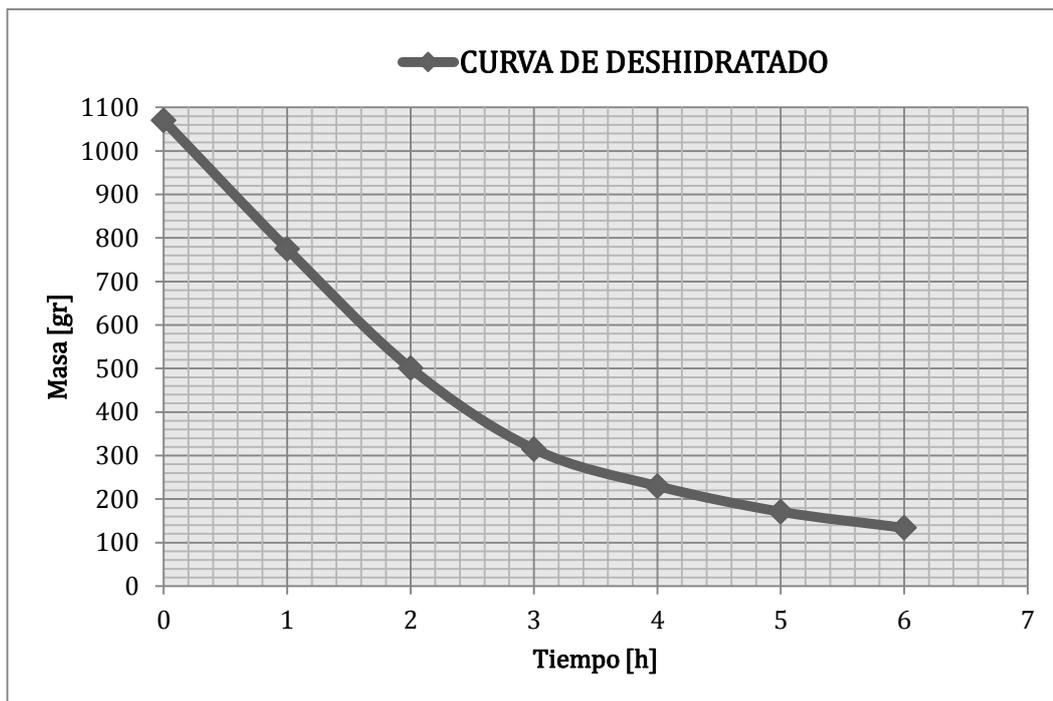


Figura 60 Curva de Deshidratado Masa en f (Tiempo), Piña

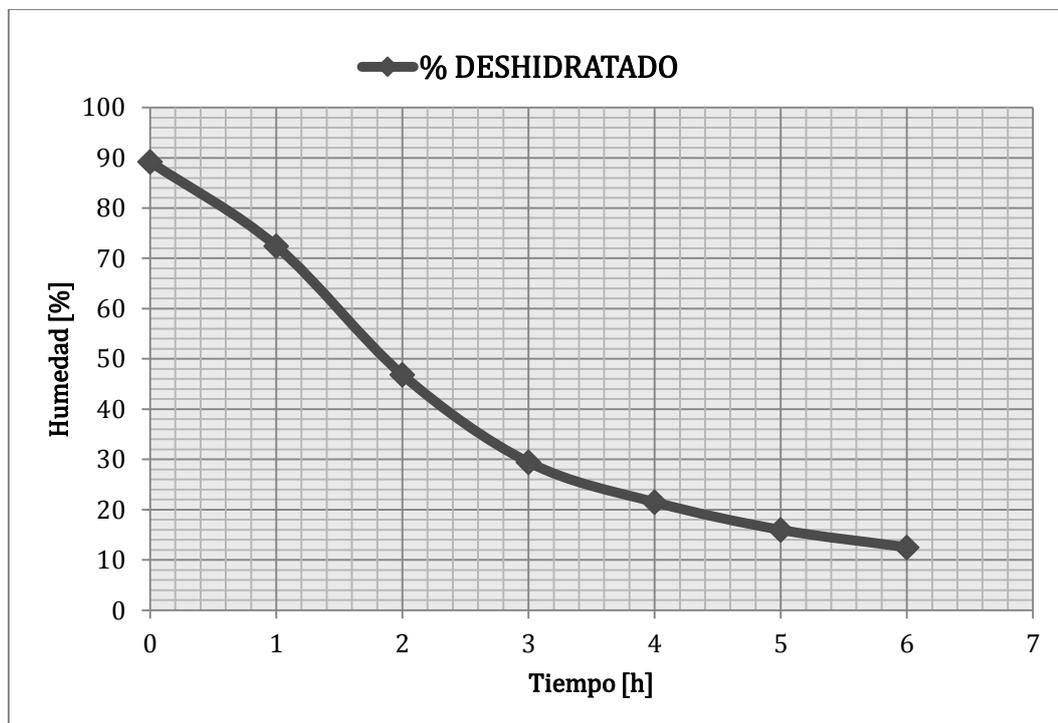


Figura 61 Curva de Deshidratado % Humedad en f (Tiempo), Piña

6.2.2 Pruebas con Carga de la Uvilla

Las muestras fueron tomadas en lapsos de 1 hora cada una, con el objetivo de alcanzar la humedad requerida que en el caso de la Uvilla es del 80% de la Humedad Inicial.

Al comenzar con una masa de 1125 gramos nuestro objetivo fue llegar a 180 gramos que constituiría el 16% de humedad.

Tabla 54
Resultados de la Prueba Carga Uvilla

Tiempo de Trabajo [horas]	Masa Actual [g]	Masa Posterior [g]	% Masa Deshidratada	% Total de Humedad
INICIAL	1125	1125	0	80
1	1125	940	16.45	83.55
2	940	770	18.1	68.44
3	770	595	22.72	52.88
4	595	438	26.8	38.93
5	438	317	27.62	28.17
6	317	240	24.29	21.33
7	240	196	18.33	17.42

Los resultados muestran que para llegar a la humedad requerida, en el caso de la Uvilla, se requirió aproximadamente siete horas.

En las graficas se observa la curva del comportamiento del deshidratado de la masa en función de las horas requeridas y del porcentaje de masa final en función de las horas, para cumplir con el porcentaje final.

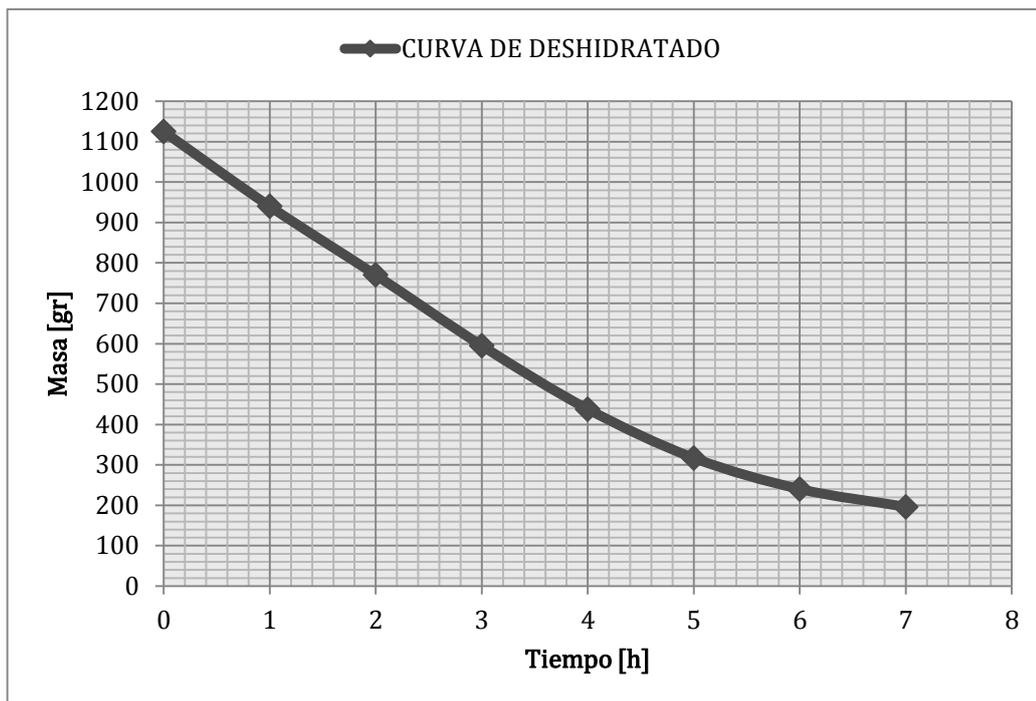


Figura 62 Curva de Deshidratado Masa en f (Tiempo), Uvilla

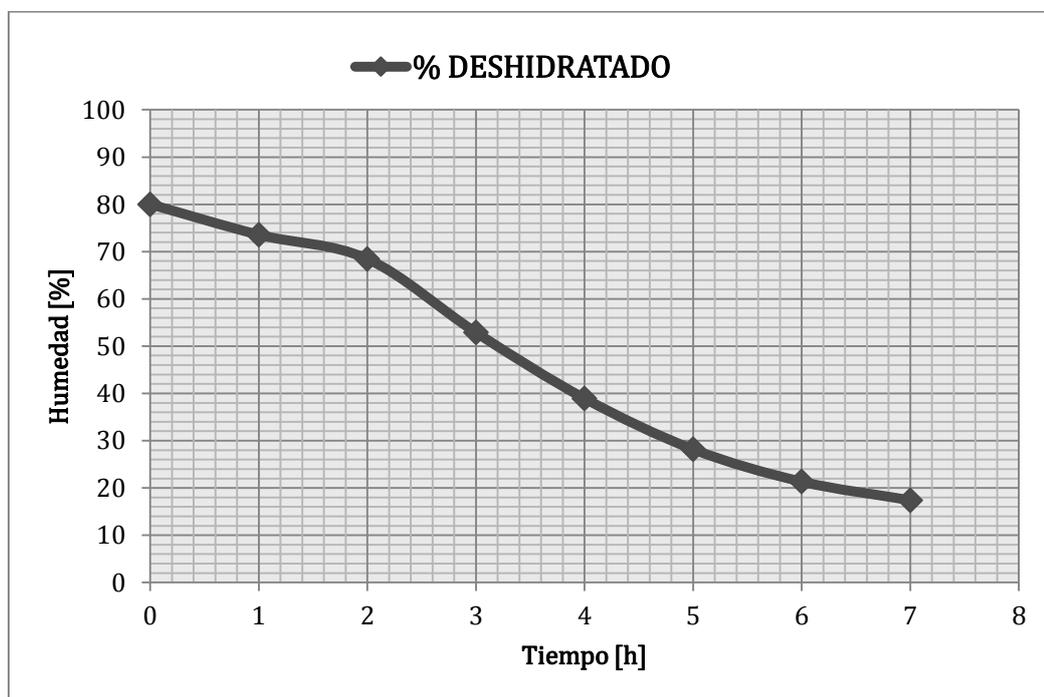


Figura 63 Curva de Deshidratado % Humedad en f (Tiempo), Uvilla

Las pruebas realizadas del comportamiento del sensor de temperatura tanto en vacío y en carga tuvieron el mismo comportamiento como se indica:

Tabla 55
Valores Temperatura en Función del Tiempo

Tiempo [Minutos]	Temperatura Dentro la Cámara de Deshidratado [°C]
0	12
1	19
2	24
3	29
4	35
5	42
6	46
7	49
8	54
9	58
10	63
11	68

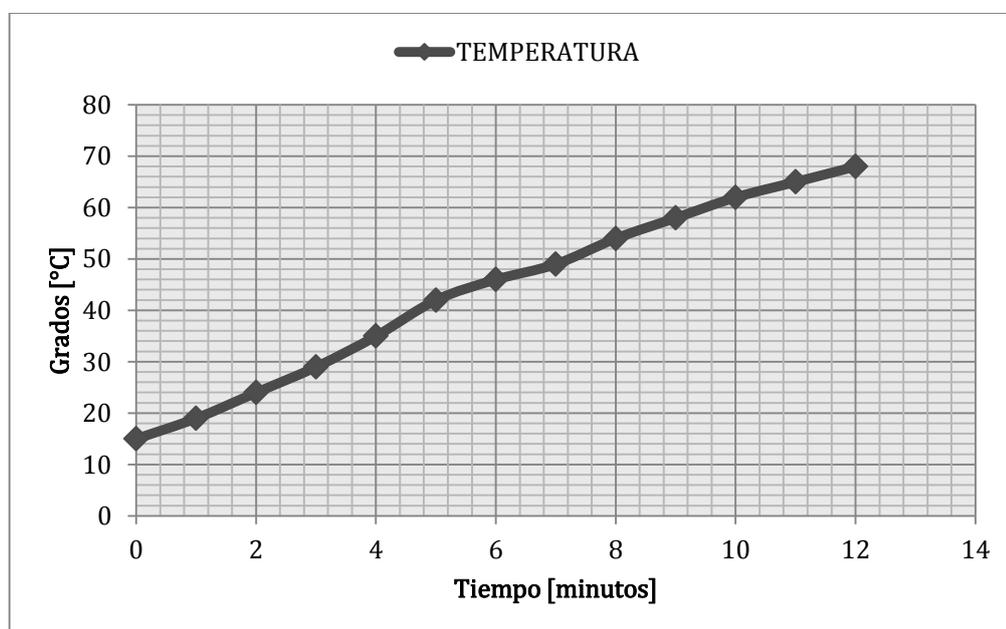


Figura 64 Gráfica de Valores Temperatura en Función del Tiempo

6.3 Temperatura Externa al Horno Deshidratador

Se realizó pruebas de la temperatura tanto al ingreso de la toma de aire al horno deshidratador, como en la salida del horno y en el extremo del mismo en la puerta, se usó una termocupla y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 56

Valores de Temperatura Externos a la Cámara

DESCRIPCION	TEMPERATURA [°C]
Toma de Aire a la entrada del Horno	20
Salida de Aire en la Parte Superior	55
Extremo Junto a la Puerta parte Frontal	60



Figura 65 Graficas de Temperaturas Externas

6.4 Pruebas del Controlador Usado ON – OFF

Se realizó pruebas del control usado en este caso ON-OFF, la cual se obtuvo la siguiente gráfica, considerando valores de temperatura mínimo y máximo.

La temperatura mínima es la del ambiente que este caso fue de 15 [°C], y como temperatura máxima es la del proceso que es de 65 [°C].

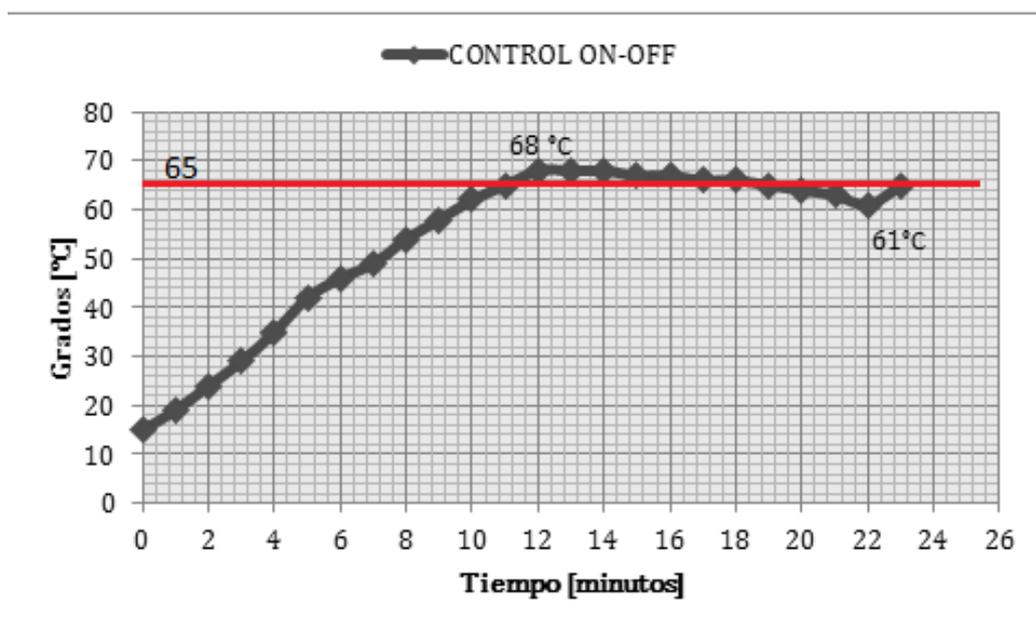


Figura 66 Respuesta del Sistema Control ON- OFF

Como se puede observar existe un sobre pico debido que el horno posee un túnel de recirculación que permite que el aire que ingresa recircule y de esta manera mantenga la temperatura, y a pesar que es un controlador ON-OFF no existe un sobre pico muy elevado, ni tampoco perdida excesiva al no estar encendidas las niquelinas.

6.5 Análisis de Resultados

Al finalizar con la construcción y pruebas de la máquina deshidratadora de frutas automática para la empresa SENSORTECSA, en base a la teoría analizada y a los resultados prácticos obtenidos en las pruebas con carga realizados se deduce los siguientes resultados:

- El tiempo de deshidratado de la piña fue 6 horas y el de la uvilla de 7 horas aproximadamente.
- La deshidratación se llevó a cabo de manera regular en todos los niveles de la máquina, sin embargo la zona intermedia es en la que se observó una mejor calidad visual en la deshidratación.
- La verificación y monitoreo del funcionamiento de la máquina tanto en pruebas al vacío como con carga se mantuvo dentro de los parámetros de operación programados y admisibles.
- Se debe considerar mantener un tiempo aproximado de calentamiento de la cámara de deshidratado de 10 minutos por lo menos para arrancar con el proceso normal.
- No se presentaron anomalías ni alteraciones en el funcionamiento de la máquina durante el tiempo de operación que fue permanente y sin pausas durante 8 horas.

Tabla 57

Temperaturas y Tiempos de Secado

Fruta	Humedad Inicial [%]	Temperatura Trabajo [°C]	Tiempo Trabajo [h]	Humedad final
Uvilla	80	62-68	7	17.42
Piña	89.2	52-58	6	12.52

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 Análisis de Costos

El análisis económico menciona los costos que incurrieron en el proyecto como son: la materia prima, transporte, insumos, instalaciones, máquinas y herramientas.

Según su variedad se clasifica en

- Costos Directos.
- Costos Indirectos.

7.1.1 Costos Directos

Se conoce como costos directos a aquellos que intervienen directamente en la obtención de los elementos que conforman las matrices. Entre los cuales se encuentran en costo de los materiales, maquinaria, salarios, infraestructura.

7.1.1.1 Costo de Materiales Mecánicos

Los siguientes materiales se usaron para la construcción de la parte mecánica del deshidratador.

Tabla 58
Costo Materiales Mecánicos

Materiales	Especificación	Costo/ Unidad (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
Plancha Acero Inox 304	0.4mm	75	3	225
Plancha Acero Inox 140	0.6mm	50	3	150
Garruchas		10	4	40
Bandejas Aluminio	0.8mm(45x65cm	34	24	816
Ángulos de Soporte Bandejas		37,5	6	225
Ángulos Estructurales	1x1x1,5'	35	2	70
Pernos y Tuercas	Varios	6	1	6
Puerta Frontal	Inox 304	100	2	200
Cerradura Puerta Frontal		20	1	20
Lana de Vidrio	Rollo 25mm	142	2	284
Remaches	Pop 1/8x5/16	40	0,05	2
Tornillos Auto Perforables	Varios	0,1	80	8
			TOTAL	2046

7.1.1.2 Costo de Materiales Eléctrico Electrónico

Tabla 59
Costo de Materiales Eléctricos Electrónicos

Materiales	Especificación	Costo/Unidad(\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
Ventilador 12" 110V, 51 Watts	CFM 1234	151,53	2	303.06
Control Coupler	Beckhoff	372.33	1	372.33
Resistencias Eléctricas	Tipo M	80	2	160
Sensor de Temperatura	Tipo J	342.52	1	342.52
Extractor Multi Hélice 1/8 HP	110/220V	235.2	1	235.2
Fuente Alimentación 5Amp	24VDC	75	1	75
Pantalla 7 pulgadas	Advantech	693.26	1	693.26
Módulos Entrada /Salida	Beckhoff	421.63	1	421.63
Armario Metálico	40x40x20	50	1	50
Alambre Flexible # 10	AWG	10	1.25	12.5
Alambre Flexible # 14	AWG	50	0.9	45
Circuit Braker Thermal 20 A	220 VAC	35	1	35
Contactador 220V	Siemens	50	2	100
Borneras Riel Din 32 A	CNC	4	40	160
Pulsador con Retorno 40mm	Rojo	25	1	25
Pulsadores 22mm	Rojo/Verde	15	2	30

Luz Piloto	Rojo/Verde	8	2	16
Rieles Din	25x25mm	8	2	16
Relé Montaje Riel Din	Estado Solido	15	3	45
			TOTAL	3157.5

7.1.1.3 Costo de Mano Obra y Taller

Tabla 60
Costo de Mano de Obra y Taller

	Descripción	Valor(\$)
Mano de Obra y Taller	Construcción Sistema Mecánico	500
Mano de Obra y Taller	Construcción Accesorios	400
TOTAL		900

7.1.1.4 Costo Total de la Maquinaria

El costo total de la maquinaria se obtuvo a partir de la suma de los costos mecánicos, eléctrico electrónicos, mano de obra y taller, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 61
Costo Total de la Maquinaria

Descripción	Valor (\$)
Materiales Mecánicos	2046
Materiales Eléctrico / Electrónicos	3157.5
Mano de Obra y Taller	900
TOTAL	6103.5

7.1.2 Costos Indirectos

Se conocen como costos indirectos de los gastos que no tienen una incidencia directa en la construcción de la máquina.

Tabla 62
Costos Indirectos

Descripción	Valor (\$)
Servicios Básicos	60
Costos Administrativos	40
Transporte	100
Tecnología de la Información	90
TOTAL	290

7.1.3 Costos Totales

Tabla 63
Costos Totales

Costos Indirectos	Valor (\$)
Costos Indirectos	290
Costos Directos	Valor (\$)
Materiales Mecánicos	2046
Materiales Eléctrico / Electrónicos	3157,5
Mano de Obra y Taller	900
SUBTOTAL	6393,5
IMPREVISTOS 10%	639,35
COSTO TOTAL	7032,85

7.2 Evaluación Financiera

La evaluación financiera es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Sirve para ver si la inversión propuesta es económicamente rentable.

7.2.1 Fuente de Financiamiento

La fuente de nuestro proyecto fue por parte de SENSORTECSA S.A, quienes auspiciaron desde el comienzo con la idea, aportando con los materiales para la construcción del mismo.

Por otra parte el financiamiento provino de fuente propia de los autores de este proyecto de grado, donde se aportó con capital para la compra de materiales, instrumentos eléctricos electrónicos e imprevistos presentados mientras se realizaba la construcción.

7.2.2 Valor Actual Neto

El monto de inversión en el proyecto se espera pueda ser recuperado en 1 año, por lo que se realizó los cálculos en función de esto.

Los análisis se realizaron para la uvilla, debido a que es la fruta con mayor prioridad en el proceso de deshidratado, tiene una humedad inicial de 80%.

Se procede a estimar la producción en un año, tomando en cuenta que se realizaran cinco cargas de fruta por semana, es decir 216kg.

Tabla 64
Producción Anual Estimada

Trabajo/Semana	5	Veces
Carga de Producto fresco Semanal	216	Kg/Carga
Producto Deshidratado	37,8	Kg/Semana
Numero Semanas al Año	52	Semanas
TOTAL de carga de fruta Procesada/Año	1965,6	Kg/Año

Es decir que al año se tendrá un total de producción de fruta deshidratada de 1965,6 [Kg/Año], eso se consigue con dos cargas a la maquina a su máxima capacidad.

– Preparación de la Fruta

Para la preparación de la fruta es necesario utilizar personal debido a que es necesario pelar y cortar en rodajas las frutas, y el costo de utensilios es bajo debido a que se realiza manualmente.

– **Mano de Obra**

Para la preparación de las frutas se tomó en cuenta el trabajo de 2 personas por carga, cada uno con el sueldo básico de \$ 354 dólares al mes, cuantificando 22 días laborables y 8 horas de trabajo se da un valor de \$ 2.01 dólares por hora de trabajo.

Tabla 65
Costo Mano de Obra por Carga

Sueldo Diario / Persona	2,01	\$ / Horas
Trabajadores	2	Personas
Tiempo Pelado y Preparación	3	Horas
Tiempo Carga Bandejas y Maquina	0,5	Horas
Tiempo Vaciado Bandejas	0,5	Horas
Tiempos Perdidos	1	Horas
TIEMPO TOTAL DE PREPARACIÓN	5	Horas
Costo Mano Obra / Carga	20,1	\$ / Carga
Costo Mano Obra / Carga Kg Seco	0,53	\$ / Kg. Seco

El costo por la mano de obra por carga es de \$ 20,1 dólares, entonces el costo de mano obra es de \$ 0,53 dólares por cada Kg de fruta seca.

– **Consumo Energético**

Para el análisis del consumo eléctrico se consideró el consumo por hora de los elementos utilizados en la máquina que son los ventiladores y niquelinas eléctricas, y se obtuvo los siguientes valores.

Tabla 66 Costos Consumo Energético.

Elementos	Cantidad	KW
Ventiladores	2	0,06
Niquelinas	2	3,08
Total Consumo /Hora		3,14
Tiempo Día Trabajo	6	Horas
Total Consumo Eléctrico	18,84	KWh
Costo Energía por KWh	0,086	\$/KWh
TOTAL COSTO ENERGIA ELEC.	1,62	\$/Carga

7.2.3 Flujo de Caja

El flujo de caja está definido por el tiempo de recuperación monetaria que debe ser el menor posible. El análisis fue realizado para recuperar la inversión en un año.

El flujo de caja mantendrá el costo de venta y de producción en los mismos niveles, debido a que la economía ecuatoriana está dolarizada, y los índices inflacionarios son bajos.

El producto en la actualidad se lo consigue comercialmente a un precio de 0.019 centavos por cada gramo de fruta deshidratada.

Para el valor de egresos en el primer año se consideró el costo total de la maquinaria, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 67
Flujo de Caja con Proyección a Diez Años

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FLUJO CAJA
2016	37346,4	30620,05	6726,4
2017	38466,8	23587,2	14879,6
2018	39620,8	24294,8	15326,0
2019	40809,4	25023,7	15785,8
2020	42033,7	25774,4	16259,3
2021	43294,7	26547,6	16747,1
2022	44593,6	27344,0	17249,5
2023	45931,4	28164,4	17767,0
2024	47309,3	29009,3	18300,0
2025	48728,6	29879,6	18849,0
		TOTAL	157889,7

7.2.4 Valor Actual Neto (V.A.N)

El valor actual neto de un proyecto de inversión, es su valor medido en dinero, es decir el equivalente en dólares de todos los ingresos y egresos presentes y futuros, que constituyen el proyecto.

$$VAN = -\text{inversión inicial} + \sum_{n=1}^N \frac{\text{Flujos de caja}_n}{(1 + \text{tasa de interés})^n} \quad (66)$$

Dónde:

Inversión inicial = \$ 7032,85; Tasa de Interés = 11%; n = 10 años; Flujos de caja = flujo de caja / año.

Tabla 68
Cálculos del Valor Actual Neto V.A.N

N	Flujo Caja	Flujo de Caja
		$\frac{1 + \text{tasa de interes}}$
1	6726,4	6059,8
2	14879,6	12076,6
3	15326,0	11206,2
4	15785,8	10398,6
5	16259,3	9649,1
6	16747,1	8953,7
7	17249,5	8308,4
8	17767,0	7709,6
9	18300,0	7153,9
10	18849,0	6638,3
	TOTAL	88154,2

Por lo tanto se obtiene:

$$\text{V.A.N} = -7032,85 + 88154,2$$

$$\text{V.A.N} = 81121,4$$

Es decir en resumen, para evaluar el valor actual neto se tomó en cuenta las siguientes condiciones:

VAN > 0: El proyecto es rentable.

VAN = 0: El proyecto es indiferente.

VAN < 0: El proyecto no es rentable.

Como en VAN es mayor que cero, quiere decir que el proyecto es rentable, ya que la inversión se recupera en el primer año de trabajo, esto nos confirmó la implementación y la producción de las frutas deshidratadas.

7.2.5 Tasa Interna de Retorno (T.I.R)

Para medir la bondad económica de un proyecto de inversión, el índice más utilizado es la rentabilidad que produce la inversión. Existe un procedimiento para el cálculo correcto de la rentabilidad, la cual se denomina el método de la tasa interna de retorno (TIR).

Por lo que recordando que para determinar el TIR tenemos que tener el valor del VAN = 0.

$$\sum_{n=1}^N \text{Flujos de caja}_n / \text{inversión inicial} = \sum_{n=1}^N (1 + \text{T.I.R})^n \quad (67)$$

Por lo tanto reemplazando los valores se obtiene:

$$\text{TIR} = 121\%$$

Entonces obtenemos que la Tasa de Retorno (TIR) sea de 121%, lo que nos demuestra que efectivamente es muy conveniente invertir en la construcción de esta maquinaria.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema de deshidratado de frutas y verduras a través de una máquina de operación automática mediante el uso de 4 niquelinas fabricadas por una aleación metálica que trabajando con 220 voltios bifásicos emite el calor necesario para provocar la evaporación del agua presente en las frutas y en las verduras por los métodos de transferencia de calor habituales como la conducción la convección y la radiación dentro del proceso de deshidratado

Se logró controlar la cantidad de agua remanente de las frutas y verduras por medio de la sonda PT100 que aparte de enviar una señal de temperatura dentro de la cámara de deshidratado, origina la señal de humedad necesaria para gobernar el proceso de deshidratado por alrededor de 6 horas de manera general.

Se disminuyó el tiempo del proceso de deshidratado en frutas y verduras en comparación con máquinas de características generales, utilizando las bondades mecánicas del diseño de la cámara de deshidratado interna que permite la recirculación del aire de deshidratado de manera sencilla y sin fugas de aire dentro de su perímetro, factores que mejoraron considerablemente el tiempo del proceso.

Se realizó un manual de usuario y mantenimiento de la máquina de fácil entendimiento para el usuario que la opere así también como para el personal encargado de realizar su mantenimiento por medio de guías que contribuirán con el aumento considerable del tiempo útil de la máquina y cada uno de sus componentes.

La máquina deshidratadora tuvo la finalidad de trabajar con las 4 frutas que la empresa SENSORTECSA S.A, está acostumbrada a trabajar (plátano, mango, uvilla y piña), también se puede realizar con otras frutas y verduras para obtener provecho de la maquinaria.

Con los indicadores obtenidos en el análisis económico y financiero, la Tasa interna de Retorno (T.I.R), su tasa de interés fue mayor a la de una entidad financiera, y el Valor Actual Neto (V.A.N), fue mayor que cero, mediante estos valores podemos afirmar que la implementación de este proyecto es rentable y conveniente.

8.2 RECOMENDACIONES

Utilizar las bondades del control manual del deshidratador para absorber el contenido de humedad del grano de cacao por cuanto los parámetros técnicos de secado investigado se encuentran dentro de los límites de operación de la máquina (55°C y Humedad Relativa de 10%) .

Otra opción a considerar es la deshidratación de la cebada malteada (germinada y secada) para secar los granos por medio de aire caliente con la finalidad de fabricar cerveza, whisky o vinagre aprovechando la presencia de enzimas que conviertan el almidón del grano del cereal en azúcar a una emperatura no mayor de 60°C y una Humedad relativa del 6%.

Utilizar un diámetro mayor para las hélices de los motores de hasta 40 cm con la finalidad de obtener un mayor volumen de circulación de aire dentro de la cámara para mejorar el rendimiento de la máquina.

Se aconseja utilizar sensores planares que pueden recibir muestra de la fruta o vegetal procesado para conocer su temperatura y humedad de manera inmediata como el sensor MW 1100 de la empresa TEWS-ELEKTRONIK y de esta manera tener un valor directo del producto y no del ambiente de la cámara de deshidratado.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, I. M. (1993). Manual de Construcción en Acero. Materiales de Construcción.
- Aslam, K. (2001). Análisis Estructural 2^o Edición. Mexico: Thomson Editores.
- Berrocal, L. (2007). Resistencia de Materiales. España: S.A McHraw Hill / Interamericana de España.
- Budynas, R. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley 8va Edición. Mexico: McGraw Hill.
- Cengel, Y. (2003). Transferencia de Calor. Mexico: McGraw Hill.
- Coello, J & Martínez, A & Ferrer, V. (2008). Ensayos Sobre Aceros Inoxidables. Revista Metalurgia.
- Coronel, J. (2014). Colección de Tablas y Ecuaciones de Transferencia de Calor. Universidad de Sevilla Version 3.5.
- Dicoal. (2014). Gama de Fijaciones Técnicas. Rocket, Fijado Rápido .
- Domingo, A. (2011). Apuntes de Transmisión de Calor. Madrid: Copyright(C).
- Egan, H. (2008). Composición y Análisis de Alimentos. Mexico: Patria.
- Electric, S. (2015). Product Catalog. Great Reasons to Buy.
- Gere, J. (2008). Mecánica de Materiales 6ta Edición. Mexico: Thomson Editores.
- Heldan, Y & Singh, R. (2001). Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza: Acribia.
- Holman, J. (1998). Transferencia de Calor 8va Edición. España: McGraw Hill.

- Incropera, F & DeWitt, D. (1999). Fundamentos de la Transferencia de Calor 4ta Edición. Mexico: Prentice.
- Kays, W & London, A. (1998). Compact heat exchanger 3 rd edn. New York: McGraw Hill.
- Lawrence, V. (1984). Tecnologia de Materiales. Mexico: Fondo Educativo Interamericano.
- Mott, R. (2009). Resistencia de Materiales. Mexico: Pearson Educación.
- Orrego. (2003). Procesamiento de Alimentos. España: McGraw Hill.
- Rios, K. (2011). Tecnologia de Alimentos. Bogota: Ediciones de la U.
- Rodriguez, D. (2002). Introducción a la Soldadura. Madrid: Bellisco.
- Sanchez, M. (2003). Proceso de Elaboración de Alimentos. Madrid: Madrid Vicente.
- Schneider, E. (2013). Distribución Energética. Distribución Eléctrica en Baja y Media Tensión.
- Streeter, V & Nuylie, B. (2000). Mecánica de Fluidos 9na Edición. Bogota: McGraw Hill.
- Treybal, R. (1990). Operaciones de Transferencia de Masa. Argentina: Hispano America.
- Viakon, C. (2012). Conductores Monterrey. Alambres y Cables THWN/THHN.
- Wark, K & Richards, D. (2007). Termodinamica 6ta Edición. Madrid: McGraw Hill.
- Withman, W. (2000). Tecnologia de la Refrigeración y Aire Acondicionado. EEUU: Paraninfo.